

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

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

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

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

Выход в свет 30.06.2022.
Формат 90×60/8.
Усл. печ. л. 25,0.
Заказ № 116/2022.
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

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

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

И.В. Брагина – д.м.н. (г. Москва)

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

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

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

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

М.А. Землянова – д.м.н. (г. Пермь)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

А.Я. Перевалов – 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

П.З. Шур – д.м.н. (г. Пермь)

2

Апрель 2022 июнь



100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РОССИИ ПОСВЯЩАЕТСЯ

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

*Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, М.В. Глухих,
Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов*
ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛА РОСТА ОЖИДАЕМОЙ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО
ИЗМЕНЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ
ДЕТЕРМИНАНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

*Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, М.Ю. Цинкер,
В.М. Чигвинцев, С.В. Бабина*
АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕЖЕГОДНЫХ ПЛАНОВ
ПРОВЕДЕНИЯ ПРОВЕРОК ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМИ
ОРГАНАМИ И ОРГАНИЗАЦИЯМИ РОСПОТРЕБНАДЗОРА
В РАМКАХ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

ОЦЕНКА РИСКА В ГИГИЕНЕ

А.О. Барг, Н.А. Лебедева-Несевря, М.Д. Корнилицына
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ
СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ РИСКА НАСЕЛЕНИЕМ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО
ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ

А.В. Алексеева, О.Н. Савостикова
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ
НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ РИСКА
ЗДОРОВЬЮ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ПИТЬЕВОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

О.Ю. Устинова, Н.В. Зайцева, Д.А. Эйфельд
К ЗАДАЧЕ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ФАКТОРОВ РИСКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА
ПО КРИТЕРИЯМ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ,
ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
И СОМАТИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ

И.Б. Седова, М.Г. Киселева, З.А. Чалый
МИКОТОКСИНЫ В КОФЕ И ЦИКОРИИ:
ОТ РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫХ К ЭМЕРДЖЕНТНЫМ

Е.В. Зибарев, И.В. Бухтияров, О.К. Кравченко, П.А. Астанин
РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ
НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ

*Е.М. Полякова, А.В. Мельцер, И.Ш. Якубова,
Н.В. Ерастова, А.В. Суворова*
КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА НАРУШЕНИЙ
ЗДОРОВЬЯ ПРИ РАБОТЕ НА ОТКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*М.Д. Васильев, Е.В. Макарова, А.А. Костров,
С.А. Палевская, С.М. Смбалян*
ОЦЕНКА ОБРАЗА ЖИЗНИ НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ
И ФАКТОРОВ РИСКА, ВЛИЯЮЩИХ НА ИХ
ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

PREVENTIVE HEALTHCARE: TOPICAL ISSUES OF HEALTH RISK ANALYSIS

4 *N.V. Zaitseva, S.V. Kleyn, M.V. Glukhikh,
D.A. Kiryanov, M.R. Kamaltdinov*
PREDICTING GROWTH POTENTIAL IN LIFE
EXPECTANCY AT BIRTH OF THE POPULATION
IN THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON SCENARIO
CHANGES IN SOCIO-HYGIENIC DETERMINANTS
USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

17 *D.A. Kiryanov, M.R. Kamaltdinov, M.Yu. Tsinker,
V.M. Chigvintsev, S.V. Babina*
THE ALGORITHMS FOR DRAWING UP ANNUAL
PLANS OF INSPECTIONS PERFORMED BY ROSPOT-
REBNADZOR'S REGIONAL ORGANIZATIONS
WITHIN THE FRAMEWORK OF RISK-BASED MODEL

RISK ASSESSMENT IN HYGIENE

28 *A.O. Barg, N.A. Lebedeva-Nesevrya, M.D. Kornilitsyna*
METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING
SUBJECTIVE HEALTH RISK PERCEPTION
BY POPULATION UNDER EXPOSURE TO AMBIENT
AIR POLLUTION

38 *A.V. Alekseeva, O.N. Savostikova*
METHODICAL APPROACHES TO RAISING
THE RELIABILITY OF HEALTH RISK ASSESSMENT
WHEN USING POLYMER MATERIALS IN DRINKING
WATER SUPPLY

48 *O.Yu. Ustinova, N.V. Zaitseva, D.A. Eisfeld*
SUBSTANTIATING OPTIMAL PARAMETERS OF RISK
FACTORS EXISTING IN THE EDUCATIONAL
ENVIRONMENT FOR SCHOOLCHILDREN AS PER
INDICATORS OF PHYSICAL, MENTAL AND SOMATIC
HEALTH

64 *I.B. Sedova, M.G. Kiseleva, Z.A. Chalyy*
MYCOTOXINS IN COFFEE AND CHICORY:
FROM REGULATED TO EMERGENT

73 *E.V. Zibarev, I.V. Bukhtiyarov, O.K. Kravchenko, P.A. Astanin*
DEVELOPMENT OF A NEW CONCEPT FOR ASSESSING
WORK INTENSITY OF CIVIL AVIATION PILOTS

88 *E.M. Polyakova, A.V. Meltser, I.S. Yakubova,
N.V. Erastova, A.V. Suvorova*
INTEGRATED MODEL OF HEALTH RISK ASSESSMENT
FOR WORKERS HAVING TO WORK OUTDOORS
UNDER EXPOSURE TO COOLING METEOROLOGICAL
FACTORS

98 *M.D. Vasiliev, E.V. Makarova, A.A. Kostrov,
S.A. Palevskaya, S.M. Smbatyan*
ASSESSMENT OF SCIENTISTS' LIFESTYLE AND RISK
FACTORS AFFECTING THEIR PROFESSIONAL
EFFICIENCY

Э.Р. Шайхлисламова, Л.К. Каримова, Н.А. Бейгул,
Н.А. Мулдашева, А.З. Фагамова, И.В. Шаповал,
А.Д. Волгарева, Э.А. Ларионова
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ
РАБОТНИКОВ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД:
ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ

ОЦЕНКА РИСКА В ЭПИДЕМИОЛОГИИ

А.И. Шпаков, Л.Г. Климацкая, Ю.Ю. Бочарова,
А.А. Дьячук, О.Ю. Шик
ОБРАЗ ЖИЗНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ
КАК ФАКТОР РИСКА ЗДОРОВЬЮ В УСЛОВИЯХ
ПАНДЕМИИ COVID-19 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ПРОТИВОЭПИДЕМИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЯХ

Т.И. Бурцева, В.А. Солопова, А.И. Байтелова, Н.Н. Рахимова
КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКА
ИНФИЦИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА
КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

С.С. Смирнова, И.А. Егоров, Н.Н. Жуikov, Л.Г. Вяткина,
А.Н. Харитонов, А.В. Семенов, О.В. Морова
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФИЦИРОВАНИЯ
SARS-COV-2 У РАБОТНИКОВ МЕДИЦИНСКИХ
ОРГАНИЗАЦИЙ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО
ГОРОДА В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

ОЦЕНКА РИСКА В ОРГАНИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Л.Н. Игешева, А.А. Румянцева, А.В. Шабалдин,
А.В. Синицкая, Н.А. Литвинова, О.В. Долгих
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ
ДЕФИЦИТА ЗДОРОВЬЯ И ЕГО ИНДИКАТОРНЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ
ПОРОКАМИ СЕРДЦА ЧЕРЕЗ ДВА ГОДА ПОСЛЕ
РАДИКАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

А.О. Карелин, П.Б. Ионов
ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ РИСКА РАЗВИТИЯ СИНДРОМА
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ
У ВРАЧЕЙ-СТОМАТОЛОГОВ, РАБОТАЮЩИХ
В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДЕТСКИХ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИКЛИНИКАХ

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова,
Е.В. Пескова, Н.И. Булатова
СОЗДАНИЕ БИОИНФОРМАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ
МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РИСК-АССОЦИИРОВАННЫХ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ

Е.В. Дроздова, С.И. Сычик, В.А. Грынчак, С.Н. Рябцева
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ХРОНИЧЕСКОЙ
ПАТОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ
ЗДОРОВЬЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

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

107 E.R. Shaykhlislamova, L.K. Karimova, N.A. Beigul,
N.A. Muldasheva, A.Z. Fagamova, I.V. Shapoval,
A.D. Volgareva, E.A. Larionova
OCCUPATIONAL HEALTH RISK FOR WORKERS FROM
BASIC OCCUPATIONAL GROUPS EMPLOYED
AT COPPER AND ZINC ORE MINING ENTERPRISES:
ASSESSMENT AND MANAGEMENT

HEALTH RISK ANALYSIS IN EPIDEMIOLOGY

119 A.I. Shpakou, L.G. Klimatchkaia, Yu.Yu. Bocharova,
A.A. Dyachuk, O.Yu. Shik
YOUNG STUDENTS' LIFE STYLE AS A HEALTH RISK
FACTOR DURING THE COVID-19 PANDEMIC UNDER
VARIOUS ANTI-EPIDEMIC STRATEGIES

128 T.I. Burtseva, V.A. Solopova, A.I. Baitelova, N.N. Rakhimova
INFECTION OF PERSONNEL WORKING IN CLINICAL
AND DIAGNOSTIC LABORATORIES: QUALITATIVE
ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT

139 S.S. Smirnova, I.A. Egorov, N.N. Zhukov, L.G. Vyatkina,
A.N. Kharitonov, A.V. Semenov, O.V. Morova
RISKS OF BECOMING INFECTED WITH SARS-COV-2
FOR MEDICAL PERSONNEL IN A LARGE INDUSTRIAL
CITY DURING THE PANDEMIC: COMPARATIVE
ASSESSMENT

RISK ASSESSMENT IN PUBLIC HEALTHCARE

151 L.N. Igisheva, A.A. Rumyantseva, A.V. Shabaldin,
A.V. Sinitskaya, N.A. Litvinova, O.V. Dolgikh
ANALYSIS OF RISK FACTORS CAUSING HEALTH
DEFICIENCY AND ITS INDICATORS IN CHILDREN
WITH CONGENITAL HEART DISEASES TWO YEARS
AFTER RADICAL SURGERY

166 A.O. Karelin, P.B. Ionov
RISK FACTORS OF OCCUPATIONAL BURNOUT
IN DENTISTS EMPLOYED BY STATE CHILDREN'S
DENTAL POLYCLINICS

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

174 M.A. Zemlyanova, N.V. Zaitseva, Yu.V. Koldibekova,
E.V. Peskova, N.I. Bulatova
CREATING BIOINFORMATICS MATRIX
OF MOLECULAR MARKERS TO PREDICT
RISK-ASSOCIATED HEALTH DISORDERS

185 E.V. Drozdova, S.I. Sychik, V.A. Hrynchak, S.N. Rjabceva
EXPERIMENTAL MODELS OF ANIMAL CHRONIC
PATHOLOGY IN ASSESSING HEALTH RISKS
FOR SENSITIVE POPULATION GROUPS

196 NEW LEGAL, REGULATORY
AND METHODOLOGICAL DOCUMENTS ISSUED
IN THE RF IN THE SPHERE OF HEALTH RISK
ANALYSIS

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

УДК 613; 614
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01

Читать
онлайн



Научная статья

ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛА РОСТА ОЖИДАЕМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ДЕТЕРМИНАНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Н.В. Зайцева¹, С.В. Клейн^{1,3}, М.В. Глухих¹, Д.А. Кирьянов^{1,2}, М.Р. Камалтдинов¹

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

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

³Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26

Представлены результаты прогноза потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) населения РФ на основе сценарного изменения социально-гигиенических детерминант (СГД) с использованием искусственной нейронной сети (ИНС). Актуальность исследования обусловлена текущей социальной политикой в области улучшения медико-демографической ситуации на территории РФ, предполагающей достижение целевых значений показателей национальных и федеральных проектов. Получена оптимальная структура ИНС, базирующаяся на четырехслойном персептроне с двумя внутренними слоями, содержащими по 8 и 3 нейрона соответственно, позволяющая получать результаты при наибольшем коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,78$). Различия между фактическими значениями показателя ОПЖ и прогнозными значениями, полученными по модели, составили не более 1,1 % (или 0,8 г.). Установлено, что при условии восстановления в ближайшее время демографической ситуации и значения ОПЖ до уровня 2018–2019 гг. и полного достижения значений СГД согласно установленному целевому сценарию (к 2024 г.) значение ОПЖ в среднем по РФ составит 75,06 г., потенциал роста относительно 2018 г. составит 3,0 г. (1095 дней). Наибольший эффект на потенциал роста ОПЖ к 2024 г. оказывают «Показатели образа жизни» (461 день). Установлены эффекты влияния таких групп СГД, как: «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (212 дней), «Показатели социально-демографической сферы» (196 дней), «Показатели экономической сферы» (131 день), «Показатели системы здравоохранения» (70 дней). Наиболее значимой детерминантой, оказавшей наибольший эффект на потенциал изменения ОПЖ, являлся показатель, характеризующий «Долю населения, занимающегося физической культурой и спортом»: в случае его увеличения до 55,0 % потенциал роста ОПЖ составит 243,5 дня. Прогнозирование изменения демографической ситуации к 2030 г. при регистрируемых в настоящее время тенденциях без учета COVID-обусловленных процессов предполагает возможность дополнительного к 3 годам роста ОПЖ на 286 дней. Разработанный алгоритм определения потенциала роста ОПЖ населения может использоваться в качестве инструмента определения и ранжирования приоритетных факторов риска здоровью населения.

Ключевые слова: ожидаемая продолжительность жизни, социально-гигиенические детерминанты, искусственные нейронные сети, факторный анализ, прогнозирование медико-демографической ситуации, потенциал роста, национальные проекты, образ жизни, санитарно-эпидемиологическое благополучие.

© Зайцева Н.В., Клейн С.В., Глухих М.В., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., 2022

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>).

Клейн Светлана Владиславовна – профессор РАН, доктор медицинских наук, доцент, заведующий отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Глухих Максим Владиславович – младший научный сотрудник (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

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

Камалтдинов Марат Решидович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник с исполнением обязанностей заведующего лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: kmr@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

В основных положениях «Единого плана по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года»¹ подчеркивается, что достижение данных целей носит «межпроектный» характер, требующий комплексного (системного) подхода к реализации обозначенных в документе мероприятий. Декларируется, что повышение ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ) как «важнейшего индикатора качества жизни людей» является необходимым условием для обеспечения естественного прироста населения, приобретая особую актуальность в условиях постковидной санкционной экономики. Одним из центральных (приоритетных) направлений по улучшению медико-демографической ситуации обозначено «... значительное снижение уровня смертности в возрастных категориях – населения в трудоспособном возрасте, старше трудоспособного возраста ...» путем развития профилактического направления по основным причинам смертности населения РФ (болезни системы кровообращения, новообразования, внешние причины). Параллельно с этим, признавая, что данная «... проблема не решается исключительно медицинскими методами ...», а кроме того требует «... обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения ...», предполагается «... содействие мерам, направленным на увеличение доли граждан, ведущих здоровый образ жизни ...». В качестве ключевых инструментов данного направления указываются национальные проекты «Здравоохранение», «Демография», «Экология», а также государственные программы «Развитие здравоохранения», «Развитие физической культуры и спорта», «Охрана окружающей среды» и прочие. Очевиден комплексный (системный) характер текущей проектной деятельности государственных органов власти в области улучшения социальной политики и медико-демографической ситуации.

Выбор показателя ОПЖ в качестве индикаторного показателя прогнозируемой медико-демографической ситуации является адекватным решением в рамках многостороннего улучшения основных сфер жизнедеятельности населения ввиду его относительной простоты расчета, прямой связи с показателями повозрастной смертности населения от всех причин, сопоставимости на межстрановом уровне по причине его использования во множестве исследований, касающихся оценки качества жизни населения [1–4]. Кроме того, вопросы повышения показателя ОПЖ часто рассматриваются в докладах международных организаций [5–9].

В научной литературе представлен ряд подходов по оценке влияния факторов среды обитания на показатель ОПЖ с учетом смертности населения,

таких как: построение классических таблиц смертности [10, 11]; оценка элиминированных резервов [12]; компонентный анализ смертности [13, 14]; метод оценки нагрузки смертности на ОПЖ населения [15]. Также распространен эконометрический анализ влияния ограниченного количества факторов (чаще экономической природы) с построением корреляционно-регрессионных моделей взаимосвязи между ОПЖ и факторами среды обитания с использованием методов иерархии и кластеризации субъектов РФ, а также при межстрановой оценке [16–20].

Наряду с данными методами ввиду все большего увеличения количества разнородной анализируемой признаковой информации, характеризующей объект исследования (популяционное здоровье), повышается перспективность методов многомерного статистического анализа (множественные регрессии, факторный анализ, нейронные сети и т.д.) и их комбинаций. Так, в работе Ю.А. Григорьева и О.И. Баран использовалась совокупность статистических методов обработки информации (метод главных компонент, регрессионный анализ, факторный анализ) с учетом лаговых воздействий фактора на смертность населения [21].

Наиболее заметным проектом в данной области среди западных исследователей является исследование глобального бремени болезней (The Global Burden of Disease). Исследование проводится на постоянной основе консорциумом исследователей из разных стран с оценкой динамики смертности и, самое главное, установлением причинности возникновения негативных тенденций от воздействия приоритетных факторов риска. Совокупность проанализированных данных составляет свыше 1 млрд единиц наблюдений. Анализ подобного объема статистической информации обеспечивался использованием инновационных методов байесовского статистического моделирования на основе значительных вычислительных мощностей. Для решения данных задач применялся аналитический инструмент CODEm (the Cause of Death Ensemble model), или ансамблевая модель причин смерти, полученная при помощи ряда математико-статистических методов с наилучшими характеристиками прогностической достоверности и биологического правдоподобия зависимости смертности от рассматриваемых ковариат [22].

Некоторые исследователи придерживаются точки зрения, что здоровье населения должно рассматриваться как комплексная адаптивная система с многочисленными динамическими нелинейными взаимодействиями между подсистемами и детерминантами различного происхождения. При этом отмечается, что взаимодействие между детерминанта-

¹ Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 № 2765-р (с изм. от 24.12.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_398015/ (дата обращения: 05.04.2022).

ми имеет контекстуальный характер на определенном отрезке времени, и их анализ должен быть многоуровневым и многомасштабным, а последующие за ним управленческие решения – комплексными [23, 24].

Академик РАМН Ю.П. Лисицын утверждал, что общественное (популяционное) здоровье – это сложная, развивающаяся, динамичная система, требующая системного подхода и анализа при проведении исследований в данной области². Необходимость междисциплинарного подхода к проблематике популяционного здоровья (жизнеспособности нации) подчеркивал академик РАМН Б.Т. Величковский, постулируя о потребности в такой интегральной науке, как социальная биология человека [25]. Социально-экономические факторы, формирующие «социальный стресс», Б.Т. Величковский ставил в один ряд с другими факторами, в том числе гигиенического характера. Он указывал на то, что установление связи между факторами социально-экономической природы и нарушениями здоровья является одним из информационно-аналитических блоков системы социально-гигиенического мониторинга, обозначая исследования в данной области как актуальные для гигиенической науки [26, 27].

В настоящее время увеличивается количество исследований, в том числе в биомедицинской области, основанных на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС; artificial neural network – ANN). Выявлено, что данный метод чаще показывает лучшие прогностические возможности в сравнении с логистическими регрессионными моделями [28–31]. В медицине спектр применения ИНС достаточно широк и охватывает такие сферы медицинской деятельности, как: постановка диагноза, выбор тактики лечения, маршрутизация пациентов, подготовка и проведение исследований и другие задачи [32–38].

Вместе с тем в отечественных и зарубежных научных публикациях в области изучения медико-демографических проблем и поиска их причин методы прогнозирования ожидаемой продолжительности жизни, учитывающие множественность и вариативность влияния факторов среды обитания и образа жизни на ОПЖ, недостаточно представлены. Не так широко освещены в научной литературе верифицированные оценки в системах связи «факторы среды обитания – ожидаемая продолжительность жизни»,

«факторы среды обитания – смертность – ожидаемая продолжительность жизни». Актуальным является уточнение и дополнение известных факторов риска, оказывающих влияние на популяционное здоровье населения, и степени их влияния.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обосновывается текущей направленностью политики государства на улучшение медико-демографической ситуации с целеполаганием на достижение определенных уровней индикаторных показателей (ОПЖ), а также развитием направления биомедицинских исследований по изучению множественности влияния факторов среды обитания на популяционное здоровье с использованием многомерных статистических методов, в том числе искусственных нейронных сетей.

Цель исследования – количественный прогноз влияния комплекса социально-гигиенических детерминант на ожидаемую продолжительность жизни населения РФ на основе нейросетевой модели.

Материалы и методы. Проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы по теме исследования (влияние факторов среды обитания и образа жизни на показатели популяционного здоровья). По результатам данного анализа сформирован банк актуальных моделей причинно-следственных связей между обширным перечнем факторов среды обитания и показателями популяционного здоровья.

На основе релевантных научных данных о причинно-следственных связях между факторами среды обитания и общественным здоровьем сформирован перечень из 148 показателей на основе данных официальной государственной статистики за период 2010–2018 гг. по всем субъектам РФ. Источниками данных являлись статистические формы и сборники Роспотребнадзора³, Минздрава РФ⁴, Росстата⁵. Сформирована матрица данных по группам исследуемых показателей, которые включали в себя: показатели санитарно-эпидемиологического благополучия населения (53 показателя), показатели образа жизни (30), экономические показатели (14), показатели системы здравоохранения (9), социально-демографические показатели (34), погодноклиматические показатели (8). Группировка показателей носила условный характер и применялась для оценки эффекта от соответствующих групп факторов с возможностью их сравнения между собой.

² Лисицын Ю.П. Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. – 2-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 512 с.

³ Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием субъекта Российской Федерации: Приказ Росстата от 29.12.2017 № 885 (утратил силу с отчета за 2019 год на основании приказа Росстата от 24 декабря 2019 года № 800) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556189703> (дата обращения: 07.04.2022).

⁴ Медико-демографические показатели Российской Федерации в 2018 году: стат. справочник // Минздрав России. – М., 2019. – 253 с.

⁵ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: стат. сб. // Росстат. – М., 2018. – 1162 с.

Для цели прогнозирования показателя ОПЖ с установлением количественных эффектов влияния комплекса социально-гигиенических детерминант (СГД) на ОПЖ и его потенциал роста использовалось построение математической модели, отражающей систему причинно-следственных связей между анализируемыми показателями, характеризующими СГД, и показателем ОПЖ. Математическая модель состояла из подмодели факторного преобразования системы независимых переменных в общие факторы и искусственной нейронной сети (ИНС).

Подмодель факторного преобразования построена с использованием метода факторного анализа и применялась для снижения размерности системы входных данных, подающихся на входной слой нейронной сети.

Факторное преобразование, полученное в результате исследования системы причинно-следственных связей между показателями, характеризующими СГД и погодно-климатические условия, позволило перейти от системы взаимосвязанных показателей (148 СГД) к попарно независимым общим факторам (в построенной модели их 33).

Подмодель факторного преобразования представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, которые в матричной форме имеют вид соотношения (1):

$$Y = A\tilde{X}, \quad (1)$$

где $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_J\}^T$ – вектор-столбец стандартизованных значений независимых переменных, $J = 148$;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_J\}^T$ – вектор-столбец общих факторов, $J = 33$;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1J} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{I1} & a_{I2} & \dots & a_{IJ} \end{bmatrix} \quad \text{– матрица факторных}$$

меток факторного анализа.

В форме компонент выражение (1) записывается в следующем виде (2):

$$y_j = \sum_{i=1}^I a_{ij} \tilde{x}_i. \quad (2)$$

Стандартизация системы независимых переменных выполнялась по соотношению (3):

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}, \quad (3)$$

где x_i – значение i -й переменной; \bar{x}_i , σ_i – среднее и стандартное отклонение i -й переменной по выборочным данным.

В ходе обучения ИНС, проведенного на матрице исходных данных, была определена оптимальная структура ИНС, соответствующая четырехслой-

ному персептрону с двумя внутренними слоями, содержащими по 8 и 3 нейрона соответственно с коэффициентом детерминации 0,78 (рис. 1).

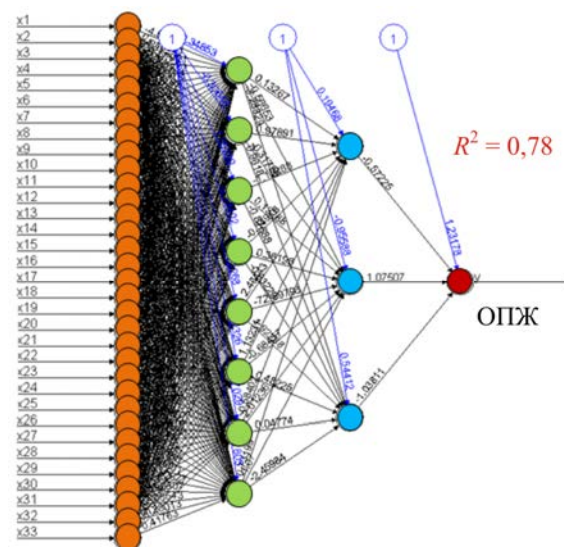


Рис. 1. Структура четырехслойного персептрона с двумя внутренними слоями по 8 и 3 нейрона соответственно

Расчет прогнозных уровней показателя ОПЖ осуществлялся путем выполнения последовательно ряда математических операций.

Нормирование значений общих факторов, подаваемых на вход ИНС (после проведения процедуры факторного преобразования значений независимых переменных), выполнялось по формуле (4):

$$\tilde{y}_j = \frac{y_j - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}, \quad (4)$$

где \tilde{y}_j – нормированное значение j -го общего фактора;

y_j^{\min} , y_j^{\max} – минимальное и максимальное значения j -го общего фактора, полученные по результатам факторного преобразования исходной системы показателей.

Расчет входных сигналов в первый внутренний слой нейронов, состоящий из 8 нейронов, проводился по формуле (5):

$$F_{in1k} = b_{0k} + \sum_{j=1}^{33} b_{jk} \tilde{y}_j, \quad k = \overline{1,8}, \quad (5)$$

где F_{in1k} – входные сигналы в k -й нейрон первого внутреннего слоя;

b_{0k} , b_{jk} – коэффициенты нейросетевой модели для первого слоя нейронов.

Расчет значений выходных сигналов из первого внутреннего слоя нейронов проводился по формуле (6):

$$F_{out1k} = \frac{1}{1 + e^{-F_{in1k}}}, \quad k = \overline{1,8}, \quad (6)$$

где F_{out1k} – значение выходных сигналов из k -го нейрона первого внутреннего слоя.

Расчет входных сигналов во второй внутренний слой нейронов, состоящий из 3 нейронов, производился по формуле (7):

$$F_{in2l} = c_{0l} + \sum_{k=1}^8 c_{kl} F_{out1k}, \quad l = \overline{1,3}, \quad (7)$$

где F_{in2l} – входные сигналы в l -й нейрон второго внутреннего слоя; c_{0l} , c_{kl} – коэффициенты нейросетевой модели для второго слоя нейронов.

Расчет значений выходных сигналов из второго внутреннего слоя нейронов производился по формуле (8):

$$F_{out2l} = \frac{1}{1 + e^{-F_{in2l}}}, \quad l = \overline{1,3}, \quad (8)$$

где F_{out2l} – значение выходных сигналов из l -го нейрона второго внутреннего слоя.

Расчет модельных нормированных значений ожидаемой продолжительности жизни проводился по формуле (9):

$$\tilde{z} = d_0 + \sum_{l=1}^3 d_l F_{out2l}, \quad (9)$$

где \tilde{z} – модельное нормализованное значение ОПЖ; d_0 , d_l – коэффициенты нейросетевой модели для расчета нормированного значения ОПЖ (значений выходного слоя).

Расчет модельного значения ОПЖ проводился по формуле (10):

$$z = \text{ОПЖ} = \tilde{z}(z_{\max} - z_{\min}) + z_{\min}, \quad (10)$$

где $z = \text{ОПЖ}$ – модельное значение ОПЖ.

Для установления количественного прогноза влияния комплекса СГД на ОПЖ населения РФ на основе ИНС использовался поэтапный алгоритм, включающий в себя:

– этап 1. Формирование базового и целевого сценариев изменения показателей, характеризующих СГД;

– этап 2. Выполнение расчетов по ИНС прогнозных значений ОПЖ согласно базовому и целевому сценариям;

– этап 3. Расчет потенциала роста ОПЖ населения.

Сценарные значения показателей СГД (независимых переменных) для базового сценария задавались согласно имеющимся фактическим значениям анализируемых показателей за 2018 г., полученным из официальных статистических источников. Для целевого сценария значения СГД задавались согласно целевым значениям показателей национальных и федеральных проектов, расчетным (прогнозным) значе-

ниям показателей по линейным / логарифмическим трендам. Выбор целевого значения показателей между линейным и логарифмическим трендом осуществлялся с применением в качестве критерия наибольшего значения коэффициента детерминации (R^2).

Так, в рамках настоящего исследования по 10 показателям установлены целевые значения СГД согласно целевым показателям национальных и федеральных проектов; 103 показателя изменены согласно трендам их изменения к 2024 г.; 21 показатель был изменен на 10,0 %⁶ относительно базового сценария с учетом их биологического смысла воздействия на ОПЖ; значения 14 показателей оставлены на базовом уровне ввиду невозможности адекватных и корректных оценок их изменения.

При решении задачи по оценке достижимости актуальных значений показателя ОПЖ, установленных в «Едином плане по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года»¹, дополнительно были получены трендовые изменения анализируемых показателей к 2030 г.

Расчет потенциала роста ОПЖ населения выполняется по разности прогнозных оценок ОПЖ согласно целевому и базовому сценариям (11):

$$\Delta \text{ОПЖ} = z^{\text{Цел}} - z^{\text{Баз}}, \quad (11)$$

где $\Delta \text{ОПЖ}$ – потенциала роста ОПЖ населения;

$z^{\text{Цел}}$ – прогнозное значение ОПЖ согласно целевому сценарию;

$z^{\text{Баз}}$ – прогнозное значение ОПЖ согласно базовому сценарию.

Для статистической обработки и численных расчетов использовались математические вычислительные пакеты программ по статистическому анализу данных (Statistica 10, RStudio, MS Excel 2010), для визуализации полученных результатов – геоинформационные системы (ArcGis 9.3.1).

Результаты и их обсуждение. Для оценки корректности получаемых согласно разработанному методическому подходу данных выполнена сравнительная оценка фактических и модельных значений ОПЖ. Так, согласно базовому сценарию расчетное значение ожидаемой продолжительности жизни с использованием разработанной математической модели с применением базовых значений 148 детерминант на уровне 2018 г. составило 72,1 г., в то время как фактическое значение ОПЖ в РФ в 2018 г. составило 72,9 г. Различия в модельном и фактическом значениях ОПЖ на 2018 г. составили 0,8 г., или 1,1 %. Сопоставимость расчетного значения ОПЖ при базовом сценарии и фактически регистрируемого значения ОПЖ свидетельствует о корректности оценок разработанной математической модели.

⁶ Использование данного подхода обусловлено тем, что некоторые показатели структурно связаны между собой.

Потенциал изменения ожидаемой продолжительности жизни по группам показателей среды обитания и образа жизни на базе сценарного моделирования к 2024 г.

Группа СГД	Целевой сценарий для одной группы, годы	Потенциал роста ОПЖ, годы (дни)	Ранг
Показатели образа жизни населения	73,32	1,26 (461,2)	1
Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий	72,64	0,58 (211,9)	2
Показатели социально-демографической сферы	72,6	0,54 (196,3)	3
Показатели экономической сферы	72,42	0,36 (131,2)	4
Показатели системы здравоохранения	72,25	0,19 (70,0)	5

Сценарное изменение всей совокупности анализируемых значений СГД к 2024 г. в соответствии с подходами, изложенными в разделе «Материалы и методы», показало, что модельное значение ОПЖ составит 75,1 г., таким образом, прогнозируемый потенциал роста ОПЖ в целом для РФ на период 2018–2024 гг. составил 3,0 г. (1095 дней).

Оценка потенциала роста ОПЖ от сценарного изменения каждой условной группы показателей (когда изменялись в соответствии с описанными подходами только показатели одной группы, а значения остальных детерминант оставались на уровне базового сценария) выявили, что наибольшие прогнозные значения потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни к 2024 г. имеют «Показатели образа жизни» (+1,3 г., или 461,2 дня) (таблица). Далее в порядке убывания следовали «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (+0,58 г., или 211,9 дня), «Показатели социально-демографической сферы» (+0,54 г., или 196,3 дня), «Показатели экономической сферы» (+0,36 г., или 131,2 дня), «Показатели системы здравоохранения» (0,19 г., или 70,0 дня).

Таким образом, в целом по Российской Федерации при условии восстановления в ближайшее время демографической ситуации и значения ОПЖ до уровня 2018–2019 гг. реализация национальных, федеральных проектов и комплексных мероприятий позволит повысить показатель ОПЖ на 3 года, то есть до 75,1 г. В то же время прогнозирование изменения демографической ситуации к 2030 г. при регистрируемых в настоящее время тенденциях без учета COVID-обусловленных процессов отражает возможность дополнительного к 3 годам роста ОПЖ на 0,8 г. (286 дней) (рис. 2).

Последнее свидетельствует о необходимости удержания наметившихся тенденций путем достижения плановых показателей. Вместе с тем для достижения ОПЖ на уровне 78 лет к 2030 г. необходимо обеспечить прирост показателя еще на 2,1 г. Это может быть сопоставимо с дополнительной реализацией крупных проектов типа «Чистый

воздух», «Чистая вода», «Демография» и т.п. Достаточно мощные потенциальные резервы повышения ОПЖ наблюдаются за счет адресных структурированных по значимости мероприятий по формированию принципов здорового образа жизни среди населения, а также при изменении ряда регистрируемых сейчас негативных тенденций (условия труда работающего населения, количество разводов, коэффициенты демографической нагрузки и др.).

Детальное исследование условных групп показателей позволило получить оценки влияния каждого отдельно взятого показателя из всего перечня рассматриваемых детерминант на ОПЖ. Так, в группе показателей, характеризующих образ жизни населения, и в целом из всех показателей наиболее значимый эффект имел показатель «Доля населения, занимающегося физической культурой и спортом» в случае достижения им уровня 55,0 %, обозначенного в качестве целевого согласно федеральному проекту «Спорт – норма

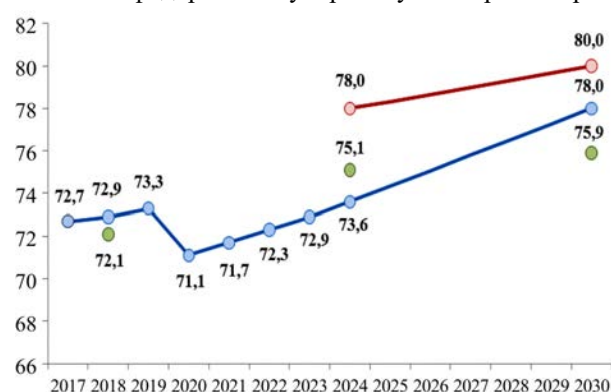


Рис. 2. Целевые и прогнозируемые изменения показателя ОПЖ населения РФ до 2024 и 2030 г.: красной линией обозначены цели достижения уровней ОПЖ согласно Указу Президента № 204 от 07.05.2018⁷; синей – целевые значения показателя ОПЖ согласно «Единому плану по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года»⁸; зеленые точки – модельные значения ОПЖ по ИНС

⁷ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента № 204 от 07.05.2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1960762.pdf (дата обращения: 11.05.2022).

⁸ Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 № 2765-р (с изм. от 24.12.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_398015/ (дата обращения: 05.04.2022).

жизни»⁹: потенциал роста ОПЖ составил 243,5 дня. Рост ОПЖ прогнозируется и при увеличении показателя «Всего спортивных сооружений на 100 тыс. населения»: эффект на ОПЖ составит +18,9 дня. Следующим значимым показателем в данной группе являлось «Потребление овощей и фруктов» – возрастание потребления до рекомендуемых норм¹⁰ потенциально может увеличить ОПЖ населения РФ на 53 и 39 дней соответственно. Также установлено увеличение ОПЖ на 19,5 дня в случае снижения потребления¹¹ этилового спирта, приходящегося на душу взрослого населения, на 24,0 % по данным показателей розничных продаж алкогольной продукции. Изолированное снижение на 24,0 % показателей розничных продаж алкогольной продукции по видам также связано с увеличением ОПЖ: пиво – на 17 дней; водка – на 12 дней; винодельческая продукция – на 11 дней; игристые вина – на 10 дней.

В группе показателей санитарно-эпидемиологического благополучия территорий наибольшее влияние на изменение показателя ОПЖ вносили показатели, характеризующие условия труда работающего населения. При снижении в соответствии с установленными тенденциями удельного веса рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам условий труда по таким нормируемым факторам производственной среды, как: биологический фактор (в 1,8 раза), освещенность (в 2,5 раза), напряженность трудового процесса (в 3,3 раза), микроклимат (в 1,2 раза), ожидается увеличение ОПЖ на 37,9; 20,2; 17,5; 8,3 дня соответственно.

Другим санитарно-эпидемиологическим фактором, связанным с изменением показателя ОПЖ, является нормативное качество почвы. При наблюдающихся трендах снижения доли проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (к 2024 г. в 2,7 раза): по содержанию тяжелых металлов (в 2,3 раза), по

микробиологическим показателям (в 1,8 раза), – значения ОПЖ увеличатся на 7,0; 11,6 и 5,5 дня соответственно. Рост ОПЖ ожидается при снижении на 22,0 % валового количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (целевой показатель ФП «Чистый воздух»)¹², отходящих от всех источников в целом и от стационарных в частности. При этом наибольший вклад (3,6 дня) вносит расчетный показатель, характеризующий экологичность (чистоту) экономики, – количество выбросов, приходящихся на валовый региональный продукт (кг/млн рублей). Значимое увеличение ОПЖ ожидается при повышении безопасности пищевой продукции. В случае снижения доли проб пищевой продукции, не соответствующей гигиеническим нормативам по микробиологическим (в 1,2 раза) и санитарно-химическим (до 0 %) показателям, ожидаемый прирост ОПЖ составит по 15 дней. Снижение доли нецентрализованных систем водоснабжения (колодцы, каптажи, родники), не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, на 15,6 % связано с увеличением ОПЖ на 8,9 дня.

Из показателей социально-демографической сферы наиболее значимым являлся показатель «Число зарегистрированных преступлений на 100 тысяч населения», в случае его прогнозируемого снижения с уровня 1428,5 до уровня 1074,0 ожидаемый эффект на ОПЖ составит 24 дня. Увеличение доли населения с высшим образованием независимо от трудового статуса (занятые – до 35,4 %, безработные – до 26,4 %) связано с потенциальным ростом ОПЖ на 9,4 и 20,6 дня соответственно. Увеличение количества отработанных часов в среднем на одного занятого с 38,1 ч (в 2018 г.) до установленной трудовым кодексом¹³ РФ верхней границы нормальной продолжительности рабочего времени (40 ч) окажет эффект на ОПЖ в виде прибавки в 19 дней. Совокупное улучшение благоустройства жилого фонда системами водопровода, водоотведения, отопления

⁹ Паспорт федерального проекта «Создание для всех категорий граждан и групп населения условий для занятий физической культурой и спортом, массовым спортом, в том числе повышение уровня обеспеченности населения объектами спорта, а также подготовка спортивного резерва» – краткое наименование: «Спорт – норма жизни» / утв. проектным комитетом по национальному проекту «Демография», протокол от 29.04.2019 [Электронный ресурс] // Законы, кодексы, нормативные и судебные акты. – URL: https://legalacts.ru/doc/pasport-federalnogo-proekta-sozdanie-dlja-vsekh-kategorii-i-grupp_2/ (дата обращения: 13.05.2021).

¹⁰ Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/> (дата обращения: 13.05.2021).

¹¹ Паспорт федерального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» / утв. Минздравом России, протокол от 14.12.2018 № 3 [Электронный ресурс] // Минтруд России. – URL: <https://mintrud.gov.ru/ministry/programms/demography/4> (дата обращения: 13.05.2021).

¹² Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/45da8841765f8eb5fcccef6cdb801897e354873b/ (дата обращения: 13.05.2021).

¹³ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ / принят Госдумой 21.12.2001. – Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения: 11.05.2022).

на 2–4 % от значений 2018 г. способно увеличить показатель ОПЖ на 16,5; 13,1 и 8,6 дня соответственно. Позитивный эффект на ОПЖ оказывает показатель «Доля расходов консолидированных бюджетов на социальную политику» – его прогнозируемый рост с 20,3 до 21,7 % увеличит ОПЖ на 10 дней. Снижение показателя социального неравенства (коэффициент Джини) с 41,3 до 40,3 % взаимосвязано с прибавкой ОПЖ в размере 1,8 дня.

Из группы экономических показателей наиболее значимыми являлись среднедушевые денежные доходы и потребительские расходы – их увеличение до 45 и 35,5 тыс. руб. в месяц связано с потенциальным ростом ОПЖ на 16,4 и 82,5 дня соответственно. Большой уровень дохода, вероятно, связан с большими возможностями улучшения образа жизни, его сдвига в сторону здорового типа. При этом рост потребительских расходов помимо экономических причин (инфляция), вероятно, может быть связан именно с приобретением товаров и услуг лучшего качества, позволяющих поддерживать и улучшать состояние здоровья. В данном исследовании не удалось подтвердить связь между увеличением валового регионального продукта и повышением показателя ОПЖ населения, которую обычно устанавливают исследователи. В большинстве исследований подобная связь устанавливается при помощи линейных моделей (парные / множественные регрессионные), которые могут значительно упрощать и механистически интерпретировать получаемые зависимости. К тому же часто такая связь устанавливается на данных межстранового (национального) уровня с более длительными временными промежутками наблюдения. Настоящее исследование использует модель искусственных нейронных сетей и опирается на данные мезоуровня (региональные) за десять лет, что могло повлиять как на расхождения в результатах, так и выявить особенности и закономерности, характерные для регионов и страны, а также динамически изменяющейся современной ситуации в целом.

В группе показателей, характеризующих систему здравоохранения, наиболее значимым являлся показатель «Численность врачей всех специальностей» и функционально связанный с ним «Нагрузка на работников сферы здравоохранения». Увеличение первого показателя согласно целевым значениям национального проекта «Здравоохранение»¹⁴ дает прибавку к ОПЖ населения РФ в 26,2 дня, соответствующее снижение второго обуславливает прирост ОПЖ на 21,9 дня. Кроме того, было установлено, что снижение «Доли расходов консолидированных бюджетов на здравоохранение» приводит к снижению ОПЖ в среднем по РФ на 4,4 дня. Изолированное увеличение «Мощности амбулаторно-

поликлинических организаций» способно увеличить ОПЖ на 2,9 дня.

В качестве ограничений настоящего исследования следует отметить, что используемая математическая модель описывает сложную систему нелинейных причинно-следственных связей между анализируемыми детерминантами и показателем ОПЖ, что приводит к нарушению свойств аддитивности результатов расчетов по различным сценариям – суммарное значение потенциала роста ОПЖ от сценарных изменений групп показателей по отдельности не совпадает с результатами комплексного сценарного изменения всех показателей. Как следствие, возникает сложность в корректном определении структуры вкладов эффектов отдельных детерминант на ОПЖ.

Результаты прогнозной оценки потенциала роста ОПЖ на уровне РФ в целом демонстрируют преемственность в оценке вклада разнородных факторов в состояние здоровья населения, дополняя и углубляя полученные ранее результаты исследований в данной области. Так, наиболее значимыми факторами, формирующими потенциал роста ОПЖ, являлись детерминанты образа жизни населения, а также факторы санитарно-эпидемиологического благополучия. При этом используемая модель прогнозной оценки потенциала роста ОПЖ имеет некоторые ограничения, такие как область определения модели. Адекватная прогнозная оценка потенциала роста ОПЖ на основе разработанной модели возможна только для макро- и мезоуровней (РФ и ее субъектов). Использование модели на данных других уровней (административно-территориальные единицы субъектов РФ, страновой уровень) требует переобучения модели и, возможно, уточнения перечня исследуемых СГД.

Выводы. В рамках построенной математической модели на основе искусственных нейронных сетей с использованием сценарных условий полного достижения запланированных национальными и федеральными проектами социально-гигиенических показателей установлен прогноз потенциала роста ОПЖ к 2024 г., который составил 3,0 года (1095 дней). Различия между значением ОПЖ от базового сценария и фактическим значением ОПЖ в 2018 г. составили не более 1,1 %, указывая на высокую точность получаемых прогнозных оценок потенциала роста показателя ОПЖ. Условная декомпозиция всей совокупности анализируемых детерминант на отдельные группы и их дальнейший анализ в виде индивидуальных сценариев их изменения к 2024 г. с последующим ранжированием значений потенциала роста ОПЖ выявили соответствие существующей на данный момент парадигме приоритетно-

¹⁴ Паспорт национального проекта «Здравоохранение» / утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/72185920/> (дата обращения: 13.05.2021).

сти влияния факторов образа жизни, экологических и социально-демографических факторов на здоровье населения. Наибольшие прогнозные значения потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни имели «Показатели образа жизни населения» (+1,26 г., или 461,2 дня), «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (+0,58 г., или 211,9 дня), «Показатели социально-демографической сферы» (+0,54 г., или 196,3 дня).

Разработанный алгоритм определения потенциала роста ОПЖ населения может выступать в качестве инструмента корректного определения приоритетных факторов / групп факторов (социально-гигиенических детерминант), влияющих на интегральный показатель здоровья (ОПЖ) на территории для лиц, принимающих управленческие решения в области улучшения медико-демографической ситуации. Кроме того, предложенная модель оценки соответствует современным представлениям о популяционном здоровье как сложной системе, требующей многостороннего подхода в исследовании, анализе и интерпретации результатов. Полученная модель множественных нелинейных взаимосвязей между социально-гигиеническими детерминантами и показателем ожидаемой продолжительности жизни может использоваться для:

- определения управляемых (органами исполнительной власти) приоритетных социально-гигиенических детерминант (далее – СГД), оказывающих наибольший эффект на изменение показателя ОПЖ;
- построения медико-демографических прогнозов достижения планируемых уровней ожидаемой продолжительности жизни с учетом сценарных условий изменения СГД и особенностей социально-экономической, санитарно-эпидемиологической и погоднo-климатической ситуации, сложившейся на конкретной территории (в субъекте Российской Федерации);
- совершенствования системы социально-гигиенического мониторинга и статистического наблюдения на региональном и федеральном уровнях путем оптимизации перечня мониторируемых показателей, совершенствования методов обработки,

анализа и оценки информации в области оценки состояния здоровья населения;

– разработки мероприятий профилактической направленности, позволяющих снизить или предотвратить воздействие конкретной СГД или группы данных детерминант на состояние здоровья населения;

– обеспечения объективной информацией лиц, принимающих участие в разработке и принятии управленческих решений, в том числе профилактического характера, направленных на сохранение и улучшение состояния здоровья населения, увеличение ОПЖ, обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и социально-экономического благосостояния.

В целях развития и практического внедрения результатов данного исследования в практику специалистов санитарно-эпидемиологической службы, научных организаций, занимающихся вопросами общественного здравоохранения, органов муниципальной власти разработана программа для ЭВМ «Социально-экономические и санитарно-гигиенические показатели и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения РФ» (дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 28.03.2022, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022614959), позволяющая проводить численные эксперименты по обученной ИНС, используя только численные значения базового и целевого сценариев.

В дальнейшем авторы планируют продолжить исследования в области изучения совокупного, долевого и взаимного влияния социально-гигиенических детерминант на показатели здоровья населения РФ (смертность, заболеваемость по причинам), в том числе на микро- (муниципальные данные) и макроуровни (межстрановой) и в разрезе гендерных и возрастных различий.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Доклад о человеческом развитии 2019. За рамками уровня доходов и средних показателей сегодняшнего дня: неравенство в человеческом развитии в XXI веке [Электронный ресурс] // ПРООН. – URL: http://www.hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019_overview_-_russian.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
2. Индексы и индикаторы человеческого развития. Обновленные статистические данные 2018 [Электронный ресурс] // ПРООН. – URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update_ru.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
3. Щербакова Е.М. Старение населения мира по оценкам ООН 2019 года [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly. – 2019. – № 837–838. – URL: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0837/barom01.php> (дата обращения: 31.04.2022).
4. Modig K., Rau R., Ahlbom A. Life expectancy: what does it measure? // BMJ Open. – 2020. – Vol. 10, № 7. – P. e035932. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-035932
5. Доклад о человеческом развитии 2020: Следующий рубеж – Человеческое развитие и антропоцен [Электронный ресурс] // ПРООН. – 2020. – URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020_ru.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
6. Здоровая и благополучная жизнь для всех. Доклад о ситуации с обеспечением справедливости в отношении здоровья в Европейском регионе ВОЗ [Электронный ресурс] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330667/9789289054768-rus.pdf> (дата обращения: 13.04.2022).

7. Мировая статистика здравоохранения, 2020 г.: мониторинг показателей здоровья в отношении ЦУР, целей в области устойчивого развития [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332070/9789240011977-rus.pdf?sequence=32&isAllowed=y> (дата обращения: 13.04.2022).
8. OECD and European Union. Health at a Glance: Europe 2020. State of Health in the EU Cycle. – Paris: OECD Publishing, 2020. – 237 p.
9. World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals [Электронный ресурс] // WHO. – 2019. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/324835/9789241565707-eng.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (дата обращения: 13.04.2022).
10. Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014 // Natl Vital Stat. Rep. – 2017. – Vol. 66, № 4. – P. 1–64.
11. GBD 2016 Mortality Collaborators. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 // Lancet. – 2017. – Vol. 390, № 10100. – P. 1084–1150. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31833-0
12. Preston S.H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. – USA: Wiley-Blackwell, 2001, 320 p.
13. Chandrasekaran C. Assessing the effect of mortality change in an age group on the expectation of life at birth // Janasamkhyā. – 1986. – Vol. 4, № 1. – P. 1–9.
14. Андреев Е.М. Метод компонент в анализе продолжительности жизни // Вестник статистики. – 1982. – № 9. – С. 42–47.
15. Методика оценки нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни / А.А. Миронова, А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов, Р.Б. Курбанисмаилов, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2020. – № 5. – С. 57–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-57-64
16. Колосницына М.Г., Коссова Т.В., Шелунцова М.А. Факторы роста ожидаемой продолжительности жизни: кластерный анализ по странам мира // Демографическое обозрение. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 124–150.
17. Коссова Т.В., Коссова Е.В., Шелунцова М.А. Анализ факторов, определяющих различие в ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин в регионах России // ЭКО. – 2018. – № 4. – С. 116–132.
18. Карпенко Е.М., Карпенко В.М., Голуб В.Н. Исследование влияния на продолжительность жизни населения различных социально-экономических факторов // Экономический вестник университета. – 2016. – № 30–1. – С. 57–63.
19. Разводковский Ю.Е., Голенков А.В. Макроэкономические показатели и ожидаемая продолжительность жизни в России // Acta Medica Eurasia. – 2020. – № 2. – С. 36–42.
20. Системный подход к достижению общенациональной цели по увеличению ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2024 году / Г.Э. Улумбекова, Н.Ф. Прохоренко, А.Б. Гинойян, А.В. Калашникова // Экономика. Налоги. Право. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 19–30. DOI: 10.26794/1999-849X-2019-12-2-19-30
21. Григорьев Ю.А., Баран О.И. Опыт многомерного статистического анализа в медико-демографических исследованиях // Вестник РАЕН. Западнo-Сибирское отделение. – 2017. – № 20. – С. 169–175.
22. Modeling causes of death: an integrated approach using CODEm / K.J. Foreman, R. Lozano, A.D. Lopez, C.J. Murray // Popul. Health Metr. – 2012. – Vol. 10. – P. 1. DOI: 10.1186/1478-7954-10-1
23. Jayasinghe S. Conceptualising population health: from mechanistic thinking to complexity science // Emerg. Themes Epidemiol. – 2011. – Vol. 8, № 1. – P. 2. DOI: 10.1186/1742-7622-8-2
24. The need for a complex systems model of evidence for public health / H. Rutter, N. Savona, K. Glonti, J. Bibby, S. Cummins, D.T. Finegood, F. Greaves, L. Harper [et al.] // Lancet. – 2017. – Vol. 390, № 10112. – P. 2602–2604. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31267-9
25. Величковский Б.Т. Социальная биология человека // Вестник РГМУ. – 2013. – № 5–6. – С. 9–18.
26. Основные социально-гигиенические факторы, определяющие состояние здоровья населения России / Н.Н. Заброда, М.А. Пинигин, Б.Т. Величковский // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2013. – № 5-6. – С. 23–26
27. Оценка влияния социально-экономических факторов на состояние здоровья населения Свердловской области в системе социально-гигиенического мониторинга / Т.М. Дерстуганова, Б.Т. Величковский, А.Н. Вараксин, В.Б. Гурвич, О.Л. Малых, Н.И. Кочнева, С.В. Ярушин // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 6. – С. 87–89.
28. Li Z., Li Y. A comparative study on the prediction of the BP artificial neural network model and the ARIMA model in the incidence of AIDS // BMC Med. Inform. Decis. Mak. – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. 143. DOI: 10.1186/s12911-020-01157-3
29. Renganathan V. Overview of artificial neural network models in the biomedical domain // Bratisl. Lek. Listy. – 2019. – Vol. 120, № 7. – P. 536–540. DOI: 10.4149/BLL_2019_087
30. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data / B. Eftekhari, K. Mohammad, H.E. Ardebili, M. Ghodsi, E. Ketabchi // BMC Med. Inform. Decis. Mak. – 2005. – Vol. 5. – P. 3. DOI: 10.1186/1472-6947-5-3
31. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for predicting in-hospital mortality after primary liver cancer surgery / H.-Y. Shi, K.-T. Lee, H.-H. Lee, W.-H. Ho, D.-P. Sun, J.-J. Wang, C.-C. Chiu // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. e35781. DOI: 10.1371/journal.pone.0035781
32. Аверьянова О.А., Коршак В.И. Искусственный интеллект в условиях современной медицины // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – № 42. – С. 34–38.
33. Выучейская М.В., Крайнова И.Н., Грибанов А.В. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284
34. Ганцев Ш.Х., Франц М.В. Искусственный интеллект как инструмент поддержки в принятии решений по диагностике онкологических заболеваний // Медицинский вестник Башкортостана. – 2018. – Т. 13, № 4 (76). – С. 67–71.
35. Гусев А.В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3 – С. 92–105.

36. Жариков О.Г., Ковалев В.А., Литвин А.А. Современные возможности использования некоторых экспертных систем в медицине // Врачи и информационные технологии. – 2008. – № 5. – С. 24–30.
37. Порьева Е.П., Евстафьева В.А. Искусственный интеллект в медицине // Вестник науки и образования. – 2019. – Т. 60, № 6–2. – С. 15–18.
38. Симанков В.С., Халафян А.А. Системный подход к разработке медицинских систем поддержки принятия решений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – Т. 157, № 1. – С. 29–36.

Прогноз потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации на основе сценарного изменения социально-гигиенических детерминант с использованием искусственной нейронной сети / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, М.В. Глухих, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01

UDC 613; 614

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01.eng

Read
online



Research article

PREDICTING GROWTH POTENTIAL IN LIFE EXPECTANCY AT BIRTH OF THE POPULATION IN THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON SCENARIO CHANGES IN SOCIO-HYGIENIC DETERMINANTS USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

N.V. Zaitseva¹, S.V. Kleyn^{1,3}, M.V. Glukhikh¹, D.A. Kiryanov^{1,2}, M.R. Kamaltdinov¹

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

²Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

³Perm State Medical University named after E.A. Wagner, 26 Petropavlovskaya Str., Perm, 614000,
Russian Federation

The article presents the result produced by predicting growth potential in life expectancy at birth (LEB) of the RF Population. The predictions are based on scenario changes in social and hygienic determinants (SHD) identified by using an artificial neural network (ANN). This research is vital given the existing social strategies aimed at improving the medical and demographic situation in the Russian Federation. These strategies stipulate achieving targets set within the major national and federal projects. We identified an optimal ANN structure based on a four-layer perceptron with two inner layers containing eight and three neurons accordingly. This structure is able to produce results at the highest determination coefficient ($R^2 = 0.78$). Differences between actual LEB levels and predicted ones obtained by using the suggested model did not exceed 1.1 % (or 0.8 years). We established that average LEB in the RF would reach 75.06 years (by 2024) provided that the demographic situation in the country recovers in the nearest future, LEB level reaches its values detected in 2018–2019,

© Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., 2022

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

Svetlana V. Kleyn – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Maxim V. Glukhikh – Junior Researcher (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

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

Marat R. Kamaltdinov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher acting as the Head of the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: kmr@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

and SHD values grow to their preset levels according to the target scenario. Therefore, the detected growth potential amounts to 3.0 years (1095 days) against 2018. "Lifestyle-related determinants" produce the greatest effects on the growth potential in LEB by 2024 (461 days). We also identified effects produced by such SHD groups as "Sanitary-epidemiological welfare on a given territory" (212 days), "Social and demographic indicators" (196 days), "Economic indicators" (131 days), "Indicators related to public healthcare" (70 days). An indicator that shows "A share of population doing physical exercises or sports" is the most significant determinant producing the greatest effects on potential changes in LEB. If it grows up to 55.0 %, a potential growth in LEB amounts to 243.5 days. If we do not consider COVID-related processes and rely only on the trends that are being observed now when predicting changes in the demographic situation by 2030, we can expect a possible additional growth in LEB that equals 286 days. The developed algorithm for determining growth potential in population LEB can be used as an instrument for determining and ranking priority health risk factors.

Keywords: life expectancy at birth, socio-hygienic determinants, artificial neural networks, factor analysis, prediction of a medical and demographic situation, growth potential, national projects, lifestyle, sanitary-epidemiological welfare.

References

1. Human Development Report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. *UNDP*, 2019. Available at: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2019pdf.pdf> (13.04.2022).
2. Human Development Indices and Indicators. 2018 Statistical Update. *UNDP*. Washington DC, USA, Communications Development Inc., 2018, 123 p.
3. Shcherbakova E.M. Starenie naseleniya mira po otsenkam OON 2019 goda [The aging of the world population according to UN estimates 2019]. *Demoskop Weekly*, 2019, no. 837-838. Available at: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0837/barom01.php> (31.04.2022) (in Russian).
4. Modig K., Rau R., Ahlborn A. Life expectancy: what does it measure? *BMJ Open*, 2020, vol. 10, no. 7, pp. e035932. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-035932
5. Human Development Report 2020. The next frontier. Human development and the Anthropocene. *UNDP*, 2020. Available at: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2020pdf.pdf> (13.04.2022).
6. Healthy, prosperous lives for all: the European Health Equity Status Report. *WHO Regional Office for Europe*, 2019. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326879> (13.04.2022).
7. World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. *WHO*, 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332070/9789240005105-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (13.04.2022).
8. OECD and European Union. Health at a Glance: Europe 2020. State of Health in the EU Cycle. Paris, OECD Publishing, 2020, 237 p.
9. World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. *WHO*, 2019. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/324835/9789241565707-eng.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (13.04.2022).
10. Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014. *Natl Vital Stat. Rep.*, 2017, vol. 66, no. 4, pp. 1–64.
11. GBD 2016 Mortality Collaborators. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*, 2017, vol. 390, no. 10100, pp. 1084–1150. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31833-0
12. Preston S.H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. USA, Wiley-Blackwell, 2001, 320 p.
13. Chandrasekaran C. Assessing the effect of mortality change in an age group on the expectation of life at birth. *Jana-samkhya*, 1986, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.
14. Andreev E.M. Metod komponent v analize prodolzhitel'nosti zhizni [Component method in lifespan analysis]. *Vestnik statistiki*, 1982, no. 9, pp. 42–47 (in Russian).
15. Mironova A.A., Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Kurbanismaylov R.B., Grjibovski A.M. Estimation method of contribution of cause-specific mortality to life expectancy. *Ekologiya cheloveka*, 2020, no. 5, pp. 57–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-57-64 (in Russian).
16. Kolosnitsyna M., Kossova T., Sheluntcova M. Factors of the life expectancy increase: country-level cluster analysis. *Demograficheskoe obozrenie*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 124–150 (in Russian).
17. Kossova T.V., Kossova E.V., Sheluntcova M.F. An analysis of the factors determining the difference in life expectancy of men and women in Russian regions. *EKO*, 2018, no. 4, pp. 116–132 (in Russian).
18. Karpenko E.M., Karpenko V.M., Golub V.N. Studying of different social and economic factors impact on duration of population living. *Ekonomicheskii vestnik universiteta*, 2016, no. 30–1, pp. 57–63 (in Russian).
19. Razvodovsky Yu.E., Golenkov A.V. Macroeconomic indicators and life expectancy in Russia. *Acta Medica Eurasia*, 2020, no. 2, pp. 36–42 (in Russian).
20. Ulumbekova G.E., Prokhorenko N.F., Ghinoyan A.B., Kalashnikova A.V. A system approach to achieving the national goal of increasing life expectancy to 78 years by 2024. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 19–30. DOI: 10.26794/1999-849X-2019-12-2-19-30 (in Russian).
21. Grigor'ev Yu.A., Baran O.I. Opyt mnogomernogo statisticheskogo analiza v mediko-demograficheskikh issledovaniyakh [Experience of multivariate statistical analysis in demographic and medical research]. *Vestnik RAEN. Zapadno-Sibirskoe otделение*, 2017, no. 20, pp. 169–175 (in Russian).
22. Foreman K.J., Lozano R., Lopez A.D., Murray C.J. Modeling causes of death: an integrated approach using CODEm. *Popul. Health Metr.*, 2012, vol. 10, pp. 1. DOI: 10.1186/1478-7954-10-1

23. Jayasinghe S. Conceptualising population health: from mechanistic thinking to complexity science. *Emerg. Themes Epidemiol.*, 2011, vol. 8, no. 1, pp. 2. DOI: 10.1186/1742-7622-8-2
24. Rutter H., Savona N., Glonti K., Bibby J., Cummins S., Finegood D.T., Greaves F., Harper L. [et al.]. The need for a complex systems model of evidence for public health. *Lancet*, 2017, vol. 390, no. 10112, pp. 2602–2604. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31267-9
25. Velichkovskiy B.T. Social human biology as a science. *Vestnik RGMU*, 2013, no. 5-6, pp. 9–18 (in Russian).
26. Zabroda N.N., Pinigin M.A., Velichkovskiy B.T. Major social factors determining the state of public health in Russia. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2013, no. 5–6, pp. 23–26
27. Derstuganova T.M., Velichkovskiy B.T., Varaksin A.N., Gurvich V.B., Malykh O.L., Kochneva N.I., Yarushin S.V. Assessment of the impact of socio-economic factors on the health state of the population of the Sverdlovsk region in the system of social-hygienic monitoring. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 6, pp. 87–89 (in Russian).
28. Li Z., Li Y. A comparative study on the prediction of the BP artificial neural network model and the ARIMA model in the incidence of AIDS. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 143. DOI: 10.1186/s12911-020-01157-3
29. Renganathan V. Overview of artificial neural network models in the biomedical domain. *Bratisl. Lek. Listy*, 2019, vol. 120, no. 7, pp. 536–540. DOI: 10.4149/BLL_2019_087
30. Eftekhari B., Mohammad K., Ardebili H.E., Ghodsi M., Ketabchi E. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, 2005, vol. 5, pp. 3. DOI: 10.1186/1472-6947-5-3
31. Shi H.-Y., Lee K.-T., Lee H.-H., Ho W.-H., Sun D.-P., Wang J.-J., Chiu C.-C. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for predicting in-hospital mortality after primary liver cancer surgery. *PLoS One*, 2012, vol. 7, no. 4, pp. e35781. DOI: 10.1371/journal.pone.0035781
32. Averianova O., Korshak V. Artificial intelligence in the modern medicine. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire*, 2016, no. 42, pp. 34–38 (in Russian).
33. Vyucheyanskaya M.V., Kraynova I.N., Gribanov A.V. Neural network technologies in medical diagnosis (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284 (in Russian).
34. Gantsev Sh.Kh., Frants M.V. Artificial intelligence as a tool for decision-making support in the diagnostics of oncological diseases. *Meditinskii vestnik Bashkortostana*, 2018, vol. 13, no. 4 (76), pp. 67–71 (in Russian).
35. Gusev A.V. Prospects for neural networks and deep machine learning in creating health solutions. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2017, no. 3, pp. 92–105 (in Russian).
36. Zharikov O.G., Kovalev V.A., Litvin A.A. Sovremennye vozmozhnosti ispol'zovaniya nekotorykh ekspertnykh sistem v meditsine [Modern possibilities of using some expert systems in medicine]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2008, no. 5, pp. 24–30 (in Russian).
37. Poryaeva E.P., Evstafieva V.A. Artificial intelligence in medicine. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2019, vol. 60, no. 6–2, pp. 15–18 (in Russian).
38. Simankov V.S., Khalaphyan A.A. The system approach to working out of medical decision support system. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 1 (157), pp. 29–36 (in Russian).

Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R. Predicting growth potential in life expectancy at birth of the population in the Russian Federation based on scenario changes in socio-hygienic determinants using an artificial neural network. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01.eng

Получена: 09.06.2022

Одобрена: 18.06.2022

Принята к публикации: 27.06.2022

УДК 614.3
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.02

Читать
онлайн



Научная статья

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕЖЕГОДНЫХ ПЛАНОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОВЕРОК ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ И ОРГАНИЗАЦИЯМИ РОСПОТРЕБНАДЗОРА В РАМКАХ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, М.Ю. Цинкер, В.М. Чигвинцев, С.В. Бабина

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

В основе существующей модели контрольно-надзорной деятельности лежит процедура отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определённому классу (категории) опасности. Целью представленной работы являлось развитие и совершенствование алгоритмов формирования ежегодных планов проведения проверок территориальными органами и организациями Роспотребнадзора в рамках риск-ориентированной модели.

Впервые сформулированы концептуальная и математическая постановки задачи планирования контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора, которые позволили в том числе учесть историю нарушений (добросовестность субъекта) в течение периода времени, параметры доступности объектов для проверки, которые включают в себя как региональные особенности (расстояние между объектами, качество дорог), так и «сложность» проверки отдельных объектов. В ходе анализа математической постановки выявлены параметры модели, оказывающие наибольшее влияние на решение, то есть наиболее чувствительные параметры, на регулирование которых следует обратить внимание с целью повышения эффективности контрольно-надзорной деятельности.

Сформированы алгоритмы планирования с установленными значениями параметров (программы сценарного прогнозирования) и выполнена апробация предложенных алгоритмов на региональном уровне. Разработаны три критерия сравнения алгоритмов: охват количества субъектов, подлежащих проверке, охват количества объектов, подлежащих проверке, охват по суммарному риску. Результаты апробации показали, что комбинированный алгоритм демонстрирует более высокие показатели охвата, так как в этом случае при проверке субъекта анализируются не все объекты, и общие трудозатраты на проверку снижаются.

Предложенные подходы позволяют эффективно распределять и использовать ресурсы Роспотребнадзора при проведении плановых проверок.

Ключевые слова: алгоритмы планирования, контрольно-надзорная деятельность, хозяйствующие субъекты, плановые проверки, риск-ориентированный надзор, класс опасности, фонд рабочего времени, математическая модель.

Риск-ориентированный подход в Российской Федерации активно внедряется в различных областях [1–6]: государственный портовый контроль, государственный надзор в области промышленной безопасности, таможенный контроль и пр. В области планирования контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора опыт внедрения риск-ориентированного подхода имеют Республики Беларусь и Ка-

захстан. Анализ российской практики риск-ориентированного регулирования и предложения по развитию его инструментов представлены в исследовании [7]. Особое внимание авторы статьи уделяют риск-ориентированному регулированию финансового сектора экономики и регулированию рисков в области охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций. В работе А.Ю. Шеиной и Д.Е. Хмельёвой [8]

© Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М., Бабина С.В., 2022

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>).

Камалтдинов Марат Решидович – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: kmr@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

Цинкер Михаил Юрьевич – младший научный сотрудник лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: cinker@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

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

Бабина Светлана Владимировна – заведующий лабораторией информационно-вычислительных систем и технологий (e-mail: bsv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9222-6805>).

рассматривается применение методов риск-ориентированного подхода в методике налогового контроля. Другие исследователи рассматривают зарубежный и российский опыт эффективности применения риск-ориентированного подхода при инспектировании технических устройств на нефтегазовых объектах [9]. Оценка риска проводится с помощью составления матрицы риска (формируется исходя из вероятности и наступления события и его «тяжести»), которая облегчает принятие эффективных и структурированных решений. В статье В.В. Рудько-Силиванова с соавт. [10] описывается методический подход к осуществлению риск-ориентированного надзора за деятельностью кредитных организаций. Концепция риск-ориентированного подхода и его практическое применение широко используется в области внутреннего аудита [11, 12]. В статье А.В. Сметанко [13] предложена методика планирования риск-ориентированного подхода по ключевым показателям эффективности. Использование риск-ориентированных подходов при планировании контрольных мероприятий надзорными органами МЧС России представлено в работе С.П. Воронова и др. [14]. В работе [15] приведена методика оптимального планирования профилактических мероприятий в системе управления охраной труда. Разработана методика оптимального планирования комплексов профилактических мероприятий на основе критерия минимизации остаточного профессионального риска с учетом заданных технико-экономических ограничений. Рассмотрены современные методы планирования мероприятий по повышению защищенности критически важных объектов, основанные на использовании программно-целевых подходов [16]. Кроме того, планирование и организация системы здравоохранения в условиях ограниченных ресурсов представлены в работе [17]. Таким образом, прослеживаются современные тенденции широкого применения риск-ориентированных подходов в различных областях.

В Постановлении Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»¹, а также в методических рекомендациях МР 5.1.0116-17 «Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспече-

ния санитарно-эпидемиологического благополучия. Классификация хозяйствующих субъектов, видов деятельности и объектов надзора по потенциальному риску причинения вреда здоровью человека для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий»² закреплены правила отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности. В основе модели контрольно-надзорной деятельности лежит процедура категорирования деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов по степени потенциального риска причинения вреда здоровью населения, находящегося под влиянием хозяйственной деятельности [18].

Ранее авторами статьи предложен алгоритм планирования контрольно-надзорной деятельности, в основе которого лежит процедура пошагового добавления хозяйствующих субъектов, начиная от первого класса опасности, в план до исчерпания ресурсов, исходя из фонда рабочего времени [19, 20]. Естественно предположить, что использование только одного признака (класса опасности) для построения планов контрольно-надзорных мероприятий не является оптимальным решением, обеспечивающим достаточность покрытия проверяемых видов деятельности хозяйствующих субъектов и их объектов. В связи с этим использование дополнительных признаков при планировании контрольно-надзорной деятельности может привести к повышению ее эффективности. Одним из возможных дополнительных признаков может являться отсутствие нарушений (законопослушность субъекта) в течение периода времени как по комплексу нарушений, так и по отдельным фактам (по измеряемым показателям, веществам). Вторым путем повышения эффективности планирования деятельности является сокращение времени на одну проверку, например, путем выбора приоритетных объектов и оптимальной программы лабораторного сопровождения.

В связи с этим требуется дальнейшее развитие теоретических и прикладных аспектов планирования контрольно-надзорной деятельности:

– разработка алгоритмов построения ежегодных планов проведения проверок, осуществляющих

¹ О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 25.02.2022).

² МР 5.1.0116-17. Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Классификация хозяйствующих субъектов, видов деятельности и объектов надзора по потенциальному риску причинения вреда здоровью человека для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий / утв. и введ. в действие Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 11 августа 2017 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/555601296> (дата обращения: 25.02.2022).

дифференцированный подход к планированию с учетом класса опасности деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов;

– сравнительный анализ предложенных алгоритмов с целью выявления наиболее рациональных решений по планированию деятельности.

Цель исследования – развитие и совершенствование алгоритмов формирования ежегодных планов проверок органами и организациями Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации в рамках риск-ориентированной модели. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

♦ выполнена параметризация процессов взаимодействия Роспотребнадзора и хозяйствующих субъектов в рамках контрольно-надзорной деятельности;

♦ концептуально и математически сформулирована задача планирования контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора в рамках проведения плановых проверок;

♦ осуществлена идентификация параметров модели и проведено исследование системы уравнений, предложенной в рамках математической постановки задачи, на чувствительность к изменению параметров;

♦ сформированы алгоритмы планирования с установленными значениями параметров (программы сценарного прогнозирования) и выполнена апробация предложенных алгоритмов на региональном уровне РФ в рамках риск-ориентированной модели.

Материалы и методы. В работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, статистического и регрессионного анализа.

В целом Роспотребнадзор имеет сложную иерархическую структуру, в рамках данной статьи рассматривается контрольно-надзорная деятельность (КНД) подразделений территориальных управлений Роспотребнадзора и их филиалов. Для параметризации мощностей Роспотребнадзора целесообразно выделить следующие характеристики надзорной службы: численность сотрудников согласно штатному расписанию, задействованных в проведении плановых контрольно-надзорных мероприятий по подразделениям (направлениям надзора), лабораторные мощности (количество сотрудников, количество проб по факторам). У хозяйствующих субъектов выделяются следующие параметры: потенциальный риск причинения вреда здоровью в разрезе видов деятельности, производственных объектов; доля (частота) выявленных нарушений в разрезе видов деятельности, производственных объектов; класс субъекта; класс по видам деятельности; класс по производственным объектам; периодичность проверок; дата последней проверки.

Основная гипотеза исследования – при проведении проверок расходуются ресурсы Роспотребнадзора (материальные и временные). Материальные затраты выражаются в финансовой оценке трудозатрат (зарплата работников, выполняющих КНД)

и затратах на сопровождение проверки (документарное и лабораторное). При проведении проверки ресурсы расходуются из общего ресурсного фонда в годовом выражении. При разработке алгоритмов планирования целесообразно обеспечить равномерность расхода ресурсов (откуда вытекает равномерность нагрузки) в реальном времени. Следует отметить, что временные ресурсы выражены в фактических величинах, поэтому требуется их соотнесение с реальной временной шкалой для планирования проверок в рамках календарного года. Представляется целесообразным ввести две оси времени: непрерывная ось временных фактических трудозатрат и реальный календарь, которые связаны между собой оператором преобразования. В этом случае в план может быть проставлено сразу несколько субъектов. Данное преобразование также необходимо в связи с тем, что в нормативных документах встречаются требования по длительности проверки, выраженные в реальном времени.

В рамках предложенных подходов рассмотрены правила классификации хозяйствующих субъектов, их видов деятельности и производственных объектов, правила перехода от категории риска к периодичности проверок, правила регулирования параметров проверки, правила использования мощностей подразделений Роспотребнадзора. В результате сформирован концептуальный и математический базис для описания рассматриваемых процессов. Для того чтобы не перегружать текст статьи, далее приведены только основные математические соотношения, используемые в алгоритмах.

Формула для общего фонда рабочего времени на контрольно-надзорную деятельность в рамках проведения плановых проверок на начало года имеет вид:

$$H_0 = \delta \cdot N \cdot (h_f \cdot Y_f + h_{nf} \cdot Y_{nf}), \quad (1)$$

где H_0 – общий фонд рабочего времени на проведение плановых проверок на начало года, человеко-часы;

δ – доля рабочего времени сотрудников Роспотребнадзора на проведение плановых проверок;

N – численность сотрудников Роспотребнадзора, задействованных в контрольно-надзорной деятельности;

h_f – количество часов в полном рабочем дне;

Y_f – количество полных рабочих дней в календарном году (за вычетом отпускных дней);

h_{nf} – количество часов в сокращенном рабочем дне (например, предпраздничном);

Y_{nf} – количество сокращенных рабочих дней в календарном году.

Реальное время T и переменная времени t , затрачиваемого на проведение плановых проверок, связаны преобразованием:

$$T = \frac{365 \cdot 24}{\delta(h_f \cdot Y_f + h_{nf} \cdot Y_{nf})} t, \quad (2)$$

где t – переменная рабочего времени сотрудников, затрачиваемого на проведение плановых проверок; T – переменная реального времени.

Базовый вариант функции трудозатрат на проверку предполагает мультипликативность влияния факторов на длительность проверки:

$$h_{jl} = h_{jl\max} f(r_{jl}) \cdot f(v, K_{jl}) \cdot f(p_{jvl}), \quad (3)$$

где h_{jl} – трудозатраты на проверку l -го объекта j -го хозяйствующего субъекта, человеко-часы;

$h_{jl\max}$ – максимально возможные трудозатраты на проверку l -го объекта j -го хозяйствующего субъекта при $f(r_{jl}) \cdot f(v, K_{jl}) \cdot f(p_{jvl}) = 1$, человеко-час;

$f(r_{jl})$ – непрерывная функция от коэффициента доступности l -го объекта j -го хозяйствующего субъекта;

$f(v, K_{jl})$ – дискретная функция от вида деятельности и класса опасности объекта, принимающая значение от 0 до 1;

$f(p_{jvl})$ – непрерывная функция от частоты выявленных нарушений по v -му виду деятельности, принимающая значение от 0 до 1.

Формулы связи ресурсов Роспотребнадзора (в левой части) с трудозатратами, необходимыми на проведение проверок (в правой части):

$$Nt = \sum_j h_j(t), \quad (4)$$

где N – численность сотрудников Роспотребнадзора, задействованных в контрольно-надзорной деятельности;

$h_j(t)$ – трудозатраты на проверку j -го хозяйствующего субъекта, расходуемые к моменту времени t при проверке j -го субъекта, человеко-часы.

Трудозатраты на проверку j -го хозяйствующего субъекта определяются из количества проверяемых объектов и трудозатрат на их проверку:

$$h_j = \sum_{l=1}^L a_{jl} h_{jl}, \quad (5)$$

где h_j – трудозатраты на проверку j -го хозяйствующего субъекта, человеко-часы;

L – количество объектов у хозяйствующего субъекта, подлежащих проверке;

a_{jl} – весовые коэффициенты (от 0 до 1).

Для основного проверяемого объекта, поставленного в план, можно принять $a_{jl} = 1$, для остальных объектов $a_{jl}(v) < 1$ – в зависимости от вида деятельности. Таким образом, коэффициент для основ-

ного проверяемого объекта отражает трудозатраты как на оформление документов по проверке хозяйствующего субъекта (подготовка распоряжения, запроса экспертов, уведомления хозяйствующих субъектов, акта проверки, постановления, предписания, представления, протоколов об административном нарушении и т.д.), так и на время нахождения на объекте. Коэффициенты $a_{jl}(v) < 1$ для остальных проверяемых объектов отражают дополнительные трудозатраты, возникающие при проверке объектов, в том числе по адресу расположения основного объекта и по прочим адресам фактического осуществления деятельности (вне основной площадки).

На текущий момент некоторые ориентиры трудозатрат установлены в методических рекомендациях «Примерные нормативы деятельности органов и организаций федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в условиях бюджетирования, ориентированного на результат», утвержденных приказом Роспотребнадзора от 10 октября 2008 г. № 368³. Кроме того, существуют расчетно-нормативные затраты на проведение плановых проверок субъектов и объектов, установленные из региональной практики. Данные документы не содержат информацию о классе опасности видов деятельности проверяемых субъектов и их производственных объектов, в связи с этим представленные нормативы приняты как характерные для некоторого среднего по риску субъекта (третьего класса опасности по виду деятельности). Кроме того, выполнена экстраполяция имеющихся данных при использовании их в качестве опорных точек по видам деятельности и классам опасности. С помощью соотношения дополнительного времени на один прочий адрес фактического осуществления деятельности и общих трудозатрат на проверку первого (основного) объекта по основному адресу, к которому приписаны трудозатраты на оформление документов, получены коэффициенты a_{jl} для всех первых объектов по каждому адресу.

В ходе идентификации диапазонов варьирования параметров и исследования чувствительности решений модели к изменению параметров выделены наиболее чувствительные из них: коэффициент на частоту проверок при отсутствии нарушений, экстраполированные значения функции трудозатрат.

Алгоритмы планирования представляют собой правила формирования плана проверок видов деятельности хозяйствующих субъектов и их производственных объектов в рамках риск-ориентированной модели. Предложены три алгоритма планирования: базовый, альтернативный, комбинированный. Сценарии прогнозирования включают в себя варианты

³ Об утверждении методических рекомендаций «Примерные нормативы деятельности органов и организаций Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в условиях бюджетирования, ориентированного на результат»: Приказ Роспотребнадзора от 10 октября 2008 г. № 368 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/4187404/> (дата обращения: 01.03.2022).

с реалистичными, минимальными и максимальными значениями параметров.

Базовый алгоритм планирования соответствует текущему законодательству и основан на том положении, что проверке подлежит хозяйствующий субъект со всеми объектами по виду деятельности, подлежащему проверке. Основные этапы алгоритма:

1) выделение на основе анализа реестра хозяйствующих субъектов, видов деятельности ЮЛ и ИП, подлежащих надзору в плановом периоде времени согласно требованиям действующих нормативных документов;

2) из перечня хозяйствующих субъектов, подлежащих надзору в плановом периоде времени, формируется упорядоченный (сортированный) по риску список хозяйствующих субъектов и видов деятельности. Учитывая высокую гигиеническую значимость некоторых видов деятельности хозяйствующих субъектов, во главу сортированного списка ставят виды деятельности хозяйствующих субъектов, указанные в постановлении Правительства РФ № 944 от 23 ноября 2009 г.⁴;

3) в план ставится первый в списке субъект со всеми объектами по виду деятельности, подлежащему проверке, осуществляется расчет необходимых трудозатрат на проверку в соответствии с соотношением (3);

4) определяется количество специалистов, задействованных в проверке субъекта;

5) рассчитывается реальное время, затрачиваемое на проверку, $-t$ (из формулы (4)), и календарное время $-T$ – окончания проверки субъекта (2), при этом в план проставляется максимальное время окончания проверки в соответствии с законодательством для обеспечения гибкости контрольно-надзорной деятельности;

6) в том случае, если остаются специалисты, не задействованные в проверке, в план включается еще один субъект на ту же дату проверки, и так до исчерпания специалистов;

7) если оставшихся специалистов недостаточно для проверки субъекта, который стоит следующим по плану, субъект ставится в приоритетную очередь и будет поставлен в план, как только число освободившихся специалистов будет достаточным для проверки; при этом в план на текущую дату ставится первый в списке субъект, для которого текущего количества специалистов достаточно;

8) по мере окончания проверки субъекта (на рассчитанное по алгоритму время, а не поставленное в плане в соответствии с максимальными сроками) специалисты освобождаются, и в план ставится следующий субъект, причем первенство отдается субъектам из приоритетной очереди.

Альтернативный алгоритм отталкивается не от анализа реестра хозяйствующих субъектов, а от составления списка их производственных объектов, и основан на проверке только тех объектов, которые подлежат надзору в соответствии с установленным законодательством:

1) выделение на основе анализа реестра объектов, подлежащих надзору в плановом периоде времени согласно требованиям действующих нормативных документов;

2) формирование упорядоченного по риску списка объектов, приоритет отдается объектам с видом деятельности, указанным в постановлении Правительства РФ № 944 от 23 ноября 2009 г.⁴;

3) в план ставится субъект с первым в списке объектом, при этом проверке у субъекта подлежат только объекты, попавшие в план на этапе 1, осуществляется расчет необходимых трудозатрат на проверку в соответствии с соотношением (3).

Этапы 4–8 аналогичны базовому алгоритму.

Третий алгоритм основан на комбинированном подходе. Первые два пункта комбинированного алгоритма аналогичны базовому алгоритму. При этом проверке подлежат только объекты из списка, сформированного в альтернативном алгоритме, и на третьем этапе трудозатраты считаются только по этим объектам. Все остальные пункты алгоритма аналогичны базовому.

Введены три критерия сравнения алгоритмов: охват количества субъектов, подлежащих проверке, охват количества объектов, подлежащих проверке, охват по суммарному риску. Все введенные критерии принимают значения от 0 до 1. Охват количества субъектов, подлежащих проверке, равен отношению количества субъектов, попавших в план, к общему количеству субъектов, подлежащих проверке в рамках календарного года. Охват количества объектов, подлежащих проверке, равен отношению количества объектов, попавших в план, к общему количеству объектов, подлежащих проверке в рамках календарного года. Охват по суммарному риску равен отношению потенциального риска причинения вреда здоровью от деятельности субъектов, попавших в план, к потенциальному риску причинения вреда здоровью от деятельности субъектов, подлежащих проверке.

Реалистичные сценарии прогнозирования предполагают задание базовых значений всех коэффициентов, определенных на этапе идентификации параметров модели. В сценариях с максимальными значениями параметров зададим коэффициенты a_{ji} для первых, вторых и последующих объектов по каждому

⁴ Об утверждении перечня видов деятельности в сфере здравоохранения, сфере образования, социальной сфере, в области производства, использования и обращения драгоценных металлов и драгоценных камней, осуществляемых юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, в отношении которых плановые проверки проводятся с установленной периодичностью: постановление Правительства РФ № 944 от 23 ноября 2009 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/12171128/> (дата обращения: 01.03.2022).

адресу в 1,5 раза выше, чем в реалистичном варианте. В сценариях с минимальными значениями параметров зададим коэффициент a_{ji} для первых, вторых и последующих объектов по каждому адресу в 1,5 раза ниже, чем в реалистичном варианте. Рассмотрение вариативности параметра a_{ji} представляется важным, так как предложенный альтернативный и комбинированный подходы к планированию ориентированы на использование классов объектов.

Таким образом, всего рассмотрено девять сценариев составления графика плановых проверок: минимальный базовый, реалистичный базовый, максимальный базовый, минимальный альтернативный, реалистичный альтернативный, максимальный альтернативный, минимальный комбинированный, реалистичный комбинированный, максимальный комбинированный. Результатом расчетов являются сформированные таблицы с датами плановых проверок и объемами трудозатрат на проверку.

Результаты и их обсуждение. Апробация предложенных подходов выполнена на модельном регионе РФ. Количество специалистов, задействованных в контрольно-надзорной деятельности, – 272. Параметр доли рабочего времени сотрудников Роспотребнадзора на плановые проверки $\delta = 0,32$. В 2019 г. число полных рабочих дней равнялось 241 дню, сокращенных на один час – 6 дням. Таким образом, по формуле (1) общий фонд рабочего времени на контрольно-надзорную деятельность, человеко-часы, равен:

$$H_0 = 0,32 \cdot 272 \cdot (241 \cdot 8 + 6 \cdot 7) = 171\,468,8 \text{ ч} \quad (6)$$

Реестр хозяйствующих субъектов, видов деятельности, производственных объектов модельного региона содержит 17 049 реализуемых субъектами видов деятельности, 35 301 производственный объект (чрезвычайно высокого риска – 1359, высокого риска – 3868, значительного риска – 6871, среднего – 10 031, умеренного – 9135, низкого – 3767). Суммарный риск причинения вреда здоровью по всем объектам равен 1,346, при этом объекты первой категории (чрезвычайно высокого риска) охватывают 83,9 % суммарного риска, а объекты второй категории (высокого риска) – 11,1 % суммарного риска.

В соответствии с правилами перехода от категории риска к периодичности проверок для каждого вида деятельности и производственного объекта заданы коэффициенты периодичности проверок. На основе коэффициентов периодичности с помощью генератора случайной величины, подчиняющегося равномерному закону распределения, сформированы перечни субъектов и объектов, подлежащих проверке в календарном году, для всех трех алгоритмов (пункты 1–2 алгоритмов).

В базовом алгоритме в перечень попали 4205 субъектов, 4710 видов деятельности, реализуемых хозяйствующими субъектами, 9966 объектов (28,2 % от всех объектов в реестре), из них 1211 объектов первой категории (89,1 %) и 1901 объект второй категории (49,1 %). Суммарный риск причинения

вреда здоровью по всем объектам в перечне равен 1,149, что составляет 85,3 % суммарного риска по всем объектам в реестре. В реалистичном базовом сценарии необходимые трудозатраты на проверку всех объектов хозяйствующих субъектов, попавших в план, составляют 374 684,1 ч, в максимальном базовом – 401 091,7 ч, а в минимальном базовом – 357 079,1 ч. Можно видеть, что во всех базовых сценариях ресурсов Роспотребнадзора модельного региона не хватает на охват всех производственных объектов (формула (6)), подлежащих проверке.

Приведена часть таблицы с результатами расчета необходимых трудозатрат по базовому алгоритму для каждого субъекта, ранжированного по риску причинения вреда здоровью, в трех сценариях: реалистичном, максимальном и минимальном (п. 3 алгоритма) (табл. 1). В первом приближении число специалистов, задействованных в проверке субъекта N , принято равным 4 во всех алгоритмах (п. 4 алгоритмов). Результаты расчетов показывают, что трудозатраты при большем количестве объектов могут быть на порядок выше при близких значениях риска и одинаковом классе опасности субъектов.

В табл. 2 приведен пример результатов расчета реального времени, затрачиваемого на проверку, – t (из формулы (4)), и календарного времени – T – окончания проверки субъекта для базового реалистичного сценария (п. 5–8 алгоритма).

Можно видеть, что для некоторых субъектов (особенно для первых в списке, для которых характерны высокие трудозатраты) дата окончания проверки, установленная по законодательству, ниже даты реального окончания проверки, рассчитанной по трудозатратам. Очевидно, что в реальности для субъектов с высокой категорией риска и большим количеством объектов необходимо большее количество специалистов, чтобы успеть завершить проверку в установленные сроки.

В результате в базовом реалистичном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1068 субъектов (25,4 % от необходимого количества); 4877 объектов, что составляет 48,9 % от всех объектов, подлежащих проверке, 1,143 риска (99,5 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). Охват проверками объектов первой и второй категорий составляет 100 % (1211 объектов) и 86,6 % (1647 объектов) соответственно. В базовом максимальном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 856 субъектов (20,4 % от необходимого количества), 3911 объектов (39,2 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,141 риска (99,3 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). При этом охват проверками объектов первой и второй категорий составляет всего 76,1 %. В базовом минимальном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1254 субъекта (29,8 % от необходимого количества), 5551 объект (55,7 % от всех объектов, подлежащих

Таблица 1

Результаты расчета необходимых трудозатрат по базовому алгоритму для каждого субъекта (пример)

Номер субъекта	Суммарный риск	Трудозатраты в реалистичном сценарии, ч	Трудозатраты в максимальном сценарии, ч	Трудозатраты в минимальном сценарии, ч	Количество объектов
1	2,09E-01	922,5	1311,3	663,3	28
2	1,14E-01	548,1	749,7	413,7	15
3	1,89E-01	173,7	188,1	164,1	4
4	7,60E-02	323,1	382,5	303,9	12
5	6,99E-02	349,2	356,4	344,4	5
6	4,47E-02	231,3	274,5	202,5	27
7	3,51E-02	188,1	209,7	173,7	9
8	2,19E-02	375,3	490,5	298,5	13
9	2,28E-02	303,3	382,5	250,5	10
10	1,63E-02	260,1	317,7	221,7	7
11	1,55E-02	173,7	188,1	164,1	3
12	1,31E-02	144,9	144,9	144,9	2
13	2,65E-02	231,3	274,5	202,5	5
14	2,30E-02	620,1	857,7	469,2	48
15	1,03E-02	349,2	356,4	344,4	2
16	9,12E-03	173,7	188,1	164,1	2
17	1,16E-02	1547,1	2187,9	1119,9	115
18	9,80E-03	385,2	410,4	368,4	23
19	6,50E-03	349,2	356,4	344,4	2
20	5,32E-03	144,9	144,9	144,9	1

Таблица 2

Результаты расчета реального времени, затрачиваемого на проверку – t (из формулы (4)), и календарного времени – T – окончания проверки субъекта для базового реалистичного сценария (пример)

Номер субъекта	t , ч	T , ч	Дата начала проверки	Дата окончания проверки	Дата реального окончания проверки, рассчитанная по трудозатратам
1	230,63	3204,75	01.01.2019	21.01.2019	14.05.2019
2	137,03	1904,09	01.01.2019	21.01.2019	21.03.2019
3	43,43	603,43	01.01.2019	21.01.2019	26.01.2019
4	80,78	1122,44	01.01.2019	21.01.2019	16.02.2019
5	87,30	1213,12	01.01.2019	21.01.2019	20.02.2019
6	57,83	803,53	01.01.2019	21.01.2019	03.02.2019
7	47,03	653,46	01.01.2019	21.01.2019	28.01.2019
8	93,83	1303,79	01.01.2019	21.01.2019	24.02.2019
9	75,83	1053,66	01.01.2019	21.01.2019	13.02.2019
10	65,03	903,58	01.01.2019	21.01.2019	07.02.2019
...
101	60,45	840,01	18.02.2019	10.03.2019	25.03.2019
102	36,56	508,07	18.02.2019	10.03.2019	11.03.2019
103	55,74	774,52	20.02.2019	12.03.2019	24.03.2019
104	26,49	368,07	20.02.2019	12.03.2019	07.03.2019
105	26,49	368,07	20.02.2019	12.03.2019	07.03.2019
106	26,49	368,07	20.02.2019	12.03.2019	07.03.2019
107	146,74	2039,06	20.02.2019	12.03.2019	16.05.2019
108	23,89	331,94	21.02.2019	13.03.2019	07.03.2019
109	46,31	643,56	22.02.2019	14.03.2019	21.03.2019
110	33,53	465,86	24.02.2019	16.03.2019	15.03.2019

проверке), 1,144 риска (99,6 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). В этом сценарии охват проверками объектов первой и второй категорий составляет 99,9 %.

В альтернативном алгоритме в перечень попали 4882 субъекта, 10 764 объекта (30,5 % от всех объектов в реестре), из них 1116 объектов первой категории (82,1 %) и 1839 объектов второй катего-

рии (47,5 %). Суммарный риск причинения вреда здоровью по всем объектам в перечне равен 1,157, что составляет 85,3 % суммарного риска по всем объектам в реестре. В реалистичном альтернативном сценарии необходимые трудозатраты на проверку всех объектов хозяйствующих субъектов, попавших в план, составляют 388 655,5 ч, в минимальном альтернативном – 401 091,7 ч, а в макси-

мальном альтернативном – 410 862,7 ч. Можно видеть, что во всех альтернативных сценариях ресурсов Роспотребнадзора модельного региона не хватает на охват всех производственных объектов (формула (6)), подлежащих проверке.

В результате в альтернативном реалистичном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1027 субъектов (21 % от необходимого количества), 5035 объектов (47,2 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,148 риска (99,2 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). Охват проверками объектов первой и второй категорий составляет 100 % (1116 объектов) и 93,2 % (1715 объектов) соответственно. В альтернативном максимальном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 880 субъектов (18 % от необходимого количества), 4061 объект (38 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,146 риска (99,1 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). При этом охват проверками объектов первой и второй категорий составляет всего 82,5 %. В альтернативном минимальном сценарии в течение календарного года проверками будут охвачены 1151 субъект (23,6 % от необходимого количества), 5260 объектов (49,3 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,149 риска (99,4 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). В этом сценарии охват проверками объектов первой и второй категорий составляет 97,4 %.

В комбинированном алгоритме предполагается, что если у субъекта, который необходимо проверить в календарном году, только один производственный объект, он проверяется независимо от результатов попадания объекта в перечень по альтернативному алгоритму. В комбинированном алгоритме в перечень попали 3961 субъект, 7134 объекта (20,2 % от всех объектов в реестре), из них 1033 объекта первой категории (76,0 %) и 1205 объектов второй категории (31,1 %). Суммарный риск причинения вреда здоровью по всем объектам в перечне равен 1,112, что составляет 82,4 % суммарного риска по всем объектам в реестре. В реалистичном комбинированном сценарии необходимые трудозатраты на проверку всех объектов хозяйствующих субъектов, попавших в план, составляют 306 550 ч, в максимальном комбинированном – 322 266,3 ч, а в минимальном комбинированном – 296 105,5 ч. Можно видеть, что во всех комбинированных сценариях ресурсов Роспотребнадзора модельного региона не хватает на охват всех производственных объектов (формула (6)), подлежащих проверке. Однако по сравнению с базовым и альтернативным алгоритмами необходимые трудозатраты примерно на четверть меньше.

В результате в комбинированном реалистичном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1337 субъектов (33,8 % от необходимого количества), 3950 объектов (55,4 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,108 риска (99,7 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). В комбинированном макси-

мальном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1145 субъектов (28,9 % от необходимого количества), 3312 объектов (46,4 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,107 риска (99,6 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). В комбинированном минимальном сценарии в течение календарного года проверками будет охвачено 1474 субъекта (37,2 % от необходимого количества), 4125 объектов (57,8 % от всех объектов, подлежащих проверке), 1,109 риска (99,7 % риска от деятельности всех субъектов, подлежащих проверке). В комбинированном максимальном сценарии охват проверками объектов первой и второй категорий составляет 83,0 %, а в остальных комбинированных сценариях – 99,9 %.

Таким образом, альтернативный алгоритм показал примерно такие же показатели охвата, как и базовый алгоритм. Комбинированный алгоритм демонстрирует более высокие показатели охвата, так как при проверке субъекта проверяются не все объекты, а только наиболее опасные, и, как следствие, трудозатраты на проверку снижаются.

В результате параметризации процессов взаимодействия Роспотребнадзора и хозяйствующих субъектов в рамках контрольно-надзорной деятельности выделены основные характеристики, позволяющие описать расходование ресурсов Роспотребнадзора с позиции трудозатрат. Равномерность расхода общего фонда рабочего времени на контрольно-надзорную деятельность – одна из основных гипотез исследования; при составлении планов проверок представляется целесообразным распределять нагрузку, чтобы соблюдать принцип эргономичности работы сотрудников и не допускать цейтнота.

Введенные в рамках математической постановки задачи соотношения позволили учесть историю нарушений (добропорядочность субъекта) в течение периода времени, параметры доступности объектов для проверки, которые включают в себя как региональные особенности (расстояние между объектами, качество дорог), так и «сложность» проверки отдельных объектов, при этом дифференциация производственных объектов на хозяйствующем субъекте является основанием для планирования объемов и содержания надзорных мероприятий.

В первом приближении выполнена идентификация параметров модели для оценки и обоснования необходимости и достаточности мощностей, задействованных в КНД. Выявлены параметры модели, оказывающие наибольшее влияние на решение, то есть наиболее чувствительные параметры, на регулирование которых следует обратить внимание с целью повышения эффективности контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора.

Полученные результаты апробации предложенных алгоритмов показывают их работоспособность и адекватность. Для окончательных выводов об эффективности предложенных алгоритмов необходимо проводить более детальные исследования

результатов, в том числе результатов более сложной модели, например, с учетом территориального распределения подразделений Роспотребнадзора внутри региона. Кроме того, следует дополнительно поднять вопрос о целесообразности проверки всех производственных объектов хозяйствующего субъекта (в рамках существующего законодательства) с учетом того, что класс опасности принадлежащих ему объектов может быть ниже класса опасности отдельных видов деятельности субъекта.

Выводы. В работе получили развитие теоретические и прикладные аспекты риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора. Выполнено совершенствование научного базиса для описания взаимодействия Роспотребнадзора и хозяйствующих субъектов, в том числе предложены новые подходы для совершенствования планирования деятельности Роспотребнадзора в рамках проведения проверок хозяйствующих субъектов и их производственных объектов.

Получены новые постановки (концептуальная и математическая), позволяющие осуществить формальную запись процесса проверки на основе риск-ориентированной модели. Выполнена параметризация описываемых процессов, в ходе которой выявлены основные параметры и показатели, необходимые

для учета в предложенной модели. Сформированы три алгоритма планирования, представляющие собой правила формирования плана проверок видов деятельности хозяйствующих субъектов и их производственных объектов в рамках риск-ориентированной модели. Разработаны три критерия сравнения алгоритмов: охват количества субъектов, подлежащих проверке, охват количества объектов, подлежащих проверке, охват по суммарному риску.

Выполнена апробация предложенных алгоритмов на региональном уровне, результаты апробации показали, что комбинированный алгоритм демонстрирует более высокие показатели охвата. Разработанные подходы позволяют формировать алгоритмы планирования с заданными (прогнозируемыми) значениями параметров и выполнять оценку эффективности алгоритмов на основе разработанных критериев сравнения, что в конечном итоге позволит эффективно распределять и использовать ресурсы Роспотребнадзора при проведении плановых проверок.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ноздрачев А.Ф., Зырянов С.М., Калмыкова А.В. Реформа государственного контроля (надзора) и муниципального контроля // Журнал российского права. – 2017. – № 9. – С. 34–46. DOI: 10.12737/article_599d74421f88b5.06552344
2. Спиридонова А.А., Хомутова Е.Г. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выбора методов управления рисками // Организатор производства. – 2017. – Т. 25, № 2. – С. 92–100. DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-2-92-100
3. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности / В.В. Статинов, И.П. Серых, Е.В. Чернышева, А.Н. Дегтярь // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 12. – С. 67–72. DOI: 10.12737/article_5c1c9960a03a84.05293055
4. Соловьев А.И. Риск-ориентированный подход в системе государственного контроля и надзора в налоговой сфере // Экономика. Налоги. Право. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 139–146.
5. Авдеева И.Л., Щеголев А.В., Полянин А.В. Риск-ориентированное государственное управление при цифровизации экономики // Менеджмент в России и за рубежом. – 2019. – № 5. – С. 55–61.
6. Мурашко М.А., Серегина И.Ф., Матыцин Н.О. Методические основы применения риск-ориентированного подхода при осуществлении госконтроля в сфере здравоохранения // Вестник Росздравнадзора. – 2017. – № 3. – С. 9–13.
7. Ивлева Г.Ю., Боровикова Е.В., Мельников Р.М. Осуществление риск-ориентированного государственного регулирования в российских условиях. – М.: РАНХиГС, 2015. – 41 с.
8. Шеина А.Ю., Хмельёва Д.Е. Применение риск-ориентированного подхода в налоговом администрировании государства // Инновационное развитие. – 2012. – Т. 30, № 3. – С. 58–60.
9. Зарубежный опыт использования риск-ориентированного подхода при эксплуатации технических устройств на нефтегазовых объектах / Х. Суарез, М. Финкельштейн, М.В. Лисанов, И.А. Кручинина // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 8. – С. 24–32.
10. Рудько-Силиванов В.В., Зубрилова Н.В., Савалей В.В. Риск-ориентированный надзор за деятельностью кредитных организаций в области ПОД/ФТ // Деньги и кредит. – 2013. – № 6. – С. 12–19.
11. Яневич П.В. Управление рисками и использование риск-ориентированного подхода во внутреннем аудите // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – № 1. – С. 46–47.
12. Капелист Е.И., Кизилев А.Н. Развитие методики планирования внутреннего аудита в сельскохозяйственных организациях // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6-1. – С. 224–228.
13. Сметанко А.В. Прикладные аспекты планирования риск-ориентированного внутреннего аудита по ключевым показателям эффективности // Вестник финансового университета. – 2013. – Т. 75, № 3. – С. 85–98.
14. Риск-ориентированные подходы к планированию контрольных мероприятий надзорными органами МЧС России / С.П. Воронов, А.Н. Нестругин, А.А. Козлов, Т.А. Козлов // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2014. – Т. 57, № 5. – С. 2.
15. Беленький В.М., Прус Ю.В. Методика оптимального планирования профилактических мероприятий в системе управления охраной труда // Технологии техносферной безопасности: интернет журнал. – 2013. – Т. 50, № 4. – С. 23.
16. Кондратьев-Фирсов В.М. Применение программно-целевых подходов к планированию мероприятий по повышению защищенности критически важных объектов // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5, № 4. – С. 66–75.

17. Кравченко Н.А., Поляков И.В. Научное обоснование методологии прогнозирования ресурсного обеспечения здравоохранения России (история и современность). – М.: Федеральный фонд ОМС, 1998. – 392 с.

18. Научно-методические подходы к формированию к риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического надзора за деятельностью в сфере здравоохранения / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, В.Г. Костарев // Медицинский альманах. – 2017. – Т. 49, № 4. – С. 29–32.

19. О развитии системы риск-ориентированного надзора в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 4. – С. 4–12.

20. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Опыт методической поддержки и практической реализации риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического надзора: 2014–2017 гг. // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-5-9

Алгоритмы формирования ежегодных планов проведения проверок территориальными органами и организациями Роспотребнадзора в рамках риск-ориентированной модели / Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, М.Ю. Цинкер, В.М. Чигвинцев, С.В. Бабина // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 17–27. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.02

UDC 614.3

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.02.eng



Research article

THE ALGORITHMS FOR DRAWING UP ANNUAL PLANS OF INSPECTIONS PERFORMED BY RSPOTREBNADZOR'S REGIONAL ORGANIZATIONS WITHIN THE FRAMEWORK OF RISK-BASED MODEL

D.A. Kiryanov, M.R. Kamaltdinov, M.Yu. Tsinker, V.M. Chigvintsev, S.V. Babina

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

The existing model of control and surveillance activities is based on a procedure that involves assigning activities performed by juridical persons or private entrepreneurs and (or) production facilities used by them in these activities into a specific risk category or a specific hazard class (category). The goal of the present work was to develop and improve algorithms for drawing up annual plans of inspections performed by Rospotrebnadzor's territorial organizations within the framework of the risk-based model.

For the first time, we have formulated conceptual and mathematical statement of the problem of planning control and surveillance activities performed by Rospotrebnadzor. This allowed us, among other things, to consider history of violations (integrity of a given subject) over a specific period and availability of objects for inspections. The latter is described with several parameters that include both regional peculiarities (a distance between objects, quality of road networks) and "complexity" of checking a particular object. When analyzing the mathematical statement, we identified certain model parameters that had the greatest influence on a solution to the problem, that is, the most sensitive parameters that should be regulated with special care if we want to make control and surveillance activities more effective.

© Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Chigvintsev V.M., Babina S.V., 2022

Dmitrii A. Kiryanov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department for 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>).

Marat R. Kamaltdinov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: kmr@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

Mikhail Yu. Tsinker – Junior Researcher at the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: cinker@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

Vladimir M. Chigvintsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher at the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: cvm@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>).

Svetlana V. Babina – Head of the Information and Computing Systems and Technologies Laboratory (e-mail: bsv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9222-6805>).

We have created planning algorithms with preset parameter values (scenario forecasting programs) and tested them at the regional level. We have developed three criteria for comparing these algorithms: coverage of a number of subjects that are to be inspected; coverage of a number of objects that are to be inspected; coverage by the total risk. The testing results indicate that the combined algorithm has higher coverage rates since in this case not all objects are inspected when a given subject is being checked. Consequently, this allows reducing overall labor costs required to perform an inspection.

The suggested approaches give an opportunity to achieve more effective distribution and use of resources allocated by Rospotrebnadzor for scheduled inspections.

Keywords: planning algorithms, control and surveillance activities, economic entities, scheduled inspections, risk-based surveillance, hazard class, working hours fund, mathematical model.

References

1. Nozdrachev A.F., Zyryanov S.M., Kalmykova A.V. Reform of state control (supervision) in the Russian Federation. *Zhurnal rossiiskogo prava*, 2017, no. 9, pp. 34–46. DOI: 10.12737/article_599d74421f88b5.06552344 (in Russian).
2. Spiridonova A.A., Khomutova E.G. The risk-oriented approach in the quality management system of an industrial enterprise: the problem of selecting the methods of risk management. *Organizator proizvodstva*, 2017, vol. 25, no. 2, pp. 92–100. DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-2-92-100 (in Russian).
3. Statinov V.V., Seryh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N. The risk-oriented approach in the field of industrial safety. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2018, no. 12, pp. 67–72. DOI: 10.12737/article_5c1c9960a03a84.05293055 (in Russian).
4. Soloviev A.I. Risk-oriented approach in the system of government control and supervision in the tax sphere. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, 2017, vol. 10, no. 6, pp. 139–146 (in Russian).
5. Avdeeva I.L., Shchegolev A.V., Polyagin A.V. Risk-oriented public administration in a digitalized economy. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*, 2019, no. 5, pp. 55–61 (in Russian).
6. Murashko M.A., Seregina I.F., Matysin N.O. Methodological foundations for applying risk-oriented approach in exerting state control in health care. *Vestnik Roszdravnadzora*, 2017, no. 3, pp. 9–13 (in Russian).
7. Ivleva G., Borovikova E., Melnikov R. Implementation of risk-based state-government regulation in the Russian conditions. Moscow, RANKhiGS Publ., 2015, 41 p. (in Russian).
8. Sheina A.Yu., Khmelova D.E. Application of risk-based approach in tax administration of the state. *Innovatsionnoe razvitiye*, 2012, vol. 30, no. 3, pp. 58–60 (in Russian).
9. Suarez Kh., Finkel'shtein M., Lisanov M.V., Kruchinina I.A. Zarubezhnyi opyt ispol'zovaniya risk-orientirovannogo podkhoda pri ekspluatatsii tekhnicheskikh ustroystv na neftegazovykh ob'ektakh [Foreign experience in using a risk-oriented approach when operating technical devices at oil and gas facilities]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2015, no. 8, pp. 24–32 (in Russian).
10. Rud'ko-Silivanov V.V., Zubrilova N.V., Savalei V.V. Risk-orientirovannyi nadzor za deyatelnost'yu kreditnykh organizatsii v oblasti POD/FT [Risk-based supervision of the activities of credit organizations in the sphere of POD/FT]. *Den'gi i kredit*, 2013, no. 6, pp. 12–19 (in Russian).
11. Yanevich P.V. Upravleniya riskami i ispol'zovanie risk-orientirovannogo podkhoda vo vnutrennem audite [Risk management and the use of a risk-based approach in internal audit]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2010, no. 1, pp. 46–47 (in Russian).
12. Kapelist E.I., Kizilov A.N. Development of the technique of planning of internal audit in the agricultural organizations. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 6-1, pp. 224–228 (in Russian).
13. Smetanko A.V. Applied aspects of planning risk-oriented internal audit of key performance indicators (KPI). *Vestnik finansovogo universiteta*, 2013, vol. 75, no. 3, pp. 85–98 (in Russian).
14. Voronov S.P., Nestrugin A.N., Kozlov A.A., Kozlov T.A. Risk-oriented approaches to planning of control measures by supervisory authorities of EMERCOM of Russia. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2014, vol. 57, no. 5, pp. 2 (in Russian).
15. Belenkij V.M., Prus Yu.V. Optimal planning methods of prophylactic events in an occupational safety management system. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2013, vol. 50, no. 4, pp. 23 (in Russian).
16. Kondrat'ev-Firsov V.M. Primenenie programmno-tselevykh podkhodov k planirovaniyu meropriyatiy po povysheniyu zashchishchennosti kriticheskikh vazhnykh ob'ektov [Application of program-targeted approaches to planning measures to improve the security of critical facilities]. *Problemy analiza riska*, 2008, vol. 5, no. 4, pp. 66–75 (in Russian).
17. Kravchenko N.A., Polyakov I.V. Nauchnoe obosnovanie metodologii prognozirovaniya resursnogo obespecheniya zdavookhraneniya Rossii (istoriya i sovremennost') [Scientific grounds for forecasting resource provision of Russian healthcare (history and present)]. Moscow, Federal'nyi fond OMS Publ., 1998, 392 p. (in Russian).
18. Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Kostarev V.G. Scientific and methodological approaches to the formation of risk-oriented model of sanitary and epidemiological surveillance over activities in the healthcare field. *Meditsinskii al'manakh*, 2017, vol. 49, no. 4, pp. 29–32 (in Russian).
19. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A. On the development of the system of risk-based supervision in the field of sanitary and epidemiological welfare of the population and consumer protection. *Health Risk Analysis*, 2015, no. 4, pp. 4–12. DOI: 10.21668/health.risk/2015.4.01.eng
20. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V. Experience of methodological support and practical implementation of the risk-oriented model of sanitary-epidemiological surveillance in 2014–2017. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 1, pp. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-5-9 (in Russian).

Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Chigvintsev V.M., Babina S.V. The algorithms for drawing up annual plans of inspections performed by Rospotrebnadzor's regional organizations within the framework of risk-based model. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 17–27. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.02.eng

Получена: 01.04.2022

Одобрена: 13.04.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ РИСКА НАСЕЛЕНИЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ

А.О. Барг^{1,2}, Н.А. Лебедева-Несевря^{1,2}, М.Д. Корнилицына²

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

Актуальность исследования определена возрастающей потребностью в удовлетворении государством запросов гражданского общества на информацию о качестве среды обитания и связанных с ним рисках для здоровья населения. Фокус статьи направлен на соотнесение экспертного и непрофессионального мнений при восприятии количественного выражения риска.

Целью являлось получение ответов на два вопроса: 1. Как в сознании обычного человека-неспециалиста происходит количественная оценка степени вероятности и тяжести, когда он слышит определенные словесные выражения, их обозначающие? 2. Как определять оценку рисков здоровью, связанных с факторами загрязнения окружающей среды, которую дает население или отдельные социальные группы?

Для ответов на поставленные вопросы использовались количественные методы сбора и обработки данных. На первом этапе среди населения промышленных городов собирались данные о субъективном соотношении словесной шкалы вероятностей с ее числовым выражением. На втором этапе была реализована апробация методики исследования оценки населением / социальными группами риска здоровью, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, которая опиралась на результаты, полученные на предыдущем этапе.

Выявлено, что только 70 % людей действительно соотносят слова с цифрами. Определено, что эксперты оценивают вероятности примерно на 10 % выше, чем «обыватели», когда речь идет о таких выражениях, как «почти полностью вероятно» и «очень вероятно». Слова и выражения «вероятно», «примерно одинаково вероятно» и «маловероятно» оцениваются тоже по-разному, но с меньшим разрывом во мнениях. Также в исследовании приведен способ определения общественной оценки рисков здоровью, связанных с загрязнением атмосферного воздуха. Полученные результаты позволяют решить практическую задачу, связанную с информированием населения о рисках здоровью, и преодолеть так называемый языковой барьер между экспертами и другими людьми, например, информационные сообщения, предназначенные для ЛПР, можно адаптировать с учетом выявленных особенностей восприятия.

Ключевые слова: восприятие риска, оценка риска, уровень риска, оценка вероятности, субъективная оценка рисков, вероятность реализации риска, риск здоровью, информирование.

Большинство противоречий, связанных с информированием о рисках здоровью, их оценкой, установлением уровня социальной приемлемости, сопряжено с неоднозначностью восприятия риска и языка, которым он описывается внутри различных

групп. Такими группами, субъектами рисков ситуации, являются: экспертное сообщество, лица, принимающие решения, хозяйствующие субъекты, средства массовой информации (СМИ), население. Эксперты оперируют научным языком, рассматри-

© Барг А.О., Лебедева-Несевря Н.А., Корнилицына М.Д., 2022

Барг Анастасия Олеговна – кандидат социологических наук, старший научный сотрудник лаборатории методов анализа социальных рисков (e-mail: an-bg@yandex.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2901-3932>).

Лебедева-Несевря Наталья Александровна – доктор социологических наук, заведующий лабораторией методов анализа социальных рисков (e-mail: natnes@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3036-3542>).

Корнилицына Мария Дмитриевна – магистрант I курса философско-социологического факультета, стажер лаборатории методов анализа социальных рисков (e-mail: maruromanova@mail.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2291-4316>).

вая вероятностный характер наступления неблагоприятных событий; руководители разного уровня отталкиваются от социально-экономических и политических смыслов¹. СМИ выступают ретрансляторами информации, поступающей от других субъектов, и перерабатывают ее, пытаясь привлечь аудиторию яркими заголовками [1]. Население чаще апеллирует к эмоциональной составляющей восприятия рисков – страхам и тревогам, не понимает языка экспертов [2, 3] и, как правило, не доверяет лицам, принимающим решения, и СМИ [4], что провоцирует рост социального напряжения и дальнейшую несогласованность мнений и управленческих решений [5]. В докладе ВОЗ по проблемам здоровья и окружающей среды отмечено: «Люди плохо понимают критерий вероятности. Реакция общественности на риск часто очень мало соответствует результатам научных оценок. ... заявление о том, что та или иная опасность связана с ежегодным риском смерти, равным “одному шансу из X”, может вызвать реакцию, варьирующуюся от состояния, близкого к панике, до почти полного безразличия» [6]. Необходимость учитывать восприятие и потребности различных субъектов рискованного пространства обсуждается на протяжении последних 20 лет, и в этом направлении проделана значительная работа. Так, использование определенных слов для обсуждения неопределенностей и вероятностей было предложено в третьем оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) 2001 г. Авторы отчета обозначили уровни достоверности так: почти полностью вероятно (вероятность того, что результат окажется верным, превышает 99 %); очень вероятно (вероятность 90–99 %); вероятно (вероятность 66–90 %); примерно одинаковая вероятность (33–66 %); маловероятно (10–33 %); очень маловероятно (1–10 %); и исключительно маловероятно (вероятность менее 1 %) [7] (перевод шкалы вероятностей с английского на русский язык соответствует переводу, представленному в [6]). Градация опирается на коллективное суждение авторов отчета о достоверности вывода, основанного на данных наблюдений, результатах моделирования и проанализированных ими теориях.

В 2004 г. МГЭИК предложила до начала использования протестировать дескрипторы неопределенности на целевых аудиториях [8], на что могла

повлиять апробация шкалы другими исследователями. Например, A.G. Patt и D.P. Schrag, проведя эксперимент со студентами, изучающими естественные науки, пришли к выводу, что респонденты понимают предложенную словесную шкалу иначе. Тем не менее авторы отмечают большой потенциал метода [9].

Цель исследования – получение ответов на два вопроса. Первый: как в сознании обычного человека-неспециалиста происходит количественная оценка степени вероятности, когда он слышит определенные словесные выражения, ее обозначающие? Ответ на этот вопрос решает одну из задач информирования населения о рисках здоровью, связанную со сложностью восприятия человеком числовых данных. Если станет известно, какие слова каким количественным (числовым) диапазонам соответствуют, сообщения о рисках, рассчитанные на широкую аудиторию, можно будет формулировать так, чтобы они были правильно поняты. Другими словами, это позволит связать язык экспертов и язык «обывателей». Второй вопрос: как определять оценку рисков здоровью, связанную с факторами загрязнения окружающей среды, которую дает население или отдельные социальные группы? Решение этого вопроса даст инструмент определения общественной оценки риска, которая учитывается субъектами управления в процессе регуляции рисков здоровью населения.

Материалы и методы. Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе среди населения промышленных городов методом формализованного опроса были собраны данные о субъективном соотношении словесной шкалы вероятностей с ее числовым выражением. За несколько лет было выполнено три опроса (2014², 2016³ и 2020⁴ гг.), в которых всем респондентам задавались семь вопросов: «Как вы оцениваете вероятность наступления события в %, если наступление данного события...» с вариациями окончания вопроса, соответствующими словесной шкале вероятностей, предложенной в отчете МГЭИК (почти полностью вероятно; очень вероятно; вероятно; примерно одинаковая вероятность; маловероятно; очень маловероятно; исключительно маловероятно) ($n = 1324$). Данные репрезентируют трудоспособное городское население в возрасте от 18 до 60 лет, проживающее на территориях с высокой антропогенной нагрузкой.

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды России, НИИ-Природа, 2016. – 639 с.

² Формализованный опрос населения Пермского края в возрасте 18 лет и старше «Риск-коммуникации в сфере экологических рисков» (грант РГНФ № 14-16-59011), проведенный специалистами ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в 2014 г. методом телефонного опроса, квотная выборка ($n = 1041$).

³ Формализованный опрос работников ПАО «Уралкалий» (г. Березники), проведенный специалистами ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в 2016 г. методом раздаточного анкетирования на рабочем месте, целевая выборка ($n = 119$).

⁴ Формализованный опрос населения крупных промышленных городов России, проведенный специалистами ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в 2020 г. методом раздаточного и online-анкетирования, стихийная выборка ($n = 163$).

На втором этапе была реализована апробация методики исследования оценки населением / социальными группами риска здоровью, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, которая опиралась на результаты, полученные на предыдущем этапе. Опрос проводили в городах Перми и Красноярске (2021 г.) методом онлайн-анкетирования (ссылка размещалась на специализированном ресурсе для проведения онлайн-опросов SurveyMonkey). Жители городов опрашивались без ограничений социально-демографических характеристик (за исключением возраста – 18 лет и старше; доступная выборка). Также размещалась таргетированная реклама в виртуальных социальных сетях «ВКонтакте» и «Одноклассники» для привлечения пользователей к участию в опросе (ограничение – возраст 18 лет и старше, проживание в г. Красноярске и г. Перми; стихийная выборка) ($n = 1334$). Далее на основе простого случайного отбора производился «отсев» лишних респондентов для формирования выборки, отражающей структуру городского трудоспособного населения России ($n = 677$).

Методика предполагала приведение субъективной оценки рисков здоровью, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, населения промышленного города к стандартной формуле оценки риска:

$$R = P \cdot g,$$

где P – вероятность, g – тяжесть.

Оценка вероятности реализации риска (вероятность заболеть) устанавливалась с помощью двух вопросов: «Ниже приводится перечень заболеваний, которые некоторые люди связывают с загрязнением атмосферного воздуха. Как вы думаете, какова вероятность возникновения данных заболеваний у тех жителей вашего микрорайона, у которых их нет?»

и Как вы думаете, какова вероятность возникновения данных заболеваний у вас, если их нет?». Заболевания: бронхиальная астма, бронхит, ишемическая болезнь сердца, инсульт, хроническая обструктивная болезнь легких, рак легких. Шкала: «Почти полностью вероятно»; «Очень вероятно»; «Вероятно»; «Примерно одинаковая вероятность»; «Маловероятно»; «Очень маловероятно»; «Исключительно маловероятно». Для анализа предложенной словесной шкалы вероятностей был произведен перевод ответов в процентное выражение соответственно данным, полученным на первом этапе исследования⁵. Два вопроса для измерения субъективных оценок вероятности развития болезни обусловлены тем, что восприятие риска сопряжено с большим количеством предубеждений, суждений, одним из которых является склонность людей рассматривать самих себя как обладающих личным иммунитетом от риска [10]. Была поставлена задача понимания разницы в оценках вероятности реализации риска для других и для себя, чтобы иметь возможность делать выводы, во-первых, о том, работает ли данное предубеждение в оценках вероятности возникновения болезней, связанных с качеством атмосферного воздуха, во-вторых, о степени разрыва данных оценок.

Оценка тяжести последствий реализации рисков здоровью выполнялась с помощью вопроса: «Как вам кажется, какова степень тяжести перечисленных ниже заболеваний?..». Шкала: «Тяжелая»; «Средняя»; «Легкая». Таким образом, чтобы оценить риск, респондент сначала оценивал вероятность реализации риска заболеть той или иной нозологией, а затем определял предполагаемую тяжесть последствий реализации данного риска⁶.

Далее строилась матрица оценки риска (табл. 1)⁷, которая показывала долю населения, оценивающего риск как высокий, средний или низкий.

Таблица 1

Макет матрицы оценки рисков здоровью населением

Степень тяжести последствий	Качественная характеристика вероятности события						
	Почти полностью вероятно	Очень вероятно	Вероятно	Примерно одинаковая вероятность	Маловероятно	Очень маловероятно	Исключительно маловероятно
	Количественная характеристика вероятности события						
	$n-n\%$	$n-n\%$	$n-n\%$	$n-n\%$	$n-n\%$	$n-n\%$	$n-n\%$
Тяжелая	В	В	В	В	В	С	С
Средняя	В	В	С	С	С	Н	Н
Легкая	С	С	Н	Н	Н	Н	Н

⁵ На первом этапе респондентам предлагалось соотнести со словесным выражением вероятности её процентное выражение, соответствующее их представлениям.

⁶ ГОСТ Р 58771-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Технологии оценки риска / утв. и введ. в действ. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2019 г. № 1405-ст. – М.: Стандартинформ. – 2020. – 86 с.

⁷ ГОСТ Р 51901.1-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем / принят и введ. в действ. постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 г. № 236-ст. – М.: Госстандарт России. – 2002. – 23 с.

Из табл. 1 видно, что матрица построена по принципу «светофора» и основывается на видении определенной ситуации отдельными субъектами [11, 12]. Определяется ячейка матрицы, соответствующая точке пересечения значений вероятности и тяжести последствий, и считается уровень риска, заданный разными группами респондентов. Матрица включала три уровня риска («В» – высокий уровень риска (красный цвет), «С» – средний уровень риска (желтый цвет) и «Н» – низкий уровень риска (зеленый цвет)). Полученные в ходе первого этапа количественные характеристики вероятности события показывали числовые диапазоны значений вероятности, соответствующие качественным характеристикам вероятности.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета программ SPSS 16.0 for Windows.

Результаты и их обсуждение. Данные о том, как в сознании людей происходит понимание уровня вероятности, когда они слышат разные его словесные определения, позволили выяснить, что только 70 % респондентов соотносили текст с числом. У 30 % такое соотношение вызывало серьезные затруднения, проявляющиеся либо в пропуске вопроса, либо в проставлении одинаковых значений во всех вопросах.

В разное время было опрошено 1324 человека. После процедуры удаления некорректных данных (396 полностью пропущенных ответов и выбросов) в объединенный массив было включено 928 единиц наблюдения (70 % от изначального массива). Были оставлены те респонденты, которые давали ответ хотя бы на один из семи вопросов, поскольку делалось допущение, что раз ответ дан, значит именно это слово или словосочетание находит отражение в сознании индивида в виде числового обозначения. По каждой отдельной переменной 2 ± 1 % респондентов не справились с задачей и пропустили вопрос.

Установлено, что на перевод слов в числа не влияли никакие социально-демографические характеристики респондентов. Проверка на статистическую значимость различий в значениях переменных по параметрам пола, возраста, дохода и образования

осуществлялась в каждую волну (2014, 2016 и 2020 гг.) и по объединенным данным, в последнем случае в качестве параметра был добавлен год исследования. Достоверных различий получено не было.

Определено, что предложенная МГЭИК градация не соответствует существующим в массовом представлении российских респондентов значениям. Например, эксперты считают, что словами «почти полностью вероятно» следует говорить о вероятности более 99 %, но анализ результатов исследования показал, что респондентов, так же понимающих данный оборот речи, только 14,1 %. Это же касается и слов «очень вероятно», которые, по мнению МГЭИК, говорят о вероятности более 90 %, что совпадает с мнением всего 8,3 % ответивших (табл. 2).

Как видно из табл. 2, наибольший процент тождественности мнений наблюдается относительно среднего уровня вероятности («примерно одинаково вероятно») – 83,8 % совпадений экспертного и непрофессионального мнений и уровня «маловероятно» – 70,3 % совпадений. Одинаково воспринимается научным сообществом и «обывателем» категория «вероятно» в 41,6 % случаев. Самые высокие («почти полностью вероятно», «очень вероятно») и самые низкие («очень маловероятно», «исключительно маловероятно») уровни вероятности оцениваются по-разному, следовательно, необходимо определить, как их интерпретирует население, чтобы в процессе информирования взаимодействовать с ним более эффективно.

Анализ средних значений показал⁸, что словосочетание «почти полностью вероятно» ассоциировано в сознании респондентов с вероятностью, лежащей в диапазоне 85–88 %, «очень вероятно» – 77–79 %, «вероятно» – 64–66 %, «примерно одинаково вероятно» – 48–49 %, «маловероятно» – 23–25 %, «очень маловероятно» – 13–15 % и «исключительно маловероятно» – 5–7 % (табл. 3).

Использование модели среднего обусловлено тем, что данные выражены через метрические шкалы, «для номинальных переменных мерой центральной тенденции может выступать только

Таблица 2

Соотношение экспертного и непрофессионального мнений о числовом выражении словесного обозначения степени вероятности

Словосочетание / слово	Числовое выражение словосочетания / слова, предложенные МГЭИК, %	Доля ответов респондентов, совпадающих с градацией МГЭИК, %
Почти полностью вероятно	> 99	14,1
Очень вероятно	> 90	8,3
Вероятно	> 66	41,6
Примерно одинаково вероятно	33–66	83,8
Маловероятно	< 33	70,3
Очень маловероятно	< 10	25,5
Исключительно маловероятно	< 1	17,9

⁸ Оценка качества среднего как модели произведена с помощью анализа стандартной ошибки среднего и соотношения величин с генеральным математическим ожиданием $((\text{среднее значение} \pm 2) \cdot \text{стандартная ошибка среднего})$.

Средние значения числового выражения словесного обозначения степени вероятности

Словесное обозначение	Среднее значение	Стандартная ошибка среднего значения
Почти полностью вероятно	86,6	0,57179
Очень вероятно	77,7	0,53538
Вероятно	65,1	0,63818
Примерно одинаково вероятно	48,6	0,44188
Маловероятно	24,2	0,44748
Очень маловероятно	13,8	0,39453
Исключительно маловероятно	6,0	0,30225

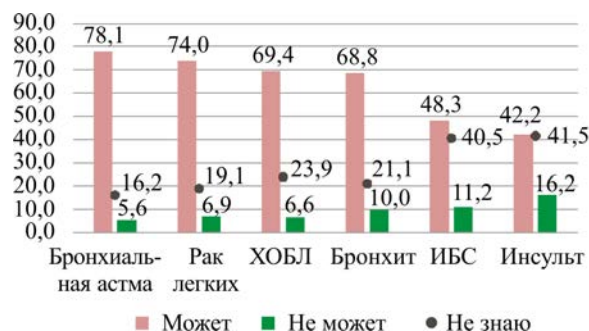


Рис. 1. Распределение ответов респондентов на вопрос: «Как вы думаете, из-за загрязнения воздуха могут ли данные заболевания возникнуть у тех жителей вашего микрорайона, у которых их нет?» (в % от общего числа ответивших)

мода, то есть наиболее часто встречающееся значение переменной. Мода не имеет какого-то показателя разброса⁹. Для переменных, выраженных порядковой шкалой, основной мерой центральной тенденции является медиана. Следовательно, на этапе апробации методики выявления групповой оценки риска здоровью, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, при анализе результатов использованы диапазоны средних значений числовых эквивалентов словесного выражения вероятности.

Субъективное восприятие рисков, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха, определено через представления респондентов о том, какие *болезни могут возникнуть* в связи с данным фактором, и как они оценивают их *тяжесть и вероятность появления* (то есть оценивают риск).

По мнению респондентов, загрязнение атмосферного воздуха может стать фактором риска развития бронхиальной астмы. Так считают 78,1 % людей. Этого мнения чаще придерживаются люди с высшим образованием¹⁰ и более старшего возраста¹¹. Большинство респондентов связывают с состоянием атмосферного воздуха риски развития рака легких (74,0 %), хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) (69,4 %), бронхита (68,8 %). Немногим меньше половины ответивших ассоциируют с загрязнением атмосферного воздуха риск развития таких заболеваний, как ишемическая болезнь сердца (ИБС) (48,3 %) и инсульт (42,2 %) (рис. 1).

Тяжесть заболеваний в общем виде оценивается специалистами как отношение распространенности заболеваний к смертности по причине данного заболевания. Все заболевания делятся на три группы: легкие, тяжелые, средние, и соответственно этим группам каждое имеет свой коэффициент тяжести – от 0 до 1. Так, заболеваниям, относящимся к группе легких, приписывается среднее значение коэффициента тяжести 0,0000055 (диапазон значений: 0,000001–0,00001), попадающим в группу средней тяжести – 0,0042 (диапазон значений: 0,000011–0,0085), тяжелым – 0,50 (диапазон значений: 0,0079–0,099). Коэффициент 1 означает смерть. Известно, что бронхит, ИБС, инсульт, бронхиальная астма относятся к группе заболеваний средней тяжести, рак легких и ХОБЛ – к группе тяжелых¹². Респондентам было предложено дать субъективную оценку тяжести каждого заболевания из списка по 3-балльной шкале, в которой 1 относит заболевание к группе легких, а 3 – к группе тяжелых (рис. 2).

⁹ Крыштановский А.О. Анализ социологических данных с помощью пакета SPSS: уч. пособие для вузов. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. – 281 с.

¹⁰ Выявлены статистически значимые различия в показателях переменной «Как вы думаете, из-за загрязнения воздуха может ли возникнуть бронхиальная астма у тех жителей вашего микрорайона, у которых ее нет?» в зависимости от образования респондента (критерий Краскела – Уоллиса; значимость 0,015).

¹¹ Выявлены статистически значимые различия в показателях переменной «Как вы думаете, из-за загрязнения воздуха может ли возникнуть бронхиальная астма у тех жителей вашего микрорайона, у которых ее нет?» в зависимости от возраста респондента (критерий Краскела – Уоллиса; значимость 0,000).

¹² МР 2.1.10.0033-11. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка риска, связанного с воздействием факторов образа жизни на здоровье населения. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 62 с.



Рис. 2. Меры центральной тенденции субъективных оценок тяжести заболеваний

Анализ результатов исследования показывает, что большинство респондентов практически все перечисленные заболевания, за исключением бронхита, характеризуют как тяжелые.

С помощью матрицы оценки рисков были обозначены уровни рисков возникновения каждой болезни, по мнению опрошенных, и показаны доли респондентов, которые устанавливают тот или иной уровень вероятности и степени тяжести болезни. Пример расчетов представлен в табл. 4.

На основе матрицы можно сделать вывод, что в целом по оценкам населения риск возникновения бронхиальной астмы в связи с загрязненностью воздуха характеризуется как низкий 11,0 % респондентов (в табл. 4 зона данного уровня риска обозначена зеленым цветом), средний уровень риска (желтая зона) устанавливается третью респондентов (35,3 %) и в качестве высокого (красная зона) риск определяется 53,6 % респондентов.

Результаты оценки рисков возникновения всего перечня заболеваний, связанных с воздействием загрязненного воздуха, представлены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что наиболее высокий риск в представлениях респондентов – предсказуемо риск возникновения рака легких (74,9 %). Интересно, что как высокий большинством определяется риск инсульта и ИБС (69,9 и 59,5 % соответственно). Несмотря на то что эти два заболевания меньше половины ответивших связывает с загрязнением воздуха, их последствия признаются тяжелыми 88,2 и 71,5 % ответивших, также довольно высока доля тех, кто рассматривает вероятность их возникновения на уровне 48–66 % (доля таких респондентов составила больше 45,0 %). Здесь необходимо поставить вопрос об инструменте измерения оценок вероятности возникновения болезни. Возможно, хоть вопрос и включал особое указание, что оценка вероятности должна производиться с учетом фактора риска здоровью, связанного с загрязнением воздуха, однозначно утверждать, что это указание учитывается в суждениях, мы не можем. Инсульт и ишемическая болезнь сердца – довольно распространенные болезни, и, если ранее человек отвечает, что никак не связывает их с фактором загрязнения воздуха, а потом говорит, что вероятность их возникновения высока, то очевидно, что из поля зрения респондента выпадает сам фактор риска – загрязнение воздуха. После проверки корреляции переменных на связь фактора и ответа со стороны здоровья с оценкой вероятности данное сомнение не было подтверждено. Люди, которые не связывают

Таблица 4

Оценка риска возникновения бронхиальной астмы в связи с загрязнением воздуха у населения Перми, Красноярска (в % к общему числу ответивших)

Серьезность последствий	Качественная характеристика вероятности события						
	Почти полностью вероятно	Очень вероятно	Вероятно	Примерно одинаковая вероятность	Мало-вероятно	Очень маловероятно	Исключительно маловероятно
	Количественная характеристика вероятности события, %						
	85–88	77–79	64–66	48–49	23–25	13–15	5–7
Тяжелая	6,9	9,3	12,7	13,4	8,3	5,3	5,8
Средняя	1,2	1,8	7,2	10,5	6,2	4,1	4,3
Легкая	0,3	0,0	0,3	0,6	0,4	0,4	0,9

Таблица 5

Оценка риска возникновения заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха, населением Перми и Красноярска (в % к общему числу ответивших)

Оценка риска		Бронхиальная астма	Бронхит	ИБС	Инсульт	ХОБЛ	Рак легких
Для себя	Высокий	53,6	37,2	59,5	69,9	58,8	74,9
	Средний	35,3	44,2	30,7	25,8	33,2	23,0
	Малый	11,0	18,6	9,7	4,3	8,0	2,1
Для других	Высокий	62,3	38,1	63,8	74,6	67,2	85,5
	Средний	32,3	46,1	26,6	22,0	26,6	12,7
	Малый	5,3	15,8	9,6	3,4	6,2	1,8

инсульт¹³ и ИБС¹⁴ с загрязнением воздуха, вероятность их возникновения из-за загрязнения действительно оценивают как низкую. Следовательно, подобные результаты можно объяснить именно приписываемой тяжестью последствий болезни.

Риск возникновения бронхита чаще всего (62,8 % опрошенных) оценивается как малый и средний, что связано с восприятием последствий данного заболевания как легкой (10,6 %) или средней тяжести (59,8 %). Несмотря на высокую оценку вероятности его возникновения (от 64 % и выше в 72,2 % случаев), в целом риск характеризуется как допустимый.

Характеристики риска, приведенные выше, основаны на оценке вероятности заболеть и тяжести последствий заболевания для самого респондента. В большую сторону отличаются оценки вероятности возникновения болезней, если респонденты рассчитывают их для других жителей. Например, на 8,7 % чаще риск заболеть бронхиальной астмой для других оценивается как высокий, на 8,4 % – ХОБЛ, на 10,6 % – раком легких. Неодинаковая субъективно оцениваемая вероятность указывает на одно из типичных когнитивных искажений, связанных с восприятием рисков и оценками вероятностей, которое можно назвать «иллюзией неуязвимости» [13], когда человеку или группе людей кажется, что «плохое» чаще происходит с другими, а не с ними.

Результаты кластерного анализа показали, что выборочная совокупность делится на три кластера: первый составляют люди, чьи оценки рисков тяготеют к средним, таких почти половина (48,8 %); ко второму относятся те, кто чаще всего оценивают риски как высокие, их около трети (29,5 %); в третий кластер вошли респонденты, склонные оценивать риски развития заболеваний, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, как малые, их пятая часть (21,7 %).

Выводы. С учетом трудности восприятия «неспециалистами» числового выражения вероятности осуществлена попытка соотнесения качественной характеристики вероятности, то есть ее словесного обозначения, с диапазонами числовых значений, которые возникают в сознании индивида, когда он слышит определенные слова. Выяснилось, что только 70 % людей действительно соотносят слова с цифрами, остальные не справляются с этой задачей. Определено, что среди тех, кто соотносит словесные выражения вероятности с их количественными значениями, есть те, кто задают им числовые значения, отличные от экспертных диапазонов.

Эксперты оценивают вероятности примерно на 10 % выше, чем «обыватели», когда речь идет о таких словах и выражениях, как «почти полностью вероятно» и «очень вероятно». Слова и выражения «вероятно», «примерно одинаково вероятно» и «маловероятно» оцениваются тоже по-разному, но с меньшим разрывом во мнениях. Слова «очень маловероятно» и «исключительно маловероятно» эксперты, по сравнению с «неспециалистами», оценивают ниже примерно на 5 %. Также обнаруживается различие в оценках тяжести заболеваний. Среди предложенного списка нозологий к тяжелым, по оценкам экспертов, относятся только две из шести: рак легкого и ХОБЛ, остальные – средней тяжести. Население же в большинстве своем считает все перечисленные болезни, кроме бронхита, тяжелыми.

Полученные результаты позволяют решить практическую задачу, связанную с информированием населения о рисках здоровью, и преодолеть так называемый языковой барьер между экспертами и другими людьми, в том числе информационные сообщения, предназначенные для ЛПР, можно адаптировать с учетом выявленных особенностей восприятия. Например, получив результаты оценки риска, эксперты могут соотнести вероятностные значения именно с теми словами, которые отражают их в сознании «обывателя», и при составлении информационных текстов для населения или ЛПР использовать эти слова.

Потребность в знании общественной оценки риска для принятия управленческих решений о нем побуждает предлагать методы ее выявления. Приведенный в исследовании способ определения общественной оценки рисков здоровью, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, за счет включения переменных вероятности и тяжести последствий делает возможным строить матрицы оценки рисков населения. Матрица способствует быстрому определению стратегии реагирования на риск, а «ЛПР удобнее заполнять матрицу риска, опираясь не обобщенными категориями риска, имеющими абстрактный смысл, а конкретными стратегиями реагирования» [14]. Зная, как население оценивает тот или иной риск, управленческим кадрам будет понятнее, какую стратегию вырабатывать с учетом как экспертных позиций, так и общественных ожиданий. Меры по управлению рисками здоровью направлены: а) на фактор возникновения риска [15–17] – в нашем случае загрязнение атмосферного воздуха – и заключаются в ослаблении его воздействия на здоро-

¹³ Выявлены статистически значимые различия в показателях переменной «Как вы думаете, какова вероятность возникновения инсульта у вас?» в зависимости от ответов на вопрос «Как вы думаете, из-за загрязнения воздуха может ли возникнуть инсульт у тех жителей вашего микрорайона, у которых его нет?» (критерий Краскела – Уоллиса; значимость 0,000. Коэффициент корреляции V Крамера – 0,308, $p = 0,000$ (связь умеренная)).

¹⁴ Выявлены статистически значимые различия в показателях переменной «Как вы думаете, какова вероятность возникновения ИБС у вас?» в зависимости от ответов на вопрос «Как вы думаете, из-за загрязнения воздуха может ли возникнуть ИБС у тех жителей вашего микрорайона, у которых ее нет?» (критерий Краскела – Уоллиса; значимость 0,000. Коэффициент корреляции V Крамера – 0,342, $p = 0,000$ (связь умеренная)).

вье – повышении качества атмосферного воздуха; б) на потребителя риска – носят информационный характер [18]. В первом случае управленческие решения в основном опираются на экспертную оценку рисков. Во втором – на общественную оценку рисков. При оценке населения рисков здоровью как высоких и значимых информационные мероприятия должны строиться на основе диалоговой модели коммуникации. С учетом того, что восприятие риска и его субъективная оценка включают два компонента: эмоциональный и когнитивный [19], мероприятия должны быть ориентированы на повышение уровня доверия населения лицам, принимающим решения (работа с иррациональным компонентом обыденного сознания), и на развитие когнитивного компонента – увеличение объема знаний о состоянии атмосферного воздуха.

Представленная методика способствует определению примерных пропорций исследуемой группы по распределению оценок риска. В данном пилотном исследовании выявлено, что почти половина респондентов тяготеет к оценке рисков здоровью, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, как средних, а треть – как высоких. Полученная матрица общественной оценки рисков здоровью демонстрирует необходимость не экстренных, но

срочных информационных мероприятий, поскольку оценки большинства тяготеют к средним и высоким значениям. При оценке рисков в диапазоне только средних значений требовалось бы продолжение запланированной информационной работы с населением без ее форсирования. При низких оценках рисков, если эксперты тоже сообщают о низких рисках, специальных мер по информированию не требуется, в противном случае (экспертная оценка рисков – высокие, общественная – низкие) следует принимать решение о дополнительных информационных мероприятиях, поскольку субъективные оценки риска здоровью являются отправной точкой в выборе риск-ассоциированного (самосохранительного или саморазрушительного) поведения [20].

Разработанный подход к определению оценки рисков здоровью, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, больших социальных групп относительно универсален и может быть использован для выявления оценок других типов рисков здоровью.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Japp K. Risikosoziologie als, Fröhliche Wissenschaft // Zeitschrift für Soziologie. – 2016. – Vol. 28, № 4. – P. 311–316.
2. Мозговая А.В. Рискковая коммуникация как механизм формирования статуса безопасности территориальной общности в процессе адаптации // Society and Security Insights. – 2019. – Т. 2, № 3. – С. 137–145. DOI: 10.14258/ssi(2019)3-6290
3. Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 83–91. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91
4. Столяр В.Ю. Доверие как инструмент управления глобальным риском // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2008. – № 82–1. – С. 330–336.
5. Михайлова Е.А. Нанотехнологические риски и их восприятие обществом // Социологический журнал. – 2014. – № 4. – С. 59–71.
6. Здоровье и окружающая среда: принципы коммуникации риска [Электронный ресурс] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2013. – URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/235076/e96930r.pdf (дата обращения: 20.05.2022).
7. Climate Change 2001: Synthesis Report / ed. by R.T. Watson, Core Writing Team [Электронный ресурс] // IPCC. – 2001. – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf (дата обращения: 13.05.2022).
8. IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk and of Options: workshop report [Электронный ресурс] // IPCC. – May 11–13, 2004. – URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc-workshop-2004-may.pdf> (дата обращения: 31.01.2022).
9. Patt A.G., Schrag D.P. Using specific language to describe risk and probability // Climatic Change. – 2003. – Vol. 61. – P. 17–30.
10. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности. Правила и предубеждения. – Харьков: Изд-во Института прикладной психологии «Гуманитарный центр», 2005. – 632 с.
11. Масленников В.В., Трохов А.А. Методические подходы к оценке рисков, определяющих экономическую безопасность компании // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2016. – Т. 5, № 4 (17) – С. 272–274.
12. Сорокотягина В.Л. Методы измерения экономических рисков предпринимательской деятельности // Менеджер. – 2021. – № 2 (96). – С. 130–137. DOI: 10.5281/zenodo.5075294
13. Плаус С. Психология оценки и принятия решений / пер. с англ. В.А. Ровнера. – М.: Филинь, 1998. – 368 с.
14. Алексеев А.О., Сальников К.Р. Разработка прототипа информационной системы оптимального управления многофакторными рисками // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. – 2021. – № 6. – С. 13–17.
15. 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. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575
16. Риск-ориентированный подход к управлению экологической безопасностью нефтеперерабатывающего предприятия / Г.А. Фоменко, С.И. Комаров, М.А. Фоменко, А.Е. Бородин, А.К. Лузанова // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – Т. 105, № 2. – С. 102–109.

17. Актуальные проблемы правовой и научно-методической поддержки обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации как стратегической государственной задачи / Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, Г.Г. Онищенко, И.В. Май // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-5-9

18. Эффективное информирование о рисках в сфере окружающей среды и здоровья: стратегический доклад о последних тенденциях, теориях и концепциях. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2022. – 75 с.

19. Гаврилов К.А. Социология восприятия риска: опыт реконструкции ключевых подходов / отв. ред. А.В. Мозговая. – М.: Изд-во Института социологии РАН, 2009. – 196 с.

20. Вещикова М.И. Обзор исследований восприятия опасности и перспективы его изучения в клинической психологии развития // Психологическая наука и образование psyedu.ru. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 169–181. DOI: 10.17759/psyedu.2014060415

Барг А.О., Лебедева-Несевря Н.А., Корнилицына М.Д. Методические подходы к оценке субъективного восприятия риска населением при воздействии загрязнения атмосферного воздуха на здоровье // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.03

UDC 316.77+504.3

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.03.eng



Research article

METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING SUBJECTIVE HEALTH RISK PERCEPTION BY POPULATION UNDER EXPOSURE TO AMBIENT AIR POLLUTION

A.O. Barg^{1,2}, N.A. Lebedeva-Nesevrya^{1,2}, M.D. Kornilitsyna²

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 6140045, Russian Federation

²Perm State National Research University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

There is a growing demand by the civil society for relevant information on the environment quality and related health risks. The state should be able to satisfy this demand and this makes the present research truly vital. It concentrates on correlating expert and non-expert opinions expressed when perceiving risk quantification.

Our goal was to answer two following questions: 1) How does an average unprofessional person quantify a probability and severity when he or she hears certain verbal expressions that denominate them? 2) How can we possibly identify the assessment of health risks associated with environmental pollution factors given by the population in general or specific social groups?

To find answers to these questions, we applied quantitative methods for data collection and analysis. The first stage involved collecting data on subjective correlation of a verbal probability scale with its numeric expression among people living in industrial cities. The second stage focused on testing the methodology for studying assessments of health risks associated with ambient air pollution given by the population/social groups. This methodology relied on the results obtained at the previous stage.

We established that only 70 % of people actually correlated words with figures. We determined that experts tended to rate probabilities approximately by 10 % higher than “average people” did when it came down to such words as “Virtually certain” and “Very likely”. Such words as “Likely”, “Similarly likely” and “Unlikely” were also rated differently but with a smaller gap between the opinions. The study also provides a method for determining the public assessment of health risks

© Barg A.O., Lebedeva-Nesevrya N.A., Kornilitsyna M.D., 2022

Anastasiya O. Barg – Candidate of Sociological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory for Social Risks Analysis (e-mail: an-bg@yandex.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2901-3932>).

Natalia A. Lebedeva-Nesevrya – Doctor of Sociological Sciences, Head of the Laboratory for Social Risks Analysis (e-mail: natnes@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3036-3542>).

Mariya D. Kornilitsyna – 1st year MA student of the Faculty of Philosophy and Sociology, trainee at the Laboratory for Social Risks Analysis (e-mail: maruromanova@mail.ru; tel.: +7 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2291-4316>).

associated with ambient air pollution. The research results give an opportunity to solve a practical task related to informing the population about health risks and to overcome a so-called language barrier between experts and ordinary people. For example, messages aimed for decision-makers can be adapted considering all the identified perception peculiarities.

Keywords: risk perception, risk assessment, risk rate, probability assessment, subjective risk assessment, probability of risk realization, health risk, informing.

References

1. Japp K. Risikosoziologie als, Fröhliche Wissenschaft [Risk Sociology as Cheerful Science]. *Zeitschrift für Soziologie*, 2016, vol. 28, no. 4, pp. 311–316 (in German).
2. Mozgovaya A.V. Risk communication as a mechanism for the formation of the security status of a territorial community in the process of adaptation. *Society and Security Insights*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 137–145. DOI: 10.14258/ssi(2019)3-6290 (in Russian).
3. Repin L.V., Biblin A.M., Vishnyakova N.M. Problems of risk communication related to the provision of the radiation safety. Basic concepts and definitions. *Radiatsionnaya gigiena*, 2018, vol. 11, no. 3, pp. 83–91. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91 (in Russian).
4. Stolyar V.Yu. Doverie kak instrument upravleniya global'nym riskom [Trust as a global risk management tool]. *Izvestiya RGPU im. A.I. Gertsena*, 2008, no. 82-1, pp. 330–336 (in Russian).
5. Mikhaylova E.A. Nanotechnology risks and public perception. *Sotsiologicheskii zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 59–71 (in Russian).
6. Health and the environment: communicating the risks. *WHO Regional Office for Europe*, 2013. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/233759/e96930.pdf (20.05.2022).
7. Climate Change 2001: Synthesis Report. In: R.T. Watson, Core Writing Team eds. *IPCC*, 2001. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf (13.05.2022).
8. IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk and of Options: workshop report. *IPCC*, May 11–13, 2004. Available at: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc-workshop-2004-may.pdf> (31.01.2022).
9. Patt A.G., Schrag D.P. Using specific language to describe risk and probability. *Climatic Change*, 2003, vol. 61, pp. 17–30.
10. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. In: D. Kahneman, P. Slovic, A. Tversky eds. Cambridge University Press, 2008, 569 p.
11. Maslennikov V.V., Trocov A.A. Methodological approaches to risk assessment, determine the economic security. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*, 2016, vol. 5, no. 4 (17), pp. 272–274 (in Russian).
12. Sorokotiagina V.L. Methods of measuring of economic risks of entrepreneurial activity. *Menedzher*, 2021, no. 2 (96), pp. 130–137. DOI: 10.5281/zenodo.5075294 (in Russian).
13. Plous S. The Psychology of Judgment and Decision Making. USA, McGraw-Hill Education, 1993, 320 p. (in Russian).
14. Alekseev A.O., Salnikov K.R. Development of the optimal multifactor risks management information system prototype. *Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie v ekonomike, strakhovanii i upravlenii riskami*, 2021, no. 6, pp. 13–17 (in Russian).
15. Rakitskiy 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. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575 (in Russian).
16. Fomenko G.A., Komarov S.I., Fomenko M.A., Borodkin A.E., Luzanova A.K. Risk-oriented approach to ecological safety management at oil refinery. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*, 2018, vol. 105, no. 2, pp. 102–109 (in Russian).
17. Zaytseva N.V., Popova A.Yu., Onishchenko G.N., May I.V. Current problems of regulatory and scientific-medical support for the assurance of the sanitary and epidemiological welfare of population in the Russian Federation as the strategic government task. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-5-9 (in Russian).
18. Effective risk communication for environment and health. A strategic report on recent trends, theories and concepts. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2021, 67 p.
19. Gavrilov K.A. Sotsiologiya vospriyatiya riska: opyt rekonstruktsii klyuchevykh podkhodov [Sociology of risk perception: experience in the reconstruction of key approaches]. In: A.V. Mozgovaya ed. Moscow, Institute of Sociology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009, 196 p. (in Russian).
20. Veschnikova M.I. A review of studies of danger perception and prospects of its study in clinical psychology development. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie psyedu.ru*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 169–181. DOI: 10.17759/psyedu.2014060415 (in Russian).

Barg A.O., Lebedeva-Nesevrya N.A., Kornilitsyna M.D. Methodical approaches to assessing subjective health risk perception by population under exposure to ambient air pollution. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.03.eng

Получена: 01.06.2022

Одобрена: 10.06.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ РИСКА ЗДОРОВЬЮ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А.В. Алексеева, О.Н. Савостикова

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью,
Россия, 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 10, стр. 1

Пластиковые трубы и покрытия могут содержать добавки, в том числе металлические стабилизаторы и антиоксиданты, предназначенные для защиты материала во время его производства и использования. Некоторые химические соединения могут выделяться из этих пластиковых труб и оказывать влияние на качество питьевой воды. Представлены результаты анализа различных подходов к исследованию полимерных материалов на предмет оценки миграции химических веществ в питьевую воду, положенных в основу методик их гигиенической оценки.

Миграция оценивалась в одинаковых условиях по двум типам миграционных процессов: непрерывному процессу миграции и последовательному процессу миграции. Эти два типа процессов миграции имитируют условия различных режимов потока в трубопроводах питьевой воды: ситуации непрерывного застоя в системе и стандартного состояния потока с регулярным обновлением воды в водопроводных сетях. В воде для тестирования идентифицировано более 20 органических соединений. Большинство из них определяются в незначительных концентрациях (за исключением бутиламида бензенсульфоновой кислоты). Причем многие из этих соединений не имеют нормативов и референсных концентраций в питьевой воде и, следовательно, необходимой токсикологической оценки. В связи с этим классическая оценка риска для здоровья человека от воздействия данных веществ практически невозможна.

Показано также, что высвобождение химических соединений значительно различается при разных способах постановки эксперимента. Результаты последовательных испытаний на миграцию указали на тенденцию изменения интенсивности миграции из полимерных материалов труб с течением времени, в то время как результаты, полученные в ходе испытаний на непрерывную миграцию, показали, что в условиях застоя качество питьевой воды может быстро ухудшаться из-за миграции органических веществ.

Ключевые слова: водоснабжение, питьевая вода, гигиеническая оценка полимерных материалов, полимеры, миграция, полиуретановые покрытия, хромато-масс-спектрометрические исследования, водный риск.

Полимерные трубы и полимерные покрытия, предназначенные для защиты внутренних поверхностей трубопроводов и для ремонта и восстановления (реконструкции) существующих систем питьевого водоснабжения, все чаще используются для магистральных и разводящих водопроводных сетей из-за более низкой стоимости и более простой установки по сравнению с металлическими альтернативами. К сожалению, пластиковые трубы и покрытия могут содержать добавки, такие как металлические стабилизаторы, пластификаторы и другие антиоксиданты, предназначенные для защиты материала во время его производства и использования. Поскольку молекула пластификатора и других добавок обычно химически

не связана с полимерной цепью, она может высвободиться при производстве полимера или позднее при его повседневном использовании. Миграция пластификаторов из пластмасс в течение срока службы может вызвать загрязнение окружающей среды и причинить вред здоровью человека [1–7].

Со временем загрязнение органическими веществами питьевой воды будет становиться все более актуальной проблемой в связи с переходом трубопроводных сетей на современные полимерные покрытия. На данный момент полувolatile органические соединения (SVOC) уже являются повсеместно распространенными и токсичными загрязнителями окружающей среды [8–10]. В од-

© Алексеева А.В., Савостикова О.Н., 2022

Алексеева Анна Венидиговна – кандидат медицинских наук, начальник отдела гигиены (e-mail: AAlekseeva@cspmz.ru.; тел.: 8 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382>).

Савостикова Ольга Николаевна – кандидат медицинских наук, начальник отдела физико-химических методов исследования и экотоксикологии (e-mail: OSavostikova@cspmz.ru; тел.: 8 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366>).

ной из работ S. Zhang с соавт. [11] была выявлена значительная корреляция содержания SVOC в питьевой воде с размером экономики и населением городов Китая, что говорит о возрастании проблемы с увеличением научно-технического прогресса и возможностей химической промышленности в частности. Однако появление полуволетучих органических соединений в водопроводной воде и связанные с этим потенциальные риски для здоровья недостаточно изучены [12], при том, что эти соединения могут оказывать неблагоприятное воздействие на человека даже при низких концентрациях. Для оценки этого воздействия и расчета риска необходимы испытания на токсичность. Однако данных о токсичности для многих соединений нет, а если они и доступны, то требуют специального поиска в литературных источниках.

Миграцию органических соединений в питьевую воду возможно отследить в натурных исследованиях [13–20]. На динамику миграции загрязняющих веществ в водопроводной воде потенциально влияют различные типы жилья с точки зрения конструкции системы подачи и распределения воды, вариантов потребления и других гидравлических факторов. Содержание органических соединений в водопроводной воде, как оказалось, значительно зависит в том числе и от этажности жилой застройки [18]. Миграция органических компонентов пластиков значительно уменьшается в течение первых месяцев эксплуатации системы водоснабжения здания. Однако время застоя питьевой воды в трубах также оказывает немалое влияние на содержание органических соединений. Количество органических соединений, мигрировавших из материалов в питьевую воду, растет с увеличением времени застоя. В работе A. Pelto-Huikko [19] представлена инструкция для пользователей, в которой указана необходимость слива определенного количества воды перед тем, как использовать ее для питьевых целей.

При том, что смена воды является признанным методом снижения концентрации загрязняющих веществ в питьевой воде, разногласия и недостаточность освещения темы в научной литературе усложняют прогнозирование того, какой объем воды может потребоваться для снижения вторичного органического загрязнения.

Результаты одной из работ [20] показывают, что потребуются, возможно, несколько дней непрерывной промывки для достижения удаления загрязняющих веществ ниже нормативных уровней.

На современном этапе развития с помощью математического молекулярно-динамического моделирования диффузии можно теоретически рассчитать миграцию добавок для различных соотношений «поверхность / объем» и концентраций вводимых в полимер соединений на поверхности материала.

Точные данные о коэффициентах диффузии добавок в полимере позволяют спрогнозировать миграцию в питьевую воду в течение определенного времени [21–23]. В ранее проведенных в нашей стране исследованиях показано, что снижение уровня миграции во времени происходит по экспоненциальной кривой¹. Установлено, что наиболее интенсивное вымывание химических соединений из полимерных материалов наблюдается в первые дни контакта с водой, а затем уровни выделения токсичных веществ снижаются.

Изучение процессов миграции химических соединений, расчет коэффициентов диффузии добавок в полимере позволяют спрогнозировать динамику возможного вторичного загрязнения питьевой воды. Анализ полученных данных лежит в основе разработки различных подходов к гигиенической оценке полимерных материалов. Это достаточно серьезная методическая проблема, так как корректная оценка экспозиции материала в водной среде важна для интерпретации результатов и для последующей оценки риска здоровью, одного из важных методов гигиенической оценки. Дело в том, что количество различных факторов, которые могут изменить состав, концентрацию и, следовательно, токсичность набора мигрирующих соединений и, в конечном счете, точность методов прогнозирования, делают оценку риска данного набора соединений для здоровья человека и окружающей среды и так крайне сложной задачей. Помимо этого исследования по оценке риска смеси веществ столкнутся с недостаточным набором токсикологических данных и пробелами в знаниях о синергетическом воздействии смесей загрязнителей [24].

К аналогичным выводам пришли в работе по оценке водного риска [25]. Авторами был сделан вывод, что большинство веществ не встречаются в концентрациях, которые по отдельности представляют заметный риск для здоровья человека. Однако отмечено, что нельзя исключать опасность для здоровья найденных ими винилхлорида, трихлорэтилена, бромдихлорметана, фенола, 2-хлорбензоламина и других соединений. Для части отобранных веществ оценка токсикологического риска для питьевой воды не могла быть выполнена, поскольку отсутствовали данные о токсичности. Авторами предложено при отсутствии необходимых данных применять подход «Порог токсикологического беспокойства» (ТТС) для оценки риска на уровне скрининга.

Возвращаясь к корректной оценке экспозиции материала в водной среде, необходимо отметить, что гигиеническая оценка полимерных материалов в таких странах, как Великобритания, Германия и некоторых других, проводится со сменой воды, и анализируются вытяжки с двух- или трехдневных пе-

¹ Шефтель В.О., Дышиневиц Н.Е., Сова Р.Е. Токсикология полимерных материалов. – Киев: Здоров'я, 1988. – 210 с.

риодов контакта материала с питьевой водой, то есть в основе лежит последовательный процесс миграции, имитирующий условия нормального (стандартного) состояния потока с регулярным обновлением воды в водопроводных сетях.

В нашей стране в основу гигиенической оценки материалов, используемых для питьевого водоснабжения, согласно МУ 2.1.4.2898-11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки»², положено изучение непрерывного процесса миграции, имитирующего ситуацию непрерывного застоя воды в водопроводной системе.

Таким образом, **цель исследования** – изучение и сравнение различных подходов к гигиеническому анализу полимерных материалов на предмет оценки миграции химических веществ в питьевую воду. Миграция оценивалась в одинаковых условиях по двум типам миграционных процессов: непрерывному процессу миграции и последовательному процессу миграции. Эти два типа процессов имитируют условия различных режимов потока в трубопроводах питьевой воды: ситуации непрерывного застоя в системе и нормального состояния потока с регулярным обновлением воды в сетях питьевого водоснабжения.

Материалы и методы. Проведено исследование двухкомпонентного полиуретанового покрытия европейской страны-изготовителя. Данный материал, согласно техническим документам, имеет разрешение для использования в питьевом водоснабжении на территории страны-изготовителя. Согласно инструкции изготовителя покрытие используется в магистральных трубах диаметром от 100 до 610 мм.

Готовые образцы представляли собой гладкие плотные, но эластичные пластины серого цвета, толщиной от 0,3 см, не обладающие запахом.

Проведены две серии исследований для подтверждения ранее выдвинутых предположений [26, 27]. В первой серии изучался непрерывный процесс миграции. Оценка двухкомпонентного полиуретанового покрытия выполнена с учетом «Единых требований...» (ЕврАзЭС «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)»³ (2010)). Также были исследованы показатели, не являющиеся обязательными для оценки полимерных материалов, используемых в питьевом во-

доснабжении. Образцы предварительно подготавливались в соответствии с методическими указаниями МУ 2.1.4.2898-11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки»².

Во второй серии исследований использовался метод, принятый в DWI (Директорат по контролю за качеством воды, Великобритания), в качестве примера изучения последовательного процесса миграции. Образцы промывали проточной водой в течение 1 ч и погружали в воду для тестирования. Использовали следующую выдержку (периоды контакта с водой (ST)): ST1 – 1 ч, ST2 – 23 ч, ST3 – 24 ч, ST4 – 24 ч, ST5 – 72 ч, ST6 – 72 ч. По истечении каждого периода контакта с водой (ST) образец вынимали и помещали в свежую воду (дистиллят) на следующий период. Образцы с ST2, ST3 и ST6 брали на анализ.

Соотношение объема материала к объему контактирующей воды составляло 1 см²: 1 см³. В качестве исходной воды для приготовления водных вытяжек (опыт) использовались московская водопроводная и дистиллированная вода. Вытяжки настаивались при температуре 20 °С. В качестве контроля использовали вышеуказанные типы воды для адекватной гигиенической оценки. Отбор проб опытной (водная вытяжка) и контрольной воды в первой серии исследований проводился на 1-е, 3-е, 5-е, 15-е и 30-е сутки исследования.

Оценка вытяжек проводилась в следующих направлениях: органолептические исследования, изучение миграции органических соединений и металлов. В физико-химических исследованиях оценивали органолептические показатели качества водных вытяжек (запах, привкус, цветность, мутность); определяли окисляемость перманганатную, рН.

Исследования, ориентированные на идентификацию и количественное определение труднолетучих органических веществ в воде, выполнены хромато-масс-спектрометрическим методом, позволяющим надежно идентифицировать и количественно определять с чувствительностью на уровне и ниже гигиенических нормативов широкий спектр органических веществ C1–C40 в воде с неизвестным составом загрязняющих веществ, на хромато-масс-спектрометре Focus GC с DSQ II (США) в соответствии с действующими методическими документами по

² МУ 2.1.4.2898-11. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации; введ. в действие 12.07.2011 (взамен МУ 2.1.4.783-99) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089967> (дата обращения: 11.02.2022).

³ Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (с изменениями на 22 февраля 2022 года) / утв. Решением Комиссии таможенного союза от 28 мая 2010 года № 299 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902249109> (дата обращения: 13.03.2022).

контролю органических веществ. Также определены показатели, обязательные для оценки материалов согласно Единым санитарным требованиям, – формальдегид и ацетальдегид, спирт метиловый, этиленгликоль.

Анализ неорганических веществ в водных вытяжках проводился по ГОСТ 31870-2012⁴ методом атомной спектроскопии.

Результаты и их обсуждение. В первой серии исследуемый материал практически не изменял запах и привкус водной вытяжки. Мутность и цветность московской водопроводной воды в процессе настаивания существенно не возрастали. При контакте исследуемого материала с водой водородный показатель не отличался от контрольных величин.

Анализ данных по изучению возможной миграции органических веществ из указанного материала показал, что в исследуемой водной вытяжке рост показателя перманганатной окисляемости практически не отличался от такового в контрольной пробе и не превышал гигиенический норматив.

Для аналитического исследования миграции органических соединений в качестве исходной воды для приготовления водных вытяжек использовалась дистиллированная вода при температуре 20 °С. Исследования, ориентированные на идентификацию и количественное определение органических веществ в воде выполнены на 1-е, 3-и и 5-е сутки эксперимента хромато-масс-спектрометрическим методом. При анализе водных вытяжек из образцов двухкомпонентного полиуретанового покрытия идентифицировано до 27 органических соединений (табл. 1).

Некоторые из идентифицированных веществ обнаружены в незначительных концентрациях, у большинства из них не установлены предельно допустимые уровни их содержания в питьевой воде. Соединения относятся в основном к кислородсодержащим, среди которых кетоны, эфиры и фталаты. В наибольшей концентрации были выявлены диметиловый эфир гексаэтиленгликоля – 0,227 мг/л и диметокситетраэтиленгликоль – 0,149 мг/л, данные соединения идентифицированы условно и не имеют ПДК в питьевой воде (ПДК этиленгликоля – 1 мг/л). Кроме того, идентифицированы азотсодержащие соединения в незначительных концентрациях и азот-, серосодержащее соединение – бутиламид бензилсульфоновой кислоты (CAS No. 3622-84-2) в концентрации, превышающей его предельно допустимую, – 0,123 мг/л (4,1 ПДК). Бутиламид бензилсульфоновой кислоты нормирован по санитарно-токсикологическому показателю вредности, 2-й класс опасности.

Анализ неорганических веществ в водной вытяжке на 30-е сутки опыта (вытяжка из материала на

дистиллированной воде при температуре 20 °С) показал, что миграция токсичных элементов I и II класса опасности – свинца, никеля, кобальта, лития – практически отсутствовала.

В водных вытяжках также проведен анализ таких органических загрязнений, как ацетальдегид и формальдегид. Миграция ацетальдегида происходила на уровне 0,75 ПДК, остальные определяемые соединения находились на более низком уровне.

Из металлов в вытяжке выявлена незначительная концентрация хрома – 0,0005 мг/л (0,005 ПДК) и кадмия – 0,00003 мг/л (0,03 ПДК).

При анализе водных вытяжек из образцов полиуретанового покрытия во второй серии исследований (при изучении последовательного процесса миграции) идентифицировано 21 органическое соединение (табл. 2). Все вещества обнаружены в незначительных количествах. Уровень их миграции оценивается как стабильный или убывающий. Бутиламид бензилсульфоновой кислоты обнаружен в концентрациях 0,023; 0,006 и 0,005 мг/л, что не превышает ПДК данного соединения и характеризует убывающий характер миграции.

В водных вытяжках также проведен анализ обязательных показателей для оценки материалов согласно «Единым санитарным требованиям...» – формальдегид и ацетальдегид, спирт метиловый, этиленгликоль. Миграция ацетальдегида происходила на уровне 0,25 ПДК (в периодах ST2 и ST3), остальные определяемые соединения находились на более низком уровне.

Анализ неорганических веществ в водных вытяжках показал, что миграция токсичных элементов I и II класса опасности и металлов, влияющих на органолептические свойства воды, практически отсутствовала.

Выводы. Основной проблемой при гигиенической оценке полимерных материалов является потенциальное увеличение риска для здоровья человека от употребления в питьевых целях водопроводной воды, загрязненной мигрирующими из пластика органическими соединениями.

С одной стороны, тенденция замены металлических трубопроводов на полимерные оправдана: более низкая стоимость, более простая установка, отсутствие коррозии и многое другое.

С другой стороны, на современном уровне развития химической промышленности миграция органических соединений из пластиков в питьевую воду практически неизбежна. Проводятся исследования по разработке новых пластификаторов, поиск соединений, обеспечивающих хорошие механические свойства материала, но с ограниченной, нулевой миграцией, устойчивостью к экстракции и низкой

⁴ ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии: межгосударственный стандарт / принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 15 ноября 2012 г. № 42); введ. в действие 01.01.2014 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097409> (дата обращения: 13.03.2022).

Таблица 1

Органические соединения, идентифицированные в водных вытяжках из материала на основе полиуретана (при температуре 20 °С) при изучении непрерывного процесса миграции

№ п/п	Соединение	Брутто- формула	CAS	Концентрация, мг/дм ³		
				1-е сутки	3-и сутки	5-е сутки
1	Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀		0,003	–	0,004
2	Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄		0,002	0,004	0,004
	Спирты					
3	Гексадеканол	C ₁₆ H ₃₄ O	36653-82-4	0,003	–	0,003
4	Гептадеканол	C ₁₇ H ₃₆ O		0,006	–	–
	Фенолы					
5	4,4-Изопропилиден дифенол	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	80-05-7	0,003	0,006	–
6	2,6-Ди-трет-бутил-4-этилфенол	C ₁₆ H ₂₆ O	4130-42-1	0,004	–	–
7	Пара-трет-бутилфенол	C ₁₀ H ₁₄ O	98-54-4	0,005	0,002	
8	2,4-Ди-трет-бутилфенол	C ₁₄ H ₂₂ O	96-76-4	–	0,003	
	Простые эфиры					
9	2,5,8,11-Тетраоксадодекан*	C ₈ H ₁₈ O ₄	112-49-2	0,056	0,016	–
10	Пентаоксапентадекан	C ₁₀ H ₂₂ O ₅	–			0,023
	Кетоны					
11	Бензофенон	C ₁₃ H ₁₀ O	119-61-9	0,004	0,004	0,008
	Карбоновые кислоты					
12	Тетрадекановая	C ₁₄ H ₂₈ O	544-63-8	–	0,005	0,004
13	Гексадекановая	C ₁₆ H ₃₂ O	57-10-3	0,011	0,019	0,016
	Сложные эфиры					
14	Диметилэтил метил пропандиловый эфир 2-метилпропановой кислоты	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	74381-40-1	0,005	0,014	0,011
15	Диизобутиловый эфир адипиновой кислоты	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	141-04-8	0,030	0,025	0,014
16	Диметокситетраэтиленгликоль*	C ₁₀ H ₂₂ O ₅	143-24-8	0,018	0,64	0,149
17	Метилловый эфир тетрапропиленгликоля*	C ₁₃ H ₂₈ O ₅	20324-34-9	0,012	–	–
18	Диметилловый эфир гексаэтиленгликоля*	C ₁₄ H ₃₀ O ₇	1072-40-8	0,035	0,050	0,227
19	Трибутилацетилцитрат	C ₂₀ H ₃₄ O ₈	77-90-7	–	–	0,022
	Фталаты					
20	Диметилфталат	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	131-11-3	0,001	0,003	–
21	Диизобутилфталат	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	84-69-5	0,032	0,026	0,033
22	Дибутилфталат	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	84-69-2	0,021	0,019	0,078
23	Монобутилфталат	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	131-70-4	0,063	0,023	0,084
	Азотсодержащие соединения					
24	Акридин	C ₁₃ H ₉ N	260-94-6	0,006	0,003	0,014
25	1,2,3,4,5,6,7,8-Октагидроакридин	C ₁₃ H ₁₇ N	1658-088-8	0,003	0,003	0,003
26	4-Пиперидиол-1-метил-4 (2-метил-2-пропенил)*	C ₁₀ H ₁₉ NO	–	0,034	–	–
	Азот-, серосодержащие соединения					
27	Бутиламид бензенсульфоновой кислоты	C ₁₀ H ₁₅ NO ₂ S	3622-84-2	0,044	0,075	0,123

Примечание: * – идентификация условна.

Таблица 2

Органические соединения, идентифицированные в водных вытяжках из материала на основе полиуретана (при температуре 20 °С) при изучении последовательного процесса миграции

№ п/п	Соединение	Брутто- формула	CAS	Концентрация, мг/дм ³		
				ST2	ST3	ST6
1	Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀		0,003	–	0,002
2	Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄		0,002	0,004	0,002
	Спирты					
3	Гексадеканол	C ₁₆ H ₃₄ O	36653-82-4	0,003	–	0,003
4	Гептадеканол	C ₁₇ H ₃₆ O		0,006	–	–
	Фенолы					
5	4,4-Изопропилиден дифенол	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	80-05-7	0,003	0,006	–
6	2,6-Ди-трет-бутил-4-этилфенол	C ₁₆ H ₂₆ O	4130-42-1	0,004	–	–
	Простые эфиры					
7	2,5,8,11-Тетраоксадодекан*	C ₈ H ₁₈ O ₄	112-49-2	0,056	0,016	–

Окончание табл. 2

№ п/п	Соединение	Брутто- формула	CAS	Концентрация, мг/дм ³		
				ST2	ST3	ST6
	Кетоны					
8	Бензофенон	C ₁₃ H ₁₀ O	119-61-9	0,004	0,004	–
	карбоновые кислоты					
9	Тетрадекановая	C ₁₄ H ₂₈ O	544-63-8	–	0,005	0,004
10	Гексадекановая	C ₁₆ H ₃₂ O	57-10-3	0,011	0,019	0,016
	Сложные эфиры					
11	Диметилэтил метил пропандиловый эфир 2-метилпропановой кислоты	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	74381-40-1	0,005	0,014	0,011
12	Диизобутиловый эфир адипиновой кислоты	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	141-04-8	0,030	0,025	0,014
13	Диметокситетраэтиленгликоль*	C ₁₀ H ₂₂ O ₅	143-24-8	0,018	0,016	0,018
14	Метилловый эфир тетрапропиленгликоля*	C ₁₃ H ₂₈ O ₅	20324-34-9	0,012	–	–
	Фталаты					
15	Диметилфталат	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	131-11-3	0,001	0,003	–
16	Диизобутилфталат	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	84-69-5	0,032	0,026	0,033
17	Дибутилфталат	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	84-69-2	0,021	0,019	0,016
18	Монобутилфталат	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	131-70-4	0,063	0,023	–
	Азотсодержащие соединения					
19	1,2,3,4,5,6,7,8-Октагидроакридин	C ₁₃ H ₁₇ N	1658-088-8	0,003	0,003	0,003
20	4-Пиперидиол-1-метил-4 (2-метил-2-пропенил)*	C ₁₀ H ₁₉ NO	–	0,034	–	–
	Азот-, серосодержащие соединения					
21	Бутиламид бензенсульфоновой кислоты	C ₁₀ H ₁₅ NO ₂ S	3622-84-2	0,023	0,006	0,005

Примечание: * – идентификация условна.

летучестью⁵. Но на данный момент времени, что видно и по результатам нашего эксперимента, необходимо принимать во внимание влияние мигрирующих органических соединений на здоровье человека.

Результаты оценки двухкомпонентного полиуретанового покрытия, уже получившего разрешение для использования в питьевом водоснабжении на территории своей страны-изготовителя, показали, что концентрации химических соединений в тестируемой воде значительно различаются при разных способах постановки эксперимента. Динамика содержания органических соединений в результате последовательных испытаний на миграцию указала на тенденцию снижения интенсивности миграции из полимерных материалов труб с течением времени, в то время как результаты, полученные в ходе испытаний на непрерывную миграцию согласно МУ 2.1.4.2898-11², продемонстрировали, что в условиях длительного застоя качество питьевой воды может быстро ухудшаться из-за продолжающихся процессов миграции.

В воде для тестирования идентифицировано более 20 органических соединений. Большинство из них в незначительных концентрациях (за исключением бутиламида бензенсульфоновой кислоты). Причем многие не имеют нормативов и референсных концентраций в питьевой воде и, следовательно, необходимой токсикологической оценки [28]. В связи с этим классическая оценка риска для здоровья человека от

воздействия данных веществ практически невозможна. Необходимы дополнительные исследования для уточнения параметров риска и токсичности для конкретных загрязняющих веществ, а также для изучения способа взаимодействия между обнаруженными химическими веществами.

В работе подтверждена необходимость гигиенической оценки материалов, приближенной к реальным условиям их применения и использования в практике питьевого водоснабжения. Это касается оценки площади контакта материала с тестовой водой, оценки последовательного или непрерывного процесса миграции соединений и набора обязательных контролируемых показателей. Это в очередной раз указывает на потребность проведения актуализации и апробации методик оценки материалов, планируемых для применения в питьевом водоснабжении, в том числе, в зависимости от вида материала и его функционального назначения.

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания по теме «Совершенствование государственной системы контроля и обеспечения химической безопасности окружающей среды для здоровья населения с учетом процессов трансформации веществ» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

⁵ Р 1.2.3156-13. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека: руководство / утв. врио Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 декабря 2013 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, 2014. – 639 с.

Список литературы

1. Dibutyl phthalate release from polyvinyl chloride microplastics: Influence of plastic properties and environmental factors / Y. Yan, F. Zhu, C. Zhu, Z. Chen, S. Liu, C. Wang, C. Gu // *Water Res.* – 2021. – Vol. 204. – P. 117597. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117597
2. Cortina-Puig M., Hurtado-Fernandez E., Lacorte S. Plasticizers in drinking water and beverages // *Curr. Anal. Chem.* – 2018. – Vol. 14, № 4. – P. 344–357. DOI: 10.2174/1573411013666170922145949
3. Pharmaceuticals, hormones, plasticizers, and pesticides in drinking water / S.Y. Wee, N.A.H. Ismail, D.E.M. Haron, F.M. Yusoff, S.M. Praveena, A.Z. Aris // *J. Hazard. Mater.* – 2022. – Vol. 424 (Pt A). – P. 127327. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127327
4. Occurrence of multiclass endocrine disrupting compounds in a drinking water supply system and associated risks / S.Y. Wee, A.Z. Aris, F.M. Yusoff, S.M. Praveena // *Sci. Rep.* – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 17755. DOI: 10.1038/s41598-020-74061-5
5. Wee S.Y., Aris A.Z. Endocrine disrupting compounds in drinking water supply system and human health risk implication // *Environ. Int.* – 2017. – Vol. 106. – P. 207–233. DOI: 10.1016/j.envint.2017.05.004
6. Haned Z., Moulay S., Lacorte S. Migration of plasticizers from poly (vinyl chloride) and multilayer infusion bags using selective extraction and GC–MS // *J. Pharm. Biomed. Anal.* – 2018. – Vol. 156. – P. 80–97. DOI: 10.1016/j.jpba.2018.04.011
7. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase / X. Ye, P. Wang, Y. Wu, Y. Zhou, Y. Sheng, K. Lao // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2020. – Vol. 27, № 4. – P. 42082–42091. DOI: 10.1007/s11356-020-10136-0
8. Semi-volatile organic compounds in tap water from Hangzhou, China: Influence of pipe material and implication for human exposure / H. Jin, W. Dai, Y. Li, X. Hu, J. Zhu, P. Wu, W. Wang, Q. Zhang // *Sci. Total. Environ.* – 2019. – Vol. 677. – P. 671–678. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.387
9. Oral bioaccessibility of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in settled dust: A review of measurement methods, data and influencing factors / G. Raffy, F. Mercier, P. Glorennec, C. Mandin, B. Le Bot // *J. Hazard. Mater.* – 2018. – Vol. 352. – P. 215–227. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.03.035
10. Assessing exposure of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in car cabins: Current understanding and future challenges in developing a standardized methodology / J. Lexén, M. Bernander, I. Cotgreave, P.L. Andersson // *Environ. Int.* – 2021. – Vol. 157. – P. 106847. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106847
11. Occurrence of seventy-nine SVOCs in tapwater of China based on high throughput organic analysis testing combined with high volume solid phase extraction / S. Zhang, N. Zhu, H. Zheng, Y. Gao, H. Du, M. Cai, X.-Z. Meng // *Chemosphere.* – 2020. – Vol. 256. – P. 127136. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127136
12. Liu Z.H., Yin H., Dang Z. Do estrogenic compounds in drinking water migrating from plastic pipe distribution system pose adverse effects to human? An analysis of scientific literature // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2017. – Vol. 24, № 2. – P. 2126–2134. DOI: 10.1007/s11356-016-8032-z
13. Faust D.R., Wooten K.J., Smith P.N. Transfer of phthalates from c-polyvinyl chloride and cross-linked polyethylene pipe (PEX-b) into drinking water // *Water Supply.* – 2017. – Vol. 17, № 2. – P. 588–596. DOI: 10.2166/ws.2016.164
14. Releases of brominated flame retardants (BFRs) from microplastics in aqueous medium: Kinetics and molecular-size dependence of diffusion / B. Sun, Y. Hu, H. Cheng, S. Tao // *Water Res.* – 2019. – Vol. 151. – P. 215–225. DOI: 10.1016/j.watres.2018.12.017
15. DinCH and ESBO actual migration from PVC infusion tubings used in an oncopediatric unit / L. Tortolano, H. Matmati, M. Bourhis, K. Manerlax, F. Lemare, J. Saunier, N. Yagoubi // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – Vol. 135, № 36. – P. 46649–46656. DOI: 10.1002/app.46649
16. Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PEX) pipes and effects on drinking water quality / V. Lund, M. Anderson-Glenna, I. Skjevrak, I.-L. Steffensen // *J. Water Health.* – 2011. – Vol. 9, № 3. – P. 483–497. DOI: 10.2166/wh.2011.165
17. Kalweit C., Stottmeister E., Rapp T. Contaminants migrating from crossed-linked polyethylene pipes and their effect on drinking water odour // *Water Res.* – 2019. – Vol. 151. – P. 341–353. DOI: 10.1016/j.watres.2019.06.001
18. Tap water contamination: Multiclass endocrine disrupting compounds in different housing types in an urban settlement / S.Y. Wee, A.Z. Aris, F.M. Yusoff, S.M. Praveena // *Chemosphere.* – 2021. – Vol. 264, Part 1. – P. 128488. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128488
19. Migration of Volatile Organic Compounds (VOCs) from PEX-a Pipes into the Drinking Water during the First Five Years of Use / A. Peltö-Huikko, M. Ahonen, M. Ruismäki, T. Kaunisto, M. Latva // *Materials (Basel).* – 2021. – Vol. 14, № 4. – P. 746. DOI: 10.3390/ma14040746
20. Hauptert L.M., Magnuson M.L. Numerical Model for Decontamination of Organic Contaminants in Polyethylene Drinking Water Pipes in Premise Plumbing by Flushing // *J. Environ. Eng. (New York).* – 2019. – Vol. 145, № 7. – P. 10. DOI: 10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001542
21. Inorganic and organic contaminants in drinking water stored in polyethylene cisterns / T. de Oliveira Moura, F. Oliveira Santana, V. Palmeira Campos, I.B. de Oliveira, Y.D.P. Medeiros // *Food Chem.* – 2019. – Vol. 273. – P. 45–51. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.104
22. Molecular dynamics simulation of three plastic additives' diffusion in polyethylene terephthalate / B. Li, Z.-W. Wang, Q.-B. Lin, C.-Y. Hu // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* – 2017. – Vol. 34, № 6. – P. 1086–1099. DOI: 10.1080/19440049.2017.1310398
23. Holder S.L., Hedenqvist M.S., Nilsson F. Understanding and modelling the diffusion process of low molecular weight substances in polyethylene pipes // *Water Res.* – 2019. – Vol. 157. – P. 301–309. DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.084

24. Risk assessment of environmental mixture effects / K.A. Heys, R.F. Shore, M.G. Pereira, K.C. Jones, F.L. Martin // RSC Adv. – 2016. – Vol. 6, № 53. – P. 47844–47857. DOI: 10.1039/C6RA05406D
25. Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern / K.A. Baken, R.M.A. Sjerps, M. Schriks, A.P. van Wezel // Environ. Int. – 2018. – Vol. 118. – P. 293–303. DOI: 10.1016/j.envint.2018.05.006
26. Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Мамонов Р.А. Сравнительный анализ методов оценки возможности применения полимерных материалов в питьевом водоснабжении, закрепленных в законодательствах России и Германии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 10–2. – С. 263–267.
27. Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Мамонов Р.А. Необходимость проведения актуализации и апробации методик оценки материалов, планируемых для применения в питьевом водоснабжении, в зависимости от вида материала и его функционального назначения с учетом международного опыта // Материалы I Национального конгресса с международным участием по экологии человека, гигиене и медицине окружающей среды «СЫСИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020»: сборник тезисов. – Москва, 19–20 ноября 2020 г. – С. 16–19.
28. Czogała J., Pankalla E., Turczyn R. Recent Attempts in the Design of Efficient PVC Plasticizers with Reduced Migration // Materials (Basel). – 2021. – Vol. 14, № 4. – P. 844. DOI: 10.3390/ma14040844

Алексеева А.В., Савостикова О.Н. Методические подходы к повышению надежности оценки факторов риска здоровью при использовании полимерных материалов в системе питьевого водоснабжения // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.04

UDC 614.7
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.04.eng



Research article

METHODICAL APPROACHES TO RAISING THE RELIABILITY OF HEALTH RISK ASSESSMENT WHEN USING POLYMER MATERIALS IN DRINKING WATER SUPPLY

A.V. Alekseeva, O.N. Savostikova

The Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, bldg. 1, 10 Pogodinskaya Str., Moscow, 119121, Russian Federation

Plastic pipes and coatings may contain additives, including metal stabilizers and antioxidants, designed to protect the material during manufacture and use. Some chemical compounds can be released from these plastic pipes and affect quality of drinking water. The article focuses on analyzing various approaches to examining polymer materials with the aim to assess migration of chemicals into drinking water. These approaches usually underlie methodologies of hygienic assessment developed for polymers.

Migration was assessed under the same conditions as per two types of migration processes, a continuous and a sequential one. These two types of migration processes emulate conditions typical for different flows in drinking water pipelines: situations of continuous stagnation in the system and a standard flow when water is renewed regularly in water supply networks. More than 20 organic compounds were identified in tested water samples. Most of them occurred in small concentrations (excluding benzenesulfonic acid butyl amide). Moreover, many of these chemicals are not regulated in drinking water, there no standards or reference concentrations fixed for them or a relevant toxicological assessment. Given that, it is practically impossible to assess health risks caused by exposure to these chemicals according to conventional assessment procedures.

© Alekseeva A.V., Savostikova O.N., 2022

Anna V. Alekseeva – Candidate of Medical Sciences, Head of the Hygiene Department (e-mail: AAlekseeva@cspmz.ru; tel.: +7 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382>).

Olga N. Savostikova – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department for Physical and Chemical Research Methods and Ecotoxicology (e-mail: OSavostikova@cspmz.ru; tel.: +7 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366>).

It was also shown that release of chemicals differed considerably under different experimental designs. The results produced by successive migration tests indicated that intensity of migration from polymer materials the pipes were made from tended to change over time whereas the results of continuous migration tests showed that in case of stagnation quality of drinking water could deteriorate rather rapidly due to migration of organic compounds.

Keywords: water supply, drinking water, hygienic assessment of polymer materials, polymers, migration, polyurethane coatings, chromato-mass spectrometric studies, water risk.

References

1. Yan Y., Zhu F., Zhu C., Chen Z., Liu S., Wang C., Gu C. Dibutyl phthalate release from polyvinyl chloride microplastics: Influence of plastic properties and environmental factors. *Water Res.*, 2021, vol. 204, pp. 117597. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117597
2. Cortina-Puig M., Hurtado-Fernandez E., Lacorte S. Plasticizers in drinking water and beverages. *Curr. Anal. Chem.*, 2018, vol. 14, no. 4, pp. 344–357. DOI: 10.2174/1573411013666170922145949
3. Wee S.Y., Ismail N.A.H., Haron D.E.M., Yusoff F.M., Praveena S.M., Aris A.Z. Pharmaceuticals, hormones, plasticizers, and pesticides in drinking water. *J. Hazard. Mater.*, 2022, vol. 424 (Pt A), pp. 127327. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127327
4. Wee S.Y., Aris A.Z., Yusoff F.M., Praveena S.M. Occurrence of multiclass endocrine disrupting compounds in a drinking water supply system and associated risks. *Sci. Rep.*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 17755. DOI: 10.1038/s41598-020-74061-5
5. Wee S.Y., Aris A.Z. Endocrine disrupting compounds in drinking water supply system and human health risk implication. *Environ. Int.*, 2017, vol. 106, pp. 207–233. DOI: 10.1016/j.envint.2017.05.004
6. Haned Z., Moulay S., Lacorte S. Migration of plasticizers from poly (vinyl chloride) and multilayer infusion bags using selective extraction and GC–MS. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2018, vol. 156, pp. 80–97. DOI: 10.1016/j.jpba.2018.04.011
7. Ye X., Wang P., Wu Y., Zhou Y., Sheng Y., Lao K. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2020, vol. 27, no. 4, pp. 42082–42091. DOI: 10.1007/s11356-020-10136-0
8. Jin H., Dai W., Li Y., Hu X., Zhu J., Wu P., Wang W., Zhang Q. Semi-volatile organic compounds in tap water from Hangzhou, China: Influence of pipe material and implication for human exposure. *Sci. Total. Environ.*, 2019, vol. 677, pp. 671–678. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.387
9. Raffy G., Mercier F., Glorennec P., Mandin C., Le Bot B. Oral bioaccessibility of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in settled dust: A review of measurement methods, data and influencing factors. *J. Hazard. Mater.*, 2018, vol. 352, pp. 215–227. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.03.035
10. Lexén J., Bernander M., Cotgreave I., Andersson P.L. Assessing exposure of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in car cabins: Current understanding and future challenges in developing a standardized methodology. *Environ. Int.*, 2021, vol. 157, pp. 106847. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106847
11. Zhang S., Zhu N., Zheng H., Gao Y., Du H., Cai M., Meng X.-Z. Occurrence of seventy-nine SVOCs in tapwater of China based on high throughput organic analysis testing combined with high volume solid phase extraction. *Chemosphere*, 2020, vol. 256, pp. 127136. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127136
12. Liu Z.H., Yin H., Dang Z. Do estrogenic compounds in drinking water migrating from plastic pipe distribution system pose adverse effects to human? An analysis of scientific literature. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 2126–2134. DOI: 10.1007/s11356-016-8032-z
13. Faust D.R., Wooten K.J., Smith P.N. Transfer of phthalates from c-polyvinyl chloride and cross-linked polyethylene pipe (PEX-b) into drinking water. *Water Supply*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 588–596. DOI: 10.2166/ws.2016.164
14. Sun B., Hu Y., Cheng H., Tao S. Releases of brominated flame retardants (BFRs) from microplastics in aqueous medium: Kinetics and molecular-size dependence of diffusion. *Water Res.*, 2019, vol. 151, pp. 215–225. DOI: 10.1016/j.watres.2018.12.017
15. Tortolano L., Matmati H., Bourhis M., Manerlax K., Lemare F., Saunier J., Yagoubi N. DinCH and ESBO actual migration from PVC infusion tubings used in an oncopediatric unit. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2018, vol. 135, no. 36, pp. 46649–46656. DOI: 10.1002/app.46649
16. Lund V., Anderson-Glenna M., Skjevrak I., Steffensen I.-L. Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PEX) pipes and effects on drinking water quality. *J. Water Health*, 2011, vol. 9, no. 3, pp. 483–497. DOI: 10.2166/wh.2011.165
17. Kalweit C., Stottmeister E., Rapp T. Contaminants migrating from crossed-linked polyethylene pipes and their effect on drinking water odour. *Water Res.*, 2019, vol. 151, pp. 341–353. DOI: 10.1016/j.watres.2019.06.001
18. Wee S.Y., Aris A.Z., Yusoff F.M., Praveena S.M. Tap water contamination: Multiclass endocrine disrupting compounds in different housing types in an urban settlement. *Chemosphere*, 2021, vol. 264, part 1, pp. 128488. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128488
19. Peltö-Huikko A., Ahonen M., Ruismäki M., Kaunisto T., Latva M. Migration of Volatile Organic Compounds (VOCs) from PEX-a Pipes into the Drinking Water during the First Five Years of Use. *Materials (Basel)*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 746. DOI: 10.3390/ma14040746
20. Hauptert L.M., Magnuson M.L. Numerical Model for Decontamination of Organic Contaminants in Polyethylene Drinking Water Pipes in Premise Plumbing by Flushing. *J. Environ. Eng. (New York)*, 2019, vol. 145, no. 7, pp. 10. DOI: 10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001542

21. De Oliveira Moura T., Oliveira Santana F., Palmeira Campos V., de Oliveira I.B., Medeiros Y.D.P. Inorganic and organic contaminants in drinking water stored in polyethylene cisterns. *Food Chem.*, 2019, vol. 273, pp. 45–51. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.104
22. Li B., Wang Z.-W., Lin Q.-B., Hu C.-Y. Molecular dynamics simulation of three plastic additives' diffusion in polyethylene terephthalate. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.*, 2017, vol. 34, no. 6, pp. 1086–1099. DOI: 10.1080/19440049.2017.1310398
23. Holder S.L., Hedenqvist M.S., Nilsson F. Understanding and modelling the diffusion process of low molecular weight substances in polyethylene pipes. *Water Res.*, 2019, vol. 157, pp. 301–309. DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.084
24. Heys K.A., Shore R.F., Pereira M.G., Jones K.C., Martin F.L. Risk assessment of environmental mixture effects. *RSC Adv.*, 2016, vol. 6, no. 53, pp. 47844–47857. DOI: 10.1039/C6RA05406D
25. Baken K.A., Sjerps R.M.A., Schriks M., van Wezel A.P. Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern. *Environ. Int.*, 2018, vol. 118, pp. 293–303. DOI: 10.1016/j.envint.2018.05.006
26. Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Mamonov R.A. Methodical issues of assessment of possibility of application in drinking water supply of polymeric materials. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2019, no. 10–2, pp. 263–267 (in Russian).
27. Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Mamonov R.A. The need for update and approval of methods for evaluating materials planned for application in drinking water supply, depending on the type of material and its functional designation in consideration with international experience. *Materialy I Natsional'nogo kongressa s mezhdunarodnym uchastiem po ekologii cheloveka, gigiene i meditsine okruzhayushchei sredy «SYSINSKIE ChTENIYA – 2020»: sbornik tezisov*. Moscow, November 19–20, 2020, pp. 16–19.
28. Czogała J., Pankalla E., Turczyn R. Recent Attempts in the Design of Efficient PVC Plasticizers with Reduced Migration. *Materials (Basel)*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 844. DOI: 10.3390/ma14040844

Alekseeva A.V., Savostikova O.N. Methodical approaches to raising the reliability of health risk assessment when using polymer materials in drinking water supply. Health Risk Analysis, 2022, no. 2, pp. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.04.eng

Получена: 23.03.2022

Одобрена: 19.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

Научная статья

К ЗАДАЧЕ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАКТОРОВ РИСКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ПО КРИТЕРИЯМ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ, ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СОМАТИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ

О.Ю. Устинова^{1,2}, Н.В. Зайцева¹, Д.А. Эйфельд¹

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

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

Дети школьного возраста находятся в условиях одновременного влияния ряда факторов риска, касающихся организации учебного процесса, школьного питания, качества воздуха, воды, социально-экономических условий и др. Их интенсивность и сочетанность во многом определяют показатели физического, соматического и психологического состояния. Осуществлена количественная оценка влияния комплекса факторов образовательной среды на ключевые характеристики состояния здоровья учащихся. В ходе работы обследован 661 ребенок четырех различных типов общеобразовательных организаций. Показатели учебного процесса оценены на соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям и гигиеническим нормативам. Психологическое тестирование включало тесты на оценку внимания, когнитивных функций, памяти и наличие стресса. Лабораторные исследования проводили методами жидкостной, газовой хроматографии, спектрофотометрии. Питание оценено на соответствие нормам, рекомендуемым СанПиНом 2.3/2.4.3590-20. Оценка социально-экономических факторов проведена по результатам социологического исследования. Статистическую обработку выполняли с применением стандартных методов статистики и математического анализа. Оценка влияния факторов риска на параметры компонентного состава тела, заболеваемость и результаты психологического тестирования выполнена с применением метода однофакторного логистического регрессионного моделирования зависимостей «доза – вероятность ответа (эффект)» с оценкой значимости моделей по критерию Фишера.

Установлены параметры факторов риска, не вызывающих в условиях одновременного воздействия негативного эффекта в отношении состояния здоровья школьников. Дан сопоставительный анализ соответствия параметров образовательной среды разных типов школ установленным оптимальным, а также нормативным параметрам. Сформулированы рекомендации по созданию школьной и внешкольной здоровьесберегающей среды современного учащегося.

Ключевые слова: *детское население, факторы учебного процесса, контаминация крови, социально-экономические условия, питание, компонентный состав тела, структура заболеваемости, психологическое тестирование.*

В условиях реализации современных программ обучения учащиеся общеобразовательных организаций подвергаются сочетанному воздействию комплекса факторов риска, обусловленных особенностями организации учебного процесса. Интенсификация интеллектуальных нагрузок, уплотнение расписания занятий, возрастающая цифровизация процесса обу-

чения на фоне ограничения двигательной активности детей, наличия погрешностей в организации школьного питания и несоответствия качества внутришкольной среды требованиям санитарного законодательства способствуют снижению уровня адаптационных возможностей растущего организма и формированию соматической патологии у школьников¹ [1–4].

© Устинова О.Ю., Зайцева Н.В., Эйфельд Д.А., 2022

Устинова Ольга Юрьевна – доктор медицинских наук, заместитель директора по клинической работе (e-mail: ustinova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-32-64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>).

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

Эйфельд Дарья Александровна – кандидат биологических наук, заместитель директора по общим вопросам (e-mail: eisfeld@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-77-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0442-9010>).

¹ Общая заболеваемость детского населения в России (0–14 лет) в 2019 году: статистические материалы. – Ч. V, VI. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава РФ, 2020. – 144 с.

Анализ результатов динамической диспансеризации школьников свидетельствует о росте частоты регистрации хронической патологии органов пищеварения, эндокринной, нервной и сердечно-сосудистой систем, повышении уровня тревожности учащихся при переходе на более высокую ступень образования [5–9]. По данным различных авторов, за 30 лет среднее количество морфофункциональных отклонений у одного школьника, а также индекс полиморбидности хронических заболеваний увеличились в 1,6–2,4 раза [10, 11].

Современная модернизация системы образования строится в том числе на создании профильных образовательных организаций различной направленности (гимназий, лицеев, школ с углубленным изучением предметов, кадетских корпусов), ставящих своей целью достижение результативности обучения и разрабатывающих в связи с этим широкий спектр обучающих программ и образовательных технологий [12–14]. В настоящее время основными факторами риска, оказывающими негативное влияние на состояние здоровья учащихся в рамках современного инновационного образовательного пространства, являются: превышение максимально допустимой гигиеническими нормативами учебной нагрузки, нарушение правил использования современных технических средств обучения, сочетание основного и дополнительного образования без учета единовременной нагрузки обучаемого, чрезмерная эмоциональная перегрузка [3, 15]. Анализ организации процесса обучения в профильных учебных заведениях свидетельствует, что их учащиеся испытывают более значительные учебные нагрузки по сравнению со сверстниками из общеобразовательных школ, что позволяет отнести школьников профильных образовательных организаций к группе риска по формированию школьно-обусловленной патологии [16].

Важнейшим фактором, влияющим на состояние здоровья растущего организма, является питание. По мнению ряда авторов, заболевания, возникающие в результате нарушений в питании, могут проявляться не только в детском возрасте, но и на более поздних этапах онтогенеза [17]. Результаты исследования фактического питания городских школьников показали, что более половины из них получают недостаточное количество продуктов животного происхождения (молока, кисломолочных изделий, сливочного масла, яиц, мяса, рыбы), овощей и фруктов. Наиболее распространенным продуктом питания у 60,0 % детей является картофель; избыточное количество макаронных изделий и круп получают 40,0 % школьников, кондитерских изделий – более 60,0 % [18, 19]. В связи с этим организация качественного школьного питания, а именно соответствие содержания в нем макро-, микронутриентов, общей калорийности блюд физиологическим и возрастным потребностям детей, приобретает все большую значимость [20–25].

В связи с тем что образовательные организации являются частью экологической системы города / села, значимое место среди факторов риска здоровью детского населения принадлежит негативному воздействию химической составляющей внутришкольной среды, атмосферного воздуха и потребляемой воды. В ряде исследований в воздухе средних общеобразовательных организаций выявлено сверхнормативное присутствие формальдегида, фенола, стирола, этилбензола и бензола, а у детей, посещающих данные школы, концентрации этих соединений в биосредах до 3 раз превышали допустимые уровни [26]. Хроническое ингаляционное и пероральное поступление загрязняющих веществ техногенного происхождения служат источником постоянной контаминации биосред школьников с последующим развитием общерезорбтивного и органотропного негативных эффектов [8, 27–29].

Несмотря на значительную часть времени, которую дети проводят в стенах образовательных организаций, нельзя недооценивать роль социально-экономических факторов семьи проживания ребенка, а также его внеучебной деятельности [30–32]. В.Р. Кучма с соавторами установили, что уровень двигательной активности у 59,8 % девочек и 43,1 % мальчиков школьного возраста не соответствует критериям Всемирной организации здравоохранения, при этом 30,0 % детей занимаются физкультурой только на школьных уроках, а продолжительность прогулок на открытом воздухе у 57,6 % школьников составляет менее двух часов в день [33]. Вместе с тем стремительно развивающееся информационно-интерактивное пространство вовлекает все большее количество детей в число пользователей. По данным Фонда развития Интернета, в среднем 91,0 % российских детей в возрасте 10–17 лет пользуются Интернетом, более 90,0 % имеют собственные мобильные телефоны [33].

На сегодняшний день недостаточно изучено влияние комплекса факторов образовательного процесса (организация учебного процесса, школьное питание, состояние внутришкольной среды) на показатели здоровья учащихся, не хватает данных о так называемых «недействующих» безопасных уровнях факторов риска образовательного процесса. Выявление особенностей и направленности воздействия факторов образовательного процесса на здоровье учащихся различных типов общеобразовательных организаций является актуальной задачей гигиенической науки на современном этапе.

Цель исследования – обоснование оптимальных параметров факторов риска, не оказывающих негативного воздействия на антропометрические, психологические характеристики и соматическое здоровье учащихся общеобразовательных учреждений.

Материалы и методы. Для изучения особенностей влияния образовательного процесса (организации учебного процесса, школьного питания, санитарно-гигиенического состояния внутришкольной

и внешней среды) на здоровье учащихся проведено клинико-функциональное и лабораторное обследование 661 ребенка пяти общеобразовательных организаций по четырем различным типам организации учебного процесса: I тип – общеобразовательная школа, реализующая дополнительную образовательную программу естественнонаучной направленности (углубленное изучение предметов физико-математического цикла); II тип – общеобразовательная школа, реализующая дополнительную программу общеразвивающей направленности (углубленное изучение предметов гуманитарного цикла); III тип – общеобразовательная школа, реализующая дополнительную программу физкультурно-спортивной направленности (углубленное изучение предметов военной подготовки); IV тип – общеобразовательная школа краевого центра с высоким социально-экономическим уровнем семей; V тип – общеобразовательная школа муниципального центра со средним социально-экономическим уровнем семей. В ходе исследования было обследовано 282 ребенка первой ступени образования, 224 ребенка второй ступени и 155 подростков третьей ступени образования изучаемых школ.

Оценка показателей организации учебного процесса проводилась на основании их сравнительного анализа на соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям и гигиеническим нормативам действующего законодательства². Изучение напряженности

учебного процесса осуществлялось в соответствии с рекомендациями Всероссийского общества развития школьной и университетской медицины и здоровья³.

Оценка школьного питания учащихся выполнялась на основании данных меню-раскладок с расчетом химического состава (белки, жиры, углеводы, витамины B₁, B₂, C, A, минералы Ca, P, Mg, Fe), энергетической ценности и соотношения основных пищевых веществ предлагаемого рациона, которые, в свою очередь, соотносились с требованиями СанПиН 2.3/2.4.3590-20⁴. На основании данных дневников питания школьников за одну неделю выполнена сравнительная оценка соответствия фактического среднесуточного продуктового набора школьников рекомендуемым СанПиНом 2.3/2.4.3590-20⁴.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на территориях размещения общеобразовательных организаций, воздуха помещений и питьевой воды школ выполнялась на основании результатов натурных исследований. Пробы атмосферного воздуха и воздуха внутри помещений школ отбирались согласно требованиям ГОСТ 17.2.3.01-86⁵ и ГОСТ Р ИСО 16000-1-2007⁶. Отборы проб воды ЦХПВ проводились в помещениях пищеблоков исследуемых школ в соответствии с ГОСТ 31862-2012⁷, гигиеническая оценка качества питьевой воды выполнялась согласно ГН 2.1.5.1315-03⁸. Для проведения лабораторных исследований качества атмосферного

² СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.09.2020 № 28; введены в действие 01.01.2021 [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.4.3648-20_deti.pdf (дата обращения: 05.03.2022); СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2; введены в действие 01.03.2021 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 05.03.2022).

³ Руководство по гигиене детей и подростков, медицинскому обеспечению обучающихся в образовательных организациях. Модель организации, федеральные рекомендации оказания медицинской помощи обучающимся / под ред. член-корр. РАН В.Р. Кучмы. – М.: НЦЗД РАМН, 2016. – 610 с.

⁴ СанПиН 2.3/2.4.3590-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 27 октября 2020 г. № 32; введены в действие 27.10.2020 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367564/47eed3976d21a946bdfdc2bd5b9535a2f8930c3/ (дата обращения: 08.02.2022).

⁵ ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов / введен Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3395; дата введения 01.01.87 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012789> (дата обращения: 08.02.2022).

⁶ ГОСТ Р ИСО 16000-1-2007. Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения / утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 марта 2007 г. № 30-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200049806/titles> (дата обращения: 08.02.2022).

⁷ ГОСТ 31862-2012. Вода питьевая. Отбор проб (Применение в качестве национального стандарта РФ прекращено) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097517/titles/7D60K4> (дата обращения: 19.09.2021).

⁸ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ, первым заместителем министра здравоохранения РФ Г.Г. Онищенко 27.04.2003 (утратило силу с 1 марта 2021 года на основании постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 16.02.2021).

воздуха, воздуха помещений школ и питьевой воды использованы унифицированные стандартные методы: жидкостная хроматография высокого давления (формальдегид), газовая хроматография (ароматические углеводороды, хлороформ), спектрофотометрический (фенол) и масс-спектрометрический (свинец, марганец, хром, никель) методы. Исследования выполнялись в соответствии с действующими нормативно-методическими документами: МУК 4.1.1045-01, МУК 4.1.662-97, РД 52.04.186-89, ПНД Ф 14.1: 2: 3.171-00⁹.

Медико-биологические исследования реализованы в соответствии с этическими принципами, изложенными в Хельсинкской декларации (1975) и Национальном стандарте РФ ГОСТ Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP)¹⁰. У всех обследованных детей в соответствии с Федеральным законом оформлено предварительное письменное информированное добровольное согласие законных представителей на проведение обследования.

Оценка социально-экономических факторов риска проводилась на основании результатов социологического исследования, выполненного методом раздаточного анкетирования, в ходе которого изучался состав семьи, образование и наличие постоянной работы у родителей, доход на одного члена семьи, условия проживания и наличие собственной комнаты у ребенка и т.д. Социологическое исследование включало анализ досуга ребенка (время ежедневных прогулок, манипуляций с девайсами, просмотра ТВ, занятий творчеством, посещения спортивных секций), наличия и характера дополнительного образования (занятия с репетитором, посещение учреждений дополнительного образования), продолжительности перерывов между

различными видами образовательной деятельности, времени выполнения домашнего задания и т.д. Двигательная активность ребенка оценивалась по показателям регулярности занятий спортом, времени активных игр на свежем воздухе, частоте хождения пешком более 20 мин подряд и т.д.

В ходе клинического обследования все дети осмотрены педиатром, аллергологом, неврологом, гастроэнтерологом, ЛОР-врачом, кардиологом. Для оценки уровня физического развития детей и соматического здоровья проведены антропометрические исследования, биоимпедансометрия, ЭКГ, кардиоинтервалография, УЗИ органов брюшной полости, комплекс общеклинических, биохимических и иммунологических исследований. Психологическое тестирование выполнялось с использованием системы компьютеризированной психологической диагностики Vienna Test System и компьютерного комплекса для психофизиологического тестирования «НС-Психотест» с оценкой времени реакции на раздражитель, скорости моторной функции, уровня внимания (RT-тест), состояния когнитивных функций (STROOP-тест), пространственной оперативной памяти (CORSI-тест), уровня психологического стресса (тест Люшера).

На основании результатов клинко-функционального и лабораторного обследования каждому ребенку установлен полный клинический диагноз.

Определение содержания в крови детей химических веществ техногенного происхождения (формальдегид, фенол, этилбензол, бензол, толуол, хлороформ, свинец, никель, хром, марганец) проводилось по стандартным методикам в соответствии с действующими нормативно-методическими документами: МУК 4.1.2111-06; МУК 4.1.2115-06; МУК 4.1.765-99; МУК 4.1.2108-06; МУК 4.1.3230-14;

⁹ МУК 4.1.1045-01. Методы контроля. Химические факторы. ВЭЖХ определение формальдегида и предельных альдегидов (C₂–C₁₀) в воздухе / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ, первым заместителем министра здравоохранения РФ Г.Г. Онищенко 5 июня 2001 г.; дата введения 1 октября 2001 г. [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294814/4294814986.pdf> (дата обращения: 16.02.2021); МУК 4.1.662-97. Методы контроля. Химические факторы. Методические указания по определению массовой концентрации стирола в атмосферном воздухе методом газовой хроматографии / утв. первым заместителем Председателя Госкомсанэпиднадзора России, заместителем Главного государственного санитарного врача РФ 31.10.1996 [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293814/4293814194.htm> (дата обращения: 16.02.2021); РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Части II, III. Приложения к части I) (отменен в части) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037440/titles> (дата обращения: 16.02.2021); ПНД Ф 14.1:2:3.171-00. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлористого метила, винилхлорида, винилиденхлорида, метилхлорида, хлороформа, четыреххлористого углерода, 1,2-дихлорэтана, бензола, трихлорэтана, 1,1,2-трихлорэтана, толуола, орто-ксилола, суммарного содержания, мета- и параксилолов в сточных, природных поверхностных и подземных водах газохроматографическим методом / утв. директором ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» Г.М. Цветковым 6 августа 2002 г. [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739708.htm> (дата обращения: 16.02.2021).

¹⁰ ГОСТ Р 52379-2005. Надлежащая клиническая практика / утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 сентября 2005 г. № 232-ст // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200041147/titles> (дата обращения: 18.03.2021).

МУК 4.1.3161-14¹¹. Исследования выполнены в отделе химико-аналитических исследований ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (зав. отделом д-р биол. наук Т.С. Уланова). Критериями оценки результатов химико-аналитических исследований биопроб (кровь) являлись референтные или региональные фоновые уровни.

Статистическую обработку результатов выполняли с применением стандартных методов статистики и математического анализа с помощью программы Statistica 6.0 и пакета статистических функций Microsoft Excel, 2010. Оценка влияния образовательного процесса (организация учебного процесса, школьное питание, состояние внутришкольной среды) и социально-экономических факторов на антропометрические показатели и параметры компонентного состава тела, соматическое здоровье и психологическое состояние учащихся выполнена с применением метода однофакторного логистического регрессионного моделирования зависимостей «доза – вероятность ответа (эффект)» с оценкой значимости моделей по критерию Фишера (F) с указанием константы (b_0), коэффициента регрессии (b_1) и коэффициента детерминации Nagelkerke (R^2). Статистически значимыми считали различия при уровне $p \leq 0,05$. Общий вид логистической регрессионной модели:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x)}},$$

где p – вероятность отклонения ответа от нормы; x – уровень экспозиции; b_0 , b_1 – параметры математической модели.

Оценка «оптимальных» значений (x_0) факторов образовательного процесса, не оказывающих негативного воздействия на организм, была выполнена на основе построения регрессионных моделей, отражающих влияние уровня экспозиции на показатель «отношение шансов» (OR), который характери-

зует силу связи между значениями уровня экспозиции и ответом. В качестве критерия наличия связи принималось условие $OR \geq 1$.

Для каждого значения факторов выполнялся расчет показателя отношения шансов, который проводился условным делением выборки на две части: ниже и выше текущего уровня маркера экспозиции. Для обоих интервалов рассчитывалась величина, характеризующая вероятность отклонения маркера от нормы – p_i^- и p_i^+ соответственно как отношение числа наблюдений, отличающихся от нормы, к общему числу наблюдений. Отношение шансов для каждого наблюдения определялось по соотношению:

$$OR_i = \frac{p_i^+}{1 - p_i^+} \bigg/ \frac{p_i^-}{1 - p_i^-},$$

где i – индекс, отражающий номер наблюдения.

Оценка параметров зависимости показателя отношения шансов от значения экспозиции проводилась методом построения регрессионной модели в виде экспоненциальной функции:

$$OR = e^{a_0 - a_1 x},$$

где a_0 , a_1 – параметры модели.

Расчет оптимального уровня фактора экспозиции (x_0) по отношению к виду ответа проводился исходя из условия $OR = 1$ по соотношению:

$$x_0 = \frac{a_0}{a_1}.$$

Результаты и их обсуждение. Оценка показателей организации учебного процесса позволила установить, что в школе I типа на всех ступенях обучения наполняемость классов, общий объем аудиторной дневной и недельной нагрузки, длительность использования технических средств обучения на уроке превышали нормативы, установленные СанПиН 1.2.3685-21 и СП 2.4.3648-20², а режим образовательного процесса (длительность перемен,

¹¹ Определение вредных веществ в биологических средах: сборник методических указаний МУК 4.1.2102–4.1.2116-06 / утв. и введ. в действие Руководителем Роспотребнадзора, Главным государственным санитарным врачом РФ 9 августа 2006 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 183 с.; МУК 4.1.765-99. Газохроматографический метод количественного определения ароматических (бензол, толуол, этилбензол, о-, м-, п-ксилол) углеводородов в биосредах (кровь) / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 6 июля 1999 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039012/titles> (дата обращения: 15.03.2021); МУК 4.1.2108-06. Определение массовой концентрации фенола в биосредах (кровь) газохроматографическим методом / утв. Руководителем Роспотребнадзора, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 9 августа 2006 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065240> (дата обращения: 15.03.2021); МУК 4.1.3230-14. Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / утв. Руководителем Роспотребнадзора, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 19 декабря 2014 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/495856222> (дата обращения: 15.03.2021); МУК 4.1.3161-14. Измерение массовых концентраций свинца, кадмия, мышьяка в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / утв. врио руководителя Роспотребнадзора, Главного государственного санитарного врача РФ А.Ю. Поповой 24 февраля 2014 г. [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293766/4293766470.htm> (дата обращения: 15.03.2021).

перерывов между основными и факультативными занятиями, чередование различных по сложности предметов в течение дня и распределение учебной нагрузки в течение недели) являлся максимально напряженным среди всех анализируемых школ.

В школе II типа только у учащихся первой ступени образования общий объем аудиторной дневной и недельной нагрузки превышал максимально допустимые показатели, однако наполняемость классов на всех ступенях не соответствовала нормативу, в то время как режим образовательного процесса был близок к требованиям СП 2.4.3648-20².

В школе III типа только у учащихся третьей ступени объем аудиторной недельной нагрузки превышал максимально допустимую величину, а режим образовательного процесса на всех ступенях образования был близок к требованиям.

В школе IV и V типов у учащихся всех ступеней образования общий объем аудиторной дневной и недельной нагрузки, длительность использования технических средств обучения на уроке соответствовали требованиям СанПиН 1.2.3685-21 и СП 2.4.3648-20², однако на всех ступенях образования нарушался режим организации учебного процесса.

Таким образом, для большинства исследованных школ факторами риска образовательного процесса, представляющими опасность для здоровья учащихся, являлись: наполняемость классов, недостаточная длительность перемен, перерывов между основными и факультативными занятиями, нарушение принципов чередования различных по сложности предметов в течение дня и распределение учебной нагрузки в течение недели. Следует отметить, что по совокупности нарушений требований СанПиН 1.2.3685-21 и СП 2.4.3648-20² к организации учебного процесса в школах, реализующих дополнительные образовательные программы различной направленности, процесс обучения является более напряженным, чем в школах со стандартными программами обучения.

Исследование организации питания показало, что для всех изученных школ при составлении меню характерно нарушение соотношения макронутриентов (увеличение содержания жиров и углеводов в 1,5–1,8 раза) и снижение содержания жизненно важных микронутриентов (витамины В₁, В₂, С, А, железо, кальций, магний, фосфор – от 5,0 до 45 %),

а также несоответствие общей калорийности рациона рекомендуемым величинам⁴ (95–120 % потребности). Следует отметить, что данные нарушения как по абсолютным значениям, так и по частоте выявления наиболее характерны для школ, реализующих дополнительные программы обучения. Кроме того, в ходе исследования было установлено, что потребляемый современными школьниками суточный набор продуктов (с учетом домашнего питания, вклад которого составляет 76,0–92,2 %), не соответствует их возрастным физиологическим потребностям⁴. Учащиеся исследованных школ потребляют в 1,7–2,0 раза больше колбасных, в 1,4–1,5 раза – макаронных, в 7,8–8,0 раза – кондитерских изделий и в 1,6–3,8 раза меньше овощей, фруктов, рыбы и круп. Наиболее близкий к рекомендуемому⁴ суточный набор продуктов был установлен у учащихся школы III типа, в которой организовано трехразовое питание школьников.

В ходе санитарно-гигиенической оценки качества атмосферного воздуха на территориях размещения образовательных организаций было установлено, что содержание бензола ($0,0025 \pm 0,0004$ – $0,0190 \pm 0,0027$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,1 мг/м³), этилбензола ($< 0,002$ – $0,0083 \pm 0,0009$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,02 мг/м³), никеля ($0,000009 \pm 0,000002$ – $0,000015 \pm 0,0000035$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,01 мг/м³), свинца ($0,000006 \pm 0,000001$ – $0,000020 \pm 0,000004$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,01 мг/м³), марганца ($0,00004 \pm 0,0000008$ – $0,000183 \pm 0,000038$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,001 мг/м³) и хрома ($0,000013 \pm 0,0000087$ – $0,000024 \pm 0,000004$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,015 мг/м³) соответствовало требованиям СанПиН 2.1.6.1032-01¹² и ГН 2.1.6.1338-03¹³, в то время как уровни фенола ($0,0068 \pm 0,0024$ – $0,0075 \pm 0,0019$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,006 мг/м³), формальдегида ($0,0168 \pm 0,0034$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,01 мг/м³) и толуола ($0,0827 \pm 0,0116$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,05 мг/м³) в 1,1–1,7 раза превышали ПДК_{сс}. В воздухе помещений школ наиболее часто обнаруживалось повышенное содержание формальдегида ($0,0124 \pm 0,0025$ – $0,02136 \pm 0,0044$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,01 мг/м³), фенола ($0,0062 \pm 0,0016$ – $0,0064 \pm 0,0016$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,006 мг/м³) и толуола ($0,0721 \pm 0,0145$ – $0,0737 \pm 0,0103$ мг/м³; ПДК_{сс} = 0,05 мг/м³), содержание которых в 1,2–1,5 раза превышало ПДК_{сс}. Качество питьевой воды по санитарно-гигиеническим показателям в образовательных организациях не соответствовало требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01¹⁴ и ГН 2.1.5.1315-03⁸ по содержанию

¹² СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17 мая 2001 г. [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294847/4294847621.htm> (дата обращения: 18.03.2021).

¹³ ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ, первым заместителем министра здравоохранения 21 мая 2003 г. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 86 с.

¹⁴ 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 / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ, первым заместителем министра здравоохранения Г.Г. Онищенко 26 сентября 2001 г. (утратило силу с 1 марта 2021 г.) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 26.02.2021).

хлороформа ($0,138 \pm 0,01$ – $0,186 \pm 0,007$ мг/дм³; ПДК_{сс} = $0,06$ мг/дм³) и формальдегида ($0,094 \pm 0,002$ – $0,123 \pm 0,004$ мг/дм³; ПДК_{сс} = $0,05$ мг/дм³), которое в 1,9–3,1 раза превышало действующие нормативы. В биосредах (кровь) учащихся всех ступеней образования исследуемых школ наиболее часто определялось повышенное содержание фенола ($0,015 \pm 0,005$ – $0,084 \pm 0,031$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,005 \pm 0,001$ мкг/мл), формальдегида ($0,013 \pm 0,008$ – $0,0502 \pm 0,0073$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,01 \pm 0,001$ мкг/мл), бензола ($0,0002 \pm 0,0001$ – $0,009 \pm 0,0003$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,0$ мкг/мл), толуола ($0,0003 \pm 0,0001$ – $0,0009 \pm 0,0001$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,0$ мкг/мл), этилбензола ($0,0002 \pm 0,0001$ – $0,0005 \pm 0,0003$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,0$ мкг/мл), хлороформа ($0,0002 \pm 0,0001$ – $0,0003 \pm 0,0001$ мкг/мл; фоновый уровень – $0,0$ мкг/мл), марганца ($0,014 \pm 0,003$ – $0,015 \pm 0,002$ мкг/мл; референтный уровень – $0,013 \pm 0,004$ мкг/мл), свинца ($0,012 \pm 0,0035$ – $0,056 \pm 0,0075$ мкг/мл; референтный уровень – $0,01 \pm 0,0067$ мкг/мл), никеля ($0,023 \pm 0,009$ – $0,026 \pm 0,0055$ мкг/мл; референтный уровень – $0,015 \pm 0,007$ мкг/мл) и хрома ($0,0039 \pm 0,0018$ – $0,0072 \pm 0,0008$ мкг/мл; референтный уровень – $0,003 \pm 0,002$ мкг/мл).

Сравнительный анализ социально-экономических факторов показал, что для учащихся общеобразовательных школ, реализующих дополнительные образовательные программы (I, II, III типы), характерны в 1,6–1,7 раза более высокий уровень дохода на члена семьи, в 2,7–3,4 раза большая дополнительная образовательная нагрузка и в 1,1–3,5 раза более длительное время занятий физической культурой и спортом. Кроме того, количество родителей с высшим образованием у учащихся данных школ в 4,0–19,0 раза превышает соответствующий показатель в средних общеобразовательных школах (IV, V типы).

Результаты антропометрических исследований выявили, что для учащихся первых двух ступеней обучения общеобразовательных школ, реализующих дополнительные образовательные программы, характерно соответствие средних массо-ростовых показателей, величины экскурсии грудной клетки и ее окружности, а также кистевой динамометрии физиологической возрастной норме с увеличением на третьей ступени числа детей с резко дисгармоничным типом развития. Следует отметить, что максимальное число детей с показателями физического развития, соответствующими возрастной норме, было установлено в школе III типа. В средних общеобразовательных школах (IV, V типы) уже с первой ступени обучения наблюдалось увеличение числа детей с избытком массы тела и ожирением, а на третьей ступени – с резко дисгармоничным типом физического развития.

Динамический анализ данных биоимпедансометрии учащихся школы I типа показал, что характерные для школьников первой ступени обучения более высокие показатели индекса массы тела и до-

ли жировой массы в 1,8–2,5 раза снижаются к старшим классам на фоне увеличения в 1,3–2,6 раза показателей фазового угла, активной клеточной и скелетно-мышечной массы, свидетельствующих об ускорении обменных процессов и росте физической активности детей ($p = 0,02$). В ходе исследования установлено, что учащиеся школы II типа отличаются хорошей физической подготовкой, тренированностью и двигательная активность на протяжении всех ступеней образования, следствием чего являются интенсивные обменные процессы и увеличение к выпускным классам в 3,2 раза значений скелетно-мышечной массы, соответствующих физиологической норме ($p = 0,003$). Максимально гармоничный и близкий к физиологической возрастной норме рост показателей состава тела установлен у учащихся школы III типа – результаты биоимпедансометрии свидетельствуют о лучшей физической подготовке, двигательной активности учащихся на всех уровнях образования, что сопровождается в 1,2–2,7 раза более высокими показателями физической и метаболической активности, доли активной и скелетно-мышечной массы ($p < 0,001$). Для учащихся школ IV и V типов характерно увеличение с возрастом в 2,0–2,3 раза числа учеников, у которых значения индекса массы тела и доли жировой массы превышают норму в 1,4–1,8 раза ($p = 0,02$); вместе с тем значения активной клеточной массы и скелетно-мышечной массы ниже нормы регистрировались у 14,0–31,0 % выпускников, в то время как на первых ступенях образования – лишь в единичных случаях.

Анализ заболеваемости учащихся показал достоверный рост к третьей ступени образования числа случаев патологии глаза и его придаточного аппарата во всех образовательных организациях. Регистрация максимального числа случаев проявления патологии данного класса характерна для школы I типа (71,6 %). Минимальное количество случаев проявления патологии глаза диагностировано в школе III типа (23,0 %). У старшеклассников школы II, IV и V типов патология глаза зафиксирована в 51,6–62,5 % случаев. Кроме этого, в школах данного типа отмечен значительный рост частоты регистрации болезней органов пищеварения, которые зафиксированы у 91,7–100 % учащихся. Для учеников школы I типа в виде тенденций прослеживается рост заболеваемости болезнями нервной системы. Несмотря на отсутствие значимых различий, прослеживается рост числа случаев заболеваний эндокринной системы, что характерно для всех школ, за исключением школы I типа, в которой имеет место обратная тенденция.

Оценка влияния комплекса факторов на параметры компонентного состава тела учащихся продемонстрировала, что содержание в крови фенола и хрома ($R^2 = 0,55$ – $0,71$; $p < 0,001$) снижает вероятность формирования физиологически активной клеточной массы; в то же время повышает вероятность ее соответствия возрастным значениям поступление с пищей железа, витаминов С и В₁ ($R^2 = 0,34$ – $0,56$;

$p < 0,001$). Вероятность физиологического формирования скелетно-мышечной массы повышается при сбалансированном поступлении с питанием кальция, магния, фосфора и белка ($R^2 = 0,23-0,86$; $p < 0,001$) и снижается, особенно на третьей ступени образования, при повышенном содержании в крови никеля и формальдегида ($R^2 = 0,30-0,45$; $p < 0,001$) (рисунок).

На формирование активной клеточной массы и скелетно-мышечной массы на первой ступени образования факторы учебного процесса оказывают влияние в меньшей степени ($R^2 = 0,23-0,34$; $p < 0,001$), в то время как на второй и третьей ступенях увеличение учебных нагрузок имеет в 2,2–3,9 раза большее влияние на формирование данных компонентов тела ($R^2 = 0,75-0,89$, $p < 0,001$). Формирование тощей (безжировой) массы тела на первой ступени достоверно снижает повышение монотонности нагрузок и напряженности учебного труда ($R^2 = 0,79-0,84$; $p < 0,001$), на второй ступени большее влияние по результатам моделирования оказывает сокращение продолжительности перемен и уменьшение индекса восстановления ($R^2 = 0,87-0,98$; $p < 0,001$). В меньшей степени на уровень тощей массы влияет повышение уровня хрома и формальдегида в крови ($R^2 = 0,62$ и $0,11$ соответственно; $p < 0,001$); на третьей ступени достоверно выше влияние магния и белка в школьном питании на формирование тощей массы ($R^2 = 0,76$ и $0,34$ соответственно; $p < 0,001$). Показатели основного обмена на первой и второй ступенях в большей степени снижают такие факторы учебного процесса, как повышение учебной нагрузки, снижение продолжительности перемен и показателя индекса восстановления ($R^2 = 0,87-0,98$; $p < 0,001$), на третьей ступени факторы учебного процесса оказывают в 3,2–3,6 раза меньшее влияние ($R^2 = 0,27$; $p < 0,001$). Качество обменных процессов снижает увеличение концентрации хрома в крови

($R^2 = 0,74$; $p < 0,001$) и в меньшей степени – формальдегида ($R^2 = 0,49$; $p < 0,001$).

Повышают вероятность накопления жировой массы и увеличения индекса массы тела учащихся первой ступени образования такие факторы учебного процесса, как снижение учебной нагрузки и ее интеллектуальной составляющей, сокращение продолжительности перемен ($R^2 = 0,74-0,87$; $p < 0,001$), в то время как повышение концентрации хрома в крови снижает вероятность ее формирования ($R^2 = 0,54-0,87$; $p < 0,001$). На второй ступени влияние перечисленных выше факторов учебного процесса в 3,7–14,5 раза меньше ($R^2 = 0,06-0,20$; $p < 0,001$). На первых ступенях образования значительно влияние бензола – содержание его в крови детей повышает вероятность избыточного накопления жировой массы ($R^2 = 0,44-0,56$; $p < 0,001$) (см. рисунок). У подростков третьей ступени влияние всех факторов учебного процесса на формирование жировой массы тела незначительно ($R^2 = 0,09-0,28$; $p < 0,001$). Потребление белков, жиров и углеводов приобретает большую значимость на второй и третьей ступенях образования ($R^2 = 0,15-0,52$ и $R^2 = 0,20-0,40$ соответственно; $p < 0,001$). Результаты анализа продемонстрировали, что на первой ступени образования содержание свинца и никеля в крови снижает показатели роста ($R^2 = 0,42$; $p < 0,001$), в то время как на второй и третьей ступенях максимальное значение приобретает поступление с пищей микронутриентов – вероятность соответствия ростовых показателей возрастной норме повышается при соблюдении нормативов питания по содержанию кальция, фосфора, железа, витаминов В₁, В₂, С ($R^2 = 0,23-0,65$; $p < 0,001$).

Оценка влияния комплекса факторов на структуру заболеваемости учащихся по результатам математического моделирования показала, что на манифестацию заболеваний сердечно-сосудистой системы

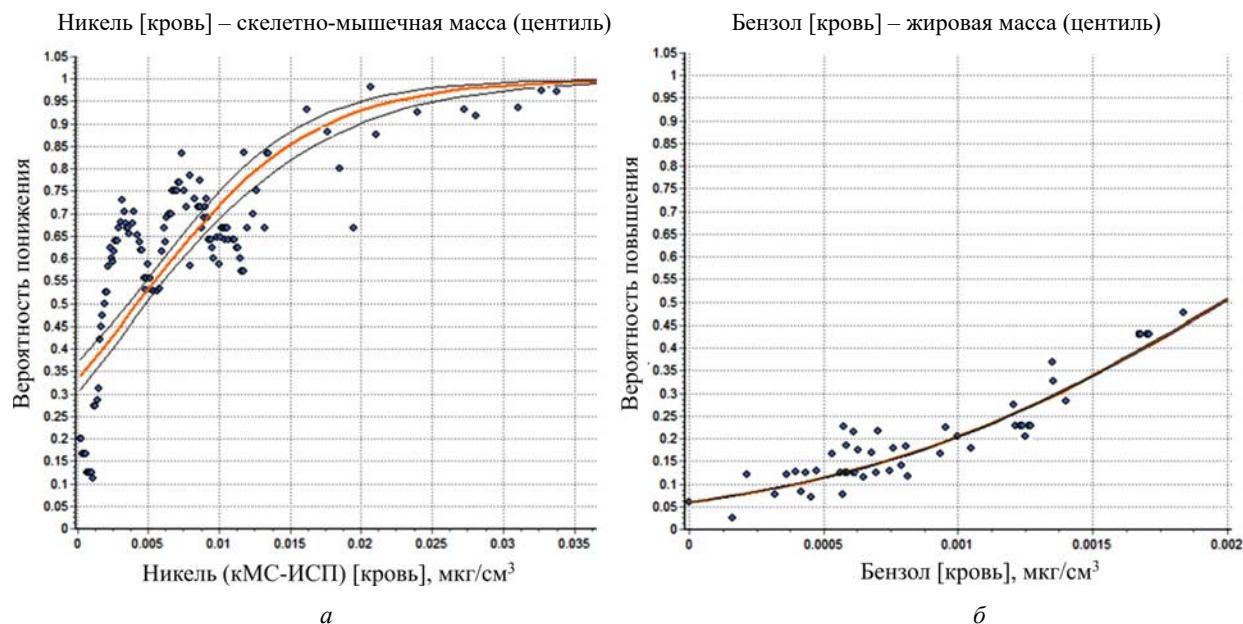


Рис. Влияние никеля (а) и бензола (б) на формирование скелетно-мышечной массы и жировой массы тела учащихся

максимальное влияние оказывает содержание в крови детей никеля, бензола, свинца ($R^2 = 0,70-0,86$; $p < 0,001$) и повышение учебных нагрузок в день ($R^2 = 0,67$; $p < 0,001$), в меньшей степени – сокращение перемен и индекса восстановления ($R^2 = 0,26-0,44$; $p < 0,001$). На третьем уровне в 1,9–2,4 раза большее значение в возникновении данного класса болезней приобретает сокращение перемен и индекса восстановления ($R^2 = 0,83-0,89$; $p < 0,001$). Увеличивает вероятность развития заболеваний нервной системы регулярное превышение калорийности школьного питания ($R^2 = 0,90$; $p < 0,001$), а также недополучение магния, витамина B₁ ($R^2 = 0,53-0,59$; $p < 0,001$) и присутствие в крови свинца, формальдегида и фенола ($R^2 = 0,47-0,81$; $p < 0,001$). Максимально повышают вероятность развития данного класса заболеваний такие факторы учебного процесса, как увеличение числа уроков в день и повышение монотонности учебного труда ($R^2 = 0,75-0,80$; $p < 0,001$), в меньшей степени – превышение дневной учебной и эмоциональной нагрузки ($R^2 = 0,23-0,31$; $p < 0,001$). Повышает вероятность развития болезней мочеполовой, пищеварительной и дыхательной систем присутствие в крови хлороформа, никеля, формальдегида, хрома, свинца и фенола ($R^2 = 0,57-0,86$; $p < 0,001$). Развитие патологии пищеварительной системы также могут провоцировать факторы учебного процесса: увеличение числа уроков в день и монотонность учебного труда, превышение нормативов дневной учебной нагрузки ($R^2 = 0,57-0,86$; $p < 0,001$), в меньшей степени – сокращение продолжительности перемен и индекса восстановления ($R^2 = 0,22-0,27$; $p < 0,001$), а также дефицит магния ($R^2 = 0,74$; $p < 0,001$). На третьем уровне образования повышают вероятность развития данных заболеваний дефицит белка, витамина С ($R^2 = 0,55-0,75$; $p < 0,001$) и избыток жиров ($R^2 = 0,25$; $p < 0,001$) в школьном питании. В меньшей степени повышают вероятность развития болезней органов дыхания монотонность, напряженность учебного процесса, увеличение уроков в день, а также присутствие в биосредах толуола ($R^2 = 0,21-0,72$; $p < 0,001$). Дальнейший анализ моделей показал прямую зависимость между возникновением заболеваний глаза, его придаточного аппарата и повышением концентрации формальдегида в крови ($R^2 = 0,24-0,73$; $p < 0,001$), хроническим недополучением со школьным питанием витаминов А и С ($R^2 = 0,32-0,87$; $p < 0,001$), а также повышением эмоциональных, интеллектуальных нагрузок и рекомендуемым количеством уроков в день ($R^2 = 0,36-0,63$; $p < 0,001$). У детей первой ступени образования имеет место зависимость между повышением социально-экономического уровня семьи ребенка и развитием у него заболеваний данного класса ($R^2 = 0,64$; $p < 0,001$). Проявление заболеваний кожи и подкожной клетчатки индуцирует повышение в крови хрома и никеля ($R^2 = 0,65-0,82$; $p < 0,001$), а также ряд факторов учебного процесса – повышение монотонности учебных нагрузок, напряженности учебного про-

цесса и дневной учебной нагрузки ($R^2 = 0,76-0,80$; $p < 0,001$). На третьей ступени значение данных факторов в развитии патологии кожи снижается в 1,3–1,5 раза ($R^2 = 0,52-0,59$; $p < 0,001$). Провоцирующими факторами заболеваний костно-мышечной системы вероятно являются превышение в школьном питании общей калорийности блюд, дефицит витамина С ($R^2 = 0,74-0,86$; $p < 0,001$), в меньшей степени – углеводного компонента и повышение уровня свинца и марганца ($R^2 = 0,29-0,38$; $p < 0,001$). Влияние таких факторов учебного процесса, как увеличение количества уроков в день, повышение напряженности учебного труда и интеллектуальной составляющей, на первой ступени образования практически равнозначны ($R^2 = 0,45-0,58$; $p < 0,001$). На второй ступени в 1,1–2,0 раза большую значимость в развитии данного класса заболеваний приобретают повышение учебной нагрузки, увеличение количества уроков в день и сокращение длительности перемен ($R^2 = 0,63-0,89$; $p < 0,001$). На заболевания эндокринной системы на первой и второй ступенях в большей степени оказывают влияние превышение углеводной составляющей, дефицит белка и витаминов С и B₁ в школьном питании ($R^2 = 0,39-0,70$; $p < 0,001$); на третьей ступени в 2,5–3,9 раза большее значение приобретает сокращение продолжительности перемен ($R^2 = 0,86$; $p < 0,001$) (табл. 1).

Оценка влияния комплекса факторов на результаты психологического тестирования учащихся продемонстрировала, что повышение монотонности учебного процесса, увеличение количества уроков в день / неделю, возрастание интеллектуальных и эмоциональных нагрузок снижают зрительно-пространственную краткосрочную память ($R^2 = 0,16-0,66$; $p < 0,0001$), вместе с тем увеличение индекса восстановления вероятно повышает результативность Corsi-тестирования ($R^2 = 0,25$; $p < 0,0001$). Когнитивную ригидность достоверно снижает увеличение интеллектуальных нагрузок и режима образовательной деятельности (STROOP-тест) ($R^2 = 0,48-0,53$; $p < 0,0001$). Время реакции при прохождении тестирования (STROOP-тест) вероятно увеличивается при повышении интеллектуальных нагрузок, длительности учебного времени и сокращении продолжительности перемен на первой ступени образования ($R^2 = 0,19-0,27$; $p < 0,0001$); при увеличении интеллектуальной и дневной учебной нагрузки – на второй ступени ($R^2 = 0,14-0,38$; $p < 0,0001$). На третьей ступени зрительно-пространственную память достоверно ухудшает повышение учебной нагрузки, длительности учебного времени ($R^2 = 0,17-0,18$; $p < 0,0001$), вместе с тем при увеличении индекса восстановления и продолжительности перемен вероятность удовлетворительного прохождения Corsi-тестирования повышается ($R^2 = 0,12-0,25$; $p < 0,0001$). На показатели когнитивной гибкости и времени реакции при прохождении тестирования факторы учебного процесса оказывают в 1,3–2,8 раза меньшее влияние ($R^2 = 0,08-0,09$; $p < 0,0001$).

Таблица 1

Модели связи параметров образовательного процесса со структурой заболеваемости учащихся первой ступени образования

Показатель учебной нагрузки	Заболевания	b_1	Ошибка	Критерий Фишера (F)	Достоверность модели (p)	Коэффициент детерминации (R^2)	НУ*
Длительность перемен, мин	Болезни системы кровообращения	-0,002	1E-08	398,72	< 0,001	0,44	–
Индекс восстановления, усл. ед.		-3,38	0,10	109,84	< 0,001	0,26	0,32
Учебная нагрузка в день, баллы	Болезни эндокринной системы	0,43	0,0004	506,65	< 0,001	0,67	–
Длительность перемен, мин		-0,001	5E-08	39,81	< 0,001	0,07	387,2
Индекс восстановления, усл. ед.		-2,45	0,49	12,32	0,002	0,03	0,29
Интеллектуальные нагрузки, баллы		1,73	0,01	313,05	< 0,001	0,58	–
Количество уроков в день		0,27	0,009	8,68	0,004	0,03	–
Монотонность нагрузок, баллы		0,39	0,0009	162,65	< 0,001	0,42	–
Учебная нагрузка в неделю, баллы		0,009	1,79E-09	42,15	< 0,001	0,16	–
Эмоциональные нагрузки, баллы	Болезни пищеварительной системы	1,62	0,02	110,45	< 0,001	0,33	–
Длительность перемен за неделю, мин		-0,001	2E-08	137,05	< 0,001	0,26	273,5
Индекс восстановления, усл. ед.		-3,15	0,14	70,91	< 0,001	0,22	0,25
Количество уроков в неделю		0,08	0,0002	34,85	< 0,001	0,10	23,8
Количество уроков в день	Болезни нервной системы	1,66	0,008	348,30	< 0,001	0,52	–
Количество уроков в день		1,03	0,021	51,4	< 0,001	0,14	–
Монотонность нагрузок, баллы		2,10	0,005	994,79	< 0,001	0,82	–
Учебная нагрузка в неделю, баллы		0,02	1,4E-05	27,53	< 0,001	0,08	127,2
Эмоциональные нагрузки, баллы		2,30	0,08	66,96	< 0,001	0,23	1,1
Интеллектуальные нагрузки, баллы	Болезни глаза	1,19	0,004	377,43	< 0,001	0,63	–
Количество уроков в неделю		0,06	0,0005	9,20	0,003	0,03	25,0
Количество уроков в день		2,19	0,02	270,32	< 0,001	0,46	–
Количество уроков в неделю	Болезни органов дыхания	0,18	0,0004	85,34	< 0,001	0,21	23,6
Количество уроков в день		2,91	0,01	822,93	< 0,001	0,72	–
Длительность учебного времени, мин	Болезни костно-мышечной системы	0,001	6E-08	22,53	< 0,001	0,07	–
Интеллектуальные нагрузки, баллы		2,28	0,03	182,18	< 0,001	0,45	–
Количество уроков в неделю		0,09	0,0002	48,52	< 0,001	0,13	23,7
Количество уроков в день		1,56	0,006	430,62	< 0,001	0,58	–

Примечание: * НУ – недействующий уровень.

Оценка влияния химических веществ техногенного происхождения продемонстрировала, что когнитивные функции учащихся на всех ступенях образования в равной степени могут снижаться при повышении в крови концентрации марганца, свинца, никеля ($R^2 = 0,29–0,75$; $p < 0,001$), а также фенола и хлороформа ($R^2 = 0,10–0,16$; $p < 0,001$) с повышением значимости в 5,3–5,6 раза влияния фенола и хлороформа к третьей ступени ($R^2 = 0,56–0,85$; $p < 0,001$). Повышение концентрации никеля на первой ступени ($R^2 = 0,25$; $p < 0,001$), фенола и хлороформа – на второй ступени ($R^2 = 0,0,27–0,59$; $p < 0,001$) и марганца, никеля – на третьей ступени ($R^2 = 0,58$; $p < 0,001$) может снижать зрительно-пространственную краткосрочную память. Повышение концентрации магния, никеля, свинца, фенола и присутствие

хлороформа снижают скорость психологических реакций на всех ступенях образования (RT-тест) ($R^2 = 0,11–0,88$; $p < 0,001$). Оценка влияния питания на результаты психологического тестирования показала, что гибкость когнитивных процессов детей первой ступени образования снижает хронический дефицит в школьном питании белка, кальция, витамина С ($R^2 = 0,30–0,74$; $p < 0,0001$) и в 2,5–2,7 раза меньшей степени – избыток углеводов и превышение общей калорийности блюд ($R^2 = 0,12–0,27$; $p < 0,0001$). Когнитивную ригидность детей второй ступени уменьшает дефицит белка, кальция, витаминов С, В₁, избыток углеводов ($R^2 = 0,34–0,78$; $p < 0,0001$), и в 2,6–5,2 раза меньшей степени – дефицит железа и превышение общей калорийности блюд ($R^2 = 0,13–0,15$; $p < 0,0001$). Зрительно-простран-

ственную память детей первой ступени ухудшает дефицит кальция, витамина С, превышение жиров ($R^2 = 0,51-0,95$; $p < 0,0001$) и в меньшей степени – дефицит витаминов А, В₂ и белка ($R^2 = 0,07-0,37$; $p < 0,0001$). Данный показатель у детей второй ступени зависит от большего числа компонентов питания, в частности – железа, фосфора, кальция, витаминов А, В₁, В₂, белков, жиров ($R^2 = 0,25-0,58$; $p < 0,0001$). Время реакции при прохождении психологического тестирования достоверно снижает дефицит кальция, белка ($R^2 = 0,58-0,84$; $p < 0,0001$) и в меньшей степени – магния, витамина С и превышение углеводного компонента ($R^2 = 0,13-0,27$; $p < 0,0001$) – на первой и третьей ступенях; и дефицит магния, витамина С, белка, железа и кальция – на второй ступени ($R^2 = 0,15-0,66$; $p < 0,0001$). Оценка результатов моделирования влияния социально-экономических факторов показала зависимость снижения когнитивных функций от увеличения напряженности внешкольного учебного процесса ($R^2 = 0,30-0,71$; $p < 0,001$) на всех ступенях образования, в то время как увеличение двигательной активности повышает гибкость когнитивных процессов ($R^2 = 0,28-0,32$; $p < 0,001$), на второй и третьей ступенях – в 1,8–2,5 раза большей степени ($R^2 = 0,27-0,81$; $p < 0,001$). Результативность рабочей памяти имеет прямую зависимость от повышения социально-экономического уровня семьи и воздействия табачного дыма на ребенка, однако доля данных факторов в числе прочих на всех ступенях образования составляет не более 6,0–10,0 % и 17,0–27,0 % соответственно ($R^2 = 0,03-0,12$; $p < 0,001-0,02$).

Таким образом, повышенная напряженность учебного процесса, контаминация крови детей загрязняющими веществами техногенного происхождения, несоблюдение оптимального макро-, микронутриентного баланса, общей калорийности при организации школьного питания, а также факторы социально-экономического характера повышают вероятность нарушений со стороны физического развития детей, индуцируют риски возникновения широкого спектра соматической патологии, функциональных нарушений и психологического статуса ребенка.

Вместе с тем вышеперечисленные факторы не оказывают негативного влияния на антропометрические, психологические характеристики и соматическое здоровье, если их параметры соответствуют величинам (оптимальные значения), установленным в ходе математического моделирования (табл. 2).

Таким образом, во всех обследованных общеобразовательных организациях в разной степени имело место отступление от рекомендованных санитарно-гигиенических нормативов и оптимальных значений, полученных в ходе исследования. Так, продолжительность суммарной образовательной нагрузки у детей первой ступени школы I и III типов составляла 900–1350 мин в неделю (оптималь-

ное значение – 984,3), продолжительность перемен в школах IV и V типов достигала лишь 222 мин/нед. (оптимальное значение – 345,6). Учебная нагрузка имела минимальные значения в школе III типа – 22,0 балла в день, 131,0 балла в неделю и максимальные – в школе I типа – 34,0 и 203,0 балла соответственно (оптимальные значения – 22,0 / 130,0).

При организации питания в меню всех школ также выявлены нарушения. Максимальный дефицит макронутриентов установлен в школе I типа (45,0 %), минимальный – в школах IV и V типов (5,0 %); в школах II и III типов зафиксировано их превышение в 1,2–1,6 раза. Минимальный дефицит микронутриентов установлен в школе I типа (кальций, витамин А), максимальный – в школе III типа (В₁, В₂, С, А, железо, кальций, магний, фосфор). Следует отметить недостаток кальция в рационах всех общеобразовательных организаций.

При анализе результатов исследования контаминации крови учащихся загрязняющими веществами установлено превышение региональных фоновых и референтных значений по фенолу и свинцу у детей всех ступеней образования во всех образовательных организациях.

Выводы. Одновременное воздействие факторов риска образовательной среды на фоне комплекса неблагоприятных внешне- и внутрисредовых параметров, социально-экономических условий жизни (нарушения в организации учебного процесса, дисбаланс макро-, микронутриентных компонентов школьного питания, контаминация биосред учащихся химическими веществами техногенного происхождения, факторы риска внешкольной среды) вызывает отклонения при формировании компонентного состава тела, повышает уровень заболеваемости, нарушает психологический статус ребенка.

На примере четырех различных типов школ разработаны методические подходы к обоснованию оптимальных параметров (или их диапазонов) образовательной и внеобразовательной среды, не вызывающих недопустимого риска нарушения здоровья детей. Разработанные подходы позволяют уточнять конкретные безопасные уровни различных видов нагрузки в условиях сочетанных многофакторных воздействий.

Установленные параметры факторов риска, не оказывающие отрицательного воздействия на организм учащихся при сочетанном влиянии, актуализируют необходимость соблюдения комплекса мер при организации учебного процесса, школьного питания, улучшения экологической обстановки, повышения эффективности водоподготовки и качества питьевой воды, а также создания педагогическо-родительского взаимодействия по устранению пробелов в образовании родителей по вопросам обеспечения детям здоровьесберегающей внешкольной среды.

Таблица 2

Оптимальные значения факторов риска, не оказывающие негативного эффекта при одновременном воздействии на организм учащихся различных уровней образования

Фактор риска	Элементы факторов риска	Уровень образования		
		I	II	III
		Оптимальные значения (нормативные значения)		
Учебный процесс	Суммарная образовательная нагрузка, мин/нед.	984,3 (840,0–1170,0)	1326,4 (1305,0–1620,0)	1494,0 (1530,0–1665,0)
	Длительность перемен, мин/нед	345,6 (250,0–360,0)	454,7 (250,0–420,0)	468,8 (300,0–480,0)
	Индекс восстановления, усл. ед.	0,3	–	–
	Среднее количество уроков, в день	4,6 (4,0–5,0)	–	–
	Учебная предметная нагрузка, в день/нед., баллы	22,0/130,6 (–/–)	40,4/214,0 (–/–)	44,0/257,0 (–/–)
	Интеллектуальные нагрузки, баллы	2,1 (2,3–3,3)	–	–
	Эмоциональные нагрузки, баллы	1,1 (1,3–2,3)	–	–
	Монотонность учебного труда, баллы	1,8 (2,3–2,8)	–	–
	Напряженность учебного труда, баллы	1,7 (1,8–2,7)	–	–
Организация школьного питания (завтрак/обед)	Железо, мг	3,7 (2,4–3,0)	5,8–6,4 (5,4–6,3)	6,0–6,8 (5,4–6,3)
	Магний, мг	64,5–75,7 (50,0–62,5)	108,8 (90,0–105,0)	100,2–108,1 (90,0–105,0)
	Фосфор, мг	260,7 (220,0–275,0)	426,8 (360,0–420,0)	428,4 (360,0–420,0)
	Кальций, мг	260,6–286,2 (220,0–275,0)	360,3 (360,0–420,0)	383,9–414,6 (360,0–420,0)
	Витамин А, мг	0,1–0,2 (0,2)	0,2 (0,3)	0,3 (0,3)
	Витамин В ₁ , мг	0,3 (1,2–0,3)	0,4–0,5 (0,4–0,5)	0,5 (0,4–0,5)
	Витамин В ₂ , мг	0,3–0,5 (0,3–0,4)	0,5 (0,5–0,6)	0,5 (0,5–0,6)
	Витамин С, мг	11,8–18,4 (12,0–15,0)	20,0–22,1 (21,0–24,5)	23,3–24,4 (21,0–24,5)
	Белки, г	19,3 (15,4–19,3)	32,6 (27,0–31,5)	32,3 (27,0–31,5)
	Жиры, г	20,0–21,8 (15,8–19,8)	31,6–32,5 (27,6–32,2)	32,8–34,9 (27,6–32,2)
	Углеводы, г	81,4 (67,0–83,8)	115,3 (114,9–134,2)	124,9 (114,9–134,2)
	Калорийность, Ккал	585,0–590,0 (470,0–587,5)	846,0 (816,0–952,0)	875,7 (816,0–952,0)
Содержание контаминантов крови	Фенол	0,007 (0,005 ± 0,001)	0,001 (0,005 ± 0,001)	0,009 (0,005 ± 0,001)
	Формальдегид	0,004 (0,01 ± 0,001)	0,005 (0,01 ± 0,001)	0,005 (0,01 ± 0,001)
	Марганец	0,003 (0,013 ± 0,004)	0,003 (0,013 ± 0,004)	0,003 (0,013 ± 0,004)
	Свинец	0,005 (0,01 ± 0,0067)	0,007 (0,01 ± 0,0067)	0,010 (0,01 ± 0,0067)
	Никель	0,006 (0,015 ± 0,007)	0,010 (0,015 ± 0,007)	0,011 (0,015 ± 0,007)
	Хром	0,007 (0,003 ± 0,002)	0,010 (0,003 ± 0,002)	0,013 (0,003 ± 0,002)
Социальные факторы	Социально-экономический статус, баллы	0,3	1,4	1,6
	Досуг ребенка, баллы	1,2	2,1	2,1
	Напряженность учебного процесса, баллы	1,0	1,3	1,3
	Двигательная активность, баллы	0,5	1,7	1,7

Целесообразно в программу ежегодных медицинских осмотров детей включать биоимпедансный анализ, вести наблюдение за заболеваемостью детей в течение учебного года, а также проводить психологическое тестирование. Существует настоятельная необходимость разработки стандартизированной методики оценки показателей напряженности учебного процесса для второй и третьей ступеней образования.

Вместе с тем проведенные исследования были ограничены пятью средними школами городов Пермского края. Целесообразно расширить дан-

ные исследования и распространить их в том числе на общеобразовательные организации других субъектов Российской Федерации с целью дальнейшей актуализации соответствия действующих нормативов физиологическим потребностям учащихся и безопасности их жизнедеятельности в современных условиях.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Прахин Е.И., Гуров В.А., Пономарева Э.В. Психосоматические особенности детей в медико-педагогическом мониторинге здоровья формирующей деятельности школ // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 7. – С. 635–641. DOI: 10.47470/0016-9900-2018-97-7-635-641
2. Шарапов А.Н. Нейроэндокринные аспекты стресса и расстройств поведения у подростков // Новые исследования. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 15–33.

3. Обоснование профиля биомаркеров негативных эффектов у детей в условиях сочетанного воздействия факторов внешней и образовательной сред / Ю.В. Кольдибекова, М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, В.М. Ухабов // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 11. – С. 1236–1245. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1236-1245
4. Health complaints among adolescents in Norway: A twenty-year perspective on trends / T. Potrebny, N. Wiium, A. Haugstvedt, R. Sollesnes, T. Torsheim, B. Wold, F. Thuen // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 1. – P. e0210509. DOI: 10.1371/journal.pone.0210509
5. Смагулов Н.К., Смагулов М.Н. Математическая оценка функционального напряжения организма школьников в процессе подготовки и сдачи единого национального тестирования // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 9. – С. 858–863. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-858-863
6. Мыльникова И.В., Богданова О.Г. Алиментарно-зависимая заболеваемость детей разных возрастных групп (на примере промышленного центра Иркутской области) // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 10. – С. 1139–1144. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-10-1139-1144
7. Клинические рекомендации Российской гастроэнтерологической ассоциации по диагностике и лечению дискинезии желчевыводящих путей / В.Т. Ивашкин, И.В. Маев, Ю.О. Шульпекова, Е.К. Баранская, А.В. Охлобыстин, А.С. Трухманов, Т.Л. Лапина, А.А. Шептулин // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 63–80.
8. Сетко И.М., Сетко Н.П. Современные проблемы состояния здоровья школьников в условиях комплексного влияния факторов среды обитания // Оренбургский медицинский вестник. – 2018. – Т. VI, № 2 (22). – С. 4–13.
9. Child and adolescent health in Europe: monitoring implementation of policies and provision of services / A.Y. Aleman-Diaz, S. Backhaus, L.L. Siebers, O. Chukwujama, F. Fenski, C.N. Henking, K. Kaminska, A. Kuttumuratova, M.W. Weber // Lancet Child Adolesc. Health. – 2018. – Vol. 2, № 12. – P. 891–904. DOI: 10.1016/s2352-4642(18)30286-4
10. Комплексная оценка состояния здоровья городских школьников по данным углубленных медицинских осмотров / Е.С. Богомоллова, Ю.Г. Кузмичев, Т.В. Бадеева, А.Н. Писарева, М.В. Ашина, С.Н. Ковальчук // Медицинский альманах. – 2016. – Т. 42, № 2. – С. 63–66.
11. Вклад отдельных возрастных групп населения в формирование общей заболеваемости по данным обращаемости в федеральных округах Российской Федерации / А.А. Савина, С.А. Леонов, И.М. Сон, С.И. Фейгинова // Социальные аспекты здоровья населения. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 1.
12. Гигиена детей и подростков в современной школьной медицине / В.Р. Кучма, С.Г., Сафонкина В.В. Молдованов, Н.Ю. Кучма // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1024–1028. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1024-1028
13. Ткачук Е.А., Ефимова Н.В., Мыльникова И.В. Оценка напряженности учебного труда и адаптационного потенциала учащихся общеобразовательных учреждений традиционного и профильного типов // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 10. – С. 1129–11234. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-10-1129-1134
14. Вазлеев В.А. Содержание кадетского воспитания и образования // Молодой ученый. – 2018. – Т. 189, № 3. – С. 178–181.
15. Мухаметзянов И.Ш. Медицинские аспекты информатизации образования. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФГБНУ «ИУО РАО», 2017. – 168 с.
16. Рукавкова Е.М. Гигиенические особенности организации учебного процесса в классах с углубленным изучением ряда предметов // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2014. – Т. 1, № 7. – С. 169–170.
17. Association between sugar-sweetened and artificially sweetened soft drinks and type 2 diabetes: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies / D.C. Greenwood, D.E. Threapleton, C.E.L. Evans, C.L. Cleghorn, C. Nykjaer, C. Woodhead, V.J. Burley // Br. J. Nutr. – 2014. – Vol. 112, № 5. – P. 725–734. DOI: 10.1017/S0007114514001329
18. Портнов Н.М., Мосов А.В. Ключевые продукты в организованном детском питании // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2015. – № 4. – С. 22–27.
19. Состояние фактического питания детей школьного возраста / С.Н. Филимонов, Н.В. Тапешкина, Е.В. Косыкина, О.П. Власова, Е.М. Ситникова, О.А. Свириденко // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 7. – С. 719–724. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-7-719-724
20. Noncommunicable diseases: Childhood overweight and obesity [Электронный ресурс] // WHO. – 2020. – URL: <https://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood/en/> (дата обращения: 02.07.2021).
21. Алексеев В.Б., Лир Д.Н., Лужецкий К.П., Шур П.З. Внедрение обучающей программы по вопросам здорового питания для групп населения, проживающих на территориях с особенностями в части воздействия факторов окружающей среды, в рамках национального проекта «Демография» // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1412–1417. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1412-1417
22. Погожева А.В., Смирнова Е.А. Роль образовательных программ в области здорового питания как основы профилактики неинфекционных заболеваний (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1426–1430. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1426-1430
23. Patchy progress on obesity prevention: emerging examples, entrenched barriers, and new thinking / C.A. Roberto, B. Swinburn, C. Hawkes, T.T.-K. Huang, S.A. Costa, M. Ashe, L. Zwickler, J.H. Cawley, K.D. Brownell // Lancet. – 2015. – Vol. 385, № 9985. – P. 2400–2409. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61744-X
24. Pervanidou P., Chrousos G.P. Stress and obesity/metabolic syndrome in childhood and adolescence // Int. J. Pediatr. Obes. – 2011. – Vol. 6, № S1. – P. 21–28. DOI: 10.3109/17477166.2011.615996
25. Van der Valk E.S., Savas M., van Rossum E.F.C. Stress and Obesity: Are There More Susceptible Individuals? // Curr. Obes. Rep. – 2018. – Vol. 7, № 2. – P. 193–203. DOI: 10.1007/s13679-018-0306-y
26. Амгалан Г., Погорелова И.Г. Школьная среда и факторы риска влияющие на физическое развитие и здоровье обучающихся [обзорная статья] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Т. 32, № 1–4. – С. 8–12.

27. Писарева А.Н. Образ жизни и поведенческие факторы риска формирования здоровья школьников // Медицинский альманах. – 2017. – Т. 47, № 2. – С. 49–52.
28. Assessment of air quality in preschool environments (3–5 years old children) with emphasis on elemental composition of PM10 and PM2.5 / M. Oliveira, K. Slezakova, C. Delerue-Matos, M.C. Pereira, S. Morais // Environ. Pollut. – 2016. – Vol. 214. – P. 430–439. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.04.046
29. Heavy metal quantification of classroom dust in school environment and its impacts on children health from Rawang (Malaysia) / S.Y. Tan, S.M. Praveena, E.Z. Abidin, M.S. Cheema // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2018. – Vol. 25, № 34. – P. 34623–34635. DOI: 10.1007/s11356-018-3396-x
30. Situation of child and adolescent health in Europe [Электронный ресурс] // WHO Regional Office for Europe. – 2018. – URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/381139/situation-child-adolescent-health-eng.pdf (дата обращения: 19.09.2021).
31. Саньков С.В., Кучма В.Р. Гигиеническая оценка влияния на детей факторов современной электронной информационно-образовательной среды школ // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – № 3. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16380
32. Orben A., Przybylski A.K. The association between adolescent well-being and digital technology use // Nat. Hum. Behav. – 2019. – Vol. 3, № 2. – P. 173–182. DOI: 10.1038/s41562-018-0506-1
33. Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Храмов П.И. Гигиеническая безопасность жизнедеятельности детей в цифровой среде // Здоровье населения и среда обитания – ЗНКО. – 2016. – Т. 281, № 8. – С. 4–7.

Устинова О.Ю., Зайцева Н.В., Эйфельд Д.А. К задаче обоснования оптимальных параметров факторов риска образовательной среды детей школьного возраста по критериям антропометрических, психологических характеристик и соматического здоровья // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 48–63. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.05

UDC 614.72

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.05.eng



Research article

SUBSTANTIATING OPTIMAL PARAMETERS OF RISK FACTORS EXISTING IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR SCHOOLCHILDREN AS PER INDICATORS OF PHYSICAL, MENTAL AND SOMATIC HEALTH

O.Yu. Ustinova^{1,2}, N.V. Zaitseva¹, D.A. Einfeld¹

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

²Perm State National Research University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

Schoolchildren are simultaneously exposed to several risk factors associated with the educational process, nutrition in school, ambient air quality, water quality, socioeconomic conditions etc. Their intensity and combinations largely determine indicators of children's physical, somatic and mental health. Our research goal was to quantify influence exerted by a set of risk factors existing in the educational environment on key indicators of schoolchildren's health. We examined 661 children who attended four secondary education institutions of different types. The educational processes in each institution were estimated to check their conformity with sanitary-epidemiological requirements and hygienic standards. Psychological testing included tests aimed at assessing attention, cognitive functions, memory and stress. Laboratory tests involved using liquid and gas chromatography and spectrophotometry. Nutrition provided by schools was estimated to check whether it conformed to the standards stipulated in the Sanitary Rules and Norms SanPiN 2.3/2.4.3590-20. Socioeconomic factors influencing

© Ustinova O.Yu., Zaitseva N.V., Einfeld D.A., 2022

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>).

Ol'ga Yu. Ustinova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director responsible for Clinical Work (e-mail: ustinova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-32-64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>).

Darja A. Einfeld – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director responsible for general issues (e-mail: einfeld@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-77-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0442-9010>).

the examined children were assessed as per results produced by a social survey. All the data were statistically analyzed with conventional statistical procedures and mathematical analysis. Influence exerted by risk factors on body composition, incidence and results of psychological testing was assessed by using single-factor logistic regression modeling of “dose – likelihood of a response (effect)” relationships. Significance of the created models was estimated as per Fischer’s test.

We established parameters of risk factors that would ensure absence of any negative effects on schoolchildren’s health under simultaneous exposure. The article provides the results produced by comparative analysis of the educational environment in different types of schools and its conformity with established optimal parameters as well as existing standards. We have also developed certain recommendations on how to create a health-preserving environment for a contemporary school-child, both in school and beyond classes.

Keywords: children’s population, factors of the educational process, blood contamination, socio-economic state, nutrition, body composition, incidence structure, psychological testing.

References

1. Prakhin E.I., Gurov V.A., Ponomareva E.V. Psychosomatic characteristics of children according to the results of medical pedagogical monitoring of health-forming activities in schools. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 7, pp. 635–641. DOI: 10.47470/0016-9900-2018-97-7-635-641 (in Russian).
2. Sharapov A.N. Neuroendokrinnye aspekty stressa i rasstroistv povedeniya u podrostkov [Neuroendocrine aspects of stress and behavioral disorders in adolescents]. *Novye issledovaniya*, 2017, vol. 53, no. 4, pp. 15–33 (in Russian).
3. Koldibekova Yu.V., Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu., Ukhlov V.M. Substantiation of the biomarker profile of negative indicators in children under conditions of the combined influence of environmental and educational factors. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 11, pp. 1236–1245. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1236-1245 (in Russian).
4. Potrebny T., Wium N., Haugstvedt A., Sollesnes R., Torsheim T., Wold B., Thuen F. Health complaints among adolescents in Norway: A twenty-year perspective on trends. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 1, pp. e0210509. DOI: 10.1371/journal.pone.0210509
5. Smagulov N.K., Smagulov M.N. Mathematical assessment of the functional exertion of the organism in schoolchildren in the process of training and passing a unified national testing. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 9, pp. 858–863. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-858-863 (in Russian).
6. Mylnikova I.V., Bogdanova O.G. Alimentary-dependent prevalence in children of different age groups (on the example, of the industrial center of the Irkutsk region). *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 10, pp. 1139–1144. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-10-1139-1144 (in Russian).
7. Ivashkin V.T., Maev I.V., Shulpekova Yu.O., Baranskaya Ye.K., Okhlobystin A.V., Trukhmanov A.S., Lapina T.L., Sheptulin A.A. Diagnostics and treatment of biliary dyskinesia: clinical guidelines of the Russian Gastroenterological Association. *Rossiiskii zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii*, 2018, vol. 28, no. 3, pp. 63–80 (in Russian).
8. Setko I.M., Setko N.P. Modern problems of health status of schoolchildren in conditions of integrated influence of factors of environment. *Orenburgskii meditsinskii vestnik*, 2018, vol. VI, no. 2 (22), pp. 4–13 (in Russian).
9. Aleman-Diaz A.Y., Backhaus S., Siebers L.L., Chukwujama O., Fenski F., Henking C.N., Kaminska K., Kuttumuratova A., Weber M.W. Child and adolescent health in Europe: monitoring implementation of policies and provision of services. *Lancet Child Adolesc. Health*, 2018, vol. 2, no. 12, pp. 891–904. DOI: 10.1016/s2352-4642(18)30286-4
10. Bogomolova E.S., Kuzmichev Yu.G., Badeeva T.V., Pisareva A.N., Ashina M.V., Kovalchuk S.N. Comprehensive evaluation of state of health of city school students in accordance with the data of enhanced medical examinations (1980–2015). *Meditsinskii al'manakh*, 2016, vol. 42, no. 2, pp. 63–66 (in Russian).
11. Savina A.A., Leonov S.A., Son I.M., Feyginova S.I. Contribution of individual age groups in prevalence based on care seeking data in the federal districts of the Russian Federation. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2018, vol. 61, no. 3, pp. 1 (in Russian).
12. Kuchma V.R., Safonkina S.G., Moldovanov V.V., Kuchma N.Yu. Hygiene of children and adolescents in modern school medicine. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1024–1028. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1024-1028 (in Russian).
13. Tkachuk E.A., Efimova N.V., Mylnikova I.V. Assessment of the intensity of educational work and adaptation potential of children in schools of traditional and profile types. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 10, pp. 1129–1134. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-10-1129-1134 (in Russian).
14. Vazlev V.A. Soderzhanie kadetskogo vospitaniya i obrazovaniya [The content of cadet education]. *Molodoi uchenyi*, 2018, vol. 189, no. 3, pp. 178–181 (in Russian).
15. Mukhametzyanov I.Sh. Meditsinskie aspekty informatizatsii obrazovaniya [Medical aspects of informatization of education], 2nd ed. Moscow, FGBNU “IUO RAO” Publ., 2017, 168 p. (in Russian).
16. Rukavkova E.M. Features of the hygiene group teaching with intensive study of some subjects. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki*, 2014, vol. 1, no. 7, pp. 169–170 (in Russian).
17. Greenwood D.C., Threapleton D.E., Evans C.E.L., Cleghorn C.L., Nykjaer C., Woodhead C., Burley V.J. Association between sugar-sweetened and artificially sweetened soft drinks and type 2 diabetes: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Br. J. Nutr.*, 2014, vol. 112, no. 5, pp. 725–734. DOI: 10.1017/S0007114514001329
18. Portnov N.M., Mosov A.V. Key products in organized children’s food. *Voprosy shkol'noi i universitetskoi meditsiny i zdorov'ya*, 2015, no. 4, pp. 22–27 (in Russian).

19. Filimonov S.N., Tapeshekina N.V., Koskina E.V., Vlasova O.P., Sitnikova E.M., Sviridenko O.A. State of actual nutrition for children of school age. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 7, pp. 719–724. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-7-719-724 (in Russian).
20. Noncommunicable diseases: Childhood overweight and obesity. *WHO*, 2020. Available at: <https://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood/en/> (02.07.2021).
21. Alekseev V.B., Lir D.N., Luzhetsky K.P., Shur P.Z. Introduction of educational program on issues of healthy nutrition for population groups with peculiarities in terms of the impact of environmental factors within the framework of the national project “Demography”. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1412–1417. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1412-1417 (in Russian).
22. Pogozheva A.V., Smirnova E.A. Educational programs for the population in the field of the healthy nutrition is the basis for the prevention of non-communicable diseases. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1426–1430. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1426-1430 (in Russian).
23. Roberto C.A., Swinburn B., Hawkes C., Huang T.T.-K., Costa S.A., Ashe M., Zwicker L., Cawley J.H., Brownell K.D. Patchy progress on obesity prevention: emerging examples, entrenched barriers, and new thinking. *Lancet*, 2015, vol. 385, no. 9985, pp. 2400–2409. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61744-X
24. Pervanidou P., Chrousos G.P. Stress and obesity/metabolic syndrome in childhood and adolescence. *Int. J. Pediatr. Obes.*, 2011, vol. 6, no. S1, pp. 21–28. DOI: 10.3109/17477166.2011.615996
25. Van der Valk E.S., Savas M., van Rossum E.F.C. Stress and Obesity: Are There More Susceptible Individuals? *Curr. Obes. Rep.*, 2018, vol. 7, no. 2, pp. 193–203. DOI: 10.1007/s13679-018-0306-y
26. Amgalan G., Pogorelova I.G. The school environment and the risk factors affecting physical development and health of students [review article]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2015, vol. 32, no. 1-4, pp. 8–12 (in Russian).
27. Pisareva A.N. Way of life and conduct risk factors of forming health of schoolchildren. *Meditinskii al'manakh*, 2017, vol. 47, no. 2, pp. 49–52 (in Russian).
28. Oliveira M., Slezakova K., Delerue-Matos C., Pereira M.C., Morais S. Assessment of air quality in preschool environments (3–5 years old children) with emphasis on elemental composition of PM10 and PM2.5. *Environ. Pollut.*, 2016, vol. 214, pp. 430–439. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.04.046
29. Tan S.Y., Praveena S.M., Abidin E.Z., Cheema M.S. Heavy metal quantification of classroom dust in school environment and its impacts on children health from Rawang (Malaysia). *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2018, vol. 25, no. 34, pp. 34623–34635. DOI: 10.1007/s11356-018-3396-x
30. Situation of child and adolescent health in Europe. *WHO Regional Office for Europe*, 2018. Available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/381139/situation-child-adolescent-health-eng.pdf (19.09.2021).
31. Sankov S.V., Kuchma V.R. Hygienic assessment of the impact of the modern schools' electronic information-educational environment on children. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*. 2019, no. 3. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16380 (in Russian).
32. Orben A., Przybylski A.K. The association between adolescent well-being and digital technology use. *Nat. Hum. Behav.*, 2019, vol. 3, no. 2, pp. 173–182. DOI: 10.1038/s41562-018-0506-1
33. Kuchma V.R., Sukhareva L.M., Khramtsov P.I. Hygienic safety children in hyperinformation society. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*, 2016, vol. 281, no. 8, pp. 4–7 (in Russian).

Ustinova O.Yu., Zaitseva N.V., Eisfeld D.A. Substantiating optimal parameters of risk factors existing in the educational environment for schoolchildren as per indicators of physical, mental and somatic health. Health Risk Analysis, 2022, no. 2, pp. 48–63. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.05.eng

Получена: 12.04.2022

Одобрена: 19.06.2022

Принята к публикации: 27.06.2022



Научная статья

МИКОТОКСИНЫ В КОФЕ И ЦИКОРИИ: ОТ РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫХ К ЭМЕРДЖЕНТНЫМ

И.Б. Седова, М.Г. Киселева, З.А. Чалый

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Россия, 109240,
г. Москва, Устьинский проезд, 2/14

Кофе является продуктом повседневного потребления для большей части населения во всем мире. В России и ряде стран Европы приверженцы здорового образа жизни все чаще используют его заменитель – цикорий. Целью нашего исследования было изучение загрязненности образцов кофе и цикория, представленных на рынке РФ, вторичными метаболитами микромицетов родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*.

Методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (УВЭЖХ-МС/МС) в 48 образцах кофе и цикория определяли содержание 29 микотоксинов. В число аналитов входили регламентируемые в пищевых продуктах микотоксины (афлатоксины, охратоксин А, дезоксиниваленон, фумонизины, Т-2 токсин, зеараленон), их производные и структурные аналоги (трихотецены групп А и В), альтернариатоксины (альтерналиол, его метиловый эфир, альтенуен, тентоксин), цитринин, а также малоизученные эмерджентные микотоксины (стеригматоцистин, цитреовиридин, циклопиазоновая, микофеноловая кислота, энниатины, боверицин).

Впервые в РФ получены данные, свидетельствующие о выявлении нерегламентируемых эмерджентных микотоксинов: в цикории – боверицина (в 9 из 16 образцов, содержание – от 2,4 до 1173 мкг/кг) и энниатина В (в 6 из 16 образцов, 2,8–1109 мкг/кг), в зеленом и жареном кофе – микофеноловой кислоты (в 11 из 20 образцов на уровне 23,5–58,3 мкг/кг и в 3 из 12 образцов – 155,7–712,2 мкг/кг соответственно). В единичных образцах черного и зеленого кофе и цикория были детектированы регламентируемые в пищевых продуктах афлатоксины, охратоксин А и фумонизин В2. Их содержание в исследованных пробах не превышало максимальных допустимых уровней, однако наличие положительных проб свидетельствует о потенциальном риске здоровью человека при их поступлении и необходимости гигиенической оценки загрязненности данной группы продукции не только регламентируемыми в кофе афлатоксином В1 и охратоксином А.

Ключевые слова: микотоксины, эмерджентные микотоксины, кофе, цикорий, охратоксин А, афлатоксины, загрязнение, УВЭЖХ-МС/МС.

Одним из наиболее часто употребляемых натуральных напитков в мире является кофе. На его долю приходится 75 % от потребления безалкогольных напитков [1]. В Российской Федерации в 2019 г. потребление кофе на 12 % превысило потребление чая. Самыми распространенными сортами кофе являются арабика (*Coffea arabica*) и робуста (*Coffea canephora* var. *Robusta*) [2]. Кроме них известно еще 125 сортов кофе, в частности, либерика (*Coffea liberica*, *Coffea excelsa*), выращиваемый в Юго-Восточной Азии и известный своим горьким вкусом, эужениоидис (*Coffea eugenoides*), произрастающий в Эфиопии, и камерунский (*Coffea charrieriana*), выращиваемый в Камеруне [3]. В последние годы были отмечены полезные свойства

зеленого кофе, что привело к увеличению потребления напитков на его основе [4]. В качестве альтернативы кофе выступает цикорий (*Dorema aucheri*), принадлежащий к семейству сложноцветных. По своему вкусу он напоминает кофе, но при этом не содержит кофеина.

Как любые сельскохозяйственные продукты растительного происхождения, кофе и цикорий могут быть загрязнены большим количеством плесневых грибов – микромицетов, включая их токсигенные виды. Заражение кофе может происходить на всех этапах его производства, до и после сбора урожая. Кофейное дерево, являясь теплолюбивым растением, приживается только в тропическом и субтропическом климате. Для растительной продук-

© Седова И.Б., Киселева М.Г., Чалый З.А., 2022

Седова Ирина Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания (e-mail: isedova@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>).

Киселева Мария Геннадьевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания (e-mail: kiseleva_mg@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1057-0886>).

Чалый Захар Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания (e-mail: brew@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>).

ции стран с жарким и влажным климатом наиболее характерна контаминация микромицетами родов *Aspergillus* и *Penicillium* – продуцентами наиболее опасных микотоксинов (МТ) – афлатоксинов (АФЛ) и охратоксина А (ОТА) [5, 6]. Известно, что ОТА на плантациях кофе в тропических и субтропических регионах продуцируют преимущественно аспергиллы видов *A. carbonarius*, *A. niger*, *A. ochraceus* и *A. westerdijkiae*, а в регионах с умеренным климатом – *Penicillium verruculosum*, *P. brevicompactum*, *P. crustosum*, *P. olsonii* и *P. oxalicum* [7, 8]. Способность штаммов, продуцирующих ОТА, загрязнять кофейные зерна зависит от нескольких факторов, таких как климатические условия, условия хранения и транспортировки, а также способы обработки кофе (влажный или сухой) [9]. К естественным загрязнителям кофе также относят грибы рода *Fusarium* [5].

Наибольшее количество сообщений, связанных с контаминацией зерна кофе МТ, посвящено его загрязнению ОТА. Имеются сведения о выявлении этого токсина в кофе из Бразилии, Вьетнама, Гватемалы, Индонезии, Китая, Кот-д'Ивуара [10], Южной Кореи, Малайзии, Тайваня, Филиппин и Эфиопии [11–15]. Метаанализ, выполненный Khanakhan et al., позволил подтвердить информацию о повсеместном распространении ОТА в кофе и кофейных напитках разных стран: самая низкая частота обнаружения этого токсина была в кофе из Южной Кореи (3 %), Вьетнама (10 %) и Панамы (19 %); напротив, все образцы из Кувейта и Чили были загрязнены [13]. ОТА обнаруживали не только в зеленом кофе [10, 14, 16], но и в продуктах его переработки [8, 11, 12, 17–19]. Реже сообщают о загрязнении кофе АФЛ и стеригматоцистином (СТЦ) [5, 10, 20, 21]. Garcia-Morales et al. выявили 100%-ную частоту обнаружения АФЛ В1 в натуральном кофе на уровне от 0,25 до 2,33 мкг/кг [22], а по сведениям Bessire et al. в 18 % проб зеленого кофе выявляли от 0,1 до 1,2 мкг/кг АФЛ В1 [10].

Разработка и внедрение прецизионных аналитических методов мультidetекции позволили проводить комплексную оценку контаминации кофе и кофейных напитков большим числом МТ, а также эмерджентных МТ (ЭМТ). В кофе-бобах были обнаружены фумонизины В2 и В4 [23], в других видах кофе и напитков – эниатины (ЭНН) В, В1, А1, альтернариотоксин (метиловый эфир альтернариола, АМЭ), боверицин (БО), цитринин (ЦИТ) и патулин, фумонизин В1 (ФВ1), трихотеценовые МТ и микофеноловая кислота (МФК) [8, 10, 17–19, 24]. Установлено, что обжарка кофе может снижать содержание ОТА на 97 % в зависимости от температуры и размера частиц [25].

В нескольких странах для кофе установлены гигиенические регламенты содержания МТ: в РФ максимальный допустимый уровень (МДУ) АФЛ В1 составляет 0,005 мг/кг¹; в странах Евросоюза МДУ ОТА в обжаренном кофе в зернах и молотом кофе – 5 мкг/кг, в растворимом (инстантном) кофе – 10 мкг/кг [26]. В Италии, Финляндии и Греции также регламентируется содержание ОТА в зеленом кофе на уровнях 8, 10 и 20 мкг/кг соответственно [5].

Вопрос о загрязнении цикория МТ в мире до настоящего времени не изучен. В Российской Федерации практически отсутствует информация о загрязнении МТ потребляемых в стране кофе и цикория.

Цель настоящего исследования – изучение частоты и уровней контаминации различных видов кофе, включая зеленый и черный (молотый и зерновой), его заменителя – цикория широким спектром токсических метаболитов: МТ, регламентируемыми в пищевых продуктах растительного происхождения (АФЛ В1, В2, G1, G2; ОТА, ДОН, ФВ1, ФВ2, Т-2, ЗЕН), их производными и структурными аналогами (ДАС, НТ-2, Т-2 триол, НЕОС – производные Т-2 токсина; 3- и 15-ацДОН, ФУЗ Х – производные ДОН), циклопиазоновой кислотой (ЦПК), цитреовиридином (ЦТВ), ЦИТ, а также ЭМТ (СТЦ, МФК, ЭНН А и ЭНН В, БО, тентоксином (ТЕН), токсинами *Alternaria* sp. – альтернариолом (АОН), АМЭ и альтернуеном (АЛТ)). Всего перечень исследованных микотоксинов включал 29 видов МТ и ЭМТ.

Материалы и методы. Образцы кофе и цикория были отобраны в торговой сети Москвы и Московской области. Проанализировано 20 образцов зеленого кофе в зернах (сортов арабика и робуста из Центральной и Южной Америки, Африки, Индии и Индокитая) и 12 образцов жареного кофе: в зернах (7 проб сорта арабика) и молотого (5 проб). Цикорий был представлен 15 образцами растворимого напитка (13 порошкообразных, 2 жидких) и одной пробой цикория жареного в кусочках.

Перед экстракцией навески тщательно перемешанных образцов кофе в зернах и жареного цикория массой 50 г размалывали на мельнице до однородного порошкообразного состояния. Образцы молотого кофе тщательно перемешивали, дополнительно не размалывали. Подготовку пробы проводили в соответствии с модифицированной методикой, предложенной для определения МТ в зеленом кофе Bessaire et al. [10]. В центрифужную пробирку вместимостью 50 мл отбирали 1,0 г порошка, добавляли 10 мл дистиллированной воды, перемешивали и оставляли на 10 мин для набухания. Приливали 10 мл ацетонитрила, подкисленного уксусной кислотой (1 % об.), перемешивали и помещали в ульт-

¹ ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: технический регламент Таможенного союза (с изменениями на 14 июля 2021 г.) / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 11.11.2021).

развучковую ванну на 10 мин, затем встряхивали в шейкере в течение 10 мин. Затем в пробирку добавляли 1 г хлорида натрия и 4 г безводного сульфата магния, центрифугировали при 4500 об./мин в течение 15 мин. В центрифужную пробирку вместимостью 15 мл вносили аликвоту объемом 5 мл, добавляли 3 мл гексана для обезжиривания, перемешивали в шейкере 10 мин. Далее в пробирку вносили 0,7 г безводного MgSO_4 . Ацетонитрильную фракцию объемом 3 мл отдували в токе азота и перерастворяли последовательным добавлением 100 мкл метанола и 400 мкл воды milliQ. Полученный раствор центрифугировали, супернатант переносили в хроматографическую виалу для анализа.

Для подготовки проб растворимого цикория образцы тщательно перемешивали и отбирали навеску массой 1,0 г в центрифужную пробирку вместимостью 50 мл, добавляли 10 мл дистиллированной воды, перемешивали и приливали 10 мл ацетонитрила, подкисленного уксусной кислотой (1 % об.), вновь перемешивали и помещали в ультразвуковую ванну на 10 мин, затем встряхивали в шейкере в течение 10 мин. Затем в пробирку добавляли 2 г хлорида натрия, центрифугировали при 4500 об./мин в течение 15 мин. Отбирали 800 мкл экстракта в микроцентрифужную пробирку типа «эппендорф» и добавляли 800 мкл воды milliQ, перемешивали, вновь центрифугировали и переливали супернатант в хроматографические виалы для анализа. Пробы готовили для анализа в двух повторностях.

Анализ проводили с использованием ВЭЖХ системы Vanquish UHPLC, соединенной с тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором с подогреваемым источником (TSQ Endura), контролируемым программным обеспечением Xcalibur 4.0 QF2 Software (Thermo Scientific, USA). Разделение анализов осуществляли на колонке, заполненной силикагелем с привитыми группами октадецилсилана (Titan C18, 2,1×100 мм, 1,9 мкм, Supelco). Температура колонки – 25 °С. Скорость потока элюента – 0,4 мл/мин. Объем вносимой пробы – 10 мкл.

Подвижные фазы для проведения анализа в *положительной полярности* ионизации: фаза А – вода – метанол (90–10, % об.); Б – метанол – вода – ацетонитрил (10–10–80, % об.), обе фазы модифицированы муравьиной кислотой (0,1, % об.) и 1 мМ формиата аммония. Состав растворителей в подвижных фазах для проведения анализа в *отрицательной полярности* ионизации был тот же, обе фазы модифицированы 1 мМ формиата аммония, pH фазы А доведен до 9,0 добавлением водного раствора аммиака, тот же объем водного аммиака добавляли в фазу Б. Схема градиента: старт – 0 % Б, 20-я мин – 100 % Б, 20–23,5 мин – 100 % Б, 23,5–24 мин – 0 % Б, с 24-й по 26-ю мин – уравнивание системы при 0 % Б.

МС/МС детектирование осуществляли в режиме электрораспылительной ионизации в положительной или отрицательной полярности (табл. 1 и 2).

Параметры источника: температура испарителя – 225 °С, напряжение скиммера – 4500 В, температура транспортной трубки – 200 °С, газ завесы – 35, направляющий газ – 10, сметающий газ – 2 единицы (все азот); давление газа для соударений (аргон) – 2 мТорр; минимальное время измерения перехода (dwell time) – 100 мс, разрешение на первом и третьем квадрупольях 0,7 и 1,4 FWHM соответственно.

Стандартные растворы 29 МТ готовили из сухих стандартов (Sigma-Aldrich; Fermentek, Jerusalem, Israel). Стандартные растворы хранения готовили в ацетонитриле (АФЛ, СТЦ, ЦИТ, трихотецены групп А и В, ЗЕН и аналоги, ОТА), метаноле (токсины *Alternaria*, ЭНН А, ЭНН В, БО, МФК) или смеси «ацетонитрил / вода» – 50 / 50 (% об.) – ФВ1, ФВ2 с концентрацией 100 или 500 мкг/мл. Из стандартных растворов готовили мультистандарт и калибровочные растворы. Все растворы хранились при температуре –18 °С.

Для количественного определения МТ использовали внешние градуировки на «чистой» матрице. «Положительные» образцы были разделены на две подгруппы: к первой были отнесены те, в которых был выявлен МТ в количествах, превышающих предел обнаружения метода (ПО), ко второй – содержание МТ в которых превысило минимальную определяемую концентрацию метода (МОК). ПО и МОК, рассчитанные по 3-σ и 10-σ критериям, составили соответственно: 17 и 52 мкг/кг для токсинов ДОН и 3- и 15-ацДОН; 8,7 и 26 мкг/кг для ФУЗ Х; 5 и 17 мкг/кг для МФК; 4 и 12 мкг/кг для Т-2 триола; 2,8 и 8,5 мкг/кг для ЦТВ и ЦПК; 2,3 и 6,8 мкг/кг для АЛТ, АОН, АМЭ и токсина НТ-2; 1,1 и 3,4 мкг/кг для ФВ1, АФЛ G2, ЗЕН и ДАС; 0,7 и 2,0 мкг/кг для ЭНН А; 0,5 и 1,7 мкг/кг для НЕОС, ЦИТ, ТЕН, ЭНН В, БО и Т-2; 0,2 и 0,7 мкг/кг для ОТА и ФВ2; 0,09 и 0,3 мкг/кг для АФЛ G1 и В2; 0,05 и 0,15 мкг/кг для СТЦ и АФЛ В1. Степени извлечения МТ варьировали от 60 до 108 %.

Результаты и их обсуждение. Загрязненность кофе микотоксинами. Изучены частота обнаружения и уровни загрязнения МТ 32 проб зеленого и жареного кофе. Из 29 детектируемых МТ в пробах выявляли шесть видов: МФК, ОТА, БО, АФЛ В1, АФЛ В2 и СТЦ. В 6 % образцов зеленого кофе были обнаружены регламентируемые АФЛ в количествах, не превышающих 5 мкг/кг (0,37 и 1,07 мкг/кг). Наиболее часто, в 44 % случаев, в кофе обнаруживали МФК, реже – БО (в 3 %) и МТ «грибов хранения»: ОТА (6 %), АФЛ В2 (6 %), АФЛ В1 (3 %), а также в следовых количествах СТЦ (табл. 3).

Содержание МФК варьировалось в широком диапазоне от 23,5 до 712,2 мкг/кг. Все исследованные пробы соответствовали требованиям по содержанию АФЛ В1 в кофе, установленным в ТР ТС 021/2011¹.

Более детальное изучение загрязненности кофе МТ в зависимости от способа его термической обработки представлено в табл. 4.

Таблица 1

Переходы МТ, детектируемых в положительной полярности в режиме мониторинга множественных реакций (MRM)

МТ	t_R , мин	Аддукт	Материнский ион, m/z	Дочерние ионы*, m/z	Энергия соудар., В	Фрагментор, В
ДОН	11,2	$[M+H]^+$	297,1	249,1; 267,1	10,6; 17,9	100
Т-2 триол	11,3	$[M+NH_4]^+$	400,2	365,2; 145,2	10; 25	76
ФУЗ Х	11,4	$[M+H]^+$	355,4	247,0; 229,1	12,3; 16,0	103
НЕОС	11,4	$[M+NH_4]^+$	400,2	215,1; 197,2	16,6; 16,7	79
НТ-2	12,3	$[M+NH_4]^+$	442,3	215,1; 263,1	10; 10	91
3- и 15- апДОН	13,5	$[M+H]^+$	339,1	137,1; 231,1	10; 12,9	97
АФЛ G2	14,1	$[M+H]^+$	331,1	245,1; 189,1; 285,1	30; 41; 27	170
АФЛ G1	14,3	$[M+H]^+$	329,1	243; 200	26; 41	150
ФВ1	14,4	$[M+H]^+$	722,5	704,5; 352,4	28; 36	217
АФЛ В2	14,8	$[M+H]^+$	315,1	287,1; 259,0	32; 29	170
ДАС	14,9	$[M+NH_4]^+$	384,2	307,2; 247,1	10,3; 14	89
АФЛ В1	16,1	$[M+H]^+$	313,1	241,0; 213,0	37; 45	166
ГЕН	16,2	$[M+H]^+$	415,3	312,2; 256,2	19; 29	129
ФВ2	16,9	$[M+H]^+$	706,5	336,4; 354,4	36; 34	150
МФК	17,5	$[M+H]^+$	321,0	207,0; 303,1	22; 10	113
Т-2	18,9	$[M+NH_4]^+$	484,3	215,1; 185,1; 305,2	17; 21; 13	138
ЦТВ	19,1	$[M+H]^+$	403,2	297; 315	10; 10	45
ОТА	19,3	$[M+H]^+$	404,1	239; 221	24; 35	123
СТЦ	21,1	$[M+H]^+$	325,1	281,0; 253,0	36; 44	152
ЦПК	21,8	$[M+H]^+$	337,1	182,0; 196,1	19; 23	165
ЭНН В	24,6	$[M+NH_4]^+$	657,6	214,2; 527,4	31; 27	142
БО	25,2	$[M+NH_4]^+$	801,4	244,2; 134,2	32; 54	215
ЭНН А	25,5	$[M+H]^+$	682,7	210,2; 228,2	24; 24	255

Примечание: * первым указан ион, использованный для количественного определения.

Таблица 2

Переходы МТ, детектируемых в режиме MRM, в отрицательной полярности

МТ	t_R , мин	Аддукт	Материнский ион, m/z	Дочерние ионы*, m/z	Энергия соудар., В	Фрагментор, В
ЦИТ 1	12,0	$[M+CH_3OH-H]^-$	281	249	10	50
ЦИТ 2	12,0	$[M-H]^-$	249,2	115,2; 205,1	52; 18	200
АЛТ	14,2	$[M-H]^-$	291,2	189,2; 203	32; 32	188
АОН	16,2	$[M-H]^-$	256,9	213; 215; 212,1	22; 25; 32	195
ЗЕН	20,0	$[M-H]^-$	317,2	175; 73,1; 131,1	23; 18; 28	228
АМЭ	20,1	$[M-H]^-$	271,1	256; 228; 227,1	21; 29; 37	194

Примечание: * первым указан ион, использованный для количественного определения.

Таблица 3

Частота обнаружения выявленных МТ в образцах кофе и цикория

МТ	Доля загрязненных МТ проб (> ПО), %		Содержание токсинов в загрязненных пробах, мкг/кг	Доля загрязненных проб (> МОК), %	Содержание МТ в загрязненных пробах, мкг/кг
	< МОК	> МОК			
	Кофе, n = 32			Цикорий, n = 16	
АФЛ В1	3	–	0,05	6	5,76
АФЛ В2	6	–	0,09; 0,11	–	–
ОТА	3	3	0,37; 1,07	6	1,6
СТЦ	3	–	–	–	–
МФК	–	44	23,5 – 712,2	–	–
ФВ2	6	3	0,2–2,6	–	–
ЭНН В	–	–	–	38	2,8–1109,0
БО	3	–	0,50	56	2,4–1173,0

Примечание: * ПО – предел обнаружения, МОК – минимальная определяемая концентрация.

Таблица 4

Частота обнаружения и уровни загрязнения МТ зеленого и черного кофе

Токсин	Количество проб		Содержание МТ в загрязненных пробах, мкг/кг		Содержание МТ в пробах всего ряда, мкг/кг		
	исследовано	контаминировано, абс. (%)	диапазон	среднее	<i>M</i>	<i>Me</i>	90 % ур.
Зеленый кофе							
МФК	20	11 (55)	23,5–58,3	36,6	20,1	24,1	51,3
АФЛ В2		2 (10)	0,09; 0,11	0,10	0,010	0	0,05
ОТА		1 (5)	1,07	1,07	0,05	0	0
АФЛ В1		1 (5)	0,05	0,05	0,003	0	0
ФВ2		1 (5)	2,60	2,60	0,13	0	0
Черный кофе в зернах							
МФК	7	2 (25,6)	155,7; 712,2	434,0	124,0	0	155,7
ОТА		1 (14,3)	0,37	0,1	0,01	0	0,05
Черный молотый кофе							
МФК	5	1 (20,0)	72,8	72,8	14,6	0	36,4
БО		1 (20,0)	0,46	0,46	0,09	0	0,23

Проведенные исследования впервые позволили подтвердить присутствие в исследованных пробах кофе значительных количеств ЭМТ МФК и БО. МФК была обнаружена в 55 % образцов зеленого кофе (диапазон загрязнения от 23,5 до 58,3 мкг/кг). Частота загрязнения МФК черного обжаренного кофе была более чем в два раза ниже, при этом уровни были значительно выше – 151,7 и 712,2 мкг/кг в образцах зернового кофе, по сравнению с черным молотым и зеленым кофе. БО был также обнаружен в образце черного молотого кофе в количестве 0,5 мкг/кг.

ОТА был выявлен в единичных пробах черного зернового и зеленого кофе в количестве, в несколько раз превышающем нормы гигиенического регламента, установленного в странах Евросоюза. В зеленом кофе содержание ОТА было почти в 3 раза выше – 1,07 мкг/кг, чем в обжаренном кофе, что согласуется с опубликованными данными [5, 10].

Следует отметить, что АФЛ были контаминированы только образцы зеленого кофе: в одной пробе содержание АФЛ В1 составило 0,05 мкг/кг, в двух других образцах был найден АФЛ В2 в количествах 0,09 и 0,11 мкг/кг. Только в образце кофе робуста были найдены АФЛ В1, ФВ2 и следовые количества СТЦ. Подобные результаты были полу-

чены на образцах молотого кофе, следовые количества ОТА были выявлены только в смеси сортов. О более высокой загрязненности МТ кофе сорта робуста по сравнению с арабикой сообщали также Bessaire et al. [5].

Совместное присутствие нескольких МТ в кофе обнаруживали редко: в двух образцах было выявлено одновременное загрязнение двумя токсинами: МФК+ОТА и МФК+АФЛ В2. Подобные результаты для зеленого кофе были получены и другими исследователями [10]. Оценка риска контаминации кофе МТ, проведенная на основе анализа результатов по данной выборке проб кофе различных сортов и способов приготовления, показывает, что кофе, в сравнении с другими продуктами растительного происхождения, не является существенным источником МТ.

В данном исследовании впервые было изучено загрязнение микотоксинами **растворимого цикория**. В качестве загрязнителей этого продукта были выявлены четыре токсина, наиболее часто обнаруживали эмерджентные фузариотоксины БО и ЭНН В (табл. 5).

Более половины образцов содержали БО в количестве от 2,8 до 1109,0 мкг/кг, среднее содержание составляло: в загрязненных образцах – 152,8 мкг/кг, во всех изученных пробах – 85,9 мкг/кг. В шести

Таблица 5

Загрязненность цикория микотоксинами

Токсин	Количество проб		Диапазон загрязнения, мкг/кг	Среднее содержание в загрязненных пробах, мкг/кг	Содержание МТ в пробах всего ряда, мкг/кг		
	исследовано	контаминировано, абс. (%)			<i>M</i>	<i>Me</i>	90 % ур.
БО	16	9 (56)	2,4–1176,2	152,8	85,9	2,5	84,5
ЭНН В		6 (38)	2,8–1109,0	390,5	156,2	0	604,8
АФЛ В1		1 (6)	5,76	5,76	0,64	0	0
ОТА		1 (6)	1,6	1,6	0,1	0	0

пробах цикория был обнаружен ЭНН В в количестве от 2,8 до 1109,0 мкг/кг, его среднее содержание в загрязненных пробах достигало 390,5 мкг/кг, во всех изученных пробах – 156,2 мкг/кг, в 90 % – 604,8 мкг/кг. Обращает на себя внимание выявление в единичных случаях ОТА (на уровне 1,6 мкг/кг) и АФЛ В1 (5,76 мкг/кг), что превышает гигиенические регламенты содержания АФЛ В1, установленные для некоторых видов продуктов растительного происхождения в РФ (чай, кофе, какао-продукты, зерно и продукты его переработки).

Пробы жидких экстрактов цикория также были загрязнены ЭМТ: один образец содержал 2,8 мкг/кг ЭНН В и 3,6 мкг/кг БО, второй – 1060,2 мкг/кг ЭНН В и 1172,6 мкг/кг БО. Следует отметить, что в жареном цикории был выявлен регламентируемый в пищевых продуктах растительного происхождения АФЛ В1 (в количестве 5,76 мкг/кг) совместно с БО (3,0 мкг/кг).

Выводы:

1. Разработана методика количественного определения микотоксинов методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием: подобраны условия хроматографического и масс-спектрометрического определения для 29 МТ; установлены пределы детектирования и количественного определения и степени извлечения токсинов.

2. Впервые в РФ проведены исследования различных видов кофе и цикория на наличие расширенного спектра из 29 микотоксинов (МТ и ЭМТ), их производных и структурных аналогов. Получены данные, свидетельствующие о широкой распространенности в этих видах продукции малоизученных видов МТ: частота обнаружения ЭМТ,

представленных МФК и БО, в зеленом и жареном кофе составила 47 % от общего числа исследованных проб, в цикории БО и ЭНН В обнаружены в 94 % проб. Уровни загрязнения МФК кофе достигали 712,2 мкг/кг; максимальное содержание в цикории ЭНН В и БО составило 1109 и 1173 мкг/кг соответственно.

3. Из числа регламентируемых в пищевой продукции МТ в образцах кофе были обнаружены ОТА, АФЛ и ФВ2, в цикории – АФЛ В1 и ОТА. Обнаружение в растительных продуктах токсинов АФЛ, ОТА и фумонизинов, обладающих канцерогенными свойствами, является фактором потенциального риска здоровью человека при их поступлении с пищей.

4. Полученные в экспериментальных условиях данные о контаминации МТ и ЭМТ кофе и цикория свидетельствуют о необходимости углубленной гигиенической оценки поступающей на российский рынок растительной продукции, особенно из географических регионов с тропическим и субтропическим климатом, условия окружающей среды в которых благоприятны для вегетирования токсигенных плесневых грибов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, а также других малоизученных продуцентов микотоксинов и эмерджентных микотоксинов.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-16-00077-П) «Эмерджентные микотоксины в пищевых продуктах растительного происхождения: разработка методов анализа, изучение контаминации, видовая характеристика микромицетов-продуцентов, разработка гигиенических нормативов».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Coffee Adulteration: More than Two Decades of Research / A.T. Toci, A. Farah, H.R. Pezza, L. Pezza // Crit. Rev. Anal. Chem. – 2016. – Vol. 46, № 2. – P. 83–92. DOI: 10.1080/10408347.2014.966185
2. Ergin E., Tokusoglu O., Vural H. Coffee toxicology, processing of the coffee and liver diseases (is it a miracle of nature?) // Food Process. Preserv. – 2021. – Vol. 45, № 4. – P. e15243. DOI: 10.1111/jfpp.15243
3. Виды и сорта кофе [Электронный ресурс]. – URL: <https://bengusta.com.ua/blog/likbez/vidy-i-sorta-koфе/> (дата обращения: 21.11.2021).
4. Coffee: biochemistry and potential impact on health / I.A. Ludwig, M.N. Clifford, M.E.J. Lean, H. Ashihara, A. Crozier // Food Funct. – 2014. – Vol. 5, № 8. – P. 1695–1717. DOI: 10.1039/c4fo00042k
5. Vierra V., Cunha S., Casal S. Mycotoxins in coffee // Coffee in Health and Disease Prevention. – 2015. – Chapter 25. – P. 225–233. DOI: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00025.5
6. Impact of toxigenic fungi and mycotoxins in chickpea: a review / L.M. Ramirez, E. Cendoya, M.J. Nichea, V.G.L. Zachetti, S.N. Chulze // Current Opinion in Food Science. – 2018. – Vol. 23. – P. 32–37. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.05.003
7. Abdel-Hadi A., Magan N. Influence of physiological factors on growth, sporulation and ochratoxin A/B production of the new *Aspergillus ochraceus* grouping // World Mycotoxin J. – 2009. – Vol. 2, № 4. – P. 429–434. DOI: 10.3920/WMJ2009.1156
8. Occurrence of ochratoxin A in roasted coffee samples commercialized in Portugal / A.J. Benites, M. Fernandes, A.R. Boleto, S. Azevedo, S. Silva, A.L. Leitao // Food Control. – 2017. – Vol. 73, Part B. – P. 1223–1228. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.10.037
9. Perez De Obanos A., Gonzalez-Penas E., Lopez De Cerain A. Influence of roasting and brew preparation on the ochratoxin A content in coffee infusion // Food Addit. Contam. – 2005. – Vol. 22, № 5. – P. 463–471. DOI: 10.1080/02652030500090042
10. Mycotoxins in green coffee: Occurrence and risk assessment / T. Bessaire, I. Perrin, A. Tarres, A. Bebius, F. Reding, V. Theurillat // Food Control. – 2019. – Vol. 96. – P. 59–67. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.08.033

11. Lindenmeier M., Schieberle P., Rychlik M. Determination of ochratoxin A in food: comparison of a stable isotope dilution assay, liquid chromatography-fluorescence detection and an enzyme-linked immunosorbent assay // *Mycotoxin Res.* – 2011. – Vol. 27, № 2. – P. 115–121. DOI: 10.1007/s12550-010-0084-1
12. Molecularly imprinted polymer as sorbent in micro-solid phase extraction of ochratoxin A in coffee, grape juice and urine / T.P. Lee, B. Saad, W.S. Khayoon, B. Salleh // *Talanta.* – 2012. – Vol. 88. – P. 129–135. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.10.021
13. The concentration and prevalence of ochratoxin A in coffee and coffee-based products: A global systematic review, meta-analysis and meta-regression / A.M. Khaneghah, Y. Fakhri, L. Abdi, C.F.S.C. Coppa, L.T. Franco, C.A. Fernandes de Oliveira // *Fungal Biol.* – 2019. – Vol. 123, № 8. – P. 611–617. DOI: 10.1016/j.funbio.2019.05.012
14. Culliao A.G.L., Barcelo J.M. Fungal and mycotoxin contamination of coffee beans in Benguet province, Philippines // *Food Addit. Contam. Part A. Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* – 2015. – Vol. 32, № 2. – P. 250–260. DOI: 10.1080/19440049.2014.1001796
15. Barcelo J.M., Barcelo R.C. Post-harvest practices linked with ochratoxin A contamination of coffee in three provinces of Cordillera Administrative Region, Philippines // *Food Addit. Contam. Part A. Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* – 2018. – Vol. 35, № 2. – P. 328–340. DOI: 10.1080/19440049.2017.1393109
16. Ayelign A., De Saeger S. Mycotoxins in Ethiopia: Current status, implications to food safety and mitigation strategies // *Food Control.* – 2020. – Vol. 113. – P. 107163. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107163
17. UHPLC-MS/MS determination of ochratoxin A and fumonisins in coffee using QuEChERS extraction combined with mixed-mode SPE purification / K.F. Nielsen, A.F. Ngemela, L.B. Jensen, L.S. de Medeiros, P.H. Rasmussen // *J. Agric. Food Chem.* – 2015. – Vol. 63, № 3. – P. 1029–1034. DOI: 10.1021/jf504254q
18. Ochratoxin A in commercial soluble coffee and coffee substitutes / S. Casal, T. Vieira, R. Cruz, S.C. Cunha // *Food Res. Int.* – 2014. – Vol. 61. – P. 56–60. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.045
19. Analysis of mycotoxins in coffee and risk assessment in Spanish adolescents and adults / A. García-Moraleja, G. Font, J. Mañes, E. Ferrer // *Food Chem. Toxicol.* – 2015. – Vol. 86. – P. 225–233. DOI: 10.1016/j.fct.2015.10.014
20. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination / P. Karlovsky, M. Suman, F. Berthiller, J. De Meester, G. Eisenbrand, I. Perrin, I.P. Oswald, G. Speijers [et al.] // *Mycotoxin Research.* – 2016. – Vol. 32, № 4. – P. 179–205.
21. Токсиколого-гигиеническая характеристика микотоксина стеригматоцистина и методы его определения в пищевых продуктах / И.Б. Седова, М.Г. Киселева, Л.П. Захарова, В.А. Тутельян // *Гигиена и санитария.* – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 105–117. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-105-117
22. Simultaneous determination of mycotoxin in commercial coffee / A. García-Moraleja, G. Font, J. Mañes, E. Ferrer // *Food Control.* – 2015. – Vol. 57. – P. 282–292. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.04.031
23. Paterson R.R.M., Lima N., Taniwaki M.H. Coffee, mycotoxins and climate change // *Food Research International.* – 2014. – Vol. 61. – P. 1–15. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.03.037
24. Bokhari F.M., Aly M.M. Evolution of traditional means of roasting and mycotoxins contaminated coffee beans in Saudi Arabia // *Advances in Biological Research.* – 2009. – Vol. 3, № 3–4. – P. 71–78.
25. Effect of different roasting levels and particle sizes on ochratoxin A concentration in coffee beans / G. Oliveira, D.M. da Silva, R. Pereira, L.C. Paiva, G. Prado, L.R. Batista // *Food Control.* – 2013. – Vol. 34, № 2. – P. 651–656. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.06.014
26. COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs [Электронный ресурс] // *Official Journal of the European Union.* – December 20, 2006. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881&from=EN> (дата обращения: 01.11.2021).

Седова И.Б., Киселева М.Г., Чалый З.А. Микотоксины в кофе и цикории: от регламентируемых к эмерджентным // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 64–72. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.06



Research article

MYCOTOXINS IN COFFEE AND CHICORY: FROM REGULATED TO EMERGENT**I.B. Sedova, M.G. Kiseleva, Z.A. Chalyy**

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinskiy proezd, Moscow, 109240, Russian Federation

*Coffee is a daily basic food product for many people all over the world. In Russia and some European countries, people who try to pursue healthy lifestyle often prefer chicory as a substitute to coffee. Our research goal was to evaluate occurrence of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* and *Alternaria* secondary metabolites in coffee and chicory distributed on the RF market.*

29 mycotoxins were determined in 48 samples of coffee and chicory using ultra high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass-spectrometric detection (UHPLC-MS/MS).

*The range of analyzed contaminants included regulated mycotoxins (aflatoxins, ochratoxin A, deoxynivalenol, fumonisins, T-2 toxin, and zearalenone), their derivatives and structural analogs (A and B trichothecenes), *Alternaria* metabolites (alternariol, its methyl ether, altenuene, tentoxin), citrinin and several emergent mycotoxins (citreoviridin, cyclopiazonic and mycophenolic acids, enniatins, beauvericin).*

To the best of our knowledge, the present study is the first to report results indicating that unregulated emergent mycotoxins occur in the examined products. Chicory samples contained beauvericin (9 of 16 samples, the contents varied from 2.4 to 1173 µg/kg) and enniatin B (6 of 16 samples, 2.8–1109 µg/kg). Green and roasted coffee samples contained mycophenolic acid (11 of 20 samples, 23.5–58.3 µg/kg; 3 of 12 samples, 155.7–712.2 µg/kg accordingly). Several samples were contaminated with aflatoxins, ochratoxin A and fumonisin B2. Their contents in the examined samples did not exceed maximum levels; however, their occurrence indicates a potential health risk for consumers. This requires hygienic assessment and monitoring of these products with the focus on their contamination not only with regulated aflatoxin B1 and ochratoxin A but also with other potentially hazardous mycotoxins.

Keywords: mycotoxins, emergent mycotoxins, coffee, chicory, ochratoxin A, aflatoxins, contamination, UHPLC-MS/MS.

References

1. Toci A.T., Farah A., Pezza H. R., Pezza L. Coffee Adulteration: More than Two Decades of Research. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 2016, vol. 46, no. 2, pp. 83–92. DOI: 10.1080/10408347.2014.966185
2. Ergin E., Tokusoglu O., Vural H. Coffee toxicology, processing of the coffee and liver diseases (is it a miracle of nature?). *Food Process. Preserv.*, 2021, vol. 45, no. 4, pp. e15243. DOI: 10.1111/jfpp.15243
3. Vidy i sorta kofe [Types and varieties of coffee]. Available at: <https://bengusta.com.ua/blog/likbez/vidy-i-sorta-kofe/> (21.11.2021) (in Russian).
4. Ludwig I.A., Clifford M.N., Lean M.E.J., Ashihara H., Crozier A. Coffee: biochemistry and potential impact on health. *Food Funct.*, 2014, vol. 5, no. 8, pp. 1695–1717. DOI: 10.1039/c4fo00042k
5. Vierra V., Cunha S., Casal S. Mycotoxins in coffee. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 2015, Chapter 25, pp. 225–233. DOI: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00025.5
6. Ramirez L.M., Cendoya E., Nichea M.J., Zanchetti V.G.L., Chulze, S.N. Impact of toxigenic fungi and mycotoxins in chickpea: a review. *Current Opinion in Food Science*, 2018, vol. 23, pp. 32–37. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.05.003
7. Abdel-Hadi A., Magan N. Influence of physiological factors on growth, sporulation and ochratoxin A/B production of the new *Aspergillus ochraceus* grouping. *World Mycotoxin J.*, 2009, vol. 2, no. 4, pp. 429–434. DOI: 10.3920/WMJ2009.1156
8. Benites A.J., Fernandes M., Boleto A.R., Azevedo S., Silva S., Leitao A.L. Occurrence of ochratoxin A in roasted coffee samples commercialized in Portugal. *Food Control*, 2017, vol. 73, part B, pp. 1223–1228. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.10.037
9. Perez De Obanos A., Gonzalez-Penas E., Lopez De Cerain A. Influence of roasting and brew preparation on the ochratoxin A content in coffee infusion. *Food Additives and Contaminants*, 2005, vol. 22, no. 5, pp. 463–471. DOI: 10.1080/02652030500090042

© Sedova I.B., Kiseleva M.G., Chalyy Z.A., 2022

Irina B. Sedova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory for Enzymology of Nutrition (e-mail: isedova@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>).

Mariya G. Kiseleva – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory for Enzymology of Nutrition (e-mail: mg_kiseleva@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1057-0886>).

Zakhar A. Chalyy – Junior Researcher at the Laboratory for Enzymology of Nutrition (e-mail: brew@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>).

10. Bessaire T., Perrin I., Tarres A., Bebius A., Reding F., Theurillat V. Mycotoxins in green coffee: Occurrence and risk assessment. *Food Control*, 2019, vol. 96, pp. 59–67. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.08.033
11. Lindenmeier M., Schieberle P., Rychlik M. Determination of ochratoxin A in food: comparison of a stable isotope dilution assay, liquid chromatography-fluorescence detection and an enzyme-linked immunosorbent assay. *Mycotoxin Res.*, 2011, vol. 27, no. 2, pp. 115–121. DOI: 10.1007/s12550-010-0084-1
12. Lee T.P., Saad B., Khayoon W.S., Salleh B. Molecularly imprinted polymer as sorbent in micro-solid phase extraction of ochratoxin A in coffee, grape juice and urine. *Talanta*, 2012, vol. 88, pp. 129–135. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.10.021
13. Khaneghah A.M., Fakhri Y., Abdi L., Coppa C.F.S.C., Franco L.T., Fernandes de Oliveira C.A. The concentration and prevalence of ochratoxin A in coffee and coffee-based products: A global systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Fungal Biol.*, 2019, vol. 123, no. 8, pp. 611–617. DOI: 10.1016/j.funbio.2019.05.012
14. Culliao A.G.L., Barcelo J.M. Fungal and mycotoxin contamination of coffee beans in Benguet province, Philippines. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.*, 2015, vol. 32, no. 2, pp. 250–260. DOI: 10.1080/19440049.2014.1001796
15. Barcelo J.M., Barcelo R.C. Post-harvest practices linked with ochratoxin A contamination of coffee in three provinces of Cordillera Administrative Region, Philippines. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.*, 2018, vol. 35, no. 2, pp. 328–340. DOI: 10.1080/19440049.2017.1393109
16. Ayelign A., De Saeger S. Mycotoxins in Ethiopia: Current status, implications to food safety and mitigation strategies. *Food Control*, 2020, vol. 113, pp. 107163. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107163
17. Nielsen K.F., Ngemela A.F., Jensen L.B., de Medeiros L.S., Rasmussen P.H. UHPLC-MS/MS determination of ochratoxin A and fumonisins in coffee using QuEChERS extraction combined with mixed-mode SPE purification. *J. Agric. Food Chem.*, 2015, vol. 63, no. 3, pp. 1029–1034. DOI: 10.1021/jf504254q
18. Casal S., Vieira T., Cruz R., Cunha S.C. Ochratoxin A in commercial soluble coffee and coffee substitutes. *Food Res. Int.*, 2014, vol. 61, pp. 56–60. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.045
19. García-Moraleja A., Font G., Mañes J., Ferrer E. Analysis of mycotoxins in coffee and risk assessment in Spanish adolescents and adults. *Food Chem. Toxicol.*, 2015, vol. 86, pp. 225–233. DOI: 10.1016/j.fct.2015.10.014
20. Karlovsky P., Suman M., Berthiller F., De Meester J., Eisenbrand G., Perrin I., Oswald I.P., Speijers G. [et al.]. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*, 2016, vol. 32, no. 4, pp. 179–205.
21. Sedova I.B., Kiseleva M.G., Zakharova L.P., Tutelyan V.A. Toxicological and hygienic characteristics of mycotoxin sterigmatocystin and methods for its determination in food products. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 105–117. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-105-117
22. García-Moraleja A., Font G., Mañes J., Ferrer E. Simultaneous determination of mycotoxin in commercial coffee. *Food Control*, 2015, vol. 57, pp. 282–292. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.04.031
23. Paterson R.R.M., Lima N., Taniwaki M.H. Coffee, mycotoxins and climate change. *Food Research International*, 2014, vol. 61, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.03.037
24. Bokhari F.M., Aly M.M. Evolution of traditional means of roasting and mycotoxins contaminated coffee beans in Saudi Arabia. *Advances in Biological Research*, 2009, vol. 3, no. 3–4, pp. 71–78.
25. Oliveira G., da Silva D.M., Pereira R., Paiva L.C., Prado G., Batista L.R. Effect of different roasting levels and particle sizes on ochratoxin A concentration in coffee beans. *Food Control*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 651–656. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.06.014
26. COMMISSION REGULATION (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, December 20, 2006. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881&from=EN> (01.11.2021).

Sedova I.B., Kiseleva M.G., Chalyy Z.A. Mycotoxins in coffee and chicory: from regulated to emergent. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 64–72. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.06.eng

Получена: 30.11.2021

Одобрена: 13.04.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

УДК 613.693
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07

Читать
онлайн



Научная статья

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДА ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Е.В. Зибарев¹, И.В. Бухтияров¹, О.К. Кравченко¹, П.А. Астанин²

¹Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, 105275, Россия, г. Москва, пр. Буденного, 31

²Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, 117321, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, 1

Разработана концепция оценки напряженности труда, основанная на комплексной оценке современного состояния условий труда, анализе психофизиологического состояния пилотов гражданской авиации в полете, а также оценке значимости уровня лётных нагрузок и признаков утомления в увеличении риска возникновения авиационных происшествий.

Установлено, что по данным санитарно-гигиенических характеристик уровни напряженности труда на всех рабочих местах пилотов гражданской авиации соответствуют вредным условиям труда, которые усугубляются в 48 % случаев воздействием четырех других вредных факторов (шум, микроклимат, вибрация, рабочая поза).

Результаты исследований показали, что после 5 ч полета значительно повышаются риски наступления утомления, проявляющегося в увеличении количества фиксации взгляда на 11 %, среднего времени латентного периода сложной зрительно-моторной реакции – на 12 %, количества значимых ошибок для безопасности полетов – на 50 %, при отсутствии физиологического восстановления сердечно-сосудистой системы, $p < 0,05$. Риск возникновения авиационных происшествий увеличивается у тех пилотов, которые находятся в состоянии утомления и стресса вследствие нарушений режимов труда и отдыха, что составляет не менее 8,4 % случаев от всех других причин.

Предложено ввести 3-ю степень вредности для напряженных работ, а также новые показатели напряженности труда по сенсорным, информационным и интеллектуальным нагрузкам, такие как увеличение времени фиксации взгляда на приборе (%), частота сменяемости изображения / значения на экране (раз/мин), объем информационных потоков в единицу времени (бит/с), количество многофункциональных приборов (более 10 бит/с). Установлено, что оценка напряженности труда должна быть дополнена специфическими характеристиками лётной нагрузки и режимов труда – количество взлетов и посадок, число пересеченных часовых поясов, количество стресс-факторов в течение полета, число ночных полетных смен за неделю – показателями, напрямую связанными с развитием утомления пилотов и повышением риска возникновения авиационных происшествий.

Ключевые слова: напряженность труда, информационные нагрузки, авиационные тренажеры, айтрекинг, утомление, безопасность полетов, риски авиационных происшествий, психофизиологические исследования, анкетирование.

Напряженность труда (НТ) является одним из самых сложных показателей условий труда, который с трудом поддается формализации и количественной регламентации. Первые критерии оценки степени НТ появились около 30 лет назад в руководстве Р 2.2.013-94

«Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»¹ и явились научным прорывом в медицине труда. Однако с тех пор эти критерии не претер-

© Зибарев Е.В., Бухтияров И.В., Кравченко О.К., Астанин П.А., 2022

Зибарев Евгений Владимирович – кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе (e-mail: zibarevgeny@gmail.com; тел.: 8 (921) 953-02-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-3547>).

Бухтияров Игорь Валентинович – заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: info@iriokh.ru; тел.: 8 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Кравченко Ольга Кирилловна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6509-2485>).

Астанин Павел Андреевич – ассистент кафедры медицинской кибернетики и информатики (e-mail: med_cyber@mail.ru; тел.: 8 (983) 158-08-14; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1854-8686>).

¹Р 2.2.013-94. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса / утв. и введ. в действие Первым заместителем Председателя Госкомсанэпиднадзора России – Заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 12 июля 1994 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003682> (дата обращения: 11.03.2022).

пели изменений, в то время как трудовой процесс с внедрением информационных технологий стал более производительным, интеллектуальным и интенсивным. Эти процессы усложнили задачи контроля НТ при выполнении высококвалифицированных видов работ не только с точки зрения их методического обеспечения, но и в связи с недостаточностью имеющихся критериев оценки, узостью их границ.

К числу наиболее напряженных видов работ относится труд пилотов современных воздушных судов (ВС). Внедрение новейших достижений авионики, с одной стороны, упрощает и облегчает задачи по управлению ВС, но с другой – требует от пилота высокого уровня мобилизации всех функций анализаторов для обеспечения максимальной сосредоточенности, концентрации внимания, мгновенного принятия решений, быстроты реакций при постоянно меняющейся информации.

Сложность оценки НТ пилотов осложняется наличием специфических факторов на их рабочем месте, формирующих целый комплекс особенностей лётного труда, таких как: высокая ответственность; большое количество входящих сигналов; частая необходимость принятия решений в условиях острого дефицита времени; сменный график работ с различной продолжительностью рабочей смены, сопровождающейся высокими физиологическими затратами; чередование дневных и ночных смен; пересечение нескольких часовых поясов; развитие десинхроноза; возможность возникновения в полете пространственной дезориентации и обмана чувств².

Анализ законодательных документов показал наличие пробелов в системе регламентации условий труда членов лётных экипажей ВС гражданской авиации (ГА), которая ограничивается оценкой только трех факторов производственной среды (шум, микроклимат и световая среда). При этом в соответствии с гигиеническими нормативами³ в перечень психофизиологических факторов входят четыре классических показателя НТ (три по сенсорным нагрузкам и один по монотонности труда). Но

даже такого ограниченного перечня показателей НТ недостаточно для объективной оценки лётной нагрузки на пилота. Следует констатировать, что на современных типах ВС в последние годы отмечается снижение уровней шума в кабинах, при этом ведущим фактором условий труда становится НТ [1, 2]. Важность контроля НТ обусловлена высокой вероятностью развития утомления у пилотов, увеличения ошибок деятельности и, как результат, – повышение риска возникновения авиационных происшествий.

Однако подходы к проведению измерений и оценки НТ, изложенные в основных документах⁴, имеют ряд ограничений при использовании их для данной категории работников, а именно: не обеспечивают возможности оценки НТ пилотов с учетом множества алгоритмов действий на различных этапах полета; несут в себе субъективность оценки по отдельным показателям; не предполагают использование современных средств измерения; не регламентируют условия проведения измерений (реальный полет / тренажер).

Все это диктует необходимость разработки новой концепции оценки НТ. В основу концепции оценки НТ пилотов ГА должен быть заложен контроль как функциональных изменений в организме, так и показателей, которые свидетельствуют о связи факторов лётного труда с увеличением риска авиационных происшествий как наиболее неблагоприятного исхода работы.

Концепция оценки НТ позволит всесторонне учесть специфику лётного труда, связанную с сенсорными, информационными, интеллектуальными, эмоциональными нагрузками, монотонностью и режимами труда, объединенными понятием «напряженность труда», и разработать мероприятия по совершенствованию системы управления рисками, связанными с утомлением.

Цель исследования – научное обоснование концепции оценки НТ, основанной на результатах экспериментальных исследований влияния лётной

² Санитарно-гигиеническая характеристика вредности, опасности, напряженности, тяжести труда членов экипажей воздушных судов гражданской авиации России: руководящий документ / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ и Федеральной авиационной службой РФ 13, 14 октября 1997 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/71554050/> (дата обращения: 12.03.2022).

³ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.03.2022).

⁴ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 12.03.2022); Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н (ред. от 27.04.2020) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 12.03.2022); МИ НТП.ИНТ-17.01-2018. Методика измерений показателей напряженности трудового процесса для целей специальной оценки условий труда / утв. приказом Генерального директора АО «Клинический институт охраны и условий труда» А.В. Москвичевым от 06.12.2018 № 010-ОД. – М., 2018. – 42 с.

нагрузки на функциональные изменения в нервной, сердечно-сосудистой системах и органах чувств пилотов, увеличении ошибок деятельности при выполнении полетного задания, установлении роли утомления в повышении риска возникновения авиационных происшествий, и разработка предложений по внесению соответствующих дополнений в нормативно-законодательные документы.

Материалы и методы. В исследовании применялись аналитические, анкетно-опросные, гигиенические, хронометражные, психофизиологические, статистические и экспертные методы исследований. При выборе методов исследования учитывались положения ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009⁵.

Проведены экспериментальные исследования по оценке психофизиологического состояния 120 пилотов (возраст – 41 ± 8 лет) в условиях моделирования полета на полнофункциональных авиационных тренажерах самолетов Boeing 737-800, Airbus A-320, Sukhoi Superjet 100, составляющих 52 % парка ВС РФ. Полеты продолжительностью 340 мин смоделированы на основании реальных ситуаций, имевшихся в базе данных авиационного тренажера (координаты, высота, скорость движения, метеорологические условия, аварийные ситуации и т.д.), которые были стандартизованы по длительности и сложности. Было смоделировано восемь различных этапов полета длительностью по 15 мин: три этапа без отказа пилотажно-навигационных систем в стандартных условиях (1 – взлет и набор высоты, 2 – горизонтальный полет, 3 – снижение и посадка) и пять этапов снижения и посадки с отказом пилотажно-навигационных систем в нестандартных условиях (4 – сильный боковой ветер и туман, 5 – сильный боковой ветер, туман и отказ двигателя, 6 – сильный боковой ветер, туман, отказ двигателя и уход на второй круг, 7 – пожар двигателя и уход на второй круг, 8 – сдвиг ветра на высоте 1200 м, уход на второй круг, визуальный заход на посадку). В эксперименте оценивали ошибки деятельности пилотов на основании экспертной оценки пилота-инструктора.

Хронометражные исследования проводились в соответствии с руководством по лётной эксплуатации (РЛЭ). Все стандартные операционные процедуры по РЛЭ были разделены на семь групп в зависимости от вида сенсорных нагрузок: длительность сосредоточенного наблюдения; плотность сигналов; число производственных объектов одновременного наблюдения; наблюдение за экранами мониторов; нагрузка на слуховой анализатор; показатели монотонии; нагрузка на голосовой аппарат.

Для анализа уровня операторской работоспособности и стабильности сенсомоторных реакций

применяли простую и сложную зрительно-моторную реакцию (ПЗМР и СЗМР) на устройстве психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (ООО НПКиФ «Медиком МТД», Россия). Регистрировались 12 показателей, в том числе среднее время реакции (мс), суммарное число ошибок, уровень сенсомоторных реакций.

Для оценки концентрации внимания применяли комплекс «Выбор» ОАО «Концепция», г. Москва. Оценивались показатели: сумма правильных нажатий (количество); среднее время реагирования (СВР) на сигнальные знаки (мс); СКО (среднее квадратичное отклонение); сумма «тревожных» ошибок; сумма смысловых ошибок; сумма пропусков.

Для регистрации и оценки показателей окуломоторной активности применялся мобильный айтрекер SMI ETG в форме очков. Оценивались динамические характеристики фиксаций, саккад, морганий (количество, длительность, скорость, кривизна траектории).

Для исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы применяли устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 – «Психофизиолог» (ООО НПКиФ «Медиком МТД», Россия) и холтеровское мониторирование. Вариабельность сердечного ритма оценивали по данным статистических, геометрических и спектральных характеристик.

Проведены анкетирование 667 пилотов, исследования хронической заболеваемости, анализ отчетов об авиационных происшествиях и роли в них утомления пилотов в результате несоблюдения режимов труда и отдыха по данным исследований 84 авиационных происшествий (АП), проведенных Межгосударственным авиационным комитетом (МАК) в 2010–2021 гг. [3].

Номинальные (качественные) данные описывались с указанием абсолютных значений (сколько раз показатель повторялся в выборке) и относительных частот или процентных долей (доля данного значения во всей выборке). Проверка гипотезы нормальности распределения значений признака проводилась с помощью критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Поскольку распределение значений во всех группах отличалось от нормального, описание их проводили при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 ; Q_3) с использованием программы Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение. *Хронометражные исследования* позволили получить представление о реальных сенсорных нагрузках пилотов в условиях полета. Было рассчитано количество

⁵ ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 3. Принципы и требования к методам измерений и оценке умственной нагрузки / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 декабря 2009 г. № 585-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075947> (дата обращения: 17.03.2022).

сигналов⁶ и сообщений, получаемых пилотом на разных этапах полета, их плотность в минуту / час, а также длительность сосредоточенного наблюдения пилота за ходом процесса в течение полета (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, количество сигналов, получаемых пилотом, их плотность и длительность сосредоточенного наблюдения чрезвычайно высоки. Например, на этапах взлета и посадки обоими пилотами осуществляется непрерывный контроль скорости, высоты, вертикальной скорости, метеобстановки по локатору, рельефа местности по GPWS, положения других ВС по TCAS и др. В этих условиях значения указанных показателей выходят далеко за пределы, предусмотренные документами⁴ для вредных условий труда степени 3.2. Так, длительность сосредоточенного наблюдения составила 98 %, плотность сигналов за час на разных этапах полета была в пределах от 900 до 4740 (в среднем для полетной смены – 2220 в час), длительность наблюдения за экранами мониторов составила более 6 ч. Таким образом, на основании учета стандартных операционных процедур по РЛЭ оказалось, что фактические значения, например, показателя плотности сигналов, получаемых пилотами, на порядок выше указанных в действующих нормативах («более 300 сигналов»). Это обуславливает необходимость введения новой, более высокой степени вредности для напряженных работ – 3.3.

Количество поступающих пилоту сигналов, например при взлете, требует реагирования на них со скоростью около 760 мс на сигнал⁷. В экспериментальном исследовании показано, что средний

латентный период выполнения реакции выбора составляет около 330–540 мс [4]. В случае выполнения реальных задач в условиях продолжительной работы этот показатель может увеличиться в 2–4 раза, возможно развитие утомления. Например, для водителей автомобиля время реакции с момента обнаружения опасности до принятия решения по ее устранению составляет от 0,4 до 1,6 с, в среднем – 1 с, в худшем случае – 1,6–2 с [5]. Для пилотов ВС время реагирования должно составлять не более 0,5 с, так как плотность сигналов значительно выше. Таким образом, количество сигналов, поступающих пилоту, находится на пределе физиологических возможностей анализаторных систем человека. При утомлении и перегрузке пилотов при работе в таких условиях ошибки весьма вероятны и даже неизбежны.

Более 1000 входящих сигналов у пилотов за час полетной смены позволяют заключить, что их количество существенно выше аналогичных показателей для водителей автотранспорта, которые получают около 700–800 сигналов за час рабочей смены в течение 7–8 ч [5]. Кроме того, для водителей отсутствует такой вид деятельности, как наблюдение за экранами мониторов, а также постоянное прослушивание эфира и переговоры с диспетчерами через радиогарнитуры. Пилоты не могут в случае усталости остановиться и отдохнуть. Таким образом, все показатели свидетельствуют о том, что труд пилотов ВС ГА относится к числу наиболее напряженных видов работ, а оценка количества сигналов чрезвычайно актуальна для обеспечения безопасности полетов. Сложность подсчета количества сигнала

Таблица 1

Результаты хронометражных исследований выполнения пилотом стандартных операционных процедур на разных этапах полета

Этапы полета	Число сигналов	Время, мин	Плотность сигналов за минуту / час	Длительность сосредоточенного наблюдения, %
Предполетная подготовка	493	20	25 / 1500	90
Подготовка кабины ВС	1780	30	59 / 3540	100
Буксировка и запуск двигателя	603	18	34 / 2040	100
Руление	326	10	33 / 1980	100
Взлет	791	10	79 / 4740	100
Набор высоты	760	20	38 / 2280	100
Горизонтальный полет	2180	80	27 / 1620	90
Подготовка к снижению	377	10	38 / 2280	100
Снижение	808	20	40 / 2400	100
Заход на посадку и посадка	361	5	72 / 4320	100
Руление после посадки и выключение двигателя	156	5	31 / 1860	100
Послеполетные работы	231	15	15 / 900	100
Всего за полетную смену	8866	243	37 / 2220	98

⁶ Под сигналом понималось возбуждение, возникающее при определенном состоянии или смене состояний средств производства, воздействующее на органы чувств оператора – зрительные сигналы (от оптических индикаторов), акустические сигналы (от акустических индикаторов) или сигналы, воспринимаемые кожей (тактильные индикаторы). Определение дано в соответствии с МИ НТП.ИНТ-17.01-2018⁴, п. 3.1.7.

⁷ Матранова И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. – Иваново: ООО «Нейрософт», 2007. – 216 с.

лов, перерабатываемых пилотом в реальных условиях полета, связана еще и с тем, что выполняемые процедуры по управлению ВС предполагают возможность нескольких вариантов решения задач, особенно в условиях возникновения непредвиденных или нештатных ситуаций (неблагоприятные метеоусловия, технические проблемы и др.).

Как показали исследования, оценка сенсорных нагрузок по результатам подсчетов поступающих сигналов чрезвычайно трудоемка и вносит значительную долю неопределенности в получаемые результаты. Одним из способов интегральной оценки объемов перерабатываемой пилотом информации может явиться учет информационных нагрузок, которые могут быть вычислены с помощью технологии окулографии (айтрекинга). Известно, что максимальный информационный поток процесса сознательного сенсорного восприятия составляет около 40 бит/с⁸. При этом выявлена существенная зависимость этого показателя от возраста – с увеличением возраста, к 60 годам, сенсорное восприятие снижается почти на 40 %.

Проблемы измерения и гигиенической оценки информации как физического фактора разрабатывались в работах, в которых получило развитие такое направление медицины труда, как «информационная гигиена» [6–8]. Однако задачи информационной нагрузки в них в основном решались расчетными априорными методами с позиций оценки объемов текстовой информации, произведенной работниками разных отраслей за год на компьютере. В более поздних работах показана необходимость сопоставления производимой и воспринимаемой человеком информации [9, 10]. Однако подобных исследований в доступных источниках не представлено.

В настоящей работе задача оценки информационных нагрузок, а также последствий их воздействия на функциональное состояние пилотов решалась с применением комплексного подхода на основании фактических данных: в экспериментальных условиях – с использованием психофизиологических методов, самооценки состояния, путем выявления взаимосвязей НТ с показателями хронической заболеваемости пилотов, а также с возникновением авиационных происшествий.

Экспериментальные психофизиологические исследования проводили в соответствии с утвержденным протоколом, предусматривающим повышение интенсивности лётной нагрузки от этапа к этапу.

Использование метода оценки движения глаз, оценки вариабельности сердечного ритма (BCP), СЗМР / ПЗМР, концентрации внимания в привязке к ошибкам деятельности в рамках эксперимента позволило связать уровни лётных нагрузок с функциональными изменениями пилотов, а также дать точные количественные уровни по объемам перерабатываемой информации с учетом частоты сменяемости изображений на экранах мониторов, информационных потоков

от других источников, количества многофункциональных приборов (табл. 2). Расчет эмоциональных нагрузок (стресс-факторов) проведен по количеству запланированных взлетов–посадок в сложных условиях с анализом числа ошибок в управлении ВС.

По результатам айтрекинга дана объективная оценка по плотности сигналов, длительности сосредоточенного наблюдения, числу объектов одновременного наблюдения и распределению внимания на них. Длительность сосредоточенного наблюдения на разных этапах эксперимента варьировалась от 90 % (горизонтальный полет) до 100 % (предполетная подготовка, взлет, набор высоты и посадка). Плотность сигналов и сообщений составляла в среднем 4500 за 1 ч, что в 15 раз превышает критерии для напряженного труда степени 3.2 по данному показателю. Число объектов одновременного наблюдения колебалось от 25 (горизонтальный полет, этап № 2) до 41 (посадка № 3–6). По данным критериям труд пилотов может быть отнесен к напряженным работам подкласса 3.3.

Наблюдение за экранами мониторов (в пересчете на полное время стандартной полетной смены) составляло от 70 % (4,1 ч при выполнении горизонтального полета) до 100 % (6,2 ч) при выполнении взлета (этап № 1) и посадки 3–6 (этап № 5–8). Следует отметить, что критерии по данному показателю, содержащиеся в документах⁴, выглядят устаревшими и не имеют под собой достаточного физиологического обоснования, так как к подклассу 3.2 отнесены работы, при которых наблюдение за экранами ВДТ составляет «более 4». В настоящее время, когда компьютерами оснащено чуть ли не каждое второе рабочее место, а ввод и чтение информации с монитора составляет более 50 % времени рабочей смены, такие границы требуется сместить на 2 ч в сторону увеличения без выделения типа отображаемой информации. При этом к классу 3.3 будет отнесена длительность наблюдения за экраном мониторов более 8 ч за смену.

Время пассивного наблюдения за ходом производственного процесса, колебавшееся от 0 % (взлет и посадка) до 7 % при выполнении горизонтального полета, свидетельствует об отсутствии монотонии.

Частота сменяемости изображений / значений на экранах пилотажного и навигационного дисплеев варьировалась на разных этапах полета от 5 до 20 (в среднем – 15) раз/мин, объем информационных потоков в единицу времени – от 5 до 40 (в среднем – 25) бит/с. Количество многофункциональных бортовых приборов (более 10 бит/с) в тренажерах, используемых пилотами на разных этапах полета, по которым судили об интеллектуальных нагрузках, составило 4 (основной пилотажный, многофункциональный дисплей, дисплей двигателя, бортовой компьютер). По данным показателям труд пилотов может быть отнесен к подклассам 3.2 и 3.1.

⁸ Fundamentals of Sensory Physiology / ed. by R.F. Schmidt. – 2nd cor. edition. – Berlin: Springer-Verlag, 1981. – 267 p.

Таблица 2

Показатели сенсорных, информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок на пилотов в экспериментальных исследованиях при моделировании условий полета на авиационных тренажерах

№ п/п	Показатели НТ	По этапам эксперимента			Критерии оценки НТ ^{4,5} для класса 3.2	Новые критерии оценки НТ для класса 3.3	Экспертная оценка класса НТ (по сред. знач.)
		мин.	макс.	средн. знач.			
1	Сенсорные нагрузки Длительность сосредоточенного наблюдения (% полетной смены)	90	100	95	Более 75 ⁴	«Более 85»	3.3
2	Плотность сигналов (световых, звуковых, тактильных) и сообщений за 1 ч работы в течение полетной смены, количество	5100	8400	4500	Более 300 ^{4,5}	«Более 600»	3.3
3	Число производственных объектов одновременного наблюдения за полетную смену	25	41	36	Более 25 ^{4,5}	«Более 35»	3.3
4	Наблюдение за экранами мониторов, часов за полетную смену	4,1	6,2	6,1	Более 4/6 ⁴	«Более 8»	3.2
5	Монотонность Время пассивного наблюдения за ходом процесса, % полетной смены	0	7	6	Более 90 ⁴	«Более 95»	2
6	Информационные нагрузки Увеличение времени фиксации взгляда на приборе, %	5	20	15	-	«Более 35» (н.п. *)	3.2
7	Частота сменяемости изображения / значения на экране, раз/мин	5	45	30	-	«Более 30» (н.п. *)	3.2
8	Объем информационных потоков в единицу времени, бит/с	5	40	25	-	«Более 100» (н.п. *)	3.2
9	Интеллектуальные нагрузки Количество многофункциональных приборов, более 10 бит/с	4	4	4	-	«Более 8» (н.п. *)	3.1
10	Эмоциональные нагрузки Стресс-факторы трудовой деятельности: ошибка в управлении, сбой алгоритма действий, взлеты–посадки в непредсказуемых условиях (количество в смену)	0	20	17	-	«Более 20» (н.п. *)	3.2

Примечание: * – н.п. – новый показатель.

Таким образом, из 10 контролируемых показателей НТ 3 относились к классу 3.3, 5 – к классу 3.2, один – к классу 3.1, один – к допустимому классу. Это позволяет труд пилота по показателям НТ при полете на авиационных тренажерах в условиях, приближенных к реальным, отнести к классу 3.3.

Анализ динамики контролируемых психофизиологических показателей СЗМР, концентрации внимания и ВСР показал достоверные изменения как между этапами, так и к концу выполнения эксперимента среди командиров воздушных судов (КВС) и вторых пилотов (ВП) (табл. 3).

Наиболее четкая динамика отмечена при выполнении СЗМР, по сравнению с результатами ПЗМР. В СЗМР показано снижение уровня безошибочности действий к концу эксперимента (на 16,5 %), увеличение суммарного количества ошибок (на 48 %), числа неправильных реакций (на 58 %), среднего времени реакции (на 12,7 %) и снижение интегрального показателя надежности (на 17 %).

Из табл. 3 и рис. 1 следует, что на протяжении всех этапов тестирования статистически значимая динамика прослеживалась по таким пара-

метрам СЗМР, как ARcT (среднее время реакции) и LoSR (уровень сенсомоторных реакций). Примечательно, что медианные значения по показателям ARcT планомерно увеличивались от начала тестирования до его окончания. Медиана имела сильную прямую статистически значимую связь ($r = 0,911$, $p < 0,001$), темпы прироста медиан – 19,5 %. Медианные значения по показателю LoSR планомерно снижались от начала тестирования до его окончания и характеризовались наличием сильной прямой статистически значимой корреляционной связи ($r = 0,846$; $p = 0,002$), темпы убыли медианы составили 50,0 %.

Результаты анализа различных показателей СЗМР в динамике эксперимента показали однонаправленные тенденции, свидетельствующие о развитии изменений в состоянии ЦНС пилотов – снижении процессов восприятия и переработки афферентной информации, развитии тормозных процессов, что обуславливает понижение эффективности деятельности нервной системы, в том числе в когнитивной области, уменьшение работоспособности, надежности и безопасности.

Таблица 3

Результаты психофизиологических исследований на авиатренажерах

Наименование показателя		Этап тестирования		P_{total} / P_{1-8}
		Взлет (этап 1)	Посадка 6 (этап 8)	
Динамика показателей по данным айтрекинга				
Число сигналов в минуту		25,9 [22,1; 31,4]	27,1 [20,8; 35,1]	0,107 / 0,552
Кривизна траектории взгляда		2,13 [1,87; 3,14]	2,18 [2,03; 2,35]	0,002 / 0,477
Число фиксаций взгляда		1,49 [1,11; 1,62]	1,66 [1,51; 1,85]	0,002 / 0,091
Динамика показателей СЗМР				
Среднее время реакции (ARcT)		409 [390; 440]	461 [392; 558]	0,036 / 0,031
Уровень сенсомоторных реакций (LoSR)		4,00 [2,25; 5,00]	2,00 [1,25; 3,00]	0,014 / 0,017
Максимальное время реакции (MaxRT)		631 [556; 723]	754 [590; 1132]	0,021 / 0,026
Динамика показателей концентрации внимания				
Минимальное время реакции (MinRT)		869 [816; 922]	892 [600; 1235]	0,041 / 0,859
Доля верных ответов (SoCA)		100 [90,0; 100]	90,0 [90,0; 100]	0,369 / 0,026
Динамика показателей ВСР				
RMSSD	KBC	24,4 [22,1; 26,4]	22,9 [16,5; 31,0]	0,178 / 0,032
	ВП	35,2 [26,6; 42,8]	32,8 [25,6; 38,1]	0,300 / 0,678
	KBC и ВП	26,4 [22,6; 39,0]	25,6 [20,9; 37,5]	0,131 / 0,085

Примечание: P_{total} – уровень значимости при сравнении значений динамических рядов по всем этапам тестирования в целом (от взлета до посадки 6); P_{1-8} – уровень значимости при сравнении показателей на маргинальных этапах тестирования (при взлете и при посадке 6).

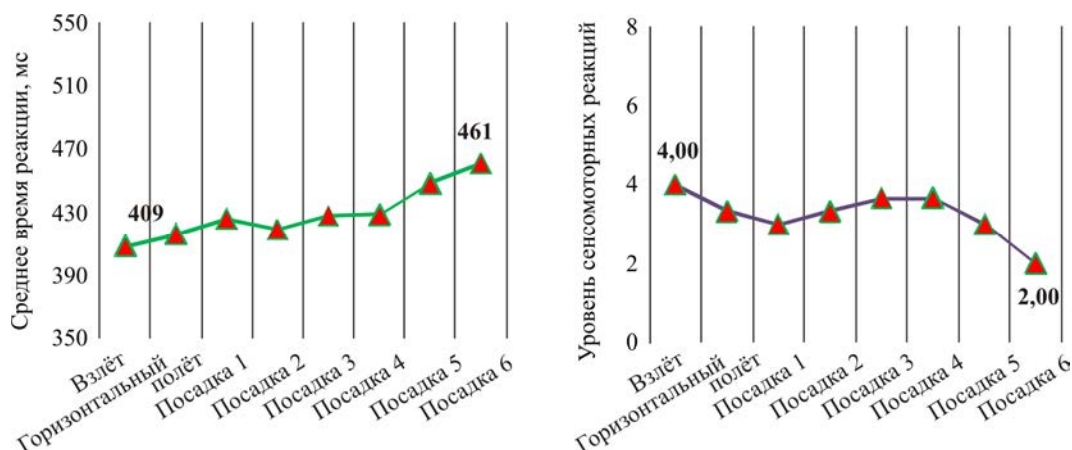


Рис. 1. Динамика показателей СЗМР

В тесте на оценку концентрации внимания выявлена выраженная динамика на протяжении всех этапов тестирования по минимальному времени реакции ($p = 0,041$), однако этот показатель в начале и в конце тестирования значимо не различался ($p = 0,859$). Иная динамика наблюдается в отношении доли правильных ответов, которая регистрировалась во время каждого из этапов. Межэтапная динамика данного показателя не была статистически значимой ($p = 0,369$), однако между крайними этапами тестирования различия были статистически значимыми, что указывает на ухудшение показателей и развитие утомления ($p = 0,026$): медиана доли правильных ответов снизилась на 10 % от начала к концу тестирования.

По результату проведения ВСР установлено, что RMSSD является единственным показателем, коррелирующим с наиболее значимыми показателями СЗМР и концентрации внимания. В частности, были выявлены статистически значимые связи меж-

ду RMSSD и долей верных ответов при оценке функции внимания ($r = 0,756$; $p = 0,030$), а также между RMSSD и средней скоростью СЗМР ($r = -0,786$; $p = 0,021$). Данные корреляционные связи указывают на возможность в дальнейшем включения этих показателей (концентрация внимания или СЗМР или ВСР) в качестве новых метрик оценки утомления (рис. 2).

Из данных табл. 3 следует, что такие показатели, как кривизна траектории взгляда и число фиксаций взгляда, имели статистически значимую динамику на протяжении всех этапов тестирования. Темп прироста составил 2,21 и 11,8 % для кривизны траектории взгляда и числа фиксаций взгляда соответственно (рис. 3).

В ходе анализа выявлено наличие сильной статистически значимой обратной корреляции (рис. 3) между RMSSD и таким показателем айтрекинга, как число фиксаций взгляда ($r = -0,747$; $p = 0,033$).

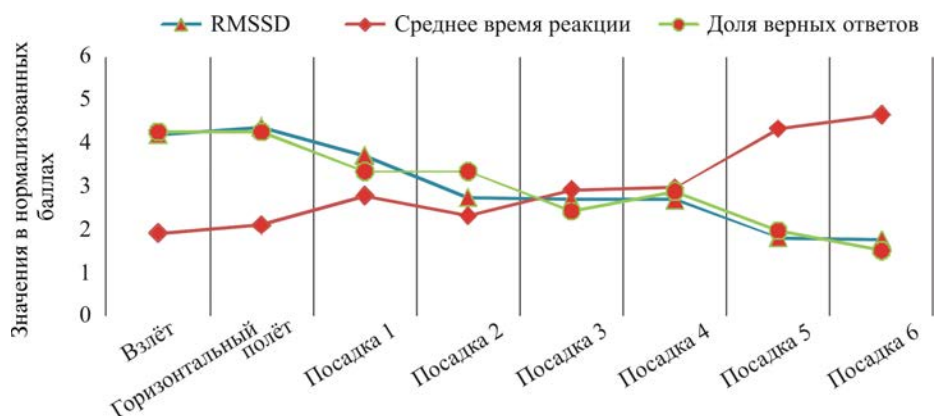


Рис. 2. Оценка связи между показателями ВСР, СЗМР и концентрации внимания

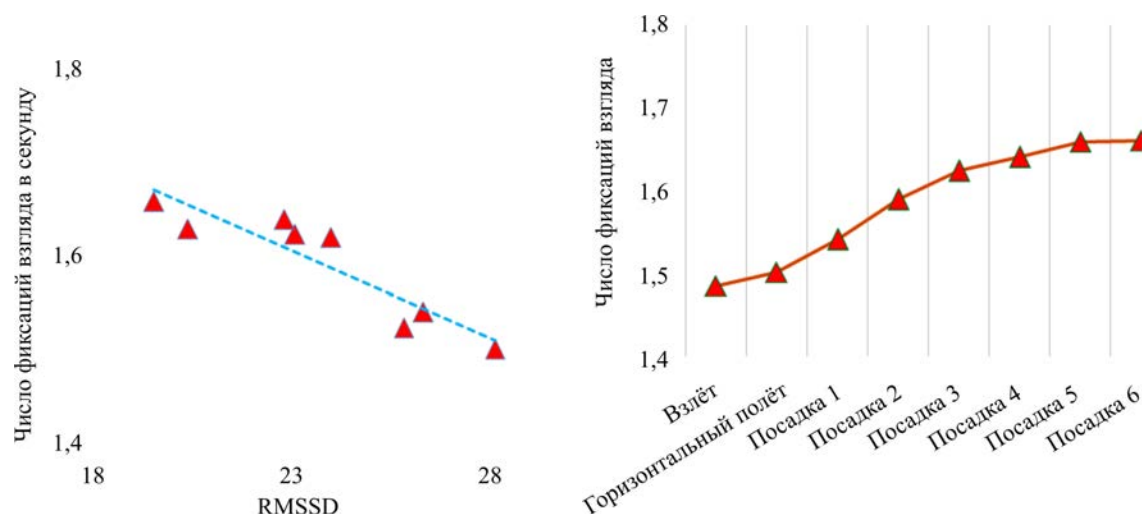


Рис. 3. Динамика показателей айтрекинга у пилотов в эксперименте

Результаты анализа динамики психофизиологических исследований свидетельствовали о наступлении признаков утомления, при котором фиксировался рост ошибок деятельности пилотов. Факт совершения ошибок регистрировали пилоты-инструкторы, наблюдавшие за ходом выполнения полета. Были отмечены ошибки в технике пилотирования, навигации, выполнении процедур взаимодействия и распределения внимания, в ведении радиосвязи. Степень значимости ошибок условно была оценена баллами от 1 до 4 (незначимые, преодолимые, грубые, критичные). Оказалось, что количество и степень значимости совершаемых ошибок нарастали по ходу эксперимента и по мере увеличения интенсивности нагрузки. К концу эксперимента различия, по сравнению с начальными этапами, были достоверны, $p < 0,05$.

Показатель RMSSD сильно и статистически значимо коррелировал с числом баллов ошибок ($r = -0,731$; $p = 0,040$). Схожая тенденция наблюдалась в отношении корреляционных взаимодействий между числом баллов ошибок пилотов и долей верных ответов при оценке концентрации внимания ($r = -0,722$; $p = 0,043$). Также прямые статистически значимые корреляции наблюдались при оценке связи между числом баллов ошибок и

кривизной траектории взгляда ($r = 0,922$; $p = 0,001$), а также между числом баллов и числом фиксаций взгляда ($r = 0,905$; $p = 0,002$).

Некоторыми экипажами были совершены грубые ошибки пилотирования (например, пропущена высота ухода на второй круг, допущена неполная подготовка к заходу на посадку на одном двигателе, неправильно оценена ситуация с отказом двигателя, потеряна высота при посадке и т.п.). Общее количество ошибок нарастало к концу эксперимента.

Таким образом, в эксперименте на авиационных тренажерах были смоделированы условия, близкие к интенсивным сенсорным, информационным, интеллектуальным, эмоциональным нагрузкам, которым подвергаются пилоты при управлении современным ВС в реальных условиях полета, по которым труд пилота может быть отнесен к напряженному 3-й степени (3.3). При этом состояние психофизиологических функций пилота может находиться на уровне, угрожающем безопасности полета, что подтверждается данными совершенных ошибок в технике пилотирования. Ухудшение психофизиологических показателей в динамике эксперимента было тесно связано с возрастанием на-

грузки, что подтверждает отнесение НТ пилотов к классу 3.3.

Разработка концепции оценки НТ пилотов включала анализ летных нагрузок и выявление признаков утомления на основании самооценки пилотов, как это рекомендовано Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и имеет отражение в других научных работах [11]. В соответствии с этими рекомендациями *проведено анкетирование 667 пилотов*. Результаты свидетельствуют о том, что их труд сопровождается выраженными интеллектуальными, сенсорными, эмоциональными нагрузками и интенсивными режимами труда. Установлено, что более 70 % пилотов в полете сосредоточенно следят за приборами свыше 75 % времени; около 30 % получают за час полета в среднем более 300 сигналов (световых, звуковых); у 60,5 % пилотов среднее количество пересекаемых часовых поясов за полетную смену составляет от 2 до 4, а у 18 % – более 4. Среди факторов, влияющих на утомление, пилоты отмечают недостаток отдыха и сна, при этом 1,7 % пилотов «никогда» не успевают отдохнуть, 44 % – «редко», а у 60 % сон между полетными сменами носит прерывистый характер и отличается сложностью засыпания. Доля пилотов, которые во время полета могут впадать в состояние «микросна», составляет 74,3–82,9 %.

О значимости получения информации об утомлении пилотов методом самооценки говорится в докладе ведущего эксперта по безопасности полетов и человеческому фактору, члена рабочей группы IATA по FRMS Э.И. Суриной [12]. Так, по данным систем добровольных сообщений (CAA, FAA, NASA), установлено, что 90 % пилотов считают утомление ключевой проблемой работы, 30 % ошибок они совершают по причине утомления, 7 % пилотов считают, что утомление – фактор, которым почти невозможно управлять волевым усилием. По другим данным, 50 % KBC в полетах длительностью более 12 ч predisposed к АП (Национальное бюро по безопасности на транспорте, США); при этом 20 % инцидентов прямо или косвенно связаны с утомлением (FAA). 43 % пилотов хотя бы раз засыпали во время полета, 31 % сообщили, что во время пробуждения обнаруживали спящим второго пилота (Британская ассоциация пилотов)⁹. В соответствии с российскими источниками авиационные происшествия по всем видам работ, обусловленных человеческим фактором, составили в 2020 г. около 80 % [13].

Согласно опросам, проведенным в Австрии (85 %), Швеции (89 %), Германии (92 %) и Дании (93 %), 4 из 5 пилотов испытывают усталость в кабине. Тем не менее, 70–80 % уставших пилотов не подавали отчет об утомляемости или не заявляли о непригодности к полетам [14].

Среди факторов, вызывающих утомление, отмечается более выраженный утомляющий эффект многократных взлетов и посадок, по сравнению с одним полетом такой же длительности [15], полетов в ночное время или при пересечении часовых поясов и др. [2, 16], при выполнении сверхурочных работ, связанных не только с утомлением, но и с более высоким уровнем травматизма (на 61 %).

Анализ *состояния здоровья пилотов ВС ГА по показателям хронической заболеваемости* позволил установить обусловленность некоторых болезней высокой НТ. Выявлена значительная частота хронических заболеваний систем кровообращения – 80,6 %, пищеварения – 38,4 % и нервной системы – 17,4 % среди пилотов и достоверно более высокий риск развития этих заболеваний (в 8,5; 4 и более чем в 17 раз соответственно), по сравнению с водителями, труд которых также отличается высокой напряженностью. Показано, что эти болезни связаны с нервно-эмоциональной нагрузкой и могли стать причиной профнепригодности пилотов. Установлено, что эти заболевания связаны с нервно-эмоциональными и сенсорными нагрузками и могли стать причиной профнепригодности пилотов, что также подтверждается другими исследованиями.

Исследование причин и обстоятельств авиационных происшествий (АП) в гражданской авиации России за период с 2010 по 2021 г. позволило определить роль утомления и стресса в их возникновении: 49,7 % АП были связаны с человеческим фактором, в том числе 8,4 % случаев обусловлены ошибками пилотов, произошедшими в результате их утомления из-за нарушений РТО и других причин (производственные факторы (шум), полеты в темное время суток, работа в ночную смену, общие часы налета за полетную смену, месяц / год и равномерность распределения летной нагрузки, длительность предполетного отдыха и ежегодного отпуска), способствующих увеличению риска возникновения АП в 3–5 раз.

Анализ данных о соблюдении РТО летными экипажами по результатам расследования авиационных происшествий показал, что в ряде случаев имели место нарушения норм полетного времени за сутки, месяц, год (от 2,4 до 12 % случаев по разным показателям), а также длительности ежегодного отпуска: почти 1/3 пилотов не имела отпуска в течение года, предшествовавшего АП; у 18,5 % KBC отпуск составлял 10–29 дней, у 8 % вторых пилотов – 1–9 дней, еще у 16 % – 10–29 дней. Налет за последние трое суток в 6–10 % случаев превышал 13–16 ч (для KBC и вторых пилотов), количество посадок за этот же период в 26,8 % случаев составляло от 5 до 8 (в остальных случаях – менее 5). И хотя превышения норм полетного времени (с учетом допускаемых сверхурочных работ) не было установлено, большинство

⁹ Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2020 г. // Межгосударственный авиационный комитет. – 2021. – 76 с.

из указанных случаев закончились авиакатастрофами. Очевидно, что нарушения РТО, чрезмерная лётная нагрузка связаны с большим риском утомления пилотов и снижением безопасности полетов.

В комплексе профилактических мер системы поддержания здоровья, охраны труда и предупреждения аварийности основополагающее значение имеет **законодательная база**. Для членов экипажей ВС это в первую очередь СП 2.5.3650-20¹⁰, регламентирующие условия их труда только по трем факторам. Однако характеристика условий труда членов летных экипажей самолетов и вертолетов включает практически все известные производственные факторы, при этом их уровни могут многократно превышать допустимые. Сложилась ситуация, при которой большая часть факторов условий труда пилотов не регламентируется и не контролируется, хотя гигиенические нормативы являются ориентирами для конструкторов и эксплуатантов ВС, руководителей организаций, выполняющих обеспечение регламентируемых условий труда пилотов и контроль их состояния.

Между тем хорошо известно, что воздействие всех производственных факторов (особенно шума, вибрации, инфразвука, неблагоприятных эргономических параметров рабочих мест, рабочей позы) способствует развитию утомления работников¹¹ [17–19]. Для пилотов отмена их контроля не улучшает условия труда и не способствует повышению безопасности полетов наряду с наличием такого фактора риска, как «перерабатывание», что еще более усугубляет ситуацию с их невротизацией и утомлением [20].

Дополнительным аргументом для внесения соответствующих нормативов в СП 2.5.3650-20¹⁰ в раздел, касающийся обеспечения безопасности на воздушном транспорте, является наличие в упомянутых СП аналогичных нормативов для работников подвижного состава, морских и речных судов, авиадиспетчеров. В отношении вибрации следует отме-

тить, что нормативные величины для различных типов ВС содержатся в действующем ГОСТ 23718-2014¹², а среди пилотов вертолетов регистрируются профессиональные заболевания, связанные с воздействием вибрации, что обуславливает необходимость контроля этого фактора. Регламентация ионизирующего излучения, действующего на пилотов реактивных ВС, предусмотрена в МКРЗ, 60, ч. 1, п. 136в¹³ и СанПиН 2.6.1.2800-10¹⁴.

Отсутствие требований к факторам условий труда и трудового процесса делает невозможным осуществление их контроля на рабочих местах, из-за чего до сих пор не принят приказ Минтруда России «Об утверждении особенностей проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах членов летных и кабинных экипажей воздушных судов гражданской авиации». Основная сложность разработки «особенностей СОУТ» членов экипажей ВС ГА заключалась в отсутствии критериев оценки НТ. В результате необходимые требования не включаются в руководства по эксплуатации ВС, не разрабатываются меры профилактики, возникают проблемы при составлении санитарно-гигиенических характеристик условий труда работников, отсутствуют объективные основания для разработки комплекса мер профилактики утомления членов экипажей.

Еще одним важным инструментом обеспечения безопасности полетов является РТО, который работает недостаточно эффективно. Приказ Минтранса России¹⁵ и Положение были изданы 17 лет назад и нуждаются в пересмотре. Об этом свидетельствует и анализ данных расследования причин АП, показавший, что РТО в ряде случаев не соблюдался. Это привело к переутомлению пилотов и возникновению аварийных ситуаций (около 9 % случаев АП). Необходимо обновление системы регламентации РТО и внедрение современных механизмов контроля за их соблюдением пилотами с учетом международного опыта.

¹⁰ СП 2.5.3650-20. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры / утв. постановлением Главного врача РФ от 16 октября 2020 г. № 30 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892> (дата обращения: 05.04.2022).

¹¹ Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. – М.: Медицина, 1984. – 240 с.

¹² ГОСТ 23718-2014. Самолеты и вертолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни вибрации в салонах и кабинах экипажа и методы измерения вибрации / принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 30 мая 2014 г. 67-П) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112158> (дата обращения: 05.04.2022).

¹³ Публикация 60 МКРЗ. Радиационная безопасность. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 192 с.

¹⁴ СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.

¹⁵ Об утверждении Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха членов экипажей воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации: Приказ Минтранса России от 21 ноября 2005 г. № 139 (ред. 17.09.2010 г.) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901964448> (дата обращения: 07.04.2022).

Проведенный документальный анализ показал, что действующая законодательно-надзорная основа регламентации условий труда членов летных экипажей не обеспечивает необходимого контроля и снижения профессиональных рисков, укрепления состояния здоровья и профилактики утомления пилотов, основной причиной которого является высокая напряженность трудового процесса.

Выполненные в настоящей работе комплексные исследования позволили разработать концепцию оценки НТ при выполнении современных высоконапряженных видов работ, характеризующихся большими объемами воспринимаемой и перерабатываемой информации, скоростью переключения внимания и принятия решений, предъявляющих высокие требования к способности выполнения работником сенсорной деятельности в условиях дефицита времени. Концепция включает новый подход к классификации напряженности трудового процесса по степени вредности, введение подкласса 3.3 для показателя сенсорных нагрузок и других показателей, предложенных для контроля информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок (с количественными критериями), изменения в понятийном аппарате с внесением соответствующих изменений в нормативно-законодательную базу. Предложения разработаны на примере оценки напряженности труда пилотов ГА авиации, но могут быть использованы и для других профессий с адаптацией к их специфике.

Концепция обоснована результатами комплексной оценки современного состояния условий труда пилотов ВС ГА, анализом функционального статуса организма пилотов при выполнении полетного задания, исследованных, в том числе с использованием впервые примененного для этих целей метода окулографии, данных о распространенности стресс-факторов среди пилотов, итогов анкетного опроса членов экипажей ВС, а также результатов оценки значимости уровня летных нагрузок и признаков утомления в возникновении авиационных происшествий.

В современных условиях профессиональная заболеваемость резко снизилась, а вероятность возникновения тяжелых форм профессиональной патологии стала чрезвычайно малой. В то же время уровни действующих факторов, на основании которых условия труда должны быть отнесены к высокой степени вредности, во многих профессиях остались без изменения, а для НТ даже возросли. НТ напрямую не связана с развитием профессиональных заболеваний, но может явиться причиной профнепригодности работников и возникновения аварийных ситуаций. К таким факторам могут быть отнесены не только НТ, но и параметры микроклимата, инфразвук, электромагнитные поля, световая среда. Для всех указанных факторов, за исключением НТ, предусмотрена оценка

вредных условий труда по всем существующим степеням вредности, включая классы 3.1–3.4 и 4.

В соответствии МКБ-10¹⁶ к числу факторов, представляющих потенциальную опасность для здоровья, связанных с психосоциальными обстоятельствами, относятся также проблемы, связанные с работой, в частности «напряженное рабочее расписание» (код МКБ Z56.3). Это позволяет отнести фактор НТ (в том числе и пилотов ВС ГА) к факторам трудового процесса, для которых существует законодательное основание для возникновения опасных для здоровья состояний.

НТ, вызывая неблагоприятные изменения в функциональном состоянии организма работников, может повышать профессиональный риск, связанный с травмоопасностью, возникновением аварийных ситуаций. По этим причинам предложено внести следующие изменения в определения понятий подкласса условий труда 3.3 для напряженных видов работ.

К *подклассу 3.3* (вредные условия труда 3-й степени) относятся условия труда, когда на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых, способны вызвать функциональные изменения в организме работника, которые могут привести к развитию профессиональных заболеваний средней и тяжелой степени тяжести (в том числе с потерей профессиональной трудоспособности) и / или появлению хронических заболеваний, связываемых с условиями труда и / или связанных с высокой травмоопасностью и риском возникновения аварийных ситуаций.

Интеллектуальная нагрузка – нагрузка, при которой трудовой процесс рассматривается с точки зрения его мыслительной деятельности. Для пилотов ВС ГА интеллектуальная нагрузка оценивается по количеству многофункциональных приборов (более 10 бит/с) в кабине ВС.

Информационная нагрузка – количественная мера информационного потока, поступающего работнику в единицу времени, бит/с.

Многофункциональный прибор – прибор, через который проходящий информационный поток составляет более 10 бит/с.

Исследование показало возможность объективной оценки зрительных сигналов с помощью метода окулографии (айтрекинга). Однако физиологические критерии для оценки выполняемой пилотом работы при использовании данного устройства до настоящего времени отсутствовали. Полученные данные позволили предложить такие ориентиры на основании сопоставления показателей окулографии и текущих сенсорных нагрузок с результатами одновременно осуществляемых физиологических исследований с использованием методов оценки ПЗМР, СЗМР, ВСР, а также учета количества ошибок, совершаемых пилотом при управлении ВС по

¹⁶ Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) / утв. приказом Минздрава России от 27.05.97 г. № 170 (ред. от 12.01.1998) [Электронный ресурс] // Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра: онлайн-версия. – URL: <https://mkb-10.com/> (дата обращения: 18.03.2022).

Таблица 4

Классы (подклассы) условий труда по НТ пилотов ГА

Наименование показателя	Класс (подкласс) условий труда			
	допустимый		вредный	
	2	3.1	3.2	3.3
Сенсорные нагрузки				
Длительность сосредоточенного наблюдения, % от полетной смены	До 50	51–75	76–85	Более 85
Плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в среднем за час полетной смены, единиц	До 175	176–300	301–600	Более 600
Число объектов одновременного наблюдения за час работы	До 10	11–25	26–35	Более 35
Наблюдение за экранами видеотерминалов и приборами, часов за полетную смену	До 6	От 6 до 8	От 8 до 10	10 и более
Длительность нагрузки на слуховой анализатор, часов за полетную смену	До 6	От 6 до 8	От 8 до 10	10 и более
Нагрузка на голосовой аппарат, часов в неделю	До 20	От 20 до 25	От 25 до 30	Более 30
Информационные нагрузки				
Увеличение времени фиксации взгляда на приборе, % от полетного времени	До 10	От 11 до 20	От 21 до 35	Более 35
Частота сменяемости изображения / значения на экране, раз/ч	До 5	От 6 до 15	От 16 до 30	Более 30
Объем информационных потоков в единицу времени, бит/с	До 5	От 6 до 10	От 11 до 100	Более 100
Интеллектуальные нагрузки				
Количество многофункциональных приборов, более 10 бит/с	1–3	4–5	6–7	Более 7
Эмоциональные нагрузки				
Стресс-факторы трудовой деятельности: ошибка в управлении, сбой алгоритма действий, взлеты / посадки в непредсказуемых условиях, количество в смену	До 10	От 11 до 15	От 16 до 20	Более 20
Количество конфликтных ситуаций, за смену	До 3	От 4 до 6	От 7 до 9	Более 9
Монотонность нагрузок				
Время пассивного наблюдения за ходом производственного процесса, % времени смены	До 80	От 81 до 90	От 91 до 95	Более 95
Режим труда				
Длительность полетной смены, ч	До 8	9	10	Более 10
Количество взлетов / посадок, за полетную смену	1–2	3–5	6–8	Более 8
Количество взлетов / посадок, за рабочую неделю	1–6	7–10	11–14	Более 14
Количество ночных полетных смен, за рабочую неделю	1–2	3	4	Более 4
Количество пересеченных часовых поясов, за полетную смену	1–3	4–5	6–7	Более 7
Количество пересеченных часовых поясов, за рабочую неделю	1–6	7–12	13–18	Более 18

мере увеличения интенсивности лётных нагрузок. Показатели окулографии были шкалированы по степени выраженности в зависимости от нарастания признаков утомления на основании увеличения времени фиксации взгляда на приборе (%), частоты сменяемости изображения / значения на экране (раз/мин), объема информационных потоков в единицу времени (бит/с), количества многофункциональных приборов (более 10 бит/с).

Особую значимость в НТ пилотов ВС ГА имеют специфические показатели лётной нагрузки – такие, как длительность полетной смены (которая в условиях дальнемагистральных полетов может превышать 10 ч), количество совершаемых взлетов и посадок и число пересеченных часовых поясов за

полетную смену, количество ночных полетных смен за рабочую неделю. Эти показатели обозначены как «режимы труда». Критерии для них были разработаны на основании данных, регламентирующих РТО, результатов исследований авиационных происшествий в ГА, самооценки состояния пилотов.

Результаты выполненной работы выявили необходимость расширения границ диапазонов показателей и включения для них степени 3.3.

Критерии, разработанные для оценки напряженности трудового процесса членов лётных экипажей, приведены в табл. 4.

Выводы. Результаты исследования показали, что границы степеней вредности труда по показателям, установленным в документах¹⁷, недостаточны для

¹⁷ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 12.03.2022); Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: Приказ Минтруда России от 24.01.2014 г. № 33н (ред. от 27.04.2020) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 12.03.2022); МИ НТП.ИНТ-17.01-2018. Методика измерений показателей напряженности трудового процесса для целей специальной оценки условий труда / утв. приказом Генерального директора АО «Клинический институт охраны и условий труда» А.В. Москвичевым от 06.12.2018 № 010-ОД. – М., 2018. – 42 с.

оценки НТ пилотов. Это обусловило необходимость уточнения критериев и введения дополнительной степени оценки вредности труда по напряженности трудового процесса – класса 3.3, а также разработки новых показателей оценки информационных, интеллектуальных и эмоциональных нагрузок.

Разработаны новые критерии оценки НТ при выполнении пилотами высокоинтенсивных лётных нагрузок, обоснованные результатами психофизиологических исследований на авиатренажерах и подтвержденные данными анкетного опроса членов экипажей ВС, закономерностями формирования хронической заболеваемости пилотов и выявленными причинно-следственными взаимосвязями с увеличением риска авиационных происшествий в ГА.

В условиях интенсивных лётных нагрузок, которым подвергаются пилоты, состояние их психофизиологических функций может находиться на уровне, угрожающем безопасности полета, что подтверждается данными физиологических исследова-

ний и совершенных пилотами ошибок в технике пилотирования, навигации, распределения внимания, ведения радиосвязи, установленными в условиях эксперимента на авиационных тренажерах, а также по данным анкетного опроса и при расследовании фактических авиационных происшествий.

Эффективная законодательная база регламентации и контроля условий труда пилотов, адекватное лётной нагрузке нормирование НТ, установление дифференцированных режимов труда и отдыха являются обязательными условиями снижения профессиональных рисков пилотов ГА и профилактики утомления как одной из ведущих мер в снижении рисков авиационных происшествий и обеспечении безопасности полетов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Санитарно-гигиеническая оценка условий труда пилотов гражданской авиации / И.В. Бухтияров, Е.В. Зибарев, Н.Н. Курьеров, О.В. Иммель // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 10. – С. 1084–1094. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1084-1094
2. Оценка показателей напряженности труда и факторов, влияющих у пилотов гражданской авиации по результатам анкетирования / Е.В. Зибарев, И.В. Бухтияров, Е.А. Вальцева, А.В. Токарев // Медицина труда и промышленная экология. – 2021. – Т. 61, № 6. – С. 356–364. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-6-356-364
3. База по расследованиям [Электронный ресурс] // Межгосударственный авиационный комитет. – URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya> (дата обращения: 13.03.2022).
4. Резервы внимания летчика как оценка процесса подготовки на авиационном тренажере / Ю.А. Кукушкин, А.В. Пономаренко, Ю.П. Цигин, С.Б. Странный // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2007. – Т. 38, № 1–1. – С. 59–64.
5. Вайсман А.И. Физиологическая характеристика нервно-эмоционального напряжения водителей во время управления автомобилем // Гигиена и санитария. – 1975. – № 6. – С. 13–16.
6. Информация как физический фактор: проблемы измерения, гигиенической оценки и ИТ-автоматизации / Э.И. Денисов, Л.В. Прокопенко, А.Л. Еремин, Н.Н. Курьеров, В.И. Бодякин, И.В. Степанян // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 1. – С. 36–43.
7. Денисов Э.И., Еремин А.Л. Информация, здоровье, инновации: гигиенические аспекты // Вестник РГМУ. – 2013. – № 5–6. – С. 114–118.
8. Вопросы измерения и оценки информационных нагрузок при умственном труде / Э.И. Денисов, А.Л. Еремин, И.В. Степанян, В.И. Бодякин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2013. – № 10. – С. 054–062.
9. Бухтияров И.В., Денисов Э.И., Еремин А.Л. Основы информационной гигиены: концепции и проблемы инноваций // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 5–9.
10. Зуев А.В., Федотова И.В. Bit или не bit? Информационная нагрузка как фактор профессионального риска // Безопасность и охрана труда. – 2015. – № 2. – С. 50–53.
11. Fatigue in Two-Pilot Operations: Implications for Flight and Duty Time Limitations / D. Powell, M.B. Spencer, D. Holland, K.J. Petrie // Aviat. Space Environ. Med. – 2008. – Vol. 79, № 11. – P. 1047–1050. DOI: 10.3357/ASEM.2362.2008
12. Сурина Э.И. Разработка и внедрение системы управления рисками, связанными с утомлением: доклад-презентация ведущего эксперта по безопасности полетов и человеческому фактору, члена рабочей группы IATA по FRMS [Электронный ресурс] // Volga-Dnepr Group. – URL: <https://avam-avia.ru/wp-content/uploads/2020/02/41-surina-ei.pdf> (дата обращения: 14.02.2022).
13. Pilot Fatigue Barometer [Электронный ресурс] // European Pilots Association AISBL. – URL: https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_barometer_on_pilot_fatigue_12_1107_f.pdf (дата обращения: 15.04.2022).
14. Fatiguing effect of multiple take-offs and landings in regional airline operations / K.A. Honn, B.C. Satterfield, P. McCauley, J.L. Caldwell, H.P. van Dongen // Accid. Anal. Prev. – 2016. – Vol. 86. – P. 199–208. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.005
15. Fatigue and Its Management in the Aviation Industry, with Special Reference to Pilots / R. Olaganathan, T.B. Holt, J. Luedtke, B.D. Bowen // JATE. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 45–57. DOI: 10.7771/2159-6670.1208
16. The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States / A.E. Dembe, J.B. Erickson, R.G. Delbos, S.M. Banks // Occup. Environ. Med. – 2005. – Vol. 62, № 9. – P. 588–597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667
17. Кандор И.С. Физиологическая стоимость деятельности. Тяжесть и напряженность труда // Физиология трудовой деятельности / под ред. В.И. Медведева. – СПб.: Наука, 1993. – С. 107–152.
18. Бодров В.А. О проблеме утомления летного состава // Военно-медицинский журнал. – 1986. – № 5. – С. 40–43.

19. Chronic venous disorders and occupation / F. Tomei, T.P. Baccolo, E. Tomao, S. Palmi, M.V. Rosati // Am. J. Ind. Med. – 1999. – Vol. 36, № 6. – P. 653–665. DOI: 10.1002/(sici) 1097-0274(199912)36: 6<653:: aid-ajim8>3.0.co; 2-p

20. Сечко А.В. Профессиональное выгорание в системе стрессов у авиационных специалистов // Современная зарубежная психология. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 102–110. DOI: 10.17759/jmfp.2021100110

Разработка новой концепции оценки напряженности труда пилотов гражданской авиации / Е.В. Зибарев, И.В. Бухтияров, О.К. Кравченко, П.А. Астанин // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 73–87. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07

UDC 613.693

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07.eng



Research article

DEVELOPMENT OF A NEW CONCEPT FOR ASSESSING WORK INTENSITY OF CIVIL AVIATION PILOTS

E.V. Zibarev¹, I.V. Bukhtiyarov¹, O.K. Kravchenko¹, P.A. Astanin²

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budennogo Ave., Moscow, 105275, Russian Federation

²Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova Str., Moscow, 117321, Russian Federation

The article describes a concept for assessing work intensity (LI) developed by the authors. This concept is based on the results produced by comprehensive assessment of the current working conditions, by analyzing the psychophysiological state of civil aviation (CI) pilots in flight, as well as by assessing a contribution made by flight loads and signs of fatigue to an increase in a risk of aviation accidents (AA).

It has been established that, according to sanitary and hygienic profiles, LI levels at all workplaces of civil aviation pilots correspond to harmful working conditions, which are aggravated by exposure to four other harmful factors (noise, microclimate, vibration, and working posture) in 48 % of cases.

The research results have shown that the risks of fatigue increase significantly after 5 hours of flight. This fatigue manifests itself in the growing number of gaze fixations by 11 %; an increase in an average latency period of a complex visual-motor reaction, by 12 %; the growing number of significant errors for flight safety, by 50 %. All these processes occur in the absence of physiological recovery of the cardiovascular system, $p < 0.05$. Pilots who are in a state of fatigue and stress due to violated work and rest regimes tend to have more AA. This accounts for at least 8.4 % of cases from all others causes.

It is proposed to introduce the 3rd degree of harmfulness for strenuous work, as well as new LI indicators for sensory, informational and intellectual loads, such as an increase in a time required to fix the gaze on a device (in %), the frequency of image / value change on a screen (times/min), the volume of information flows per unit of time (bps), and the number of multifunctional devices (more than 10 bits per second). It has been established that the assessment of LI should be supplemented with specific indicators of the flight load and work regimes. These indicators include the number of takeoffs and landings, the number of crossed time zones, the number of stress factors during a flight, and the number of night flight shifts per week. They are directly related to developing fatigue among pilots and an increased risk of AA occurrence.

Keywords: work intensity, information loads, flight simulators, eye-tracking, fatigue, flight safety, risks of aviation accidents, psychophysiological studies, questioning.

© Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Kravchenko O.K., Astanin P.A., 2022

Evgeny V. Zibarev – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Research (e-mail: zibarevevgeny@gmail.com; tel.: +7 (921) 953-02-73; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-3547>).

Igor V. Bukhtiyarov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, director (e-mail: info@irioh.ru; tel.: +7 (495) 365-02-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>).

Olga K. Kravchenko – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6509-2485>).

Pavel A. Astanin – assistant at Medical Cybernetics and Informatics Department (e-mail: med_cyber@mail.ru; tel.: +7 (983) 158-08-14; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1854-8686>).

References

1. Bukhtiyarov I.V., Zibarev E.V., Kuryerov N.N., Immel O.V. Sanitary and hygienic assessment of working conditions of civil aviation pilots. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 10, pp. 1084–1094. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1084-1094 (in Russian).
2. Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Valtseva E.A., Tokarev A.V. Assessment of labor intensity indicators and factors affecting fatigue in civil aviation pilots based on the results of the questionnaire. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 356–364. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-6-356-364 (in Russian).
3. Investigations. *The Interstate Aviation Committee (IAC)*. Available at: <https://mak-iac.org/en/rassledovaniya/> (13.03.2022).
4. Kukushkin Yu.A., Ponomarenko A.V., Tsigin Yu.P., Stramnov S.B. Rezervy vnimaniya letchika kak otsenka protsessy podgotovki na aviatsionnom trenazhere [The pilot's attention reserves as an assessment of the training process on an aviation simulator]. *Chelovecheskii faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*, 2007, vol. 38, no. 1–1, pp. 59–64 (in Russian).
5. Vaisman A.I. Fiziologicheskaya kharakteristika nervno-emotsional'nogo napryazheniya voditelei vo vremya upravleniya avtomobilem [Nervous-emotional stress of drivers while driving]. *Gigiena i sanitariya*, 1975, no. 6, pp. 13–16 (in Russian).
6. Denisov E.I., Prokopenko L.V., Eryomin A.L., Kourierov N.N., Bodiakin V.I., Stepanian I.V. Information as a physical factor: problems of measurements, hygienic evaluation and IT-automation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 36–43 (in Russian).
7. Denisov E.I., Eryomin A.L. Information, health, innovations: hygienic aspects. *Vestnik RGMU*, 2013, no. 5–6, pp. 114–118 (in Russian).
8. Denisov E.I., Eryomin A.L., Stepanian I.V., Bodyakin V.I. Issues of measurement and estimation of information load at intellectual labour. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*, 2013, no. 10, pp. 054–062 (in Russian).
9. Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I., Eryomin A.L. Bases of information hygiene: concepts and problems of innovations. *Gigiena i sanitariya*, 2014, vol. 93, no. 4, pp. 5–9 (in Russian).
10. Zuev A.V., Fedotova I.V. Informational overstrain as a factor of occupational risk. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2015, no. 2, pp. 50–53 (in Russian).
11. Powell D., Spencer M.B., Holland D., Petrie K.J. Fatigue in Two-Pilot Operations: Implications for Flight and Duty Time Limitations. *Aviat. Space Environ. Med.*, 2008, vol. 79, no. 11, pp. 1047–1050. DOI: 10.3357/ASEM.2362.2008
12. Surina E.I. Razrabotka i vnedrenie sistemy upravleniya riskami, svyazannymi s utomleniem: doklad-prezentatsiya vedushchego eksperta po bezopasnosti poletov i chelovecheskomu faktoru, chlena rabochei gruppy IATA po FRMS [Development and implementation of a fatigue-related risk management system: report-presentation of a leading expert on flight safety and the human factor, a member of the IATA FRMS working group]. *Volga-Dnepr Group*. Available at: <https://avam-avia.ru/wp-content/uploads/2020/02/41-surina-ei.pdf> (14.02.2022) (in Russian).
13. Pilot Fatigue Barometer. *European Pilots Association AISBL*. Available at: https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_barometer_on_pilot_fatigue_12_1107_f.pdf (15.04.2022).
14. Honn K.A., Satterfield B.C., McCauley P., Caldwell J.L., van Dongen H.P. Fatiguing effect of multiple take-offs and landings in regional airline operations. *Accid. Anal. Prev.*, 2016, vol. 86, pp. 199–208. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.005
15. Olaganathan R., Holt T.B., Luedtke J., Bowen B.D. Fatigue and Its Management in the Aviation Industry, with Special Reference to Pilots. *JATE*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 45–57. DOI: 10.7771/2159-6670.1208
16. Dembe A.E., Erickson J.B., Delbos R.G., Banks S.M. The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States. *Occup. Environ. Med.*, 2005, vol. 62, no. 9, pp. 588–597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667
17. Kandor I.S. Fiziologicheskaya stoimost' deyatelnosti. Tyazhest' i napryazhennost' truda [Physiological cost of activity. The severity and intensity of labor]. *Fiziologiya trudovoi deyatelnosti*. In: V.I. Medvedev ed. Saint Petersburg, Nauka, 1993, pp. 107–152 (in Russian).
18. Bodrov V.A. O probleme utomleniya letnogo sostava [On the problem of flight crew fatigue]. *Voenno-meditsinskii zhurnal*, 1986, no. 5, pp. 40–43 (in Russian).
19. Tomei F., Baccolo T.P., Tomao E., Palmi S., Rosati M.V. Chronic venous disorders and occupation. *Am. J. Ind. Med.*, 1999, vol. 36, no. 6, pp. 653–665. DOI: 10.1002/(sici)1097-0274(199912)36:6<653::aid-ajim8>3.0.co;2-p
20. Sechko A.V. Burnout in the stress system of aviation professionals. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 102–110. DOI: 10.17759/jmfp.2021100110 (in Russian).

Zibarev E.V., Bukhtiyarov I.V., Kravchenko O.K., Astanin P.A. Development of a new concept for assessing work intensity of civil aviation pilots. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 73–87. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.07.eng

Получена: 11.05.2022

Одобрена: 27.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ ПРИ РАБОТЕ НА ОТКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Е.М. Полякова¹, А.В. Мельцер², И.Ш. Якубова², Н.В. Ерастова², А.В. Суворова²

¹Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Россия, 191036, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Советская, 4

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Россия, 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

Добыча природных ресурсов сопряжена с постоянным воздействием охлаждающих метеорологических факторов открытых производственных площадок, что обуславливает необходимость оценки риска и управления риском нарушений здоровья от воздействия данных факторов производственной среды. Однако разработанные модели оценки риска не позволяют в полной мере оценить существующий риск от воздействия метеорологических опасностей.

Дизайн исследования включал: гигиеническую оценку условий труда и состояния здоровья работников АО «Самотлорнефтегаз», осуществляющих трудовые операции в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов открытых производственных площадок, с расчетом группового риска; оценку индивидуальных особенностей с использованием субъективных (анкетирование 547 человек) и объективных методов оценки (оценка теплового состояния организма – 76 человек, кожная термометрия с холодовой нагрузкой – 54); оценку априорного и апостериорного риска.

Оценка априорного группового риска позволила определить группы риска, имеющие значимый риск развития профессиональной и общей патологии, и проранжировать рабочие места по степени опасности для здоровья. Оценка апостериорного риска позволила подтвердить результаты оценки априорного риска о потенцирующем негативном воздействии охлаждающего метеорологического фактора. Оценка развития общих и локальных нарушений терморегуляции показала, что существенный вклад в их развитие вносят индивидуальные особенности, такие как продолжительная работа на открытой территории в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов – 60 % рабочего времени и более, наличие хронической патологии, привычки табакокурения. По результатам проведенного исследования предложена комплексная модель оценки, управления риском и информирования о риске нарушений здоровья при работе в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов.

Ключевые слова: работа на открытой территории, нефтедобывающее производство, охлаждающие метеорологические факторы, оценка риска нарушений здоровья, априорный риск, апостериорный риск, индивидуальные особенности при работе на открытой территории.

К районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям полностью или частично относится 69,7 % территории Российской Федерации [1].

В северных регионах сосредоточено почти 80 % запасов всех полезных ископаемых страны (более 90 % природного газа, 75 % нефти) [2, 3], на данных

территориях расположены крупные промышленные комплексы АО «Роснефть», ПАО «Газпром».

Несмотря на совершенствование технологических процессов при нефтедобыче, риск развития нарушений здоровья работников остается высоким [4–9].

© Полякова Е.М., Мельцер А.В., Якубова И.Ш., Ерастова Н.В., Суворова А.В., 2022

Полякова Екатерина Михайловна – младший научный сотрудник, и.о. старшего научного сотрудника отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне РФ (e-mail: ustimenkoekaterina_2009@mail.ru; тел.: 8 (981) 125-59-53; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3493-4592>).

Мельцер Александр Виталиевич – доктор медицинских наук, профессор, проректор по развитию регионального здравоохранения и медико-профилактическому направлению, заведующий кафедрой профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: aleksandr.meltcer@szgmu.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4186-457X>).

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

Ерастова Наталья Вячеславовна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры профилактической медицины и охраны здоровья, начальник Центра аналитическо-методического обеспечения развития регионального здравоохранения и медико-профилактического направления (e-mail: nataliya.erastova@szgmu.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4062-9578>).

Суворова Анна Васильевна – доктор медицинских наук, доцент кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: suvorova-work@mail.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).

Технологический процесс на нефтедобывающих предприятиях сопряжен с постоянным пребыванием работников на открытых производственных площадках, что обусловлено перемещением работника на большие расстояния в течение рабочей смены. Ряд авторов указывает на возможность опосредованного ухудшения условий труда под влиянием охлаждающего микроклимата в связи с изменением интенсивности воздействия на организм работающих некоторых других вредных производственных факторов [10–15]. Комплексное воздействие вредных и (или) опасных производственных факторов, а также неблагоприятных климатических условий обуславливает высокий уровень профессионального риска¹. Поэтому актуальными становятся оценка риска и управление риском нарушений здоровья работников при работе на холоде [16].

Отсутствие методики отнесения к классу условий труда воздействия охлаждающего микроклимата на открытых пространствах [17] затрудняет проведение гигиенической оценки условий труда и оценки риска нарушений здоровья, а также осуществление профилактических мероприятий по минимизации данного фактора риска.

Существующие модели оценки риска при воздействии охлаждающих метеорологических факторов в большинстве случаев основаны на учете метеорологических параметров [18–20]. Однако они не позволяют комплексно оценить существующий риск, в том числе связанный со стажем, особенностями труда работников, индивидуальной реакцией на холод.

Цель исследования – разработка комплексной модели оценки риска нарушений здоровья при работе на открытой территории в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов.

Материалы и методы. Объектами исследования явились состояние здоровья и условия труда работников нефтедобывающего предприятия. Исследование проведено на базе организационных единиц АО «Самотлорнефтегаз»: цеха подготовки и перекачки нефти № 1 и 2 (ЦППН № 1, 2), цеха подготовки и сдачи нефти № 1 и 2 (ЦПСН № 1, 2), цеха восстановления экологии (ЦВЭ) и профессиональных групп работников: операторов обессоливающей и обезвоживающей установки (ООУ); машинистов компрессорных установок (КУ); машинистов по

закачке рабочего агента в пласт (ЗРАП) и слесарей-ремонтников [21].

Климатический регион изучаемой территории характеризуется общей продолжительностью холодного периода до 270 дней и относится к климатическому поясу II (III) со средней температурой в зимний период –18 °С.

Гигиеническая оценка условий труда работников проведена на основании результатов производственного контроля (ПК) и специальной оценки условий труда (СОУТ) за период с 2014 по 2018 г.

Оценка производственного микроклимата осуществлялась в соответствии руководством Р 2.2.2006-05². Эквивалентную температуру определяли на основании данных суточного мониторинга температуры и скорости движения воздуха информационно-аналитической системы (ИАС) предприятия.

Оценка априорного риска нарушений здоровья от воздействия производственного шума, общей вибрации, воздействия химических веществ воздуха рабочей зоны, тяжести трудового процесса и охлаждающего микроклимата на открытой территории в холодный период года [21] выполнена согласно разработанным моделям³.

Анализ патологической пораженности проведен по результатам периодических медицинских осмотров (ПМО) 1063 работников предприятия [5]. Для выявления статистических различий в состоянии здоровья работников были сформированы две группы исследования, имеющие наименьшую и наибольшую недельную продолжительность времени нахождения на холоде [5]. В группу 1 были включены 616 человек из числа операторов ООУ (192 человека), слесарей-ремонтников (80) и машинистов технологических установок (344), выполняющих трудовые операции на открытых площадках длительностью от 10,5 до 14,0 ч, то есть до 35 % рабочего времени в течение рабочей недели. В группу 2 были включены 447 человек из числа операторов ООУ (128) и слесарей-ремонтников (319), выполняющих трудовые операции на открытых площадках длительностью от 24 до 31 ч, то есть от 60 % рабочего времени и более в течение рабочей недели.

Оценка апостериорного риска проведена в соответствии с руководством⁴. В качестве критерия статистической надежности выбран не менее чем 95%-ный доверительный интервал ($p < 0,05$).

¹ О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 [Электронный ресурс] // Президент России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 02.03.2022).

² Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29.07.2005 г.; введ. в действие 01.11.2005 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85537/ (дата обращения: 09.03.2022).

³ Мельцер А.В., Ерастова Н.В., Киселев А.В. Методические основы оценки априорного профессионального риска: методические рекомендации. – СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2021. – 44 с.

⁴ Профессиональный риск для здоровья работников: руководство / под ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. – М.: Тривант, 2003. – 448 с.

Проведена оценка индивидуальных особенностей при работе на открытой территории с использованием субъективных (анкетирование 547 человек) и объективных методов оценки (оценка теплового состояния организма⁵ – у 76, кожная термометрия с холодовой нагрузкой⁶ – у 54).

Анкетирование работников проводилось с помощью разработанного опросника. Анкета содержала 35 вопросов об условиях труда, профессии, стаже, состоянии здоровья, образе жизни и других факторах.

Оценка теплового состояния проводилась в стандартных условиях до и после 2 ч работы в условиях холода. В качестве прямых показателей теплового состояния человека использованы: температура тела и кожи, теплоощущение работника и теплосодержание. Температуру тела измеряли в подмышечной впадине, температуру кожи – на пяти участках поверхности тела работника. Всего было проведено более 1000 измерений [21].

Оценка локальных нарушений терморегуляции с холодовой нагрузкой проводилась в специально выделенном теплом помещении предприятия до начала работы на холоде. При проведении оценки локальных нарушений терморегуляции в течение 10 мин в положении сидя проводилась термоадаптация обследуемого. Методика предполагала погружение кистей рук работника в холодную воду до появления локальных дискомфортных ощущений с последующим динамическим измерением температуры до восстановления исходных значений в течение 25 мин.

Статистический анализ результатов проводился с использованием пакетов прикладных программ MS Excel 2010, Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Расчеты априорного риска от воздействия ведущих вредных производственных факторов с учетом стажа работы на выбранных рабочих местах [5, 21, 22] представлены в табл. 1.

На большинстве рабочих мест ведущим фактором для развития нарушений здоровья является производственный шум. На ряде рабочих мест, включая машинистов ЗРАП КНС-6 ЦППН-1 и слесарей-ремонтников ДНС-4, КСП-6 цеха восстановления экологии (ЦВЭ), ведущим фактором риска развития профессиональной патологии определен охлаждающий микроклимат открытых производственных площадок [21].

Показано, что вклад различных производственных факторов в суммарные значения риска

различен и может иметь уровни как значимые, так и малозначимые для развития профессиональных заболеваний в зависимости от рабочих мест. Значимые показатели суммарного риска для возникновения профессиональных заболеваний (более 16 %) установлены при стаже работы 10 лет на рабочих местах операторов ООУ площадки центрального резервуарного парка (ЦРП) цеха подготовки и сдачи нефти № 1 и машинистов КУ вакуумной компрессорной установки (ВКС-28) ЦППН-2; при стаже 15 лет – операторов ООУ дожимной насосной станции (ДНС-1) ЦППН-2 и машинистов КУ ВКС ТАКАТ-1,2,3 ЦПСН-1; при стаже 20 лет – машинистов ЗРАП кустовой насосной станции (КНС-1Е) ЦППН-2, и при стаже 25 лет – машинистов ЗРАП КНС-6 ЦППН-1 и слесарей-ремонтников ДНС-4, КСП-6 цеха восстановления экологии (ЦВЭ) [21].

Существенный вклад в развитие профессиональной и общей заболеваемости работников вносит воздействие охлаждающего микроклимата [5]. В зависимости от стажа работы и рабочего места вклад охлаждающих метеорологических факторов в значение суммарного риска нарушений здоровья варьировался от малозначимого в первый год стажа работы до 65,1 % при стаже работы 30 лет. При стаже работы 5 лет вклад охлаждающих метеорологических факторов составил от 13,3 % на рабочем месте операторов ООУ ЦРП ЦПСН-1 до 37 % на рабочих местах машинистов ЗРАП КНС-6 ЦППН-1. При достижении 30 лет стажа работы процентный вклад охлаждающих метеорологических факторов в суммарный риск достигал максимальных значений – от 37,2 % на рабочем месте оператора ООУ ЦРП ЦПСН-1 до 65,1 % у машиниста ЗРАП КНС-6 ЦППН-1 (табл. 2).

С использованием методологии оценки риска здоровью в ходе исследования применены модели оценки априорного группового риска нарушений здоровья, позволившие установить вклады отдельных факторов в суммарное значение риска. Важным этапом идентификации опасности являлось проведение хронометража на рабочих местах с различными трудовыми действиями в течение смены, при этом продолжительность работы на открытой территории имела в целом ряде случаев определяющее значение последствий для здоровья. Так, в ходе исследования установлено, что работники, осуществляющие трудовые операции на открытой

⁵ МУК 4.3.1895-04. Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: методические указания / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 03.03.2004 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129636/ (дата обращения: 09.03.2022).

⁶ Вопросы ранней диагностики и профилактики при сосудистых нарушениях у горнорабочих Заполярья: методические рекомендации / под ред. А.В. Иванова, А.С. Кононова, С.К. Кашулина. – Кировск: НИЛ комплексных проблем гигиены труда с клиникой профессиональных заболеваний Минздрава РСФСР, 1981. – 17 с.

Таблица 1

Априорный риск нарушений здоровья работников при различном стаже работы в условиях воздействия неблагоприятных факторов

Стаж работы, лет	Априорный риск					
	Шум	Микроклимат в холодный период года	Общая вибрация	Тяжесть трудового процесса	Хим. фактор неканцерогенного риска	Суммарный риск
<i>Операторы ООУ ДНС-1 ЦППН-2</i>						
10	<i>0,133</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000453	<i>0,151</i>
15	0,162	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00053	0,179
20	0,184	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,00059	0,225
25	0,203	<i>0,10</i>	≤0,02	0,02	0,00063	0,297
30	0,218	0,16	≤0,02	<i>0,05</i>	0,00067	0,376
<i>Операторы ООУ ЦРП ЦПСН-1</i>						
10	0,184	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00023	0,201
15	0,219	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00027	0,235
20	0,245	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,00030	0,283
25	0,267	<i>0,10</i>	≤0,02	0,02	0,00032	0,354
30	0,286	0,16	≤0,02	<i>0,05</i>	0,00034	0,430
<i>Машинисты по закатке рабочего агента в пласт КНС-1Е ЦППН-2</i>						
10	<i>0,093</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000347	<i>0,111</i>
15	<i>0,116</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000409	<i>0,134</i>
20	<i>0,134</i>	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,00045	0,178
25	<i>0,149</i>	<i>0,10</i>	0,02	≤0,02	0,00049	0,250
30	0,162	0,16	<i>0,05</i>	≤0,02	0,00051	0,332
<i>Машинисты по закатке рабочего агента в пласт КНС-6 ЦППН-1</i>						
10	<i>0,055</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000043	<i>0,074</i>
15	<i>0,069</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000051	<i>0,088</i>
20	<i>0,082</i>	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,000056	<i>0,128</i>
25	<i>0,093</i>	<i>0,10</i>	≤0,02	≤0,02	0,00006	0,184
30	<i>0,102</i>	0,16	≤0,02	≤0,02	0,00006	0,246
<i>Машинисты компрессорных установок ВКС ТАКАТ-1,2,3 ЦПСН-1</i>						
10	<i>0,119</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,000233	<i>0,137</i>
15	<i>0,145</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00027	0,162
20	0,166	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,00030	0,208
25	0,184	<i>0,10</i>	0,02	≤0,02	0,00032	0,281
30	0,199	0,16	<i>0,05</i>	≤0,02	0,00034	0,361
<i>Машинисты компрессорных установок ВКС-28 ЦППН-2</i>						
10	0,166	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00035	0,183
15	0,199	0,02	≤0,02	≤0,02	0,00041	0,215
20	0,223	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,00045	0,262
25	0,245	<i>0,10</i>	≤0,02	≤0,02	0,00049	0,321
30	0,262	0,16	≤0,02	≤0,02	0,00051	0,380
<i>Слесари-ремонтники ДНС-4, КСП-6 ЦВЭ</i>						
10	<i>0,055</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,01473	<i>0,088</i>
15	<i>0,069</i>	0,02	≤0,02	≤0,02	0,01488	<i>0,101</i>
20	<i>0,082</i>	<i>0,05</i>	≤0,02	≤0,02	0,01499	<i>0,141</i>
25	<i>0,093</i>	<i>0,10</i>	≤0,02	0,02	0,01507	0,212
30	<i>0,103</i>	0,16	≤0,02	<i>0,05</i>	0,01514	0,295

Примечание: жирным шрифтом отмечены показатели риска нарушений здоровья, имеющие значения, соответствующие значимым уровням риска для развития профзаболеваний ($Risk_{пз} \geq 0,16$), а курсивом – показатели умеренного риска, имеющие значимые значения для развития общих заболеваний ($Risk_{пз} \geq 0,05$ и $< 0,16$).

Таблица 2

Вклад охлаждающих метеорологических факторов в значение суммарного риска нарушений здоровья на изучаемых рабочих местах в зависимости от стажа работы

Профессиональная группа	Рабочее место	Стаж работы значимый для развития ПЗ*, лет	Вклад охлаждающих метеорологических факторов в риск развития общесоматических и профессиональных заболеваний, %					
			Стаж работы, лет					
			5	10	15	20	25	30
Операторы ООУ	ДНС-1 ЦППН-2, $n = 10$	15	18,0	13,3	11,2	22,2	33,6	42,5
	ЦРП ЦПСН-1, $n = 24$	10	13,3	10,0	8,5	17,7	28,3	37,2
Машинисты ЗРАП	КНС-6 ЦППН-1, $n = 7$	25	37,0	27,0	22,7	39,1	54,4	65,1
	КНС-1Е ЦППН-2, $n = 3$	20	24,7	18,0	14,9	28,1	40,0	48,2
Машинисты КУ	ВКС ТАКАТ-1,2,3 ЦПСН-1, $n = 4$	15	19,8	14,6	12,3	24,0	35,6	44,3
	ВКС-28 ЦППН-2, $n = 4$	10	14,7	10,9	9,3	19,1	31,2	42,1
Слесари-ремонтники	ДНС-4 ЦВЭ, $n = 52$	25	29,4	22,7	19,8	35,5	47,2	54,2
	КСП-6 ЦВЭ, $n = 51$	25	29,4	22,7	19,8	35,5	47,2	54,2

Примечание: * – ПЗ – профессиональные заболевания.

территории в течение 60 % рабочего времени и более, имеют высокий риск формирования хронической патологии [21].

Оценка апостериорного риска позволила установить наличие прямой связи воздействия производственных вредностей в сочетании с охлаждающим метеорологическим фактором с заболеванием, так как по приоритетным классам болезней показатель превышал единицу – как в среднем, так и по верхней и нижней границам [22]. Значения этиологической доли более 50 % по данным классам болезней позволили установить высокую степень связи и отнести болезни системы кровообращения ($OR = 2,87$; ДИ: 2,36–3,48; $p < 0,001$), уха и сосцевидного отростка ($OR = 2,49$; ДИ: 1,85–3,36; $p < 0,001$), нервной системы ($OR = 5,12$; ДИ: 3,21–8,16; $p < 0,001$), костно-мышечной системы ($OR = 3,18$; ДИ: 2,46–4,09; $p < 0,001$), органов пищеварения ($OR = 3,35$; ДИ: 2,04–5,48; $p < 0,001$) и дыхания ($OR = 4,9$; ДИ: 2,64–9,25; $p < 0,001$) к профессионально обусловленным, связанным с влиянием продолжительного пребывания работников на открытой территории в условиях холода (табл. 3) [21].

На следующем этапе проведена оценка индивидуальных особенностей на основании анкетирования, а также в натурных и модельных испытаниях.

По результатам субъективной и объективной оценки нарушений терморегуляции у работников, выполняющих работу в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов, определены

индивидуальные особенности, способствующие развитию локальных и общих нарушений терморегуляции: продолжительная работа – 60 % рабочего времени и более ($OR = 3,0$; ДИ: 1,20–7,45; $p = 0,017$), наличие хронической патологии, в том числе болезней системы кровообращения ($OR = 1,46$; ДИ: 1,30–1,63; $p < 0,0001$), уха и сосцевидного отростка ($OR = 1,33$; ДИ: 1,20–1,47; $p < 0,0001$), эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ ($OR = 1,31$; ДИ: 1,16–1,48; $p = 0,015$), болезней костно-мышечной системы ($OR = 1,35$; ДИ: 1,22–1,48; $p < 0,0001$), нервной системы ($OR = 1,57$; ДИ: 1,19–2,07; $p = 0,003$) и привычки табакокурения ($OR = 1,13$; ДИ: 1,02–1,27; $p = 0,0378$) (табл. 4).

Индивидуальные особенности указаны для работников изучаемого предприятия, осуществляющих трудовые операции на открытой территории в холодный период года.

Полученные результаты персонифицированной оценки нарушений терморегуляции работников обуславливают необходимость их учета в рамках оценки риска нарушений здоровья и позволяют разработать целенаправленные медико-профилактические мероприятия для данной категории работников.

Проведенное исследование позволило предложить комплексную модель оценки, управления риском и информирования о риске нарушений здоровья при работе на открытой территории в холодный период года, с учетом оценки группового профессионального риска и оценки индивидуальных особенностей работника (рисунок).

Таблица 3

Апостериорный риск нарушений здоровья у работников с наиболее продолжительным пребыванием на открытой территории

№ п/п	Класс болезней по МКБ-10	Относительный риск (ОР) (95%-ный доверительный интервал (ДИ))	Чувствительность, %	Специфичность, %	Этиологическая доля EF, %	Статистика
1	Болезни системы кровообращения	2,87 (2,36–3,48)	67,6	69,6	65,2	$\chi^2 = 129,56$; $p < 0,001$
2	Болезни уха и сосцевидного отростка	2,49 (1,85–3,36)	64,4	62,0	59,8	$\chi^2 = 39,52$; $p < 0,001$
3	Болезни органов пищеварения	3,35 (2,04–5,48)	70,8	60,0	70,1	$\chi^2 = 26,26$; $p < 0,001$
4	Болезни нервной системы	5,12 (3,21–8,16)	78,8	61,7	80,5	$\chi^2 = 60,46$; $p < 0,001$
5	Болезни костно-мышечной системы	3,18 (2,46–4,09)	69,7	65,5	68,5	$\chi^2 = 91,30$; $p < 0,001$
6	Болезни органов дыхания	4,90 (2,64–9,25)	78,2	59,9	79,6	$\chi^2 = 31,07$; $p < 0,001$

Таблица 4

Параметры риска развития локальных и общих нарушений терморегуляции при работе на открытой территории в холодный период года лиц с индивидуальными особенностями

№	Индивидуальные особенности	Относительный риск (ОР) (95%-ный доверительный интервал (ДИ)), уровень значимости p	
		Локальные нарушения терморегуляции	Общие нарушения терморегуляции
1	Наличие привычки табакокурения	2,69 (1,23–5,88) $p = 0,007$	1,13 (1,02–1,27) $p = 0,0378$
A	Интенсивность курения – 11–20 сигарет	4,17 (1,33–13,04) $p = 0,005$	$p > 0,05$
B	Стаж курения более 20 лет	$p > 0,05$	1,23 (1,05–1,43) $p = 0,043$
2	Нарушения здоровья		
A	Болезни системы кровообращения	1,88 (1,43–2,46) $p < 0,0001$	1,46 (1,30–1,63) $p < 0,0001$
B	Болезни уха и сосцевидного отростка	$p > 0,05$	1,33 (1,20–1,47) $p < 0,0001$
B	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	1,61 (1,25–2,13) $p = 0,0008$	1,35 (1,22–1,48) $p < 0,0001$
Г	Болезни эндокринной системы	2,19 (1,62–2,96) $p = 0,0001$	1,31 (1,16–1,48) $p = 0,015$
Д	Болезни нервной системы	1,57 (1,19–2,07) $p = 0,003$	$p > 0,05$
3	Продолжительность работы на открытой территории в 40-часовую рабочую неделю 24,0–31,0 ч (60 % от рабочего времени и более)	1,92 (1,18–3,14) $p = 0,005$	3,0 (1,20–7,45) $p = 0,017$

Выводы:

1. Количественная оценка априорного риска позволила определить группы работников, имеющих значимый риск развития профессиональной и общей патологии, и проранжировать рабочие места по степени «опасности» для здоровья, а также разработать профилактические мероприятия, направленные на предупреждение вредного воздействия как охлаждающего микроклимата открытых производственных площадок, так и факторов производ-

ственной среды и трудового процесса на здоровье работника.

2. Оценка апостериорного риска позволила подтвердить результаты оценки априорного риска о потенцирующем негативном воздействии охлаждающего метеорологического фактора в совокупности с вредными производственными факторами на здоровье профессиональных групп работников, пребывание на открытых площадках у которых занимает более 60 % рабочего времени.



Рис. Модель оценки, управления риском и информирования о риске нарушений здоровья при работе на открытой территории в холодный период года

3. Установленные индивидуальные особенности обуславливают необходимость их учета в процессе оценки риска нарушений здоровья и позволяют разработать адресные персональные медико-профилактические мероприятия для данной категории работников.

4. Предложена комплексная модель оценки риска, управления риском и информирования о риске нарушений здоровья при работе на открытой территории в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов, на основе которой разработаны адресные мероприятия (первичной и вторичной профилактики) по минимизации риска и

информированию о риске, включающие технические и административные методы ограничения риска, времени воздействия опасностей, использование средств индивидуальной защиты, коррекцию поведенческих факторов риска, организацию и проведение предварительных, периодических медицинских осмотров, диспансеризации и оздоровительно-реабилитационных мероприятий.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Фаузер В.В., Лыткина Т.С., Фаузер Г.Н. Демографические и миграционные процессы на Российском Севере: 1980–2000 гг.: монография / под ред. д-ра экон. наук, проф. В.В. Фаузера. – Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Соколина, 2016. – 168 с.
2. Геворкян С.Г. Криолитозона как предмет и территория пограничных конфликтов // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. – 2013. – Т. 3, № 1. – С. 14.
3. Крупко А.Э., Шульгина Л.В. Роль Крайнего Севера и приравненных к нему местностей для устойчивого развития экономики страны // ФЭС: Финансы. Экономика. – 2021. – Т. 18, № 8. – С. 10–18.
4. Заболевания костно-мышечной и периферической нервной систем у нефтяников в условиях сочетанного воздействия вибрации и тяжести трудового процесса / Г.Г. Гимранова, А.Б. Бакиров, Э.Р. Шайхлисламова, Л.К. Каримова, Н.А. Бейгул, Л.Н. Маврина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 6. – С. 552–555. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-552-555
5. Гигиеническая оценка вклада охлаждающих метеорологических факторов в формирование профессионального риска нарушений здоровья работающих на открытой территории в холодный период года / Е.М. Полякова, А.В. Мельцер, В.П. Чашин, Н.В. Ерастова // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 108–116. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.13
6. Mäkinen T.M., Hassi J. Health problems in cold work // Ind. Health. – 2009. – Vol. 47, № 3. – P. 207–220. DOI: 10.2486/indhealth.47.207
7. Механизмы гипоксии в Арктической зоне Российской Федерации / О.А. Нагибович, Д.М. Уховский, А.Н. Желалов, Н.А. Ткачук, Л.Г. Аржавкина, Е.Г. Богданова, Е.В. Мурзина, Т.М. Беликова // Вестник Российской военной медицинской академии. – 2016. – № 2 (54). – С. 202–205.
8. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р., Величковский Б.Т. Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде в высоких широтах // Журнал медико-биологических исследований. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 25–36. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25
9. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике / В.П. Чашин, А.Б. Гудков, О.Н. Попова, Ю.О. Одланд, А.А. Ковшов // Экология человека. – 2014. – № 1. – С. 3–12.
10. Субъективная и объективная оценки состояния костно-мышечной системы у рабочих подземных рудников Арктической зоны России / Л.В. Талыкова, И.В. Гущин, С.Н. Купцова, Б.А. Скрипаль // Экология человека. – 2017. – Т. 24, № 9. – С. 28–34. DOI: 10.33396/1728-0869-2017-9-28-34
11. Вибрационная болезнь от воздействия локальной вибрации у горнорабочих в условиях Сибири и Севера / Лахман О.Л., Колесов В.Г., Панков В.А., В.С. Рукавишников, С.Ф. Шаяхметов, М.П. Дьякович. – Иркутск: Изд-во Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии Сибирского отделения РАМН, 2008. – 208 с.
12. Combined effects of noise, vibration, and low temperature on the physiological parameters of labor employees / P.-C. Chao, Y.-J. Juang, C.-J. Chen, Y.-T. Dai, C.-Y. Yeh, C.-Y. Hu // Kaohsiung J. Med. Sci. – 2013. – Vol. 29, № 10. – P. 560–567. DOI: 10.1016/j.kjms.2013.03.004
13. Skin temperature responses to hand-arm vibration in cold and thermoneutral ambient temperatures / H. Pettersson, S. Rissanen, J. Wahlström, H. Rintamäki // Ind. Health. – 2018. – Vol. 56, № 6. – P. 545–552. DOI: 10.2486/indhealth.2018-0013
14. Musculoskeletal symptoms and exposure to whole-body vibration among open-pit mine workers in the Arctic / L. Burström, A. Aminoff, B. Björ, S. Mänttari, T. Nilsson, H. Pettersson, H. Rintamäki, I. Rödin [et al.] // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2017. – Vol. 30, № 4. – P. 553–564. DOI: 10.13075/ijom.1896.00975
15. Golmohammadi R., Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors – a systematic review // Noise Health. – 2019. – Vol. 21, № 101. – P. 125–141. DOI: 10.4103/nah.NAH_4_18
16. Holmér I. Evaluation of cold workplaces: an overview of standards for assessment of cold stress // Ind. Health. – 2009. – Vol. 47, № 3. – P. 228–234. DOI: 10.2486/indhealth.47.228
17. К вопросу об оценке условий труда на открытой территории в зимний период года / Р.С. Рахманов, Д.А. Гаджибрагимов, Г.Г. Бахмудов, М.Х. Аликберов, А.В. Тарасов // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 4. – С. 424–427. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-424-427
18. Оценка биоклиматических индексов на территориях субарктического и континентального климатических поясов Красноярского края / Р.С. Рахманов, Е.С. Богомолова, Д.А. Нарутдинов, С.А. Разгулин, Н.Н. Потехина, Д.В. Непряхин // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 3. – С. 288–293. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-3-288-293
19. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) / K. Blázquez, G. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, Y. Epstein, A. Psikuta, B. Kampmann // Geographia Polonica. – 2013. – Vol. 1, № 86. – P. 5–10. DOI: 10.7163/GPol.2013.1
20. Petersson J., Kuklane K., Gao C. Is There a Need to Integrate Human Thermal Models with Weather Forecasts to Predict Thermal Stress? // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 22. – P. 4586. DOI: 10.3390/ijerph16224586
21. Полякова Е.М., Мельцер А.В., Чашин В.П. Априорная и апостериорная оценка риска нарушений здоровья при работе на открытой территории в холодный период года // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2020. – С. 86–93.
22. Мельцер А.В., Полякова Е.М. Оценка комбинированного профессионального риска при выполнении трудовых операций на открытой территории в холодный период года // Профилактическая и клиническая медицина. – 2019. – Т. 72, № 3. – С. 4–13.

Комплексная модель оценки риска нарушений здоровья при работе на открытой территории в условиях воздействия охлаждающих метеорологических факторов / Е.М. Полякова, А.В. Мельцер, И.Ш. Якубова, Н.В. Ерастова, А.В. Суворова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 88–97. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.08

INTEGRATED MODEL OF HEALTH RISK ASSESSMENT FOR WORKERS HAVING TO WORK OUTDOORS UNDER EXPOSURE TO COOLING METEOROLOGICAL FACTORS

E.M. Polyakova¹, A.V. Meltser², I.S. Iakubova², N.V. Erastova², A.V. Suvorova²

¹ North-West Public Health Research Center, 4 2nd Sovetskaya Str., Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

² I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, 41 Kirochnaya Str., Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

Natural resources extraction involves continuous exposure to cooling meteorological factors typical for open production grounds. This necessitates relevant health risk assessment and management of health risks caused by exposure to these harmful occupational factors. However, the available risk assessment models do not provide a possibility to perform complete assessment of the existing risks created by exposure to meteorological hazards.

The study design included the following. We performed hygienic assessment of working conditions and health of workers employed by "Samotlorneftegaz" Joint Stock Company (JSC) who had to perform their work tasks under exposure to cooling meteorological factors on open production grounds; the assessment involved calculating the group health risk. Individual peculiarities were assessed using subjective (547 people took part in questioning) and objective assessment methods (76 people took part in estimating thermal state of their bodies and 54 people participated in thermometry with cold stress). Finally, we assessed prior and posterior risks.

The prior group risk assessment made it possible to identify risk groups who had a significant risk of developing occupational and non-occupational diseases and to rank working places as per health hazards. The posterior risk assessment confirmed the results produced by the prior risk assessment regarding potentiating negative effects produced by cooling meteorological factors. The assessment of developing general and local thermoregulation disorders revealed that certain individual peculiarities made a substantial contribution into their development. Among them, we can mention long-term outdoor work (60 % of work time or more) under exposure to cooling meteorological factors; a chronic pathology; tobacco smoking. The results produced by this study allowed us to suggest an integrated model for risk assessment, management and communication about health risks caused by working under exposure to cooling meteorological factors.

Keywords: outdoor work, oil production, cooling meteorological factors, health risk assessment, prior risk, posterior risk, individual peculiarities in outdoor work.

References

1. Fauzer V.V., Lytkina T.S., Fauzer G.N. Demograficheskie i migratsionnye protsessy na Rossiiskom Severe: 1980–2000 gg. [Demographic and migration processes in the Russian North: 1980–2000]. Syktyvkar, SGU im. Pitirima Sorokina Publ., 2016, 168 p. (in Russian).
2. Gevorkyan S.G. Permafrost zone as a subject and area of frontier conflicts. *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manakh Prostranstvo i Vremya*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 14 (in Russian).
3. Krupko A.E., Shulgina L.V. The role of the Far North and equivalent areas for sustainable economic development. *FES: Finansy. Ekonomika*, 2021, vol. 18, no. 8, pp. 10–18 (in Russian).

© Polyakova E.M., Meltser A.V., Iakubova I.S., Erastova N.V., Suvorova A.V., 2022

Ekaterina M. Polyakova – acting Senior Researcher at the Department for Environmental and Public Health Studies in the Arctic Region of the Russian Federation (e-mail: ustimenkoekaterina_2009@mail.ru; tel.: +7 (981) 125-59-53; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3493-4592>).

Alexander V. Meltser – Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector responsible for Regional Public Healthcare Development and Medical Prevention, Head of the Department for Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: aleksandr.meltser@szgmu.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4186-457X>).

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

Nataliya V. Erastova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department for Preventive Medicine and Health Protection, Head of the Department for Analytical and Methodical Support for Regional Healthcare Development and Medical and Prevention Activities (e-mail: nataliya.erastova@szgmu.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4062-9578>).

Anna V. Suvorova – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department for Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: suvorova-work@mail.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).

4. Gimranova G.G., Bakirov A.B., Shaikhislamova E.R., Karimova L.K., Beigul N.A., Mavrina L.N. Musculo-skeletal and peripheral nervous diseases in employees of the oil industry in conditions of the combined impact of vibration and the heavy working process. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 6, pp. 552–555. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-552-555 (in Russian).
5. Polyakova E.M., Mel'tser A.V., Chashchin V.P., Erastova N.V. Hygienic assessment of contribution made by cooling meteorological factors into occupational risks of health disorders for workers who have to work outdoors in cold season. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 3, pp. 108–116. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.13.eng
6. Mäkinen T.M., Hassi J. Health problems in cold work. *Ind. Health*, 2009, vol. 47, no. 3, pp. 207–220. DOI: 10.2486/indhealth.47.207
7. Nagibovich O.A., Ukhovsky D.M., Zhekalov A.N., Tkachuk N.A., Arzhavkina L.G., Bogdanova E.G., Murzina E.V., Belikova T.M. Mechanisms of hypoxia in Arctic zone of Russian Federation. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii*, 2016, no. 2 (54), pp. 202–205 (in Russian).
8. Solonin Yu.G., Boiko E.R., Velichkovskii B.T. Physiological stress standards at manual labour in high latitudes. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 25–36. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25 (in Russian).
9. Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland Yu.O., Kovshov A.A. Kharakteristika osnovnykh faktorov riska narusheniya zdorov'ya naseleniya, prozhivayushchego na territoriyakh aktivnogo prirodopol'zovaniya v Arktike [Description of main risk factors causing health deterioration for population living on territories of active natural management in the Arctic]. *Ekologiya cheloveka*, 2014, no. 1, pp. 3–12 (in Russian).
10. Talykova L.V., Gushchin I.V., Kuptsova S.N., Skripal B.A. Subjective and objective assessment of musculoskeletal system state in workers of underground mines in the Arctic zone of Russia. *Ekologiya cheloveka*, 2017, vol. 24, no. 9, pp. 28–34. DOI: 10.33396/1728-0869-2017-9-28-34 (in Russian).
11. Lakhman O.L., Kolesov V.G., Pankov V.A., Rukavishnikov V.S., Shayakhmetov S.F., Dyakovich M.P. Vibrational disease of miners in Siberia and the Russian North caused by exposure to local vibration. Irkutsk, Nauchnyi tsentr rekonstruktivnoi i vosstanovitel'noi khirurgii Sibirskogo otdeleniya RAMN Publ., 2008, 208 p. (in Russian).
12. Chao P.-C., Juang Y.-J., Chen C.-J., Dai Y.-T., Yeh C.-Y., Hu C.-Y. Combined effects of noise, vibration, and low temperature on the physiological parameters of labor employees. *Kaohsiung J. Med. Sci.*, 2013, vol. 29, no. 10, pp. 560–567. DOI: 10.1016/j.kjms.2013.03.004
13. Pettersson H., Rissanen S., Wahlström J., Rintamäki H. Skin temperature responses to hand-arm vibration in cold and thermoneutral ambient temperatures. *Ind. Health*, 2018, vol. 56, no. 6, pp. 545–552. DOI: 10.2486/indhealth.2018-0013
14. Burström L., Aminoff A., Björ B., Mänttari S., Nilsson T., Pettersson H., Rintamäki H., Rödin I. [et al.]. Musculoskeletal symptoms and exposure to whole-body vibration among open-pit mine workers in the Arctic. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2017, vol. 30, no. 4, pp. 553–564. DOI: 10.13075/ijomh.1896.00975
15. Golmohammadi R., Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors – a systematic review. *Noise Health*, 2019, vol. 21, no. 101, pp. 125–141. DOI: 10.4103/nah.NAH_4_18
16. Holmér I. Evaluation of cold workplaces: an overview of standards for assessment of cold stress. *Ind. Health*, 2009, vol. 47, no. 3, pp. 228–234. DOI: 10.2486/indhealth.47.228
17. Rakhmanov R.S., Gadzhibragimov D.A., Bakhmydov G.G., Alikberov M.Kh., Tarasov A.V. On the evaluation of working conditions in open area in the winter season. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 4, pp. 424–427. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-424-427 (in Russian).
18. Rakhmanov R.S., Bogomolova E.S., Narutdinov D.A., Razgulin S.A., Potekhina N.N., Nepryakhin D.V. Assessment of bioclimatic indices in the territories of the subarctic and continental climatic zones of the Krasnoyarsk territory. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 3, pp. 288–293. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-3-288-293 (in Russian).
19. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 2013, vol. 1, no. 86, pp. 5–10. DOI: 10.7163/GPol.2013.1
20. Petersson J., Kuklane K., Gao C. Is There a Need to Integrate Human Thermal Models with Weather Forecasts to Predict Thermal Stress? *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 22, pp. 4586. DOI: 10.3390/ijerph16224586
21. Polyakova E.M., Meltser A.V., Chashchin V.P. Apriornaya i aposteriornaya otsenka riska narusheniya zdorov'ya pri rabote na otrytoi territorii v kholodnyi period goda [A priori and a posteriori assessment of the risk of health disorders when working in an open area in the cold season]. *Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovместno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: v 2-kh tomakh*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, May 13–15, 2020, pp. 86–93 (in Russian).
22. Meltser A.V., Polyakova E.M. Assessment of the combined professional risk working in open territory in the cold period of the year. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*, 2019, no. 3 (72), pp. 4–13 (in Russian).

Polyakova E.M., Meltser A.V., Iakubova I.S., Erastova N.V., Suvorova A.V. Integrated model of health risk assessment for workers having to work outdoors under exposure to cooling meteorological factors. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 88–97. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.08.eng

Получена: 12.04.2022

Одобрена: 17.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

ОЦЕНКА ОБРАЗА ЖИЗНИ НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ И ФАКТОРОВ РИСКА, ВЛИЯЮЩИХ НА ИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

М.Д. Васильев¹, Е.В. Макарова¹, А.А. Костров¹, С.А. Палевская^{1,2}, С.М. Сибатян^{1,3}

¹Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко, Россия, 105064, г. Москва, ул. Воронцово Поле, 12, стр. 1

²Самарский государственный медицинский университет, Россия, 443079, г. Самара, ул. Гагарина, 18

³Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Россия, 129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, корпус 1

Представляется важным определить влияние научной работы на психическое здоровье, оценить характер потенциальных расстройств и сформировать стратегию предотвращения когнитивных нарушений, так как поддержание когнитивного статуса ученых на высоком уровне необходимо для сохранения их интеллектуального потенциала и эффективности работы. Целями данной работы являлись скрининговая оценка исполнительных функций, исследование признаков преждевременного старения, поведенческих и социально-бытовых факторов риска в популяции российских ученых.

Проведено поперечное исследование одномоментного среза 213 научных сотрудников государственных научных учреждений г. Москвы в возрасте от 23 до 78 лет (средний возраст – $45,48 \pm 15,33$ г.) – 116 женщин, 97 мужчин.

В результате было обнаружено, что у научных сотрудников отмечается достаточно высокая распространенность факторов риска снижения профессиональной эффективности. У 9,85 % были выявлены вероятные когнитивные нарушения, причем не ассоциированные с возрастом ученого, у 3,28 % наблюдались признаки старческой астении, у 2,34 % – старческой депрессии. Две трети жили в субдепрессивном состоянии (74,6 %). Только пятая часть респондентов (19,71 %, $n = 42$) не имела ни когнитивных нарушений, ни астенического синдрома, ни депрессии. Четверть научных сотрудников недостаточно хорошо соблюдала принципы здорового образа жизни (25,34 %). Основными проблемами являлись низкая физическая активность, выявленная у 79,3 % опрошенных лиц, а также: несоблюдение принципов рационального питания, в первую очередь у ученых, имеющих преподавательскую нагрузку; низкие навыки управления стрессом у врачей, совмещающих клиническую практику с наукой; трудности в межличностных отношениях у лиц, занимающихся только научной работой.

Необходимо внедрение корпоративных программ профилактики и реабилитации для сотрудников научных учреждений с целью сохранения научной активности и эффективности ученых, а также продления их профессионального долголетия.

Ключевые слова: профессиональное долголетие, ученые, врачи, преподаватели, интеллектуальный труд, качество жизни, когнитивные функции, образ жизни.

Ученые играют важную роль в развитии современного мира, создавая новые концепции, формируя мнение, анализируя большой объем информации, исследуя и предлагая новые методы [1]. Научная работа, как и любая интеллектуальная деятельность, отличается от физических нагрузок большой нагрузкой на нервную систему, которая

может иметь негативные последствия для здоровья [2, 3]. Научная работа связана с многофункциональностью, большим объемом обработки информации и значительным психоэмоциональным стрессом [3]. Особенно это касается ученых-медиков и ученых-преподавателей. Такое совмещение профессиональных ролей является на сегодняшний день типичным

© Васильев М.Д., Макарова Е.В., Костров А.А., Палевская С.А., Сибатян С.М., 2022

Васильев Михаил Дмитриевич – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник (e-mail: m.vasilev@mail.ru; тел.: 8 (910) 686-51-81; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1646-7345>).

Макарова Екатерина Владимировна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник (e-mail: rue-royal@inbox.ru; тел.: 8 (915) 111-41-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-8475>).

Костров Алексей Александрович – лаборант-исследователь (e-mail: Alexey.kostrov@profite.ru; тел.: 8 (962) 155-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7566-212X>).

Палевская Светлана Александровна – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник (e-mail: svetpal1972@gmail.com; тел.: 8 (903) 264-18-84; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9263-9407>).

Сибатян Сиран Мануковна – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник (e-mail: smbirsan@mail.ru; тел.: 8 (916) 280-95-91; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1961-9458>).

[4]. С одной стороны, подобные перегрузки могут привести к выгоранию и формированию различных нарушений [5, 6]. С другой стороны, многие авторы предлагают интеллектуальную работу как протективный фактор от когнитивного старения [7–9].

Таким образом, представляется важным определить влияние научной работы на психическое здоровье, оценить характер потенциальных расстройств и сформировать стратегию предотвращения когнитивных нарушений, так как поддержание когнитивного статуса ученых на высоком уровне необходимо для сохранения их интеллектуального потенциала и эффективности работы [7].

Когнитивные функции снижаются с возрастом, этот процесс известен как когнитивное старение и становится одной из самых актуальных проблем здравоохранения XXI в. [10–12]. Предыдущие исследования указывают на значительное возрастное снижение таких когнитивных функций, как: исполнительные функции, кратковременная память, последовательность мышления, скорость обработки информации и называния, беглость речи, зрительная и вербальная память [13].

Анализ литературы выявил две основные тенденции в соответствующих исследованиях [14–16]: оценка негативных факторов когнитивного старения и плохих исполнительных функций (влияние артериальной гипертензии, апOLIпопротеина Е, сахарного диабета 2-го типа, сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний), с одной стороны [17–18]; и выявление защитных факторов (уровень образования, интеллектуальная активность, физическая активность, отказ от курения, диета), с другой стороны [19–20].

Данных, характеризующих популяцию ученых России и наличие у них факторов риска снижения профессиональной эффективности, нет. Однако такие работы необходимы для разработки профилактических и реабилитационных программ, направленных на сохранение интеллектуального потенциала и продление профессиональной научной деятельности.

Цель исследования – скрининговая оценка исполнительных функций, анализ признаков преждевременного старения, поведенческих и социально-бытовых факторов риска в популяции российских ученых.

Материалы и методы. Проведено поперечное исследование одномоментного среза 213 научных сотрудников государственных научных учреждений г. Москвы в возрасте от 23 до 78 лет (средний возраст – $45,48 \pm 15,33$ г.), из них 116 женщин и 97 мужчин.

При оценке общего состояния здоровья 28,31 % лиц имели хронические заболевания, 43,3 % были практически здоровы, только 28,3 % были полностью

здоровы. При этом в структуре хронических заболеваний 50,0 % составляет артериальная гипертензия (1-е место), 15,0 % – сахарный диабет и метаболические нарушения (2-е место), и 10 % – онкология (3-е место).

В возрастной структуре научных сотрудников, прошедших скрининг:

- ♦ 8,9 % составили лица в возрастном периоде 20–30 лет ($n = 19$);
- ♦ 20,57 % – 30–40 лет ($n = 44$);
- ♦ 17,9 % – 40–50 лет ($n = 38$);
- ♦ 16,9 % – 50–59 лет ($n = 36$);
- ♦ 16,4 % – 60–69 лет ($n = 35$);
- ♦ 19,33 % – старше 70 лет ($n = 41$).

Период научной деятельности колебался от года до 50 лет (медиана – 24,8 г.). При этом в структуре работников, прошедших скрининг, наибольшими были доли лиц со стажем 20–30 лет (28,86 %) и 5–10 лет (21,03 %), далее шли научные сотрудники, имевшие стаж 30–40 лет (19,09 %) и 40–50 лет (18,5 %), относительно меньшая была доля научных сотрудников со стажем от года до 5 лет (12,52 %).

Для получения информации о качестве жизни и когнитивном статусе была составлена скрининговая тест-карта, включающая несколько валидированных анкет в бумажном варианте на русском языке.

Испытуемым было предложено заполнить опросники:

- 1) «Когнитивный скрининг» McNair и Kahn (для оценки когнитивной нагрузки, когнитивной активности);
- 2) «Возраст не помеха» (интеллектуальный анамнез во время молодого и среднего возраста, интеллектуальная активность);
- 3) «Гериатрическая шкала депрессии» (ГШД);
- 4) международный опросник «Профиль здорового образа жизни – ПРОЗОЖ» (health promoting lifestyle profile – HPLP), валидированный для России;
- 5) русская валидированная версия неспецифического опросника на качество жизни SF-36. Нормативные показатели для разных возрастов и общей популяции были взяты из “SF-36 Health Survey: Manual and Interpretation Guide” J.E. Ware (1993)¹, где приведены средние показатели качества жизни среди лиц разных возрастных групп, не имеющих хронических заболеваний, но имеющих факторы риска (I–II группы здоровья по ВОЗ).

Результаты и их обсуждение. Возраст окончания школы в группе составил от 15 до 18 лет (средний возраст – $17,13 \pm 1,04$ г.). Среди всех опрошенных 76,05 % ($n = 162$) закончили обучение в аспирантуре или проходили его. У 73,70 % ($n = 157$) была защищена кандидатская диссертация в среднем возрасте $35,53 \pm 3,44$ г. (от 29 до 46 лет).

У 44,6 % также была защищена докторская диссертация ($n = 95$) в среднем возрасте $48,5 \pm 6,85$ г. (от 38 до 57 лет).

¹ Ware J.E. SF-36 Health Survey: Manual and Interpretation Guide. – USA: Health Institute, New England Medical Center, 1993.

Звание доцента получили 69,95 % опрошенных ($n = 149$) в среднем возрасте $38,38 \pm 4,11$ г. (от 33 до 49 лет), а 41,78 % ученых ($n = 89$) также имели звание профессора, полученное в среднем возрасте $58,31 \pm 10,42$ г. (от 45 до 66 лет). В выборке не присутствовали члены-корреспонденты РАН или академики.

Параллельно с научной работой занимались преподавательской деятельностью 47,4 % ($n = 101$) человек. В среднем педагогический стаж составил $17,15 \pm 7,20$ г. (от года до 25 лет).

Среди научных сотрудников 35,21 % ($n = 75$) совмещали свою научную деятельность с клинической врачебной работой на момент опроса или в прошлом. В среднем врачебный стаж составил $16,06 \pm 5,93$ г. (от 4 лет до 31 года). Только научной деятельностью занималось 37 человек (17,3 % опрошенных).

В отношении социально-бытовых условий жизни 79,81 % ученых ($n = 170$) были собственниками жилья, 20,18 % жили на съемных квартирах ($n = 43$). В брак вступали 79,34 % ($n = 169$), средний возраст создания семьи составил $26,77 \pm 4,79$ г. (от 20 до 38 лет). Но лишь у 53,84 % из вступивших в брак ($n = 91$) он сохранился на момент проведения опроса. У 79,81 % научных сотрудников ($n = 170$) были дети, от одного до трех (в среднем $1,8 \pm 0,7$).

Когнитивные функции и признаки преждевременного старения. По результатам теста «Когнитивный скрининг» по методике McNair и Kahn у 89,67 % ($n = 191$) отсутствовали нарушения когнитивных функций. У 10,3 % научных сотрудников ($n = 22$) выявлены вероятные когнитивные нарушения (балл более 42). В среднем результат теста составил $27,23 \pm 11,26$ балла (от 9 до 49 баллов) (табл. 1).

По результатам скрининга преждевременного старения с помощью опросника «Возраст не помеха» у 74,17 % опрошенных ($n = 158$) не выявлено признаков старческой астении. Но 25,8 % имели отклонения в тесте. У 22,5 % ($n = 48$) определялась преастения, у 3,28 % ($n = 7$) результаты соответствовали признакам старческой астении. Средний балл по тесту «Возраст не помеха» составил $2,06 \pm 0,71$ балла (от 0 до 5 баллов) (табл. 1).

По результатам опросника «Гериатрическая шкала депрессии», только у 22,5 % научных сотрудников не было депрессивного состояния ($n = 48$). У 74,6 % выявлено субдепрессивное расстройство ($n = 159$), у 2,34 % ($n = 5$) результаты соответствовали депрессии. Средний балл по ГШД составил $7,38 \pm 3,19$ балла (от 4 до 11 баллов) (табл. 1). При сравнении внутри общей выборки показателей групп разного вида деятельности выявлено, что у ученых, совмещающих научную работу с врачебной практикой, достоверно более ярко выражены когнитивные нарушения и проявления астении, в сравнении с группой ученых, занимающихся преподавательской деятельностью ($p = 0,01$ и $p = 0,02$ соответственно), что может быть обусловлено более высоким уровнем стресса и нагрузки.

Качество жизни научных сотрудников. При анализе параметров качества жизни по результатам анкетирования с помощью опросника SF-36 среди научных сотрудников были выявлены средние показатели по большинству шкал (табл. 2). Средние значения в исследуемой группе: PF = $65,03 \pm 15,50$ %, RP = $52,65 \pm 21,0$ %, BP = $86,55 \pm 17,40$ %, GH = $51,76 \pm 22,4$ %, VT = $59,77 \pm 19,1$ %, SF = $84,06 \pm 22,2$ %, RE = $61,21 \pm 19,9$ %, MH = $63,62 \pm 22,0$ %, Физическое благополучие = $44,39 \pm 18,55$ %, Психическое благополучие = $46,59 \pm 20,09$ %.

Таблица 1

Результаты скрининговых тестов в общей группе и в группах по виду деятельности

Шкалы	Все, $n = 213$	Ученые, $n = 37$	Ученые-врачи, $n = 75$	Преподаватели, $n = 101$
Когнитивный скрининг, балл	$27,23 \pm 11,26$	$29,14 \pm 12,77$	$33,62 \pm 15,31^*$	$22,21 \pm 10,05$
«Возраст не помеха», балл	$2,06 \pm 0,71$	$1,90 \pm 0,55$	$2,86 \pm 1,23^*$	$1,65 \pm 0,72$
Гериатрическая шкала депрессии, балл	$7,38 \pm 3,19$	$6,73 \pm 3,12$	$7,95 \pm 2,97$	$7,41 \pm 3,33$

Примечание: * – достоверная разница ($p < 0,05$) между группой врачей и преподавателей.

Таблица 2

Сравнение показателей качества жизни по данным анкеты SF-36 в общей группе и в группах по виду деятельности

Домен	Все, $n = 213$	Ученые, $n = 37$	Ученые-врачи, $n = 75$	Преподаватели, $n = 101$
PF	$65,03 \pm 15,50$	$91,07 \pm 39,2$	$44,66 \pm 17,06^*$	$62,60 \pm 20,21$
RP	$52,65 \pm 21,0$	$54,16 \pm 26,71$	$50,55 \pm 20,52$	$53,08 \pm 20,0$
BP	$86,55 \pm 17,40$	$96,04 \pm 32,15$	$83,01 \pm 33,78$	$83,23 \pm 38,96$
GH	$51,76 \pm 22,4$	$49,4 \pm 19,39$	$45,13 \pm 17,45$	$57,09 \pm 23,11$
VT	$59,77 \pm 19,1$	$56,34 \pm 21,44$	$63,72 \pm 20,6$	$59,38 \pm 28,4$
SF	$84,06 \pm 22,2$	$82,44 \pm 37,03$	$86,38 \pm 31,70$	$83,56 \pm 39 \pm 67$
RE	$61,21 \pm 19,9$	$65,08 \pm 28,42$	$52,27 \pm 19,34^*$	$64,38 \pm 27,06$
MH	$63,62 \pm 22,0$	$64,97 \pm 25,81$	$68,09 \pm 26,3$	$60,16 \pm 23,32$
Физическое благополучие	$44,39 \pm 18,55$	$48,39 \pm 20,75$	$39,75 \pm 12,04^*$	$44,95 \pm 10,44$
Психическое благополучие	$46,59 \pm 20,09$	$43,60 \pm 19,43$	$49,27 \pm 18,66$	$46,65 \pm 12,99$

Примечание: * – различия достоверны между группой врачей и ученых ($p < 0,05$).

RE = $61,21 \pm 19,9 \%$, МН = $63,62 \pm 22,0 \%$. Общее психическое благополучие составило $44,39 \pm 21,27 \%$, общее физическое благополучие – $46,59 \pm 22,90 \%$.

При разделении выборки на группы по виду профессиональной деятельности выявлены достоверные различия в показателях физического благополучия. Оно было значимо хуже в группе врачей по сравнению с соответствующими данными лиц, занимающихся только научной деятельностью ($p < 0,0001$), в частности по шкалам «физического функционирования» ($p < 0,0001$) и «ролевого функционирования», обусловленного эмоциональным состоянием ($p = 0,03$) (табл. 2).

Среди ученых, как и в общей популяции, отмечалось некоторое снижение качества жизни с возрастом. В сравнении с группой 20–29 лет, лица в возрасте 50–59 лет демонстрировали более низкие показатели по шкалам физического функционирования ($81,8 \pm 22,8$ против $95,2 \pm 10,2 \%$, $p = 0,04$), телесной боли ($79,3 \pm 30,9$ против $94,8 \pm 9,9 \%$, $p = 0,03$) и ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием ($75,0 \pm 43,3$ против $93,4 \pm 14,0 \%$, $p = 0,006$). При этом показатели жизненной активности и социального функционирования имели тенденцию к улучшению с возрастом – самые низкие цифры наблюдались в группе 20–29 лет ($65,5 \pm 22,8$ и $78,2 \pm 22,3 \%$ соответственно), которые повышались в группе 30–39 лет ($75,5 \pm 11,0$ и $91,6 \pm 10,8 \%$ соответственно) и далее с возрастом значимо не снижались.

Наилучшие показатели психического здоровья наблюдались в группах 30–39 лет и старше 50–59 лет. В группе лиц старше 60 лет отмечались более низкие показатели физического функционирования, чем в группе 20–29 лет ($82,2 \pm 17,5 \%$, $p = 0,02$), но более высокие показатели ролевого функционирования, обусловленного эмоциональным состоянием ($81,4 \pm 37,6$ против $63,1 \pm 44,3 \%$). В целом качество жизни научных сотрудников старше 60 лет оказалось выше, чем в группе от 50 до 59 лет.

При анализе гендерных особенностей качества жизни нами было выявлено различие в физическом функционировании – у мужчин отмечался более высокий показатель ($94,8 \pm 10,3 \%$) в сравнении с женщинами ($85,0 \pm 18,3 \%$, $p = 0,006$). В среднем, по данным J.E. Ware², у мужчин отмечалось более высокое качество жизни в сравнении с женщинами, в частности, по показателям жизненной активности и ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием.

В группе ученых данная тенденция не была однозначной, например, по нашим данным, у женщин наблюдались более высокие социальные функционирование и ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием ($p > 0,05$). При сопоставлении показателей качества жизни в группе ученых

с данными общей популяции отмечено, что у научных сотрудников наблюдаются достоверно лучшие показатели по шкалам «телесной боли» ($89,9 \pm 17,4$ против $75,1 \pm 23,69 \%$, $p = 0,008$) и «жизненной силы» ($68,8 \pm 19,1$ против $60,8 \pm 20,9 \%$, $p = 0,04$), более низкие показатели «ролевого функционирования, обусловленного эмоциональным состоянием» ($60,2 \pm 1,9$ против $81,26 \pm 33,04 \%$, $p = 0,001$) (табл. 2).

При детальном изучении доменов качества жизни с учетом возрастной группы у научных сотрудников выявлен ряд особенностей в сравнении с общей популяцией: в группе 30–39 лет отмечены лучшие параметры «телесной боли»; в группе 50–59 лет – худшие показатели ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием; в группах от 20 до 59 лет наблюдались значимо более низкие показатели ролевого функционирования, обусловленного эмоциональным состоянием. При этом у лиц старше 60 лет этот параметр возрастал и сравнивался с общей популяцией.

Группа ученых старше 60 лет в целом отличалась лучшим качеством жизни, по сравнению с аналогичными данными в общей популяции, в частности, по шкалам: физическое функционирование, ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием, телесная боль, жизненная активность.

Связь когнитивных функций и качества жизни. Общий балл по шкале «когнитивного скрининга» положительно коррелировал со шкалами качества жизни: «Общее здоровье» ($r = 0,48$; $p = 0,0032$), «Жизненная сила» ($r = 0,43$; $p = 0,002$), «Социальное функционирование» ($r = 0,61$; $p = 0,0001$), «Психическое здоровье» ($r = 0,59$; $p = 0,0003$). Корреляции с возрастом не выявлено ($p > 0,05$).

Оценка по шкале «Возраст не помеха» положительно коррелировала с такими частями анкеты SF-36, как «Физическое функционирование» ($r = 0,45$; $p = 0,004$) и «Жизнеспособность» ($r = 0,38$; $p = 0,013$).

Общий балл по шкале ГШД положительно коррелировал с доменами «Психическое здоровье» ($r = 0,66$; $p = 0,0002$) и «Жизненная сила» ($r = 0,57$, $p = 0,0037$) опросника SF-36.

Только пятая часть респондентов ($19,71 \%$; $n = 42$) не имела ни когнитивных нарушений, ни астенического синдрома, ни депрессии. Эта группа также была связана с лучшим качеством жизни по сравнению с остальными лицами, у которых имелись отклонения в скрининговых тестах (для физического здоровья $p = 0,003$, для психического здоровья $p = 0,001$).

У четвертой части ученых обнаружено снижение когнитивных функций, причем у пяти участников молодого возраста – до 35 лет. Данный феномен можно объяснить наличием субдепрессии и депрессии.

Субдепрессивное состояние было самым распространенным отклонением в тестах ($74,6 \%$ респонден-

² Ware J.E. Указ. соч.

тов) и одинаково часто встречалось во всех возрастных группах. Синдром преастении и астении констатирован у четверти участников (25,8 %), что говорит о высокой частоте этого состояния в группе ученых ввиду высокой психоэмоциональной нагрузки.

Все ученые со старческой астенией страдали депрессией или субдепрессией. Снижение когнитивных функций не было связано с преастенией ($p > 0,05$).

Образ жизни научных сотрудников. В ходе изучения образа жизни российских научных сотрудников с помощью опросника «ПРОЗОЖ» в среднем можно говорить об удовлетворительной приверженности к ЗОЖ опрошенных лиц: средний балл в общей группе составил $132,75 \pm 56,31$. У большей доли научных сотрудников (73,7 %, $n = 157$) результат исследования попадал в диапазон «хорошее соблюдение принципов ЗОЖ». При этом результат «отлично» (более 169 баллов) зафиксирован только у 0,93 % ($n = 2$). 2,34 % ($n = 5$) ученых имели балл ниже 90, что говорит о плохом соблюдении принципов ЗОЖ, у 23,00 % ($n = 49$) опрошенных зафиксирован результат «умеренно» (табл. 3).

При анализе отдельных шкал опросника «ПРОЗОЖ» наибольшие проблемы выявлены с физической активностью (среднее значение – $12,28 \pm 5,70$ балла, что соответствует оценке «плохо») и управлением стрессом (среднее значение – $19,26 \pm 7,54$ балла, что соответствует оценке «умеренно»). Наилучшие значения зафиксированы по шкалам «Межличностные отношения» и «Питание» (среднее значение – $28,47 \pm 13,07$ и $25,70 \pm 11,8$ балла соответственно, что соответствует оценке «хорошо»). Возможны погрешности данных ввиду самозаполнения анкеты.

Не было выявлено статистически значимых различий при разделении выборки по сфере деятельности ($p > 0,05$).

При детальном изучении ответов анкеты «ПРОЗОЖ» в общей группе обращают на себя внимание низкие баллы по вопросам, касающимся физической активности: 73,7 % лиц не выполняли определенной программы упражнений регулярно, у 71,8 % не было серьезной физической нагрузки 3 раза в неделю, 80,6 % не занимались физической активностью в свободное время, 63,7 % не выполняли силовые упражнения; 63,12 % опрошенных отметили, что занимаются спортом недостаточно интенсивно, 61,2 % скорее не получали физической на-

грузки в повседневных условиях. Даже при занятии спортом подавляющее большинство отметили, что не измеряют пульс (66,8 %) и не тренируются до целевых значений пульса (86,25 %).

В отношении питания 72,3 % научных сотрудников скорее предпочитали диету с низким содержанием холестерина, 81,2 % скорее съедали 2–4 порции фруктов ежедневно, все 100 % опрошенных лиц съедали 3–5 порций овощей ежедневно, 93,1 % употребляли 6–10 порций сложных углеводов в день, 58,0 % съедали 2–3 порции молочных продуктов ежедневно, 100 % старались не употреблять более 2–3 порций белковой пищи, 88,7 % лиц, как правило, завтракали. Тем не менее 88,9 % скорее не читали этикетки на продуктах с целью изучения их состава, а 39,3 % скорее не ограничивали содержание сахара и сахаросодержащих продуктов в пище.

Невысокие навыки управления стрессом проявлялись у научных сотрудников в следующем: 57,5 % не каждый день находили время, чтобы расслабиться; 82,5 % лиц скорее не использовали никаких специальных техник, чтобы контролировать стресс; 93,6 % отметили, что не прибегают к медитации или расслаблению хотя бы 20 мин в день; 83,6 % опрошенных не были склонны замедляться, чтобы не слишком уставать в своей работе. При этом 86,8 % спали скорее достаточно, 75,5 % старались находить баланс между работой и отдыхом.

Достаточно высокая ответственность за свое здоровье проявлялась у научных сотрудников готовностью контактировать с врачами в отношении необычных проявлений и неприятных симптомов (71,8 %), интересом к профилактике (79,2 %) и альтернативным мнениям в отношении диагноза (84,4 %). При этом 81,25 % опрошенных отрицательно ответили на вопрос «Обследуете ли вы свое тело не реже одного раза в месяц?», не многие интересовались программами здоровья (11,25 %) и посещали их (3,75 %).

В вопросе межличностных отношений научные сотрудники в целом были готовы обсуждать свои проблемы с близкими (84,0 %), находили возможность для близких отношений (84,9 %) и старались сохранять серьезные отношения с окружающими (95,4 %). Среди опрошенных 76,2 % старались решить конфликты с помощью дискуссии.

Таблица 3

Результаты опросника «ПРОЗОЖ» в общей группе и в группах по виду деятельности

Шкалы	Все, $n = 213$	Ученые, $n = 37$	Ученые-врачи, $n = 75$	Преподаватели, $n = 101$
Ответственность за здоровье	$21,6 \pm 9,44$	$22,97 \pm 8,3$	$22,33 \pm 10,21$	$20,35 \pm 9,37$
Физическая активность	$12,28 \pm 5,70$	$12,11 \pm 3,55$	$10,84 \pm 3,81$	$13,27 \pm 3,95$
Питание	$25,70 \pm 11,8$	$25,52 \pm 11,6$	$26,64 \pm 11,52$	$25,21 \pm 10,55$
Внутренний рост	$22,31 \pm 10,7$	$23,73 \pm 11,19$	$22,66 \pm 8,59$	$21,28 \pm 8,42$
Межличностные отношения	$28,47 \pm 13,07$	$29,30 \pm 13,27$	$27,24 \pm 10,76$	$28,75 \pm 12,1$
Управление стрессом	$19,26 \pm 7,54$	$19,54 \pm 9,23$	$19,02 \pm 7,22$	$19,26 \pm 6,28$
Общая шкала	$132,75 \pm 56,31$	$136,26 \pm 58,81$	$131,73 \pm 50,44$	$131,36 \pm 52 \pm 71$

Таблица 4

Сводные данные в исследуемых группах, %

Фактор риска	Все, <i>n</i> = 213	Ученые, <i>n</i> = 37	Ученые-врачи, <i>n</i> = 75	Преподаватели, <i>n</i> = 101
Наличие когнитивных нарушений	9,85	10,8	10,6	8,9
Наличие преастении	22,5	21,62	26,6 *	19,8
Наличие синдрома астении	3,28	2,7	4,0 **	2,9
Субдепрессивное состояние	74,6	62,16	81,3 **	74,25
Старческая депрессия	2,34	2,7	2,6	1,9
Здоровый образ жизни соблюдается плохо	2,34	2,7	4,0 *	0,9
Здоровый образ жизни соблюдается умеренно	23,0	24,3	24	21,7
Низкая ответственность за здоровье	4,6	0 *	0 *	9,9
Низкая физическая активность	79,37	85,0	95,6* **	67,56 *
Плохое питание	2,8	2,7	1,3*	3,9
Слабый внутренний рост	1,4	2,7	1,3	0,9 **
Плохой навык межличностных отношений	0,93	5,4	0**	0**
Плохое управление стрессом	2,34	0	5,3* **	0

Примечание: * – различия достоверны между группой преподавателей; ** – различия достоверны между группой ученых, $p < 0,05$.

При средних показателях внутреннего роста большинство научных сотрудников были согласны, что положительно развиваются (53,1 %), 96,1 % смотрели в будущее, 70,6 % работали на долгосрочные цели, 69,3 % чувствовали себя умиротворенными, 96,8 % были открыты для новых задач.

Наличие факторов риска снижения профессиональной эффективности у научных сотрудников. Суммируя полученные данные, можно говорить, что у лиц, занимающих должности научных сотрудников, отмечается достаточно высокая распространенность факторов риска снижения профессиональной эффективности. У 9,85 % были выявлены вероятные когнитивные нарушения, причем не ассоциированные с возрастом ученого, у 3,28 % наблюдались признаки старческой астении, у 2,34 % – старческой депрессии. Две трети жили в субдепрессивном состоянии (74,6 %). Четверть научных сотрудников недостаточно хорошо соблюдала принципы здорового образа жизни (25,34 %). Основной проблемой была низкая физическая активность, выявленная у 79,3 % опрошенных лиц (табл. 4).

При разделении группы ученых по специфике профессиональной деятельности выявлены особенности в распределении факторов риска снижения профессиональной эффективности. Так, преастения и астения значимо чаще встречались в группе врачей, занимающихся научной работой ($p < 0,01$).

Субдепрессивное состояние реже всего наблюдалось у лиц, занимающихся только научной деятельностью, а чаще всего – у ученых-врачей (разница между группами достоверна при $p < 0,05$).

Врачи также хуже других соблюдали здоровый образ жизни, особенно в сравнении с преподавателями ($p < 0,01$), сложнее управляли стрессом, в сравнении как с учеными, так и с преподавателями ($p < 0,001$). В отношении физической активности

лучшие показатели были у преподавателей, самые низкие – у врачей ($p < 0,01$) (табл. 4).

Выводы:

1. У научных сотрудников отмечается достаточно высокая распространенность факторов риска снижения профессиональной эффективности. У 9,85 % выявлены вероятные когнитивные нарушения, причем не ассоциированные с возрастом ученого, у 3,28 % наблюдались признаки старческой астении, у 2,34 % – старческой депрессии. Две трети жили в субдепрессивном состоянии (74,6 %). Только пятая часть респондентов (19,71 %, $n = 42$) не имела ни когнитивных нарушений, ни астенического синдрома, ни депрессии.

2. Четверть научных сотрудников недостаточно хорошо соблюдала принципы здорового образа жизни (25,34 %). Основными проблемами являлись низкая физическая активность, выявленная у 79,3 % опрошенных лиц, а также: несоблюдение принципов рационального питания, в первую очередь у ученых, имеющих преподавательскую нагрузку; низкие навыки управления стрессом у врачей, совмещающих клиническую практику с наукой; трудности в межличностных отношениях у лиц, занимающихся только научной работой.

3. Необходимо внедрение корпоративных программ профилактики и реабилитации для сотрудников научных учреждений с целью сохранения научной активности и эффективности ученых, а также продления их профессионального долголетия.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках поискового фундаментального исследования «Управление формированием эффективного профессионального долголетия научных работников» Минобрнауки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Миннибаев Т.Ш. Актуальные вопросы университетской гигиены на современном этапе // Здоровье, обучение и воспитание детей и молодежи в XXI веке: материалы международного Конгресса ПАМН. – М., 2004. – С. 272–275.
2. Ackerman P.L., Kanfer R., Goff M. Cognitive and noncognitive determinants and consequences of complex skill acquisition // Journal of Experimental Psychology. – 1995. – Vol. 1, № 4. – P. 270–304. DOI: 10.1037/1076-898X.1.4.270
3. Tucker A.M., Stern Y. Cognitive reserve in aging // Curr. Alzheimer Res. – 2011. – Vol. 8, № 4. – P. 354–360. DOI: 10.2174/156720511795745320
4. Гаджиев Г.Д., Гречаный Г.В. Влияние производственных факторов на показатели заболеваемости сотрудников научно-исследовательских институтов Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2007. – Т. 70, № 3. – С. 70–73.
5. Ратай Т.В., Тарасенко И.И. Научные кадры: тенденции снижения сохраняется: экспресс-информация ИСИЭЗ НИУ ВШЭ «Наука, технологии, инновации» [Электронный ресурс] // ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. – 2019. – URL: https://issek.hse.ru/data/2019/09/25/1540060251/NTI_N_145_25092019.pdf (дата обращения: 19.06.2021).
6. Dellenbach M., Zimprich D. Typical intellectual engagement and cognition in old age // Neuropsychol. Dev. Cogn. B Aging Neuropsychol. Cogn. – 2008. – Vol. 15, № 2. – P. 208–231. DOI: 10.1080/13825580701338094
7. Age is no barrier: predictors of academic success in older learners / A.-R. Imlach, D.D. Ward, K.E. Stuart, M.J. Summers, M.J. Valenzuela, A.E. King, N.L. Saunders, J. Summers [et al.] // NPJ Sci. Learn. – 2017. – Vol. 2. – P. 13. DOI: 10.1038/s41539-017-0014-5
8. Do Professors Better Maintain Cognitive Functioning in Older Age? / D. Aschwanden, V. Schumacher, K. Zimmermann, C. Werner, M. Allemand, D. Zimprich, M. Martin // GeroPsych. – 2019. – Vol. 32, № 1. – P. 5–17. DOI: 10.1024/1662-9647/a000201
9. Salthouse T.A. Mental Exercise and Mental Aging: Evaluating the Validity of the "Use It or Lose It" Hypothesis // Perspect. Psychol. Sci. – 2006. – Vol. 1, № 1. – P. 68–87. DOI: 10.1111/j.1745-6916.2006.00005.x
10. Age differences in perseveration: cognitive and neuroanatomical mediators of performance on the Wisconsin Card Sorting Test / D. Head, K.M. Kennedy, K.M. Rodrigue, N. Raz // Neuropsychologia. – 2009. – Vol. 47, № 4. – P. 1200–1203. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.003
11. Timing of onset of cognitive decline: results from Whitehall II prospective cohort study / A. Singh-Manoux, M. Kivimaki, M.M. Glymour, A. Elbaz, C. Berr, K.P. Ebmeier, J.E. Ferrie, A. Dugravot // BMJ. – 2012. – Vol. 344. – P. d7622. DOI: 10.1136/bmj.d7622
12. Eckert M.A. Slowing down: age-related neurobiological predictors of processing speed // Front. Neurosci. – 2011. – Vol. 5. – P. 25. DOI: 10.3389/fnins.2011.00025
13. Шлепцова М.В., Фролова Е.В. Распространенность основных гериатрических синдромов в практике врача-гериатра амбулаторного этапа и возможности их коррекции // Российский семейный врач. – 2018. – Т. 22, № 2. – С. 30–36. DOI: 10.17816/RFD2018230-36
14. Does ageing inevitably lead to declines in cognitive performance? A longitudinal study of elite academics / H. Christensen, A.S. Henderson, K. Griffiths, C. Levings // Personality and Individual Differences. – 1997. – Vol. 23, № 1. – P. 67–78. DOI: 10.1016/S0191-8869(97)00022-6
15. The structure of mental health: higher-order confirmatory factor analyses of psychological distress and well-being measures / R. Massé, C. Poulin, C. Dassa, J. Lambert, S. Bélair, A. Battaglini // Social Indicators Research. – 1998. – Vol. 45, № 1. – P. 475–504. DOI: 10.1023/A: 1006992032387
16. Vilas Boas A.A., Morin E.M. Quality of working life in public higher education institutions: The perception of Brazilian and Canadian professors [Электронный ресурс] // International Journal of Business and Social Science. – 2013. – Vol. 4, № 12. – P. 67–77. – URL: <http://www.ijbssnet.com/journal/index/2127> (дата обращения: 11.08.2021).
17. Кузнецова А.Р. Особенности подготовки научных кадров для системы образования в Российской Федерации // Современное образование: технологии, методика, наука: материалы всероссийской научно-методической конференции в честь 65-летия кафедры математики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет». – 2018. – С. 45–48.
18. De Paula A.V., Vilas Boas A.A. Well-being and quality of working life of university professors in Brazil // Quality of Life and Quality of Working Life / ed. by A.A. Vilas Boas. – Chapter 10. – IntechOpen: World's first Open Access book publisher, 2017. – 312 p. DOI: 10.5772/intechopen.70237
19. A comparative study of health-related quality of life among academician – A case study / N.N.N.A. Maarof, N.R. Shamsuddin, N.M. Razali, A.A. Hadi, A. Ismail [Электронный ресурс] // 2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering (ICSSBE). – URL: https://www.researchgate.net/profile/Norin-Shamsuddin/publication/261389874_A_comparative_study_of_health_related_quality_of_life_among_academician_-_A_case_study/links/5db640f092851c577ecec9ee/A-comparative-study-of-health-related-quality-of-life-among-academician-A-case-study.pdf (дата обращения: 07.10.2021).
20. Исаев А.А., Никифоров Г.С., Родионова Е.А. Психология профессионального здоровья: обзор концепций // Ученые записки Санкт-Петербургского государственного института психологии и социальной работы. – 2019. – Т. 32, № 2. – С. 114–122.

Оценка образа жизни научных сотрудников и факторов риска, влияющих на их профессиональную эффективность / М.Д. Васильев, Е.В. Макарова, А.А. Костров, С.А. Палевская, С.М. Сибатян // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 98–106. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.09



Research article

ASSESSMENT OF SCIENTISTS' LIFESTYLE AND RISK FACTORS AFFECTING THEIR PROFESSIONAL EFFICIENCY**M.D. Vasiliev¹, E.V. Makarova¹, A.A. Kostrov¹, S.A. Palevskaya^{1,2}, S.M. Smbatyan^{1,3}**¹N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, bldg. 1, 12 Vorontsovo Pole Str., Moscow, 105064, Russian Federation²Samara State Medical University, 18 Gagarina Str., Samara, 443079, Russian Federation³M.F. Vladimirsky Moscow Regional Research and Clinical Institute (MONIKI), bldg. 1, 61/2 Shchepkina Str., Moscow, 129110, Russian Federation

People involved in scientific research should keep their cognitive status high since this is necessary for preserving their intellectual potential and maintaining their work efficiency. Given that, it seems important to determine what impacts scientific work might have on mental health, to estimate potential disorders and to develop a strategy aimed at preventing cognitive impairments. Our research goals were to perform screening assessment of executive functions, to examine signs of premature ageing and to explore behavioral and social risk factors among Russian researchers.

We accomplished a cross-sectional study with 213 researchers employed by state scientific institutions in Moscow participating in it; they were 116 women and 97 men aged from 23 to 78 years (their average age was 45.48 ± 15.33 years).

As a result, we established that risk factors causing a decline in professional efficiency were rather frequent among the participants. Probable cognitive disorders were detected in 9.85 % of them and we should note that these disorders were not age-related. We detected signs of senile asthenia in 3.28 % of the participants and senile depression in 2.34 %. Two thirds of the participants had subclinical depression (74.6 %). Only one fifth of the respondents (19.71 %, $n = 42$) did not have any cognitive impairments, asthenic syndrome, or depression. A quarter of the researchers (25.34 %) were not sufficiently committed to healthy lifestyle. Low physical activity established for 79.3 % of the respondents was the major risk factor; among others, we can mention irrational nutrition, primarily among those researchers who worked with students; poor stress management skills among physicians who combined clinical practice with science; difficulties in interpersonal relationships among people who dealt solely with research.

It is necessary to implement corporate programs aimed at prevention and rehabilitations for researchers in order to preserve their scientific activity and professional efficiency as well as to extend their professional longevity

Keywords: professional longevity, researchers, doctors, teachers, intellectual work, quality of life, cognitive functions, lifestyle.

References

1. Minnibaev T.Sh. Topical issues of university hygiene at the present stage. *Health, education of children and young adults in XXI century: Health & Education Millennium World congress*, 2004.
2. Ackerman P.L., Kanfer R., Goff M. Cognitive and noncognitive determinants and consequences of complex skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology*, 1995, vol. 1, no. 4, pp. 270–304. DOI: 10.1037/1076-898X.1.4.270
3. Tucker A.M., Stern Y. Cognitive reserve in aging. *Curr. Alzheimer Res.*, 2011, vol. 8, no. 4, pp. 354–360. DOI: 10.2174/156720511795745320
4. Gadzhiev G.D., Grechany G.V. Influence of industrial factors on indices of diseases of employees of scientific research institutes of the Irkutsk Centre of Science of the Siberian branch of the Russian Academy of Science. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*, 2007, vol. 70, no. 3, pp. 70–73 (in Russian).

© Vasiliev M.D., Makarova E.V., Kostrov A.A., Palevskaya S.A., Smbatyan S.M., 2022

Mikhail D. Vasiliev – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher (e-mail: m.vasilev@mail.ru; tel.: +7 (910) 686-51-81; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1646-7345>).

Ekaterina V. Makarova – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher (e-mail: rue-royal@inbox.ru; tel.: +7 (915) 111-41-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-8475>).

Alexey A. Kostrov – research laboratory assistant (e-mail: Alexey.kostrov@profite.ru; tel.: +7 (962) 155-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7566-212X>).

Svetlana A. Palevskaya – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher (e-mail: svetpal1972@gmail.com; tel.: +7 (903) 264-18-84; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9263-9407>).

Siran M. Smbatyan – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher (e-mail: smbsiran@mail.ru; tel.: +7 (916) 280-95-91; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1961-9458>).

5. Ratai T.V., Tarasenko I.I. Nauchnye kadry: tendentsiya snizheniya sokhranyaetsya: ekspress-informatsiya ISIEZ NIU VShE «Nauka, tekhnologii, innovatsii» [Scientific personnel: the downward trend continues. Express information provided by ISSEK NRU HSE "Science, technology, innovation"]. ISIEZ NIU VShE, 2019. Available at: https://issek.hse.ru/data/2019/09/25/1540060251/NTI_N_145_25092019.pdf (19.06.2021) (in Russian).
6. Dellenbach M., Zimprich D. Typical intellectual engagement and cognition in old age. *Neuropsychol. Dev. Cogn. B Aging Neuropsychol. Cogn.*, 2008, vol. 15, no. 2, pp. 208–231. DOI: 10.1080/13825580701338094
7. Imlach A.-R., Ward D.D., Stuart K.E., Summers M.J., Valenzuela M.J., King A.E., Saunders N.L., Summers J. [et al.]. Age is no barrier: predictors of academic success in older learners. *NPJ Sci. Learn.*, 2017, vol. 2, pp. 13. DOI: 10.1038/s41539-017-0014-5
8. Aschwanden D., Schumacher V., Zimmermann K., Werner C., Allemand M., Zimprich D., Martin M. Do Professors Better Maintain Cognitive Functioning in Older Age? *GeroPsych*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 5–17. DOI: 10.1024/1662-9647/a000201
9. Salthouse T.A. Mental Exercise and Mental Aging: Evaluating the Validity of the "Use It or Lose It" Hypothesis. *Perspect. Psychol. Sci.*, 2006, vol. 1, no. 1, pp. 68–87. DOI: 10.1111/j.1745-6916.2006.00005.x
10. Head D., Kennedy K.M., Rodrigue K.M., Raz N. Age differences in perseveration: cognitive and neuroanatomical mediators of performance on the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychologia*, 2009, vol. 47, no. 4, pp. 1200–1203. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.003
11. Singh-Manoux A., Kivimaki M., Glymour M.M., Elbaz A., Berr C., Ebmeier K.P., Ferrie J.E., Dugravot A. Timing of onset of cognitive decline: results from Whitehall II prospective cohort study. *BMJ*, 2012, vol. 344, pp. d7622. DOI: 10.1136/bmj.d7622
12. Eckert M.A. Slowing down: age-related neurobiological predictors of processing speed. *Front. Neurosci.*, 2011, vol. 5, pp. 25. DOI: 10.3389/fnins.2011.00025
13. Shleptsova M.V., Frolova E.V. Prevalence of the geriatric syndromes in geriatric practice in outpatient clinic and possible ways of its correction. *Rossiiskii semeinyi vrach*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 30–36. DOI: 10.17816/RFD2018230-36 (in Russian).
14. Christensen H., Henderson A.S., Griffiths K., Levings C. Does aging inevitably lead to declines in cognitive performance? A longitudinal study of elite academics. *Personality and Individual Differences*, 1997, vol. 23, no. 1, pp. 67–78. DOI: 10.1016/S0191-8869(97)00022-6
15. Massé R., Poulin C., Dassa C., Lambert J., Bélair S., Battaglini A. The structure of mental health: higher-order confirmatory factor analyses of psychological distress and well-being measures. *Social Indicators Research*, 1998, vol. 45, no. 1, pp. 475–504. DOI: 10.1023/A: 1006992032387
16. Vilas Boas A.A., Morin E.M. Quality of working life in public higher education institutions: The perception of Brazilian and Canadian professors. *International Journal of Business and Social Science*, 2013, vol. 4, no. 12, pp. 67–77. Available at: <http://www.ijbssnet.com/journal/index/2127> (11.08.2021).
17. Kuznetsova A.R. Osobennosti podgotovki nauchnykh kadrov dlya sistemy obrazovaniya v Rossiiskoi Federatsii [Features of training scientific personnel for the education system in the Russian Federation]. *Sovremennoe obrazovanie: tekhnologii, metodika, nauka: materialy vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii v chest' 65-letiya kafedry matematiki FGBOU VO «Bashkirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet»*, 2018, pp. 45–48 (in Russian).
18. De Paula A.V., Vilas Boas A.A. Well-being and quality of working life of university professors in Brazil. Quality of Life and Quality of Working Life. In: A.A. Vilas Boas ed. Chapter 10. IntechOpen: World's first Open Access book publisher, 2017, 312 p. DOI: 10.5772 /intechopen.70237
19. Maarof N.N.N.A., Shamsuddin N.R., Razali N.M., Hadi A.A., Ismail A. A comparative study of health-related quality of life among academician – A case study. 2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering (ICSSBE). Available at: https://www.researchgate.net/profile/Norin-Shamsuddin/publication/261389874_A_comparative_study_of_health_related_quality_of_life_among_academician_-_A_case_study/links/5db640f092851c577ecec9ec/A-comparative-study-of-health-related-quality-of-life-among-academician-A-case-study.pdf (07.10.2021).
20. Isayev A., Nikiforov G., Rodionova Ye. Psychology of professional health: a review of concepts. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta psikhologii i sotsial'noi raboty*, 2019, vol. 32, no. 2, pp. 114–122 (in Russian).

Vasiliev M.D., Makarova E.V., Kostrov A.A., Palevskaya S.A., Smbatyan S.M. Assessment of scientists' lifestyle and risk factors affecting their professional efficiency. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 98–106. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.09.eng

Получена: 05.11.2021

Одобрена: 17.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД: ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ

Э.Р. Шайхлисламова^{1,2}, Л.К. Каримова¹, Н.А. Бейгул¹, Н.А. Мулдашева¹,
А.З. Фагамова¹, И.В. Шаповал¹, А.Д. Волгарева¹, Э.А. Ларионова^{1,3}

¹Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека, Россия, 450106,
г. Уфа, ул. Ст. Кувыкина, 94

²Башкирский государственный медицинский университет, Россия, 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3

³Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Высокий удельный вес работников, занятых во вредных условиях труда на предприятиях по добыче полиметаллических руд, обеспечение безопасных условий труда и сохранение их здоровья является актуальной задачей медицины труда.

Предприятия по добыче полиметаллических руд, несмотря на некоторую общность технологических процессов, имеют специфические особенности в зависимости от способов добычи руд и их минералогического состава, которые определяют различия как в условиях труда, так и в формировании профессиональных рисков развития профессиональной и профессионально обусловленной заболеваемости.

К настоящему времени достаточно хорошо изучены особенности формирования профессиональных рисков ущерба здоровью работников, занятых добычей сульфидных, медно-никелевых руд и железистых кварцитов. Недостаточно изученными остаются вопросы оценки профессиональных рисков при добыче и переработке медно-цинковых руд.

Проведены комплексные клинко-гигиенические исследования на одном из крупнейших предприятий по добыче медно-цинковых руд, расположенном на Южном Урале. На основании результатов исследований определен класс условий труда, установлены особенности формирования и структура профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний у работников различных профессиональных групп.

Проведена оценка профессионального риска с учетом гигиенических и медико-биологических показателей.

Установлено, что наибольший риск нарушения здоровья имеют проходчики, далее следуют машинисты буровой установки, крепильщики, машинисты экскаватора, машинисты погрузочно-доставочных машин, машинисты подземно-самоходных машин.

Результаты исследований послужили основанием для разработки концептуальной модели оценки и управления профессиональными рисками в отрасли. Срочность разработки и внедрения мероприятий по снижению риска должна определяться в зависимости от категории доказанности риска и его уровня в отдельных профессиональных группах.

Ключевые слова: профессиональный риск, работники, медно-цинковые руды, добыча руды, здоровье работников, гигиенические и медико-биологические аспекты.

© Шайхлисламова Э.Р., Каримова Л.К., Бейгул Н.А., Мулдашева Н.А., Фагамова А.З., Шаповал И.В., Волгарева А.Д., Ларионова Э.А., 2022

Шайхлисламова Эльмира Радиковна – кандидат медицинских наук, директор (e-mail: shajkh.ehlmira@yandex.ru; тел.: 8 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>).

Каримова Лилия Казымовна – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: iao_karimova@rambler.ru; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4995-0854>).

Бейгул Наталья Александровна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: omt_ufnii@mail.ru; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8006-384X>).

Мулдашева Надежда Алексеевна – научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: muldasheva51@gmail.com; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3518-3519>).

Фагамова Алина Зулфировна – младший научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: alinafagamova@gmail.com; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6861-6886>).

Шаповал Инна Валерьевна – научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: shapoval-inna@mail.ru; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3258-2477>).

Волгарева Альфия Динисламовна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела медицины труда (e-mail: ad-volgareva@yandex.ru; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-1247>).

Ларионова Эвелина Андрияновна – лаборант-исследователь отдела медицины труда; магистрант факультета защиты в чрезвычайных ситуациях (e-mail: larionova.evelina@mail.ru; тел.: 8 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8653-3208>).

Обеспечение безопасных условий труда, сохранение здоровья трудовых коллективов являются важнейшими задачами государственной политики, реализация которых в настоящее время осуществляется на основе управления профессиональными рисками (ПР), включающими выявление опасности, оценку ПР и осуществление мер по их снижению¹.

При оценке уровней ПР в соответствии с Приказом Минтруда России от 28 декабря 2021 г. № 926² работодатель имеет возможность выбора методов в зависимости от специфики производства, существующих на рабочих местах опасностей и / или наличия вредных производственных факторов. Для оценки риска повреждения здоровья работников, согласно вышеуказанному приказу, может использоваться метод, содержащийся в руководстве Р 2.2.1766-03³ в части персонифицированной оценки.

Данный метод предусматривает идентификацию вредных производственных факторов, оценку ПР для работников по гигиеническим и медико-биологическим показателям здоровья и определение срочности проведения мероприятий по его снижению.

Применение данной методики особенно актуально для работников, занятых во вредных условиях труда и имеющих высокий риск нарушений здоровья в виде профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний (ПЗ и ПОЗ соответственно).

К настоящему времени принципы и критерии оценки ПР опробованы на примере работников, занятых в различных отраслях экономики, в том числе с высоким риском нарушения здоровья [1, 2].

К производствам с высоким риском ущерба для здоровья работников относятся предприятия по добыче полиметаллических руд, где доля рабочих мест с условиями труда, не соответствующими гигиеническим нормативам, составляет от 30 до 65 %, и имеется высокий риск нарушения здоровья в виде развития ПЗ и ПОЗ [3, 4].

Предприятия по добыче полиметаллических руд, несмотря на некоторую общность технологических процессов, имеют специфические особенности в зависимости от способов добычи руд, их физико-химических свойств, климатогеографических характеристик месторождений, которые определяют различия как в условиях труда, так и в формировании ПР [5–9].

Добыча полиметаллических руд сопряжена с риском развития профессиональных заболеваний нервной (НС), костно-мышечной (КМС), дыхательной систем, органа слуха [10, 11].

Формирование профессиональной патологии органов дыхания (хронический пылевой бронхит, пневмокониоз) зависит от минералогического состава, размера и формы частиц рудничной пыли, уровня и продолжительности ее воздействия [12–14].

В состав рудничной пыли, кроме диоксида кремния, могут входить такие токсичные элементы, как платина, никель, хром, ванадий, марганец, ртуть, мышьяк, уран [15–17]. Некоторые из них могут обладать генотоксичным и канцерогенным действиями [18–20]. В связи с этим в ряде исследований показана необходимость определения классических биомаркеров: анализ кометы, микроядерный тест, хромосомные aberrации [21, 22].

Кроме рудничной пыли, в воздушной среде рабочей зоны могут содержаться выхлопные газы от работы двигателей внутреннего сгорания, представляющие сложную смесь оксида углерода, азота, альдегидов и диоксида серы [23].

Основными производственными факторами на предприятиях по добыче руд являются в том числе производственный шум и вибрация, источниками которых служат технологическое оборудование, перфораторы и горные машины [24–26].

Особенности формирования ПР ущерба для здоровья работников, занятых добычей различных полиметаллических руд (сульфидных, медно-никелевых, медно-цинковых, железистых кварцитов, платиновых руд), довольно полно отражены в работах отечественных и зарубежных авторов [27–30].

При оценке ПР в производствах по добыче различных полиметаллических руд авторы используют чаще всего такие показатели, как класс условий труда, ПЗ, заболеваемость, связанная с работой, смертность [2, 9, 10, 18, 26].

Актуальность данного исследования определяется недостаточной изученностью формирования нарушений здоровья работников как в целом по предприятию по добыче медно-цинковых руд, так и в отдельных профессиональных группах (персонифицированный риск).

¹ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) / принят Гос. Думой 21.12.2001 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – ст. 208, 209, 212. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 25.03.2022).

² Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: Приказ Минтруда и соцзащиты РФ от 28.12.2021 № 926 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728029758> (дата обращения: 23.03.2022).

³ Р 2.2.1766-03. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки / утв. Главным государственным санитарным врачом, Первым заместителем Министра здравоохранения РФ Г.Г. Онищенко от 24.06.2003 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901902053> (дата обращения: 23.03.2022).

Цель исследования – гигиеническая и медико-биологическая оценка показателей профессионального риска работников, занятых добычей медно-цинковых руд, и разработка системы его управления.

Материалы и методы. На территории Республики Башкортостан осуществляют деятельность шесть предприятий по добыче и обогащению медных и медно-цинковых колчеданных руд, на долю которых приходится 70 % цинка и 30 % меди, добываемых в Российской Федерации. В качестве модельного для проведения клинико-гигиенических исследований выбрано крупнейшее горнодобывающее предприятие республики, использующее типичные технологии и оборудование, применяемые при разработке аналогичных месторождений.

Оценку профессионального риска проводили в целом по предприятию, а для персонифицированного профессионального риска нарушения здоровья были выбраны работники основных профессий, занятые добычей руд открытым и подземным способами: машинист буровой установки, машинист экскаватора, проходчик, крепильщик, машинист ПДМ, машинист ПСМ. Для оценки степени причинно-следственной связи с работой в качестве группы сравнения были взяты инженерно-технические работники, условия труда которых относились к допустимому классу, а по возрастным показателям они соответствовали основной группе.

Общая оценка условий труда проведена на основании результатов собственных гигиенических исследований, а также материалов специальной оценки условий труда (СОУТ), проведенной на предприятии специализированной организацией и представленной работодателем.

Измерение фактических уровней показателей вредных производственных факторов осуществляли в соответствии с действующими нормативными методическими документами с использованием поверенных средств измерения, включенных в Государственный реестр.

Гигиенической оценке при проведении собственных исследований подлежали идентифицированные на рабочем месте работника производственные факторы рабочей среды: химический (вредные химические вещества), производственный шум, вибрация (общая, локальная), освещение (естественное, искусственное), ионизирующее и неионизирующее излучения, воздействие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) (диоксид кремния в пыли медно-сульфидных руд, силикатсодержащие пыли (цемент)), микроклимат, а также тяжесть и напряженность труда.

На основе результатов гигиенических исследований определены соответствующие классы вредности и опасности условий труда согласно положениям руководства Р 2.2.2006-05⁴.

Оценку профессионального риска по гигиеническим критериям и медико-биологическим показателям проводили в соответствии с руководством Р 2.2.1766-03³, а также руководством под редакцией Н.Ф. Измерова⁵. При этом учитывали такие показатели, как ежегодно регистрируемая ПЗ, среднегодовой показатель профессиональной заболеваемости на 10 тысяч работников и индекс профессиональных заболеваний ($I_{пз}$) за период 2011–2020 гг., а также ПОЗ (относительный риск RR с 95%-ным доверительным интервалом (ДИ) и этиологическую долю EF).

Профессиональную заболеваемость в целом на предприятии сопоставляли с показателями ПЗ в Республике Башкортостан⁶ (РБ) и Российской Федерации⁷ (РФ), полученными из официальных источников.

Для каждого из учтенных показателей определена категория профессионального риска с использованием пятибалльной шкалы категорирования (малый, умеренный, средний, высокий, очень высокий), которая оценивалась как в целом по предприятию, так и по отдельным профессиональным группам.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 21 (IBM, USA). Проверка распределений на нормальность осуществлялась с помощью критерия Колмогорова – Смирнова.

⁴ Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 29.07.2005; введ. в действ. 01.11.2005 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 23.03.2022).

⁵ Профессиональный риск для здоровья работников: руководство / под ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. – М.: Тровант, 2003. – 448 с.

⁶ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации: материалы к государственным докладом по Республике Башкортостан за 2011–2020 гг. [Электронный ресурс] // Управление Роспотребнадзора по Республике Башкортостан. – URL: http://02.rospotrebnadzor.ru/document/state_reports_on_RB/ (дата обращения: 11.03.2022).

⁷ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации: Государственные доклады за 2011–2020 гг. [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL:

Результаты и их обсуждение. Несмотря на внедрение современного оборудования большой единичной мощности и механизацию основных технологических процессов на изучаемом предприятии, занятость работников во вредных условиях труда согласно результатам СОУТ оставалась высокой и составляла более 50 %, а в подразделениях, осуществляющих добычу руд открытым и подземным способами, достигала 100 %.

Установлено, что при добыче горного сырья в подземных условиях в комплекс производственных факторов риска, воздействующих на организм работников всех профессиональных групп, как по материалам СОУТ, так и по результатам собственных гигиенических исследований, входили генерируемый технологическим оборудованием шум, выделяющаяся в воздух рабочей зоны пыль медно-цинковой руды, вредные химические вещества, неблагоприятный микроклимат, полное отсутствие естественного света, а также тяжесть и напряженность труда.

При установлении класса условий труда при профессиональном контакте с АПФД, к которым относится пыль медно-цинковой руды, проводился предварительный химический анализ породы для определения в ней массовой доли (%) кремния диоксида. Это позволило правильно выбрать соответствующий гигиенический норматив – предельно допустимую среднесменную концентрацию (ПДК_{сс}) и дальнейший порядок оценки влияния аэрозолей в зависимости от интенсивности фиброгенного действия на легочную ткань.

Так, при содержании 10–70 % кремния диоксида в породе ПДК_{сс} соответствует 2 мг/м³, и аэрозоль в этом случае будет характеризоваться более высоким фиброгенным действием. Установлено, что массовая доля кремния диоксида в исследуемой рудной пыли составила 3,2–8,4 %, что соответствует ПДК_{сс}, равной 4 мг/м³, и слабовыраженному фиброгенному действию.

Гигиенические исследования показали, что применяемый на подземных участках в последнее десятилетие метод пылеподавления водным способом обеспечивает низкое содержание пыли руды в воздухе рабочей зоны. Среднесменные концентрации кремния диоксида не превышали допустимые значения на основных рабочих местах.

В рабочих зонах крепильщиков при приготовлении раствора цемента, используемого в торкрет-машинах для набрызгивания его на стены подземных горных выработок с целью их укрепления, в воздушной среде определялись слабофиброгенные аэрозоли силикатсодержащей пыли (цемента). В процессе засыпки сухой цементной смеси и перемешивании ее с водой концентрация силикатсодержащей пыли в воздухе превышала допустимый гигиенический норматив до 2,1 раза.

Используемое в технологическом процессе мощное современное оборудование является источ-

ником виброакустических воздействий. Уровень генерируемого оборудованием шума на рабочих местах всех изученных профессий превышал предельно допустимые гигиенические значения для данной категории работ, причем это характерно как для открытого, так и подземного способов добычи горной породы. Условия труда по воздействию шума отнесены к вредному классу и варьировались от первой до третьей степени вредности.

Микроклиматические условия в забое определялись пониженной температурой воздуха (от +12 до +16 °С) и повышенной влажностью (80–90 %) в связи с пылеподавлением водным способом.

Условия труда работников в подземных выработках характеризовались отсутствием естественного освещения и являлись вредными по данному фактору. Имеющиеся в выработках установки по компенсации ультрафиолетовой недостаточности позволили уменьшить вредность со второй степени до первой (класс 3.1).

Поскольку в добываемых породах содержались в качестве примесей химические соединения, обладающие естественным радиоактивным излучением, на соответствующих подземных участках и в производственных помещениях организован дозиметрический контроль за радиационной обстановкой на рабочих местах. Уровень ионизирующего излучения не превышал установленные гигиенические нормы для данных видов работ.

При сравнении показателей классов условий труда по результатам собственных исследований и СОУТ выявили расхождения в оценке по таким факторам, как вибрация и тяжесть труда, что не оказало влияния на общую оценку (табл. 1).

Класс условий труда по каждому из имеющихся на данном рабочем месте производственному фактору варьировался от допустимого до вредного класса 1–4-й степени.

Полученные данные, как по материалам СОУТ, так и по результатам собственных гигиенических исследований, свидетельствовали, что общая оценка условий труда для работников основных профессий, занятых добычей рудной породы в подземных условиях, соответствовала третьему вредному классу 2–4-й степени вредности (3.2–3.4) и средней – очень высокой – категории профессионального риска (табл. 2).

При добыче рудной породы из открытого карьера на работников воздействовали в основном виброакустические факторы в сочетании с пылью медно-сульфидной руды, неблагоприятным микроклиматом и тяжестью трудового процесса. В этом случае труд работающих был отнесен к вредному классу 3.2–3.3 и высокой категории профессионального риска (см. табл. 1, 2).

Известно, что прямым показателем, отражающим влияние условий труда на состояние здоровья работников, является уровень ПЗ [10, 11]. В связи с указанным нами проанализирована ПЗ в целом по

предприятию и в отдельных профессиональных группах работников, занятых добычей руд открытым и подземным способами.

За период наблюдения 2011–2021 гг. на предприятии показатель ежегодно регистрируемой ПЗ на 10 тысяч работающих колебался от 5,60 до 29,31,

что соответствовало среднему–высокому уровням ПР, превышая показатели ПЗ по РБ в 10,0–19,0 раз, а по РФ – в 4,5–15,3 раза. Среднегодовая ПЗ за 10 лет в целом по предприятию составляла 1,7 на 10 тысяч работников, что соответствовало низкой категории риска.

Т а б л и ц а 1

Ведущие производственные факторы и классы условий труда работников основных профессий предприятия по добыче медно-сульфидных руд

Профессия	Вибрация	Шум	Микроклимат	АПФД	Освещение	Вредные химические вещества	Тяжесть труда	Напряженность труда	Общая оценка
<i>Добыча в условиях открытого карьера</i>									
Машинист буровой установки	2 / 2*	3.3 / 3.3	3.1 / 2	2 / 2	2 / 2	2 / 2	3.1 / 3.1	3.1 / 3.1	3.3 / 3.3
Машинист экскаватора	2 / 3.1	3.1 / 3.1	2 / 2	2 / 2	2	2 / 2	3.1 / 3.1	3.1 / 3.1	3.2 / 3.2
<i>Добыча в подземных условиях</i>									
Проходчик	2 / 3.1	3.4 / 3.4	3.1 / 3.1	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	3.4 / 3.4
Машинист буровой установки	2 / 2	3.3 / 3.3	3.1 / 3.1	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	2 / 3.1	2 / 2	3.3 / 3.3
Крепильщик	2 / 2	3.1 / 3.1	3.1 / 3.1	3.1 / 3.1	3.1 / 3.1	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	3.2 / 3.2
Машинист ПДМ	2 / 2	3.2 / 3.2	2 / 2	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	2 / 2	3.1 / 3.1	3.2 / 3.2
Машинист ПСМ	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	2 / 2	3.1 / 3.1	2 / 2	2 / 2	3.1 / 3.1	3.2 / 3.2

П р и м е ч а н и е : * – класс условий труда по результатам СОУТ / класс условий труда по результатам собственных исследований.

Т а б л и ц а 2

Персонифицированный профессиональный риск основных профессий предприятия по добыче медно-сульфидных руд

Показатели	Открытый способ добычи		Подземный способ добычи				
	Машинист буровой установки	Машинист экскаватора	Проходчик	Машинист буровой установки	Крепильщик	Машинист ПДМ	Машинист ПСМ
1. Класс условий труда ^{*, **}	3.3	3.2	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2
Категория риска	Высокий	Средний	Очень высокий	Высокий	Средний	Средний	Средний
2. Среднегодовая профзаболеваемость за 10 лет, ‰	98,1	134,5	333,0	108,1	47,1	22,2	14,9
Категория риска	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Выше среднего	Выше среднего	Средний
3. Индекс профзаболеваний $I_{ПЗ}^{*, **}$	0,38	0,22	0,50	0,49	0,49	0,32	0,30
Категория риска	Высокий	Средний	Очень высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
4. Профессионально обусловленная заболеваемость $RR_{EF}, \%$	3,1 66,1	3,0 65,2	4,3 77,8	3,1 66,1	2,7 65,0	1,8 45,3	1,9 47,5
Степень обусловленности	Высокая	Высокая	Очень высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Результирующее количество показателей с категориями	4 – «Высокий»	2 – «Высокий», 2 – «Средний»	3 – «Очень высокий», 1 – «Высокий»	4 – «Высокий»	2 – «Высокий», 1 – «Выше среднего», 1 – «Средний»	1 – «Высокий», 1 – «Выше среднего», 2 – «Средний»	1 – «Высокий», 3 – «Средний»

П р и м е ч а н и е : * – проведено согласно Р 2.2.1766-03³; ** – проведено согласно руководству под редакцией Н.Ф. Измерова⁵.

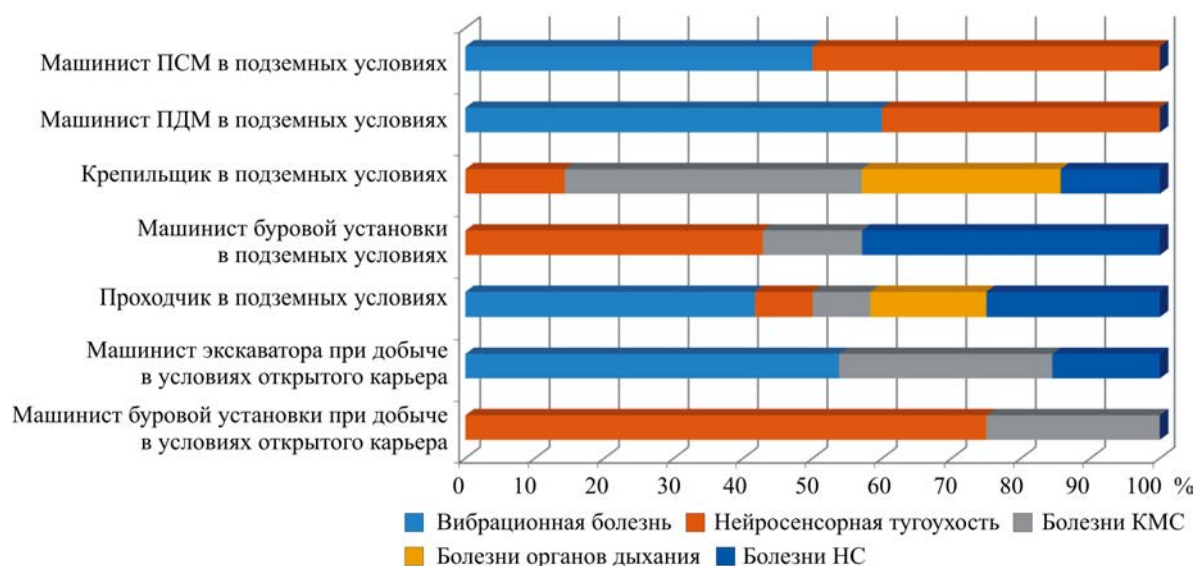


Рис. 1. Структура профессиональных заболеваний работников основных профессий предприятия по добыче медно-сульфидных руд

Анализ данных позволил констатировать, что самые высокие уровни ПЗ отмечались у работников, занятых добычей руды, на долю которых приходилось 85,7 % от всех зарегистрированных случаев профессиональных заболеваний на предприятии. Среднегодовой показатель ПЗ за 10 лет у работников основных профессий, занятых добычей руд, колебался от 14,9 до 333,0 случая на 10 тысяч (табл. 2). Следует отметить, что указанные показатели отличались от данных по предприятию в целом в 8,8–195,9 раза.

Расчет данного показателя для конкретной профессиональной группы с учетом фактической численности работников показал, что наиболее высокие показатели ПЗ отмечались у проходчиков – 333,0, машинистов экскаватора – 134,5, машинистов буровой установки – 108,1 случая на 10 тысяч работающих. Полученные данные свидетельствуют о большей информативности данного показателя для отдельных профессий, по сравнению с этим же показателем в целом по предприятию.

За период наблюдения всего на изучаемом предприятии был зарегистрирован 61 случай профзаболеваний. В структуре накопленной ПЗ преобладали заболевания КМС (26,9 %), нейросенсорная тугоухость (25,0 %), вибрационная болезнь (23,3 %), далее следовали заболевания периферической НС (17,3 %) и заболевания органов дыхания (7,5 %).

Анализ распределения случаев профзаболеваний в конкретных профессиональных группах представлен на рис. 1.

Индекс $I_{ПЗ}$, учитывающий вероятностную меру профессионального риска и степень тяжести ПЗ, составлял для нейросенсорной тугоухости 0,33, полинейропатии – 0,33, вибрационной болезни – 0,25, хронического бронхита – 0,13.

Структура хронических неинфекционных заболеваний, выявленных у работников при проведе-

нии периодических медицинских осмотров (ПМО), определялась следующими основными группами: болезни КМС (33 %), НС (17,6 %), болезни органов кровообращения (13,3 %), органов дыхания (12,5 %) и ЛОР-органов (11,3 %).

Определяющая роль факторов рабочей среды и трудового процесса подтверждена у работников в различных профессиональных группах только в отношении болезней КМС (дорсо- и артропатии), системы кровообращения (артериальная гипертензия) и болезней органов дыхания (хронический бронхит), степень профессиональной обусловленности которых по относительному риску составляла от 1,6 до 4,3 и этиологической доле факторов – от 42,3 до 77,8, что соответствовало средней – очень высокой степеням обусловленности (табл. 3).

Частота остальных хронических неинфекционных заболеваний у работников, занятых добычей руды, не отличалась достоверно от аналогичных данных группы сравнения.

Самые высокие категории профессионального риска по всем анализируемым показателям имели проходчики (три показателя с категорией «очень высокий», один – с категорией «высокий»), машинисты буровой установки (четыре показателя – «высокий»), крепильщики (два – «высокий», один – «выше среднего», один – «средний»), машинисты экскаватора (два – «высокий», два – «средний»), машинисты ПДМ (один – «высокий», один – «выше среднего», два – «средний»), машинисты ПСМ (один – «высокий», три – «средний»).

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили провести оценку ПР нарушения здоровья с учетом гигиенических и медико-биологических показателей и его категорирование как в целом по предприятию, так и по основным профессиональным группам работников.

Таблица 3

Степень производственной обусловленности нарушений здоровья у работников основных профессиональных групп

Способ добычи, профессия	Заболевание	RR	Интервал значений (95 % ДИ)	EF, %	Степень обусловленности
<i>Открытая добыча</i>					
Машинист буровой установки	Дорсопатия	3,1	1,6–4,7	66,0	Высокая
	Артропатия	3,1	1,7–4,6	66,1	Высокая
	Хронический бронхит	1,9	0,9–3,0	47,3	Средняя
	Артериальная гипертензия	1,8	0,7–3,0	45,3	Средняя
Машинист экскаватора	Дорсопатия	3,0	1,5–4,6	65,2	Высокая
	Артропатия	2,5	1,1–4,0	61,0	Высокая
	Хронический бронхит	1,6	0,5–2,7	43,3	Средняя
	Артериальная гипертензия	1,6	0,5–2,7	43,3	Средняя
<i>Подземная добыча</i>					
Проходчик	Дорсопатия	4,3	3,1–5,5	77,8	Очень высокая
	Артропатия	3,3	1,8–4,8	67,3	Очень высокая
	Хронический бронхит	2,7	1,1–4,2	64,2	Высокая
	Артериальная гипертензия	1,8	0,7–3,0	45,3	Средняя
Машинист буровой установки	Дорсопатия	3,1	1,6–4,7	66,0	Высокая
	Артропатия	3,1	1,7–4,6	66,1	Высокая
	Хронический бронхит	1,9	0,9–3,0	47,3	Средняя
	Артериальная гипертензия	1,8	0,7–3,0	45,3	Средняя
Крепильщик	Дорсопатия	2,7	1,2–4,2	65,0	Высокая
	Артропатия	2,6	1,1–3,9	61,5	Высокая
	Хронический бронхит	1,8	0,7–3,0	43,0	Средняя
	Артериальная гипертензия	1,7	0,8–3,1	42,3	Средняя
Машинист ПДМ	Дорсопатия				
	Артропатия	1,8	0,7–3,0	45,0	Средняя
	Хронический бронхит				
	Артериальная гипертензия	1,8	0,7–3,0	45,3	Средняя
Машинист ПСМ	Дорсопатия				
	Артропатия	1,8	0,7–3,0	47,2	Средняя
	Хронический бронхит				
	Артериальная гипертензия	1,9	0,9–3,0	47,5	Средняя

Установлено, что условия труда работников, задействованных в процессе добычи медно-сульфидной руды, соответствовали третьему классу 2–4-й степени вредности (3.2–3.4) и средней и сверхвысокой категориям профессионального риска.

Среднегодовой показатель ПЗ за исследуемые 10 лет варьировался у работников основных профессий от 14,9 до 333,0 случая на 10 тысяч работающих, превышая аналогичный показатель в целом по предприятию в 8,8–195,9 раза, что подтверждает обоснованность определения данного показателя для отдельных профессий. Следовательно, оценка персонализированного профессионального риска по конкретным группам работников дает более достоверную информацию.

Несмотря на то что для проходчика, машиниста буровой установки (открытый, подземный способы добычи), машиниста экскаватора уровень профессионального риска по среднегодовой ПЗ за 10 лет оценивался как высокий (> 50 случаев), численные значения этого показателя в профес-

сиональных группах отличались друг от друга в 2,5–22,0 раза. По нашему мнению, названные критерии могли бы приобрести большую значимость при условии более четкой и более подробной их количественной градации в соответствующих шкалах оценки, представленных в руководстве под редакцией Н.Ф. Измерова⁵.

Считаем, что для оценки ПР необходимо использовать не только показатели о выявленных случаях профзаболеваний в текущем году, но и «накопленную» ПЗ, которая позволяет установить особенности формирования ее структуры.

Интенсивность воздействия факторов рабочей среды, а также тяжесть трудового процесса обуславливают максимальные значения этиологической доли в формировании таких болезней КМС, как дорсопатия и артропатия.

Наибольший профессиональный риск нарушения здоровья по всем учетным показателям был выявлен у проходчиков, далее следовали машинисты буровой установки, крепильщики, машинисты экскаватора, машинисты ПДМ, машинисты ПСМ.

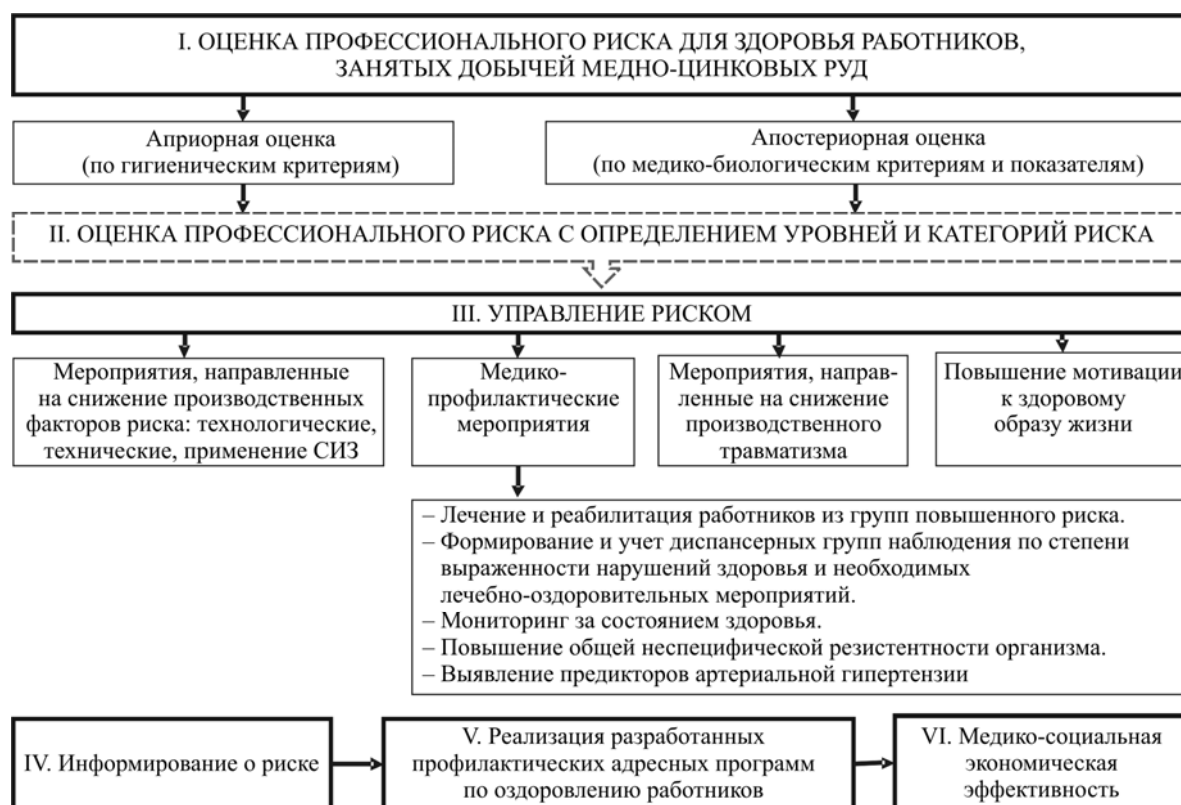


Рис. 2. Система оценки и управления профессиональным риском для здоровья работников, занятых добычей медно-сульфидных руд

Выводы. Установленные высокие уровни профессионального риска нарушения здоровья работников основных профессий, занятых добычей медно-цинковых руд, требуют проведения неотложных мер по его снижению.

В связи с этим и на основании системного подхода по анализу риска нарушения здоровья разработана система оценки и управления ПР здоровью работников, занятых добычей медно-сульфидных руд (рис. 2).

Реализация системы будет зависеть от взаимодействия работодателя, работника и медицинской организации, осуществляющей медицинское обслуживание работников горнодобывающего предприятия.

Система управления ПР предполагает проведение комплекса технических, технологических, организационных, медико-профилактических мероприятий, срочность проведения которых должна определяться установленными категориями профессиональных рисков.

Важными аспектами профилактики являются проведение ПМО с экспертизой профпригодности, формирование групп повышенного «риска» развития профессиональных заболеваний и диспансерного наблюдения.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Чеботарев А.Г., Сокур О.В. Актуальные вопросы сохранения здоровья металлургов // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 801. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-801-802
2. Чеботарев А.Г., Сокур О.В., Дурагин И.Н. Профессиональная заболеваемость и ее профилактика на предприятиях черной металлургии // Металлург. – 2021. – № 12. – С. 100–103.
3. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и профессиональная патология на предприятиях Чукотского автономного округа // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 4. – С. 98–105. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.11
4. Чеботарев А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119
5. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. – 2018. – Т. 141, № 5. – С. 33. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35
6. Актуальные вопросы улучшения условий труда и сохранения здоровья работников горнорудных предприятий / И.В. Бухтияров, А.Г. Чеботарев, Н.Н. Курьеров, О.В. Сокур // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 7. – С. 424–429. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429

7. Friedman L.S., Almberg K.S., Cohen R.A. Injuries associated with long working hours among employees in the US mining industry: risk factors and adverse outcomes // *Occup. Environ. Med.* – 2019. – Vol. 76, № 6. – P. 389–395. DOI: 10.1136/oemed-2018-105558
8. Чеботарев А.Г., Лескина Л.М., Головкова Н.П. Условия труда и профессиональный риск нарушения здоровья рабочих рудных карьеров // *Горная промышленность.* – 2020. – № 5. – С. 115–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-115-119
9. Муллер Н.В., Младова Т.А. Оценка профессионального риска проходчика участка буровзрывных работ // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.* – 2022. – Т. 11, № 1 (57). – С. 91–95. DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0018
10. Чеботарев А.Г., Сокур О.В., Дурагин И.Н. Профессиональная заболеваемость работников предприятий горно-металлургического комплекса и пути ее снижения // *Металлург.* – 2019. – № 4. – С. 13–18.
11. Сокур О.В., Чеботарев А.Г., Дурагин И.Н. Современное состояние условий труда и профессиональной заболеваемости работников предприятий получения алюминия // *Металлург.* – 2020. – № 2. – С. 8–12.
12. Чеботарев А.Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий // *Горная промышленность.* – 2018. – Т. 139, № 3. – С. 66. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70
13. Study of worker's exposure to Tantalum-bearing particles in a mining and metallurgical plant / K.M. Dias da Cunha, K.C. Dalia Pereira, J.R.D. Guimarães, C. Lima, J.E.C. Nascimento, R. Lima, A.A. Hecht, J.C.B. Fiel // *Environ. Geochem. Health.* – 2018. – Vol. 40, № 5. – P. 2037–2048. DOI: 10.1007/s10653-016-9849-6
14. Respiratory Symptoms and Diminished Lung Functions Associated with Occupational Dust Exposure Among Iron Ore Mine Workers in Iran / A. Gholami, R. Tajik, K. Atif, A.A. Zarei, S. Abbaspour, G. Teimori-Boghsani, M. Attar // *Open Respir. Med. J.* – 2020. – Vol. 14. – P. 1–7. DOI: 10.2174/1874306402014010001
15. Hazards identified and the need for health risk assessment in the South African mining industry / W. Utembe, E.M. Faustman, P. Matatiele, M. Gulumian // *Hum. Exp. Toxicol.* – 2015. – Vol. 34, № 12. – P. 1212–1221. DOI: 10.1177/0960327115600370
16. Nemery B., Banza Lubaba Nkulu C. Assessing exposure to metals using biomonitoring: Achievements and challenges experienced through surveys in low- and middle-income countries // *Toxicol. Lett.* – 2018. – Vol. 298. – P. 13–18. DOI: 10.1016/j.toxlet.2018.06.004
17. In vitro bioaccessibility, phase partitioning, and health risk of potentially toxic elements in dust of an iron mining and industrial complex / N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore, M. Cave, A. Sorooshian, M.R. Mahmoudi, M.R. Ahmadi, R. Golshani // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2021. – Vol. 212. – P. 111972. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.111972
18. Серебряков П.В., Федина И.Н., Рушкевич О.П. Особенности формирования злокачественных новообразований органов дыхания у работников предприятий по добыче и переработке медно-никелевых // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2018. – № 9. – С. 9–15. DOI: 10.31089/1026-9428-2018-9-9-15
19. Genotoxicity in Brazilian coal miners and its associated factors / F.M.R. da Silva Júnior, R.A. Tavella, C.L.F. Fernandes, M.C.F. Soares, K.A. de Almeida, E.M. Garcia, E.A. da Silva Pinto, A.L.M. Baisch // *Hum. Exp. Toxicol.* – 2018. – Vol. 37, № 9. – P. 891–900. DOI: 10.1177/0960327117745692
20. Genetic damage in coal and uranium miners / F.M.R. da Silva Júnior, R.A. Tavella, C.L.F. Fernandes, M. Dos Santos // *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* – 2021. – Vol. 866. – P. 503348. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2021.503348
21. Assessment of DNA damage in underground coal miners using the cytokinesis-block micronucleus assay in peripheral blood lymphocytes / M.Yu. Sinitzky, V.I. Minina, N.I. Gafarov, M.A. Asanov, A.V. Larionov, A.V. Ponasenko, V.P. Volobaev, V.G. Druzhinin // *Mutagenesis.* – 2016. – Vol. 31, № 6. – P. 669–675. DOI: 10.1093/mutage/gew038
22. Genetic damage in environmentally exposed populations to open-pit coal mining residues: Analysis of buccal micronucleus cytochrome (BMN-cyt) assay and alkaline, Endo III and FPG high-throughput comet assay / L. Espitia-Pérez, J. da Silva, H. Brango, P. Espitia-Pérez, K. Pastor-Sierra, S. Salcedo-Arteaga, C.T. de Souza, J.F. Dias [et al.] // *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* – 2018. – Vol. 836, Pt B. – P. 24–35. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2018.06.002
23. Чеботарев А.Г., Гибадулина И.Ю., Горячев Н.С. Загрязнение рудничной атмосферы при использовании самоходного оборудования с дизельным приводом и мероприятия по её нормализации // *Горная промышленность.* – 2019. – Т. 144, № 2. – С. 74–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-74-76
24. Фокин В.А. Оценка риска здоровью работников добывающих отраслей в условиях воздействия шума выше 80 дБА // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2020. – Т. 60, № 11. – С. 867–869. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-867-869
25. Чеботарев А.Г., Курьеров Н.Н. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий // *Горная промышленность.* – 2020. – № 1. – С. 148–153. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-148-153
26. Курьеров Н.Н., Чеботарев А.Г. Риски нарушения здоровья машинистов горных машин от шумо-вибрационного воздействия // *Горная промышленность.* – 2022. – № 1. – С. 138–143. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1-138-143
27. Nelson G., Murray J. Silicosis at autopsy in platinum mine workers // *Occup. Med. (Lond.).* – 2013. – Vol. 63, № 3. – P. 196–202. DOI: 10.1093/occmed/kqs211
28. Чеботарев А.Г., Пфаф В.Ф., Гибадулина И.Ю. Состояние условий труда, профессиональной заболеваемости и совершенствование медико-профилактического обеспечения работников горнодобывающих предприятий // *Горная промышленность.* – 2021. – № 3. – С. 139–143. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-139-143
29. 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. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-692-693
30. Neurodegenerative diseases among miners in Ontario, Canada, using a linked cohort / X. Zeng, N.L. DeBono, A.M. Harris, V.H. Arrandale, P.A. Demers // *Occup. Environ. Med.* – 2020. – Vol. 78, № 6. – P. 385–392. DOI: 10.1136/oemed-2020-106958

Профессиональный риск для здоровья работников основных профессий предприятий по добыче медно-цинковых руд: оценка и управление / Э.Р. Шайхисламова, Л.К. Каримова, Н.А. Бейгул, Н.А. Мулдашева, А.З. Фагамова, И.В. Шаповал, А.Д. Волгарева, Э.А. Ларионова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 107–118. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.10



Research article

OCCUPATIONAL HEALTH RISK FOR WORKERS FROM BASIC OCCUPATIONAL GROUPS EMPLOYED AT COPPER AND ZINC ORE MINING ENTERPRISES: ASSESSMENT AND MANAGEMENT

E.R. Shaykhlislamova^{1,2}, L.K. Karimova¹, N.A. Beigul¹, N.A. Muldasheva¹, A.Z. Fagamova¹, I.V. Shapoval¹, A.D. Volgareva¹, E.A. Larionova^{1,3}

¹Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, 94 Kuvykina Str., Ufa, 450106, Russian Federation

²Bashkir State Medical University, 3 Lenina Str., Ufa, 450008, Russian Federation

³Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa Str., Ufa, 450008, Russian Federation

A great share of workers employed at polymetallic ores mining have to face harmful working conditions at their workplaces. To provide safe working conditions for them and to preserve their health is a vital task occupational medicine has to tackle.

Polymetallic ore mining enterprises employ certain common technological processes; nevertheless, there are specific features depending on ore mining techniques and the mineralogical composition of different ores. These features determine differences both in working conditions and in occupational risks of developing occupational morbidity (OM) and work-related morbidity (WRM).

By now, there have been enough studies on peculiarities of occupational health risks for workers employed at sulfide ore mines, copper-nickel ore mines and ferruginous quartzite mines. Considerably less attention has been given to assessing occupational risks for workers dealing with mining and processing copper-zinc ores.

We performed complex clinical and hygienic examinations at a major copper-zinc ore mining enterprise located in the Southern Urals. The research results gave grounds for determining a category of working conditions, establishing formation peculiarities and the structure of occupational and work-related diseases among workers from various occupational groups.

Occupational risks were assessed considering hygienic and medical-biological indicators.

We established the highest occupational health risks for shaft sinkers, followed by drilling unit operators, timberers, excavator drivers, load haul dumper (LHD) operators and underground self-propelled machine (USPM) operators.

The research results gave grounds for developing a conceptual model of assessing and managing occupational risks in the branch. The urgency of developing and implementing activities aimed at risk mitigation should be determined depending on how validated a risk is and on its rates established for specific occupational groups.

Keywords: occupational risk, workers, copper-zinc ores, ore mining, workers' health, hygienic and biomedical aspects.

© Shaykhlislamova E.R., Karimova L.K., Beigul N.A., Muldasheva N.A., Fagamova A.Z., Shapoval I.V., Volgareva A.D., Larionova E.A., 2022

Elmira R. Shaikhislamova – Candidate of Medical Sciences, director (e-mail: shajkh.ehlmira@yandex.ru; tel.: +7 (347) 255-19-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-7703>).

Liliya K. Karimova – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: iao_karimova@rambler.ru; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4995-0854>).

Natalya A. Beigul – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: omt_ufnii@mail.ru; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8006-384X>).

Nadezhda A. Muldasheva – Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: muldasheva51@gmail.com; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3518-3519>).

Alina Z. Fagamova – Junior Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: alinafagamova@gmail.com; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6861-6886>).

Inna V. Shapoval – Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: shapoval-inna@mail.ru; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3258-2477>).

Alfiya D. Volgareva – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Department of Occupational Medicine (e-mail: ad-volgareva@yandex.ru; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-1247>).

Evelina A. Larionova – laboratory assistant at the Department of Occupational Medicine; undergraduate student of the Faculty of Civil Defense and Emergency Management (e-mail: larionova.evelina@mail.ru; tel.: +7 (347) 255-57-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8653-3208>).

References

1. Chebotarev A.G., Sokur O.V. Actual issues of preservation of metallurgists' health. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 801. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-801-802 (in Russian).
2. Chebotarev A.G., Sokur O.V., Duryagin I.N. Professional'naya zaboлеваemost' i ee profilaktika na predpriyatiyakh chernoi metallurgii [Occupational morbidity and its prevention at ferrous metallurgy enterprises]. *Metallurg*, 2021, no. 12, pp. 100–103 (in Russian).
3. Syurin S.A., Kovshov A.A. Working conditions and work-related pathologies at enterprises located in Chukotka autonomous area. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 4, pp. 99–106. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.11.eng
4. Chebotarev A.G., Sementsova D.D. Comprehensive assessment of working conditions and occupational disease rates at mining and metallurgical enterprises. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, no. 1, pp. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119 (in Russian).
5. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G. Gigienicheskie problemy uluchsheniya uslovii truda na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [Hygienic problems of improving labor conditions at mining enterprises]. *Gornaya promyshlennost'*, 2018, no. 5 (141), pp. 33. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35 (in Russian).
6. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G., Courierov N.N., Sokur O.V. Topical issues of improving working conditions and preserving the health of workers of mining enterprises. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 7, pp. 424–429. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429 (in Russian).
7. Friedman L.S., Almberg K.S., Cohen R.A. Injuries associated with long working hours among employees in the US mining industry: risk factors and adverse outcomes. *Occup. Environ. Med.*, 2019, vol. 76, no. 6, pp. 389–395. DOI: 10.1136/oemed-2018-105558
8. Chebotarev A.G., Leskina L.M., Golovkova N.P. Working conditions and occupational health risks of workers in open-pit ore mines. *Gornaya promyshlennost'*, 2020, no. 5, pp. 115–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-115-119 (in Russian).
9. Muller N.V., Mladova T.A. Assessment of the professional risk of the sinker of the drilling and blasting site. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*, 2022, vol. 11, no. 1 (57), pp. 91–95. DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0018 (in Russian).
10. Chebotarev A.G., Sokur O.V., Duryagin I.N. Occupational illness of employees of enterprises of mining and metals sector and ways of its reduction. *Metallurg*, 2019, no. 4, pp. 13–18 (in Russian).
11. Sokur O.V., Chebotarev A.G., Duryagin I.N. Sovremennoe sostoyanie uslovii truda i professional'noi zaboлеваemosti rabotnikov predpriyatii polucheniya alyuminiya [The current state of working conditions and occupational morse rate of employees in aluminum production enterprises]. *Metallurg*, 2020, no. 2, pp. 8–12 (in Russian).
12. Chebotarev A.G. Risks of development of dust-related occupational diseases of ore mine workers. *Gornaya promyshlennost'*, 2018, vol. 139, no. 3, pp. 66. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70 (in Russian).
13. Dias da Cunha K.M., Dalia Pereira K.C., Guimarães J.R.D., Lima C., Nascimento J.E.C., Lima R., Hecht A.A., Fiel J.C.B. Study of worker's exposure to Tantalum-bearing particles in a mining and metallurgical plant. *Environ. Geochem. Health*, 2018, vol. 40, no. 5, pp. 2037–2048. DOI: 10.1007/s10653-016-9849-6
14. Gholami A., Tajik R., Atif K., Zarei A.A., Abbaspour S., Teimori-Boghsani G., Attar M. Respiratory Symptoms and Diminished Lung Functions Associated with Occupational Dust Exposure Among Iron Ore Mine Workers in Iran. *Open Respir. Med. J.*, 2020, vol. 14, pp. 1–7. DOI: 10.2174/1874306402014010001
15. Utembe W., Faustman E.M., Matatiele P., Gulumian M. Hazards identified and the need for health risk assessment in the South African mining industry. *Hum. Exp. Toxicol.*, 2015, vol. 34, no. 12, pp. 1212–1221. DOI: 10.1177/0960327115600370
16. Nemery B., Banza Lubaba Nkulu C. Assessing exposure to metals using biomonitoring: Achievements and challenges experienced through surveys in low- and middle-income countries. *Toxicol. Lett.*, 2018, vol. 298, pp. 13–18. DOI: 10.1016/j.toxlet.2018.06.004
17. Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., Cave M., Sorooshian A., Mahmoudi M.R., Ahmadi M.R., Golshani R. In vitro bioaccessibility, phase partitioning, and health risk of potentially toxic elements in dust of an iron mining and industrial complex. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2021, vol. 212, pp. 111972. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.111972
18. Serebryakov P.V., Fedina I.N., Rushkevich O.P. Features of malignant neoplasms formation in respiratory system of workers engaged into mining and processing of copper-nickel ores. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2018, no. 9, pp. 9–15. DOI: 10.31089/1026-9428-2018-9-9-15 (in Russian).
19. Da Silva Júnior F.M.R., Tavella R.A., Fernandes C.L.F., Soares M.C.F., de Almeida K.A., Garcia E.M., da Silva Pinto E.A., Baisch A.L.M. Genotoxicity in Brazilian coal miners and its associated factors. *Hum. Exp. Toxicol.*, 2018, vol. 37, no. 9, pp. 891–900. DOI: 10.1177/0960327117745692
20. Da Silva Júnior F.M.R., Tavella R.A., Fernandes C.L.F., Dos Santos M. Genetic damage in coal and uranium miners. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, 2021, vol. 866, pp. 503348. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2021.503348
21. Sinitsky M.Yu., Minina V.I., Gafarov N.I., Asanov M.A., Larionov A.V., Ponasenko A.V., Volobaev V.P., Druzhinin V.G. Assessment of DNA damage in underground coal miners using the cytokinesis-block micronucleus assay in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis*, 2016, vol. 31, no. 6, pp. 669–675. DOI: 10.1093/mutage/gew038
22. Espitia-Pérez L., da Silva J., Brango H., Espitia-Pérez P., Pastor-Sierra K., Salcedo-Arteaga S., de Souza C.T., Dias J.F. [et al.]. Genetic damage in environmentally exposed populations to open-pit coal mining residues: Analysis of buccal micronucleus cytome (BMN-cyt) assay and alkaline, Endo III and FPG high-throughput comet assay. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, 2018, vol. 836, pt B, pp. 24–35. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2018.06.002

23. Chebotarev A.G., Gibadulina I.Yu., Goryachev N.S. Contamination of mine air with exhaust gases of self-propelled machinery and proposed corrective measures. *Gornaya promyshlennost'*, 2019, vol. 144, no. 2, pp. 74–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-74-76 (in Russian).
24. Fokin V.A. Assessment of the health risk of workers in the extractive industries when exposed to noise above 80 dBA. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, vol. 60, no. 11, pp. 867–869. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-867-869 (in Russian).
25. Chebotarev A.G., Courierov N.N. Hygienic assessment of noise and vibration affecting workers at mining operations. *Gornaya promyshlennost'*, 2020, no. 1, pp. 148–153. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-148-153 (in Russian).
26. Courierov N.N., Chebotarev A.G. Health risks for mining machine operators caused by exposure to noise and vibration. *Gornaya promyshlennost'*, 2022, no. 1, pp. 138–143. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1-138-143 (in Russian).
27. Nelson G., Murray J. Silicosis at autopsy in platinum mine workers. *Occup. Med. (Lond.)*, 2013, vol. 63, no. 3, pp. 196–202. DOI: 10.1093/occmed/kqs211
28. Chebotarev A.G., Pfaf V.F., Gibadulina I.Yu. Current state of labour conditions, occupational morbidity and improvement of medical and preventive care for employees of mining operations. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, no. 3, pp. 139–143. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-139-143 (in Russian).
29. Melentev 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. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-692-693 (in Russian).
30. Zeng X., DeBono N.L., Harris A.M., Arrandale V.H., Demers P.A. Neurodegenerative diseases among miners in Ontario, Canada, using a linked cohort. *Occup. Environ. Med.*, 2020, vol. 78, no. 6, pp. 385–392. DOI: 10.1136/oemed-2020-106958

Shaykhislamova E.R., Karimova L.K., Beigul N.A., Muldasheva N.A., Fagamova A.Z., Shapoval I.V., Volgareva A.D., Larionova E.A. Occupational health risk for workers from basic occupational groups employed at copper and zinc ore mining enterprises: assessment and management. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 107–118. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.10.eng

Получена: 27.04.2022

Одобрена: 31.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

ОБРАЗ ЖИЗНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ КАК ФАКТОР РИСКА ЗДОРОВЬЮ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОТИВОЭПИДЕМИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЯХ

А.И. Шпаков¹, Л.Г. Климацкая², Ю.Ю. Бочарова², А.А. Дьячук², О.Ю. Шик³

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь, 230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

²Красноярский государственный педагогический университет имени В.П. Астафьева, Россия, 660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89

³Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1

Различные стратегии противодействия распространению COVID-19 как в России (самоизоляция), так и в Беларуси (ограничительные мероприятия) могут рассматриваться как неординарная стрессогенная ситуация, сопровождающаяся изменением образа жизни. В связи с этим проанализировано отношение студентов двух стран к основным компонентам образа жизни в условиях применения различных противоэпидемических стратегий.

Пропроинтервьюированы 876 студентов из Красноярска, которые 2,5 месяца находились в условиях самоизоляции, и 1140 студентов из Гродно, пребывавших в условиях без жестких карантинных ограничений. Проведена сравнительная оценка изменений основных компонентов образа жизни во время пандемии.

Отмечены изменения в субъективной оценке самочувствия (более половины студентов охарактеризовали его как плохое), эмоционального состояния (индекс субъективного комфорта находился между приемлемым уровнем и тенденцией к его ухудшению). На острый дефицит привычной физической активности указали 35,4 % респондентов из Красноярска и 29,5 % сверстников из Гродно ($p < 0,01$). 23,9 % респондентов из Гродно и 26,6 % из Красноярска отказались от соблюдения режима сна и питания, что спровоцировало неконтролируемое увеличение массы тела. Комплексный показатель позитивных изменений образа жизни при максимуме в 7 баллов у респондентов из Красноярска составил $4,15 \pm 1,56$ против $4,46 \pm 1,48$ балла в группе сравнения ($p < 0,01$). Часть респондентов в поисках субъективной стабильности прибегала к приему психоактивных веществ. 7,7 % студентов в Гродно, 4,8 % в Красноярске в этот период инициировали курение, соответственно 38,9 и 46,2 % респондентов увеличили частоту и объемы употребления алкоголя ($p < 0,01$).

Полученные результаты анализа специфики отношений студентов двух стран к образу жизни в условиях применения различных противоэпидемических стратегий дают важную информацию как для органов здравоохранения, так и для образовательных учреждений с целью внесения предложений, направленных на поддержание благополучия студентов и расширение возможностей для молодежи вести здоровый образ жизни.

Ключевые слова: образ жизни, физическое здоровье, психическое здоровье, студенты из университетов России, студенты из университетов Беларуси, пандемия COVID-19, локдаун, противоэпидемические стратегии.

© Шпаков А.И., Климацкая Л.Г., Бочарова Ю.Ю., Дьячук А.А., Шик О.Ю., 2022

Шпаков Андрей Иванович – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры теории физической культуры и спортивной медицины (e-mail: shpakov@grsu.by; тел.: +375 (297) 83-10-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4340-5211>).

Климацкая Людмила Георгиевна – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры социальной педагогики и социальной работы (e-mail: klimatskaya47@mail.ru; тел.: 8 (391) 228-09-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8926-2901>).

Бочарова Юлия Юрьевна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры социальной педагогики и социальной работы (e-mail: bjulija1305@yandex.ru; тел.: 8 (902) 924-77-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8626-7977>).

Дьячук Анна Анатольевна – кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии (e-mail: danna@kspu.ru; тел.: 8 (902) 943-96-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1376-9014>).

Шик Ольга Юрьевна – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой гигиены (e-mail: olgaskru@mail.ru; тел.: 8 (902) 927-83-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7000-3122>).

Изучение отношения к образу жизни и его компонентам приобретает особую значимость в период экстремальной ситуации, сопровождающейся набором ограничительных мер [1, 2]. В качестве примера такой ситуации может быть рассмотрена пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 [3], оказавшая и продолжающая оказывать влияние на отношение населения к основным элементам образа жизни (физическая активность, закаливание, режим дня, питание, отказ от психоактивных веществ) [4, 5]. Имеющиеся результаты исследований показывают, что противоэпидемические меры варьируются в различных государствах, но основные действия схожи и заключаются в воздействии на классические звенья эпидемического процесса: влияние на источник вирусной инфекции, блокада путей распространения, повышение сопротивляемости населения через повышение и формирование иммунитета [6–8]. О целесообразности тех или иных ограничительных или разрешительных мер, предпринимаемых в разных странах в ответ на распространение инфекции, продолжаются дискуссии. Одни считают, что жесткие меры не оправданы [9, 10], другие высказываются в пользу чрезвычайных ограничительных действий карантинного характера [11]. В условиях пандемии каждая страна выбирает свой путь, проходя через уникальный «естественный эксперимент», созданный распространением COVID-19 [12, 13]. В России и большинстве европейских стран в первую волну пандемии сразу были введены в действие карантинные меры по борьбе с распространением инфекции. В отличие от большинства стран, Беларусь с начала пандемии отказалась от жестких карантинных мер, демонстрировала сохранение прежней организации жизни общества без серьезных ограничений и панических настроений. В стране не вводился режим полного или частичного ограничения социальных контактов, а население только информировалось о необходимости соблюдения мер безопасности [14–16]. В России основной проблемой стала самоизоляция людей, приведшая к изменению образа жизни [2] и рассматриваемая как самостоятельный стресс-фактор, снижающий потенциал физического и психологического здоровья [17].

Эффект влияния на образ жизни и его компоненты рестрикций пандемии (в 2020 г. режим самоизоляции в России вводился неоднократно) может быть рассмотрен на примере сравнения отношения представителей близкородственных культур (студентов Беларуси и России), имеющих достаточно много общего в стиле жизни, культурологической составляющей и общий язык. Студенчество, представляя собой быстро адаптируемую к новым условиям жизни социальную общность, является здесь интересным контингентом для проведения сравнительных исследований [5].

В условиях жестких противоэпидемических ограничений резко снизилась возможность перемещения и физическая активность в целом [18]. Пандемия

коронавируса заставила преподавателей и студентов вузов в России перейти на дистанционное обучение, а в Беларуси – на гибридное (традиционный режим с частичным, по мере необходимости, использованием информационно-коммуникационных технологий). Увеличилась степень напряженности в связи с трудностями освоения новых технологий, неопределенностью требований, техническими возможностями работы в дистанционном формате и нарушением деятельности функциональных систем организма, что обуславливает риски появления психосоматических расстройств [19]. Наличие информации от студентов обеих стран о различных аспектах их образа жизни и состояния физического и психологического здоровья, а также проведение сравнительного анализа двух статистических выборок позволили предпринять попытку оценить особенности физической активности, соблюдения режима самоизоляции, сна и отдыха, распорядка дня, характера питания, пристрастие к вредным привычкам и уровень общего самочувствия в условиях пандемии COVID-19 при различных противоэпидемических стратегиях противодействия распространению болезни.

Цель исследования – на примере группы студентов из Беларуси (Гродно) и России (Красноярск) в условиях различных **противоэпидемических стратегий во время пандемии COVID-19** проанализировать особенности отношения респондентов к основным компонентам образа жизни.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие студенты дневной формы обучения II–IV курсов вузов медицинского и педагогического профиля в г. Гродно и г. Красноярске, суммарно – 2016 человек, из них 64,1 % – будущие педагоги и 35,9 % – будущие медицинские работники. Выбор специальностей связан с особенностями будущей профессиональной деятельности, готовностью к работе с людьми, оказанию помощи в различных ситуациях и продвижению личным примером здорового образа жизни.

Второе основание для исследования связано с оценкой противоэпидемических стратегий противодействия инфекции в России и Беларуси, которые определяют образ жизни студентов. Исследование проводилось в разгар пандемии и значительно отличалось противоэпидемическими стратегиями. В России на федеральном уровне был введен локдаун. В Постановлении Главного государственного санитарного врача РФ от 22.05.2020 № 15 представлены противоэпидемические мероприятия в отношении COVID-19. На местном уровне – жесткая самоизоляция, карантинные мероприятия, студенты перешли на дистанционное обучение. В то же время усилились профилактическая работа в вузах по гигиеническому воспитанию в учебное и внеучебное время (например, гигиенические диктанты, онлайн-выставки плакатов, конкурсы по ЗОЖ), укрепление психического здоровья (консультации психолога онлайн), волон-

терская помощь студентов старших курсов и кураторов студентам первых курсов. В Беларуси сохранилась прежняя организация жизни общества, но были разработаны и внедрены ограничительные меры («Методические рекомендации по организации образовательного процесса в учреждениях образования в условиях распространения инфекции COVID-19»). Тем не менее оба подхода как в России, так и в Беларуси могут рассматриваться как неординарная длительная стрессогенная ситуация для населения [20], в том числе и студенческой молодежи.

В основе исследования – специально разработанная анкета, включающая в себя вопросы, направленные на выявление изменений, связанных с образом жизни студентов и его компонентами, в частности: их физической активностью, режимом питания, сна и бодрствования, а также применением психоактивных веществ. Исследование проводилось в онлайн-формате в конце 2020 г., когда все студенты уже получили определенный опыт жизнедеятельности в новых для них условиях. Онлайн-опрос является оптимальным способом получения информации, позволяющим в короткие сроки осуществить набор первичного материала в условиях ограничительных мероприятий в разгар пандемии [7]. Перед началом исследования все участники были проинформированы о его целях, методологии, а также об анонимном и конфиденциальном характере исследования. Доступ к электронной анкете на платформе Google Forms предоставлялся только в случае выражения согласия на участие в исследованиях.

Были проинтервьюированы две группы студентов: первая – студенты вузов г. Красноярска (Россия) ($n = 876$; средний возраст – $20,7 \pm 1,64$ г.; 16 % мужчин, 84 % женщин), которые с марта по июнь 2020 г., в период пандемии, находились в условиях самоизоляции при вынужденном режиме удаленного образования; вторая группа – это студенты из белорусского города Гродно ($n = 1140$; средний возраст – $20,4 \pm 1,93$ г.; 20 % мужчин, 80 % женщин), которые находились в условиях некоторых ограничений, без карантинных мер.

Преобладание женского контингента среди студентов обусловлено спецификой медицинских и, особенно, педагогических вузов. Распределение респондентов в зависимости от получаемой специальности и пола представлено в табл. 1.

Для статистической обработки применен пакет программ Statistica 13 PL. Анализ данных включал подсчет абсолютных и относительных частот. Полученная информация обрабатывалась с применением методов описательной статистики. При анализе количественных показателей предварительно оценивалось соответствие полученных значений закону нормального распределения вариационного ряда с помощью W -статистического теста Шапиро – Уилка. В связи с тем, что данные имели распределение отличное от нормального, использовались методы непараметрической статистики. Количественные показатели представлены в виде: $\bar{X} \pm \sigma$ (\bar{X} – средняя арифметическая величина, а σ – среднеквадратическое отклонение), Me – медианы и Q_{25} – Q_{75} – интерквартильный размах. Для оценки достоверности различий по ним применялся U -критерий Манна – Уитни. Для сравнения качественных показателей использован критерий согласия Пирсона (Pearson χ^2). Критическое значение уровня значимости p при проверке статистических гипотез принималось за 0,05.

Исследование проведено с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). Оно не ущемляло прав человека, не подвергало опасности респондентов, соответствовало требованиям биомедицинской этики [21, 22].

Результаты и их обсуждение. В качестве объекта исследования были выбраны представители студенческой молодежи. Оценка распределений по полу и по направлениям обучения с помощью критерия χ^2 показала сходство в обеих исследуемых группах, то есть принадлежность к одной генеральной совокупности.

Данные социологического опроса показали, что пребывание студентов обеих групп на вынужденной самоизоляции и в состоянии ограниченной деятельности вызвало изменения в субъективной оценке самочувствия, эмоционального состояния и характеризовалось дефицитом привычной активности. Для большинства опрошенных студентов характерны выраженные отклонения от рекомендуемых параметров в организации жизнедеятельности: продолжительность сна, характер питания, физическая активность, выраженность учебной нагрузки, применение психоактивных средств. Субъективная оценка самочувствия оказалась негативной более чем в половине наблюдений. Студенты из Красноярска в 54,3 % случаев часто в период самоизоляции

Таблица 1

Группы респондентов с учетом получаемой специальности и пола, абс. (%)

Направление специальности	Гродно, $n = 1140$		Красноярск, $n = 876$		Вместе, $n = 2016$	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины
Все вместе	225 (19,7)	915 (80,3)	140 (16,0)	736 (84,0)	365 (18,1)	1651 (81,9)
Педагогические	113 (15,5)	618 (84,5)	34 (8,1)	385 (91,9)	147 (12,9)	1003 (87,2)
– всего	731 (64,1)		419 (47,8)		1150 (57,0)	
Медицинские	112 (27,4)	297 (72,6)	106 (23,2)	351 (76,8)	218 (25,2)	648 (74,8)
– всего	409 (35,9)		457 (52,2)		866 (43,0)	

отмечали плохое самочувствие. Частое плохое самочувствие отметили у себя достоверно меньше студентов из Гродно (52,8 %). Пятая часть респондентов не замечала изменений самочувствия в худшую сторону, что выражалось преобладанием нормального и хорошего уровней соответственно у 21,8 % гродненских студентов и 23,5 % учащихся из Красноярска. Эмоциональное состояние большинства опрошенных студентов также отличалось нестабильностью и объяснялось дефицитом активности, в том числе физической. Индекс субъективного комфорта, отражающий переживаемое функциональное состояние, указал на пограничное состояние между приемлемым уровнем с нормальным самочувствием и тенденцией к его ухудшению ($50,9 \pm 12,4$ и $50,8 \pm 14,2$ балла по методике «Шкала оценки субъективной комфортности А.Б. Леоновой» [23] в обеих исследуемых группах).

На протяжении периода самоизоляции и ограничений 1111 (54,8 %) респондентов существенно изменили свое отношение к здоровью на более рациональное – 708 (61,6 %) и 403 (46,0 %) из Гродно и Красноярска соответственно. Более низкие показатели студентов из Красноярска можно объяснить неготовностью к экстремальной ситуации, которой стал для них локдаун.

Режим самоизоляции спровоцировал снижение физической активности: 310 (35,4 %) респондентов из Красноярска снизили заинтересованность занятиями физическими упражнениями; среди представителей группы сравнения также отмечено снижение уровня физической активности, но в менее выраженной степени – 336 (29,5 %). В поисках выхода из сложившейся ситуации и понимая важность физической активности для здоровья, пятая часть респондентов начала практиковать утреннюю зарядку и физические упражнения в течение дня, а также стремиться придерживаться рационального режима дня, предварительно планируя свою деятельность. Среди респондентов из Красноярска возросло число практикующих физическую активность в виде утренней зарядки и физических упражнений в течение дня – 191 (21,8 %), что превышало число таковых из Гродно – 188 (16,5 %). Количество респондентов, стремящихся придерживаться планирования оптимального режима дня, в группах было примерно одинаковым – 493 (56,3 %) студента из Красноярска и 674 (59,1 %) – из Гродно. Половина из опрошенных студентов спали менее рекомендуемой нормы, при этом статистически значимых различий по длительности сна в зависимости от группы наблюдения не выявлено.

Несмотря на то что многие анкетированные высказались положительно об изменениях режима питания и пищевых навыков, большинство осталось недовольно последствиями этих изменений. Четвертая часть респондентов – 273 (23,9 %) студента из Гродно и 233 (26,6 %) из Красноярска – отказывалась от соблюдения режима питания. Часто

эти студенты (и особенно студентки) как результат отмечали увеличение массы тела. 660 (57,9 %) респондентов из Гродно и 414 (47,3 %) из Красноярска связывают изменение образа жизни с поиском ощущения стабильности, безопасности. Небольшая доля респондентов в поисках субъективной стабильности прибегала к приему психоактивных веществ. 88 (7,7 %) студентов в Гродно и 42 (4,8 %) в Красноярске начали курить, 38,9 и 46,2 % респондентов соответственно отметили увеличение частоты и объемов употребления алкогольных напитков.

В табл. 2 и 3 приведены данные по распространенности изменений в образе жизни и проявлению дефицита привычной деятельности в период самоизоляции и ограничений.

Суммируя по семи шкалам все ответы, отражающие позитивный подход и стремление улучшить показатели образа жизни, получили результат, выраженный комплексным показателем изменений образа жизни. У респондентов из Гродно он составил $4,46 \pm 1,48$ балла ($Me = 5$, $Q_{25}-Q_{75} = 4-6$), у студентов из Красноярска – $4,15 \pm 1,56$ балла ($Me = 4$, $Q_{25}-Q_{75} = 3-5$) из 7 возможных (критерий Манна – Уитни, $Z = 4,7$, $p < 0,001$). Доля студентов, не изменивших свой образ жизни, не превысила 1,0 % в обеих группах.

Как показывают результаты, изменение основных составляющих образа жизни во время тех или иных ограничительных мер в период пандемии у студентов связано с несколькими факторами: ограничением передвижения, спецификой ситуации обучения в условиях дистанционного или гибридного обучения, ограничением непосредственных контактов со сверстниками и преподавателями [8]. Полученные нами результаты показывают общие тенденции, связанные с изменением образа жизни: негативизация субъективной оценки самочувствия и эмоционального состояния, дефицит привычной активности, снижение стабильности ситуации и чувства безопасности.

Существуют различия в частоте выбора и изменениях в отношении компонентов образа жизни при различных противоэпидемических стратегиях противодействия распространению новой коронавирусной инфекции COVID-19. Многие авторы отмечают, что на первых этапах пандемии студенчество оказалось дезорганизованным, не готовым к поддержанию основ здорового образа жизни [2]. В то же время часть студентов достаточно быстро оптимизировала свой режим дня, и в нем появились такие продуктивные составляющие, как помощь родственникам в домашней работе, младшим братьям и сестрам в выполнении школьных заданий, написание научных статей и участие онлайн с докладами в студенческих конференциях, конкурсах, грантах. Некоторым студентам пришлось устроиться на работу, чтобы материально помочь семье.

Актуализировалась задача поиска методов поддержания мотивации студентов к рациональному

Таблица 2

Отличительные особенности отношения к образу жизни в обследуемых группах, абс. (%),
(95%-ный доверительный интервал)

Ответ	Гродно, n = 1140	Красноярск, n = 876	Вместе, n = 2016
Стараюсь придерживаться определенного режима дня	674 (59,1) (56,3–61,9)	493 (56,3) (53,0–59,6)	1167 (57,9) (55,7–60,1)
	$\chi^2 = 1,64, p = 0,2$		
Делаю регулярно зарядку	188 (16,5) (14,3–18,6)	191 (21,8) (19,1–24,5)	379 (18,9) (17,1–20,5)
	$\chi^2 = 9,2, p < 0,01$		
Да, я не пью, не курю	696 (61,1) (58,2–63,9)	471 (53,8) (50,5–57,1)	1167 (57,9) (55,7–60,1)
	$\chi^2 = 10,8, p < 0,001$		
Прогулки на свежем воздухе	703 (61,7) (58,9–64,5)	450 (51,4) (48,1–54,7)	1153 (57,2) (55,0–59,4)
	$\chi^2 = 21,4, p < 0,0001$		
Целый день провожу за компьютером, телефоном	250 (21,9) (19,5–24,3)	319 (36,4) (33,2–39,6)	569 (28,2) (26,3–30,2)
	$\chi^2 = 51,3, p < 0,0001$		
Не соблюдаю режим питания	273 (23,9) (21,5–26,4)	233 (26,6) (23,7–29,5)	506 (25,1) (23,2–27,0)
	$\chi^2 = 1,9, p = 0,1$		
Начал(а) курить	88 (7,7) (6,2–9,3)	42 (4,8) (3,4–6,2)	130 (6,5) (5,4–7,5)
	$\chi^2 = 7,0, p < 0,01$		

Таблица 3

Выраженность дефицита привычной деятельности в период действия противоэпидемических мероприятий, абс. (%) (95%-ный доверительный интервал)

Ответ: «Не хватает...»	Гродно, n = 1140	Красноярск, n = 876	Вместе, n = 2016
Прогулок / занятий спортом на свежем воздухе	336 (29,5) (26,8–32,1)	310 (35,4) (32,2–38,6)	646 (32,0) (30,0–34,1)
	$\chi^2 = 7,96, p < 0,01$		
Развлечений, новых впечатлений	556 (48,8) (45,9–51,7)	432 (49,3) (46,0–52,6)	988 (49,0) (46,8–51,2)
	$\chi^2 = 0,06, p = 0,8$		
Общения с преподавателями, возможности обсудить непонятный материал	262 (23,0) (20,5–25,4)	428 (48,9) (45,6–52,2)	690 (34,2) (32,2–36,3)
	$\chi^2 = 147,3, p < 0,0001$		
Посещения культурных заведений (музеи, театры и др.)	494 (43,3) (40,5–46,2)	412 (47,0) (43,7–50,3)	906 (44,9) (42,8–47,1)
	$\chi^2 = 2,74, p = 0,09$		
Живого общения с друзьями/знакомыми	565 (52,1) (46,7–52,5)	520 (59,4) (56,1–62,6)	1085 (53,8) (51,6–56,0)
	$\chi^2 = 19,1, p < 0,001$		
Возможности свободно передвигаться по городу	478 (41,9) (39,1–44,8)	384 (43,8) (40,6–47,1)	862 (42,8) (40,6–44,9)
	$\chi^2 = 0,73, p = 0,39$		
Ощущения стабильности, безопасности	660 (57,9) (55,0–60,8)	414 (47,3) (43,9–50,6)	1074 (53,3) (51,1–55,5)
	$\chi^2 = 22,5, p < 0,0001$		

питанию, занятиям физическими упражнениями и другим составляющим образа жизни. Невозможность выполнения упражнений в домашних условиях или, наоборот, незаинтересованность и безразличие в их выполнении могли привести к отказу от физической активности у самоизолированных. Необходимость занятий физическими упражнениями

возрастала, что провоцировалось, с одной стороны, стрессом, а с другой, – значительным количеством неизрасходованной индивидуальной энергии [24].

Ограничение возможности проявления активности в разных пространствах жизнедеятельности студентов из Красноярска, находящихся в условиях самоизоляции, снизило уровень и разнообразие фи-

зической активности. Неопределенность ситуации и пролонгирование ограничений привели к игнорированию планирования и несоблюдению режима дня, значительному увеличению времени работы на компьютере, несоблюдению режима питания и появлению неблагоприятных пищевых привычек, а также к приему психоактивных «успокоительных» веществ (курение, потребление алкоголя, лекарственные препараты). С другой стороны, ситуация самоизоляции способствовала использованию довольно большой частью студенчества физических упражнений с регулярным выполнением утренней зарядки. Сложившаяся стрессовая ситуация привела к концентрации на способах отвлечения от неприятных мыслей, нахождении положительных моментов, возможности обучаться чему-то новому (дистанционное и гибридное обучение). В исследованиях [25] показана неэффективность мысленного ухода и эмоционально-ориентированных стратегий совладания с пандемией, которые могут приводить к усилению психологического стресса у студентов вузов. Однако без лонгитудных данных оценивать отсутствие эффективности данных стратегий совладания с чрезвычайной ситуацией преждевременно, что не исключает необходимости разработки профилактических рекомендаций, направленных на сохранение физического и психологического здоровья и благополучия [26, 27].

Полученные результаты позволяют судить о схожести направленности действий по оптимизации образа жизни в ситуации пандемии, но выраженность реализации отличается в силу оценки самой ситуации, возможностей и ресурсов. Различия в стратегии борьбы с коронавирусом сказались на частоте изменения основных составляющих образа жизни студентов. Респонденты из Гродно чаще отмечали отказ верить в случившееся, сопровождающийся отрицанием реальности, что может быть связано с отсутствием жестких ограничений, спецификой предоставления информации населению об эпидемиологической обстановке и, соответственно, с менее кардинальными изменениями в образе жизни.

Несмотря на невысокую частоту использования психоактивных «успокоительных» веществ как способа видоизменить образ жизни с целью достичь хотя бы мнимой стабильности и безопасности, среди студентов из Красноярска прием алкоголя встречался чаще, что может быть связано с поиском более сильного «антистрессового вещества». Инициация курения была более выражена среди студентов из Гродно. Выделенные различия можно связать с кон-

тролем или его отсутствием со стороны близких и родственников. Авторы отмечают, что семья оказывает значительное влияние на личное поведение и приверженность соблюдению профилактических мероприятий [7]. К сожалению, даже поддержка со стороны близких людей не позволяла преодолеть трудную ситуацию без обращения к алкоголю и курению.

Выводы. Ситуация самоизоляции и ограничений в период пандемии актуализировала проблемы, связанные с активными действиями по поиску новых возможностей улучшить образ жизни. Специфика карантинных мер, применяемых в разных странах, привела к различиям в принятии решений по оптимизации основных составляющих образа жизни студентов.

Студенты, которые находились только в условиях ограничений и обучались в гибридном формате, чаще старались обеспечить более активный образ жизни, прибегая к планированию своего времени, выбирали активную деятельность с уменьшенным временем нахождения за компьютером, в отличие от находящихся в условиях самоизоляции. В то же время студенческая молодежь, находящаяся в условиях локдауна, старалась увеличить уровень своей физической активности путем использования утренней зарядки и физических упражнений в течение дня.

С учетом продолжающейся неблагоприятной эпидемиологической ситуации данное исследование может быть использовано при составлении рекомендаций для студентов с целью наиболее оптимального переживания самоизоляции. Кроме традиционных особенностей образа жизни, характерных для студенчества (несбалансированность рациона питания, депривация сна, применение психоактивных веществ), следует обратить внимание на специфичные для периода самоизоляции (значительное снижение физической активности, изменение формата учебной нагрузки, ограничение социальных контактов).

Полученные результаты дают важную информацию как для органов здравоохранения, так и для образовательных учреждений с целью внесения предложений, направленных на поддержание благополучия студентов и расширение возможностей для молодежи вести здоровый образ жизни.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта №20-413-242905.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Бондарева Н.Л. Стремление к здоровому образу жизни в условиях пандемии // Инновационные научные исследования. – 2021. – № 3–1 (5). – С. 122–127. DOI: 10.5281/zenodo.4677241
2. Иохвидов В.В. Здоровый образ жизни в условиях социальнокарантинных ограничений: итоги и ожидания // Гуманитарная парадигма. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 8–15.
3. Рекомендации для населения в отношении инфекции, вызванной новым коронавирусом (COVID-19) [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2020. – URL: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (дата обращения: 24.10.2021).

4. Digital Healthy Diet Literacy and Self-Perceived Eating Behavior Change during COVID-19 Pandemic among Undergraduate Nursing and Medical Students: A Rapid Online Survey / T. Van Duong, K.M. Pham, B.N. Do, G.B. Kim, H.T.B. Dam, V.-T.T. Le, T.T.P. Nguyen, H.T. Nguyen [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 19. – P. 7185. DOI: 10.3390/ijerph17197185
5. The impact of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic on university students' dietary intake, physical activity, and sedentary behaviour / L. Bertrand, K.A. Shaw, J. Ko, D. Deprez, P.D. Chilibeck, G.A. Zello // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* – 2021. – Vol. 46, № 3. – P. 265–272. DOI: 10.1139/apnm-2020-0990
6. Пандемия COVID-19. Меры борьбы с ее распространением в Российской Федерации / Н.И. Брико, И.Н. Каграманян, В.В. Никифоров, Т.Г. Суранова, О.П. Чернявская, Н.А. Полежаева // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 4–13. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12
7. Сычик С.И. Распространенность поведенческих факторов риска инфицирования COVID-19 среди населения Республики Беларусь: результаты кросс-секционного исследования // *Анализ риска здоровью*. – 2020. – № 4. – С. 4–11. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.01
8. Потапова Е.А., Земляной Д.А., Кондратьев Г.В. Особенности жизнедеятельности и самочувствия студентов медицинских вузов в период дистанционного обучения во время эпидемии COVID-19 // *Психологическая наука и образование*. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 70–81. DOI: 10.17759/pse.2021260304
9. China experience from COVID-19: Mental health in mandatory quarantine zones urgently requires intervention / L. Wu, X. Guo, Z. Shang, Z. Sun, Y. Jia, L. Sun, W. Liu // *Psychol. Trauma*. – 2020. – Vol. 12, № S1. – P. S3–S5. DOI: 10.1037/tra0000609
10. Сорокина Е.А. Коронавирус по-шведски // *Медицинская антропология и биоэтика*. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 185–213. DOI: 10.33876/2224-9680/2020-1-19/11
11. Milman E., Lee S.A., Neimeyer R.A. Social isolation and the mitigation of coronavirus anxiety: The mediating role of meaning // *Death Stud.* – 2020. – Vol. 46, № 1. – P. 1–13. DOI: 10.1080/07481187.2020.1775362
12. Одинцова М.А., Радчикова Н.П., Янчук В.А. Оценка ситуации пандемии COVID-19 жителями России и Беларуси // *Социальная психология и общество*. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 56–77. DOI: 10.17759/sps.2021120204
13. Effects of COVID-19 on College Students' Mental Health in the United States: Interview Survey Study / C. Son, S. Hegde, A. Smith, X. Wang, F. Sasangohar // *J. Med. Internet Res.* – 2020. – Vol. 22, № 9. – P. e21279. DOI: 10.2196/21279
14. Шаннишева Л. Беларусь 2020: коронавирус и большая политика // *Европейская безопасность: события, оценки, прогнозы*. – 2020. – Т. 73, № 57. – С. 20–23.
15. Губенко С.И. Эпидемия COVID-19. Беларусь, Швеция, Швейцария и Дания. Аналитические расчеты, сравнение и прогнозы // *Вестник науки и образования*. – 2020. – Т. 94, № 16, ч. 1. – С. 50–68. DOI: 10.24411/2312-8089-2020-11601
16. Karáth K. COVID-19: How does Belarus have one of the lowest death rates in Europe? // *BMJ*. – 2020. – Vol. 370. – P. m3543. DOI: 10.1136/bmj.m3543
17. Особенности образа жизни и здоровья студентов в период дистанционного обучения / В.И. Попов, О.Ю. Мишукина, Д.В. Судаков, О.В. Судаков // *Здоровье населения и среда обитания* – ЗНиСО. – 2020. – № 11. – С. 14–21. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-14-21
18. Caputo E.L., Reichert F.F. Studies of Physical Activity and COVID-19 During the Pandemic: A Scoping Review // *J. Phys. Act. Health*. – 2020. – Vol. 17, № 12. – P. 1275–1284. DOI: 10.1123/jpah.2020-0406
19. Students' mental health problems before, during, and after COVID-19 lockdown in Italy / N. Meda, S. Pardini, I. Slongo, L. Bodini, M.A. Zordan, P. Rigobello, F. Visioli, C. Novara // *J. Psychiatr. Res.* – 2021. – Vol. 134. – P. 69–77. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2020.12.045
20. Злотников А.Г. Пандемия COVID-19 в Беларуси: демографическое отражение // *Наука и инновации*. – 2021. – Т. 215, № 1. – С. 70–75.
21. Попов А.О. Биомедицинская этика проведения психологических исследований // *Качественная клиническая практика*. – 2010. – № 1. – С. 32–35.
22. Ethical Issues of Social Media Usage in Healthcare / K. Denecke, P. Bamidis, C. Bond, E. Gabarron, M. Househ, A.Y.S. Lau, M.A. Mayer, M. Merolli, M. Hansen // *Yearb. Med. Inform.* – 2015. – Vol. 10, № 1. – P. 137–147. DOI: 10.15265/IY-2015-001
23. Леонова А.Б., Капица М.С. Методы субъективной оценки функциональных состояний человека // *Практикум по инженерной психологии и эргономике* / под ред. Ю.К. Стрелкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – С. 136–167.
24. Рыжкова А.Е. Отношение студентов педагогического вуза к поддержанию основ здорового образа жизни в период пандемии коронавируса в условиях вынужденной самоизоляции // *Матрица научного познания*. – 2020. – № 11–2. – С. 23–28.
25. Рассказова Е.И., Леонтьев Д.А., Лебедева А.А. Пандемия как вызов субъективному благополучию: тревога и совладание // *Консультативная психология и психотерапия*. – 2020. – Т. 28, № 2. – С. 90–108. DOI: 10.17759/cpp.2020280205
26. COVID-19 pandemic lockdown and problematic eating behaviors in a student population / V. Flaudias, S. Iceta, O. Zerhouni, R.F. Rodgers, J. Billieux, P.-M. Llorca, J. Boudesseul, I. de Chazeron [et al.] // *J. Behav. Addict.* – 2020. – Vol. 9, № 3. – P. 826–835. DOI: 10.1556/2006.2020.00053
27. Carvalho V.O., Gois C.O. COVID-19 pandemic and home-based physical activity // *J. Allergy Clin. Immunol. Pract.* – 2020. – Vol. 8, № 8. – P. 2833–2834. DOI: 10.1016/j.jaip.2020.05.018

Образ жизни студенческой молодежи как фактор риска здоровью в условиях пандемии COVID-19 при различных противоэпидемических стратегиях / А.И. Шпаков, Л.Г. Климацкая, Ю.Ю. Бочарова, А.А. Дьячук, О.Ю. Шик // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 119–127. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.11



Research article

YOUNG STUDENTS' LIFESTYLE AS A HEALTH RISK FACTOR DURING THE COVID-19 PANDEMIC UNDER VARIOUS ANTI-EPIDEMIC STRATEGIES

A.I. Shpakou¹, L.G. Klimatchkaia², Yu.Yu. Bocharova², A.A. Dyachuk², O.Yu. Shik³

¹Yanka Kupala State University of Grodno, 22 Ozheshko Str., Grodno, 230023, Republic of Belarus

²Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, 89 Ady Lebedevoy Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

³Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voino-Yasenetsky, 1 Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

Various strategies have been implemented to prevent the COVID-19 spread both in Russia (self-isolation) and in Belarus (restrictive measures). They can be considered an unordinary stress-inducing situation that involves drastic changes in a lifestyle.

Our research goal was to analyze students' attitudes towards basic lifestyle components in both countries under various anti-epidemic strategies.

We interviewed 876 students from Krasnoyarsk who were self-isolated for 2.5 months and 1140 students from Grodno who did not face strict quarantine restrictions. We performed comparative assessment of changes in basic lifestyle components that occurred during the pandemic.

We established certain changes in subjective health self-assessment (more than a half of the students described it as bad), emotional state (subjective comfort index was between its acceptable level and a trend towards its deterioration). Acute deficiency of usual physical activity was mentioned by 35.4 % of the respondents from Krasnoyarsk and 29.5 % of their counterparts from Grodno ($p < 0.01$). Twenty-three point nine percent of the students from Grodno and 26.6 % from Krasnoyarsk gave up adhering to healthy sleep and nutrition regimes and this resulted in uncontrollable growth in body mass. The complex index of positive changes in a lifestyle, its maximum being seven scores, amounted to 4.15 ± 1.56 scores among the respondents in Krasnoyarsk against 4.46 ± 1.48 scores in the reference group ($p < 0.01$). Some respondents resorted to taking psychoactive substances in their search for subjective stability. Seven point seven percent of the students in Grodno and 4.8 % of their counterparts in Krasnoyarsk started smoking during that period; 28.9 % and 46.2 % of the respondents accordingly increased frequency and volumes of alcohol consumption ($p < 0.01$).

Therefore, the present study concentrated on analyzing specific attitudes towards lifestyles among students in two countries under various anti-epidemic strategies. The results provide significant information for both public healthcare organizations and educational establishments since they can be used as grounds for suggesting activities aimed at maintaining students' wellbeing and providing wider opportunities for young people to pursue a healthy lifestyle.

Keywords: lifestyle, physical health, mental health, students from universities in Russia, students from universities in Belarus, COVID-19 pandemic, lockdown, anti-epidemic strategies.

References

1. Bondareva N.L. Commitment to a healthy lifestyle in the conditions of the pandemic. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniya*, 2021, vol. 5, no. 3–1, pp. 122–127. DOI: 10.5281/zenodo.4677241 (in Russian).
2. Iohvidov V.V. Maintaining a healthy lifestyle in self-isolation. *Gumanitarnaya paradigma*, 2020, vol. 3, no. 14, pp. 8–15 (in Russian).
3. Advice for the public: Coronavirus disease (COVID-19). *WHO*, 2020. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public?> (24.10.2021).

© Shpakou A.I., Klimatchkaia L.G., Bocharova Yu.Yu., Dyachuk A.A., Shik O.Yu., 2022

Andrei I. Shpakou – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department for Theory of Physical Culture and Sports Medicine (e-mail: shpakov@grsu.by; tel.: +375 (297) 83-10-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4340-5211>).

Ludmila G. Klimatchkaia – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at the Department of Social Pedagogy and Social Work (e-mail: klimatskaya47@mail.ru; tel.: +7 (391) 228-09-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8926-2901>).

Yulia Yu. Bocharova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Social Pedagogy and Social Work (e-mail: bjulija1305@yandex.ru; tel.: +7 (902) 924-77-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8626-7977>).

Anna A. Dyachuk – Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Psychology (e-mail: danna@kspu.ru; tel.: +7 (902) 943-96-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1376-9014>).

Olga Yu. Shik – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Hygiene Department (e-mail: olgaskru@mail.ru; tel.: +7 (902) 927-83-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7000-3122>).

4. Van Duong T., Pham K.M., Do B.N., Kim G.B., Dam H.T.B., Le V.-T.T., Nguyen T.T.P., Nguyen H.T. [et al.]. Digital Healthy Diet Literacy and Self-Perceived Eating Behavior Change during COVID-19 Pandemic among Undergraduate Nursing and Medical Students: A Rapid Online Survey. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 19, pp. 7185. DOI: 10.3390/ijerph17197185
5. Bertrand L., Shaw K.A., Ko J., Deprez D., Chilibeck P.D., Zello G.A. The impact of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic on university students' dietary intake, physical activity, and sedentary behaviour. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 2021, vol. 46, no. 3, pp. 265–272. DOI: 10.1139/apnm-2020-0990
6. Briko N.I., Kagramanyan I.N., Nikiforov V.V., Suranova T.G., Chernyavskaya O.P., Polezhaeva N.A. Pandemic COVID-19. Prevention Measures in the Russian Federation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 4–13. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12 (in Russian).
7. Sychik S.I. Prevalence of behavioral risk factors that cause contagion with COVID-19 among population in Belarus: results obtained via cross-sectional study. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 4, pp. 4–11. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.01.eng
8. Potapova E.A., Zemlyanov D.A., Kondratyev G.V. Features of Life and Well-Being in Medical Students During Distance Learning in the Course of the COVID-19 Epidemic. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie*, 2021, vol. 26, no. 3, pp. 70–81. DOI: 10.17759/pse.2021260304 (in Russian).
9. Wu L., Guo X., Shang Z., Sun Z., Jia Y., Sun L., Liu W. China experience from COVID-19: Mental health in mandatory quarantine zones urgently requires intervention. *Psychol. Trauma*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 3–5. DOI: 10.1037/tra0000609
10. Sorokina E.A. Coronavirus Swedish Style. *Meditsinskaya antropologiya i bioetika*, 2020, vol. 1, no. 19, pp. 185–213. DOI: 10.33876/2224-9680/2020-1-19/11 (in Russian).
11. Milman E., Lee S.A., Neimeyer R.A. Social isolation and the mitigation of coronavirus anxiety: The mediating role of meaning. *Death Stud.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1080/07481187.2020.1775362
12. Odintsova M.A., Radchikova N.P., Yanchuk V.A. Assessment of the COVID-19 Pandemic Situation by Residents of Russia and Belarus. *Sotsial'naya psikhologiya i obshchestvo*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 56–77. DOI: 10.17759/sps.2021120204 (in Russian).
13. Son C., Hegde S., Smith A., Wang X., Sasangohar F. Effects of COVID-19 on College Students' Mental Health in the United States: Interview Survey Study. *J. Med. Internet Res.*, 2020, vol. 22, no. 9, pp. e21279. DOI: 10.2196/21279
14. Shanshieva L. Belarus' 2020: koronavirus i bol'shaya politika [Belarus 2020: Coronavirus and Big Politics]. *Evropeiskaya bezopasnost': sobytiya, otsenki, prognozy*, 2020, vol. 73, no. 57, pp. 20–23 (in Russian).
15. Gubenko S.I. Epidemic COVID-19. Belarus, Sweden, Switzerland, Denmark. Analysis, comparisons and forecasts. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2020, vol. 94, no. 16, part 1, pp. 50–68. DOI: 10.24411/2312-8089-2020-11601 (in Russian).
16. Karáth K. COVID-19: How does Belarus have one of the lowest death rates in Europe? *BMJ*, 2020, vol. 370, pp. m3543. DOI: 10.1136/bmj.m3543
17. Popov V.I., Milushkina O.Yu., Sudakov D.V., Sudakov O.V. Lifestyle and health characteristics of students during distance learning. *ZNISO*, 2020, no. 11, pp. 14–21. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-14-21 (in Russian).
18. Caputo E.L., Reichert F.F. Studies of Physical Activity and COVID-19 During the Pandemic: A Scoping Review. *J. Phys. Act. Health*, 2020, vol. 17, no. 12, pp. 1275–1284. DOI: 10.1123/jpah.2020-0406
19. Meda N., Pardini S., Slongo I., Bodini L., Zordan M.A., Rigobello P., Visioli F., Novara C. Students' mental health problems before, during, and after COVID-19 lockdown in Italy. *J. Psychiatr. Res.*, 2021, vol. 134, pp. 69–77. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2020.12.045
20. Zlotnikov A.G. COVID-19 pandemic in Belarus: demographic reflection. *Nauka i innovatsii*, 2021, vol. 215, no. 1, pp. 70–75 (in Russian).
21. Popov A.O. Biomeditsinskaya etika provedeniya psikhologicheskikh issledovaniy [Biomedical ethics of psychological research]. *Kachestvennaya klinicheskaya praktika*, 2010, no. 1, pp. 32–35 (in Russian).
22. Denecke K., Bamidis P., Bond C., Gabarron E., Househ M., Lau A.Y.S., Mayer M.A., Merolli M., Hansen M. Ethical issues of social media usage in healthcare. *Yearb. Med. Inform.*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 137–147. DOI: 10.15265/IY-2015-001
23. Leonova A.B., Kapitsa M.S. Metody sub"ektivnoi otsenki funktsional'nykh sostoyaniy cheloveka [Methods for subjective assessment of human functional states]. *Praktikum po inzhenernoi psikhologii i ergonomike*. In: Yu.K. Strelkov ed. Moscow, Izdatel'skii tsentr "Akademiya", 2003, pp. 136–167 (in Russian).
24. Ryzhkova A.E. Otnoshenie studentov pedagogicheskogo vuza k podderzhaniiu osnov zdorovogo obraza zhizni v period pandemii koronavirusa v usloviyakh vynuzhdennoi samoizolyatsii [Attitudes of a pedagogical HEE to maintaining a healthy lifestyle during the coronavirus pandemic in forced self-isolation]. *Matritsa nauchnogo poznaniya*, 2020, no. 11-2, pp. 23–28 (in Russian).
25. Rasskazova E.I., Leontiev D.A., Lebedeva A.A. Pandemic as a challenge to subjective well-being: anxiety and coping. *Konsul'tativnaya psikhologiya i psikhoterapiya*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 90–108. DOI: 10.17759/cpp.2020280205 (in Russian).
26. Flaudias V., Iceta S., Zerhouni O., Rodgers R.F., Billieux J., Llorca P.-M., Boudesseul J., de Chazeron I. [et al.]. COVID-19 pandemic lockdown and problematic eating behaviors in a student population. *J. Behav. Addict.*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 826–835. DOI: 10.1556/2006.2020.00053.
27. Carvalho V.O., Gois C.O. COVID-19 pandemic and home-based physical activity. *J. Allergy Clin. Immunol. Pract.*, 2020, vol. 8, no. 8, pp. 2833–2834. DOI: 10.1016/j.jaip.2020.05.018

Shpakou A.I., Klimatchkaia L.G., Bocharova Yu.Yu., Dyachuk A.A., Shik O.Yu. Young students' lifestyle as a health risk factor during the COVID-19 pandemic under various anti-epidemic strategies. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 119–127. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.11.eng

Получена: 21.02.2022

Одобрена: 10.06.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКА ИНФИЦИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

Т.И. Бурцева, В.А. Солопова, А.И. Байтелова, Н.Н. Рахимова

Оренбургский государственный университет, Россия, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13

В лабораториях, где непосредственно занимаются работой в области исследования и установления факта присутствия патогенных биологических агентов (ПБА) в биоматериале человека, существует высокий риск инфицирования персонала. В настоящее время именно условия труда персонала таких лабораторий должны быть подвергнуты тщательному анализу и проверке с введением последующих коррекционных мероприятий.

Проведен качественный анализ риска инфицирования клиничко-диагностических лабораторий с использованием дерева причин, дерева событий, и с учетом сочетанного действия предпосылок определен диапазон вероятности / риска наступления конечного события.

Выявлены причины инфицирования специалистов в лабораториях учреждений здравоохранения при работе с патогенными биологическими агентами. События рассмотрены на трех уровнях и четырех ветках развития. Произведен математический расчет возможного сочетания событий и определен весь диапазон вероятностей наступления событий. Количественный анализ риска показал, что вероятность инфицирования человека при самом неблагоприятном исходе будет держаться в диапазоне $0,9 \cdot 10^{-4}$ – $0,9 \cdot 10^{-3}$. Дан обоснованный вывод о специфике проводимых при этом работ и выявлено, что персонал лабораторий по определению лекарственной устойчивости микроорганизмов представляет группу с самым высоким риском инфицирования. Определены наиболее опасные варианты развития аварий, которые вносят наибольший вклад в риск, и выявлено, что вероятность инфицирования персонала, начиная с величины $1,3 \cdot 10^{-6}$, наступает при пренебрежении мерами иммунопрофилактики и при позднем выявлении заболевания.

Анализ путей развития аварий в лабораториях учреждений здравоохранения помогает вносить изменения в систему и влиять на факторы ее функционирования. Данный метод анализа позволит из всего комплекса мероприятий по защите и предупреждению аварий с разлитием патогенных биологических агентов выбрать нужные, которые при минимальных затратах смогут обеспечить снижение риска инфицирования персонала до приемлемого уровня.

Ключевые слова: профессиональный риск, условия труда, персонал лаборатории, инфицирование, патогенные биологические агенты, анализ опасностей, оценка риска.

За всю историю оценки профессиональных рисков наиболее часто используемыми были риски от воздействия факторов физического и химического характера. Особое внимание при гигиенической оценке рисков в рабочей зоне уделялось химическому фактору [1]. Безусловно, это связано с его преобладающей долей в общей структуре профессиональной заболеваемости среди всех профессиональных групп работающих за весь период исследований в этой области [2]. В истории нашей страны впервые термин «профессиональный риск» был упомянут Н.Ф. Измеровым и Э.И. Денисовым в 1959 г., а внимание биологическому фактору при оценке профпа-

тологий стали уделять только в начале 90-х гг, и до сих пор ему уделяется недостаточное внимание. Недооценка его влияния на условия труда работающих характерна для значительного числа профессиональных групп и отдельных профессий. При специальной оценке условий труда (СУОТ) наибольшее предпочтение оказывается именно физическим факторам. Это не совсем обоснованно, так как предполагает преобладание механистического подхода при гигиенической оценке факторов рабочей среды.

В приложении 9 Приказа Минтруда и соцзащиты от 24.01.2014 № 33н указано, что независимо от концентрации патогенных микроорганизмов, условия

© Бурцева Т.И., Солопова В.А., Байтелова А.И., Рахимова Н.Н., 2022

Бурцева Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности (e-mail: burtat@yandex.ru; тел.: 8 (922) 541-13-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7415-4545>).

Солопова Валентина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (e-mail: solopova.valentina@mail.ru; тел.: 8 (912) 340-83-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7407-2301>).

Байтелова Алина Ивановна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности (e-mail: baitelova@outlook.com; тел.: 8 (903) 367-36-36; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0760-6550>).

Рахимова Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (e-mail: rahimovann@mail.ru; тел.: 8 (903) 367-26-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0809-338X>).

труда при работе с ними относятся к соответствующему классу без проведения измерений¹. Биологический фактор определяется контактом с возбудителями инфекционных заболеваний. В воздухе рабочей зоны лабораторий микроорганизмы не определяются согласно правилам строгого режима биологической безопасности [3]. В то же время в соответствии с Приказом от 28.01.2021 № 29н² к биологическим факторам отнесены: грибы-продуценты, белково-витаминные концентраты (БВК), кормовые дрожжи, комбикорма, ферментные препараты, биостимуляторы, аллергены для диагностики и лечения, компоненты и препараты крови, иммунобиологические препараты, инфицированный материал и материал, зараженный или подозрительный на заражение микроорганизмами 3–4-й групп патогенности (опасности) или гельминтами [4]. Сюда же относятся биоматериалы, подозрительные на заражение или зараженные, в том числе: микроорганизмами 1–2-й групп патогенности (опасности), вирусами гепатитов, ВИЧ, биологические токсины (яды животных, рыб, растений), пыль животного и растительного происхождения, в том числе с бактериальным загрязнением. В настоящее время к этим факторам добавились вирусные культуры или изоляты коронавируса COVID-19.

С вышеперечисленными компонентами работают преимущественно в лабораториях, где персонал непосредственно занимается работой в области исследования и установления факта присутствия патогенных биологических агентов (ПБА) в биоматериале человека.

Производственная деятельность лаборатории состоит из большого числа звеньев работы и обращения с зараженными материалами и включает значительный объем ручного труда, интенсивное использование производственного оборудования, а также технических средств контроля воздушной среды, дезинфекционного оборудования и т.д. В связи с этим степень риска внутрилабораторного заражения зависит как от состоятельности мер инфекционного контроля, так и от уровня понимания данной проблемы персоналом. Исследования по оценке рисков, которым подвержен персонал внутренней среды помещений, проводились в работах Н.В. Ереминой [5]. Согласно новым руководствам по биологической безопасности в лабораторных условиях в связи с новым

коронавирусом (2019-nCoV), начиная с 2020 г. каждая лаборатория может проводить локальную (в рамках организации) оценку рисков, чтобы убедиться в наличии компетенций, необходимых для безопасного выполнения предполагаемых исследований, а также в наличии надлежащих мер по контролю рисков [6].

Также проведен ретроспективный анализ причин аварий с ПБА, а методы анализа риска возникновения внештатных ситуаций при работе с ПБА рассматриваются в диссертационных работах В.Н. Храмова и Е.А. Ставского [7]. Однако данные методы чаще всего применяются с использованием аналитики или общепринятых приемов статистического анализа, что носит в себе некоторую «субъективность».

Цель исследования – оценка риска инфицирования и биологической опасности персонала клиничко-диагностических лабораторий учреждений здравоохранения.

Материалы и методы. Объектом исследования является клиничко-диагностическая лаборатория ГБУЗ, условия работы в которой соответствуют действующему законодательству. Для исследования были использованы методы формального анализа, которые дают наивысшую «объективность», так как выполняются на качественном уровне, при этом факты отделяются от стереотипных мнений, и в расчет принимаются лишь научно обоснованные суждения [8]. Количественная оценка проводилась вручную с использованием всех возможных вариантов развития событий и вероятностей заражения персонала.

Методы деревьев отказов и событий позволяют учесть функциональные взаимосвязи элементов системы в виде логических схем, учитывающих взаимозависимость отказов элементов или групп элементов [9]. В общем случае как деревья отказов, так и деревья событий являются лишь наглядной иллюстрацией к простейшим вероятностным моделям. Однако они представляют значительный интерес для специалистов, связанных с эксплуатацией, обслуживанием и надзором технических объектов. Имея такую схему, специалист, даже не обладая основательными знаниями по теории вероятностей, может не только найти наиболее критический вариант развития событий, но и оценить ожидаемый риск, если соответствующее дерево событий или отказов дополнено статистическими данными [10].

¹ Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27 апреля 2020 г.): приказ Министерства труда и социальной защиты РФ № 33н от 24.01.2014 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499072756> (дата обращения: 12.11.2021).

² Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры: приказ Минздрава России от 28.01.2021 № 29н [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375353/ (дата обращения: 12.11.2021).

Результаты и их обсуждение. Проведен анализ инфицирования специалистов в лабораториях учреждений здравоохранения при работе с ПБА, выявлены причины и построена древовидная схема, представленная на рис. 1.

При построении дерева причин события располагали по уровням. На данной схеме они от 0-го до 5-го уровня ориентированы слева направо, что не противоречит логике построения и чтения схемы. Главное (конечное) событие занимает верхний – 0-й уровень, далее располагают события 1-го уровня (среди них могут быть и начальные), затем – 2-го уровня и далее до 4-го по представленной схеме [11].

Перечислим все исходные события для реализации рассматриваемого нами инфицирования. На 1-м уровне – то, что непосредственно ведет к заражению:

А – наличие биологических особенностей (биологическая нагрузка на объект, которая значительно увеличивает риск заражения);

В – наличие в системе человека;

С – присутствие в воздухе или на поверхности лаборатории микроорганизмов.

Далее по ветке А: А8 – нагрузка со стороны микроорганизмов; А7 – состояние здоровья человека;

А6 – сопутствующие заболевания (диабет); А5 – общее снижение иммунитета; А4 – первичная устойчивость, сохранность микроорганизмов; А3 – множественная лекарственная устойчивость; А2 – нарушение схемы лечения; А1 – недостаток финансирования.

По ветке С можем увидеть две категории предпосылок с равной степенью значимости:

♦ Е – нарушение санитарных норм и правил: Е11 – нарушение режима УФ-облучения; Е10 – нарушение норм и режима дезинфекции; Е9 – техническая неисправность оборудования; Е8 – снижение бактерицидного потока в связи с перепадами напряжения; Е7 – преждевременный выход из эксплуатации, дефект; Е6 – несвоевременная замена, превышение срока службы (естественное снижение бактерицидного потока); Е5 – нарушение режима дезинфекции; Е4 – неправильная концентрация дезинфектанта; Е3 – невключение лампы; Е2 – срок облучения меньше установленного; Е1 – неправильная эксплуатация (сразу после влажной уборки);

♦ D – аварийная ситуация, связанная с выбросом микроорганизмов: D11 – нарушение методики работы; D10 – ошибка (отсутствие опыта, нервное перенапряжение); D9 – утрата внимательности со

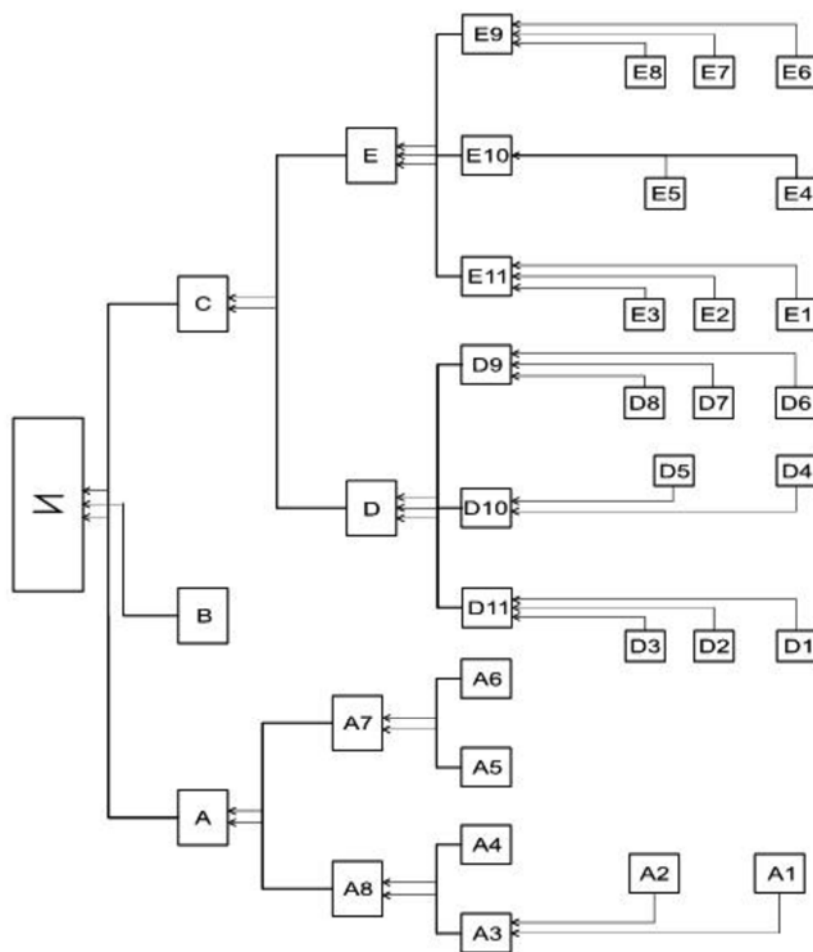


Рис. 1. Метод анализа в виде дерева. Дерево причин инфицирования персонала лаборатории

стороны специалиста; D8 – снижение концентрации и внимания; D7 – нарушения режима сна и бодрствования; D6 – переключение внимания на другой объект (отвлечение); D5 – новая методика; D4 – молодой специалист; D3 – отсутствие компетентности в новой методике; D2 – халатное отношение; D1 – недостаток знаний.

Анализ позволяет отследить взаимосвязь предпосылок с конечным событием. Инфицирование может возникнуть уже при встрече (контакте) человека и бактерии, то есть при сочетании ВС. Повышает этот риск блок А, порой он является самым определяющим в этом событии. В решении задачи определения, какая из предпосылок наиболее быстро ведет к реализации головного события, нельзя определенно выделить какую-либо одну.

Особенностью данного дерева является то, что все причины следующего слева направо уровня могут быть оценены как равные в связи с тем, что каждая из существующих причин может в равнозначной степени привести к возникновению одного из событий более высокого уровня. Например, минимальными предпосылками для реализации события D могут в равной степени быть события D9, D10, D11. А к ним в свою очередь ведут равные по значимости предпосылки. В большинстве своем они представлены человеческим фактором, и ими нельзя пренебречь по определению. Другой особенностью схемы является то, что мы в принципе не рассматриваем причины нахождения специалиста в данной системе. Это факт, априори связанный с тем, что большинство действий, направленных на исследование биоматериала в микробиологических и бактериологических лабораториях, совершает человек, самостоятельно или используя для этого технические установки и оборудование. Поэтому вероятностью его нахождения в данной системе можно пренебречь.

Вероятность головного события $P(I)$ предусматривается сочетанием нахождения специалиста в зоне повышенного риска с наличием в окружающей среде поверхности, будь то одежда или воздушное пространство помещения или бокса, какого-либо количества микробактерий (б). И в другом случае (а) при проявлении какой-либо биологической особенности организмов. Разработка сценариев по видам аварий логически переходит в технологию количественной оценки опасности [12]:

$$а) P(I) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C);$$

$$б) P(I) = P(B) \cdot P(C).$$

Каждую вероятность предыдущих событий можно представить по такой же схеме, например по биологической нагрузке:

$$P1(A) = P(A8) \cdot P(A7);$$

$$P2(A) = P(A8) + P(A7) - P(A8) \cdot P(A7).$$

Так как события A1, A2, A4, A5, A6, D3, D2, D1, D5, D4, D8, D7, D6, E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8 статистически зависимы друг от друга, то есть возникновение одного из них может привести к воз-

никновению другого, то $A1 = A2 = A4 = \dots = E7 = E8$. Вычислим их значение из общей вероятности этих событий, разделив 1 на количество основных событий $1 / 21 = 0,0476$.

Для начала необходимо найти вероятность A7 и A8, рассмотрев все возможные сочетания событий. Событие A7 может произойти в результате двух вариантов: «И», «ИЛИ», отсюда:

$$P_1(A7) = P(A5) \cdot P(A6) = 0,0476 \cdot 0,0476 = 0,0226;$$

$$P_2(A7) = P(A5) + P(A6) - P(A5) \cdot P(A6) = 0,0476 + 0,0476 - 0,0476 \cdot 0,0476 = 0,0929.$$

Аналогично были найдены все вероятности наступления события A8 с учетом всех сочетаний событий при вариантах «И» и «ИЛИ». Количественный анализ показал, что общая вероятность события A колеблется в пределах 0,0015–0,216 в зависимости от сочетанных или единичных предпосылок.

Также определялись $P(E)$ – вероятности наступления нарушения санитарных норм и правил, при этом в зависимости от сочетания факторов вероятность события E может принимать значения от 0,213 до 0,375. Аналогично просчитывалась вероятность по предпосылкам группы D, и было выявлено, что здесь тоже может произойти наложение событий, предшествующих ошибке, например, ввиду нарушения режима сна и бодрствования и любого события, которое провоцирует резкое отвлечение специалиста от проводимых манипуляций. Логичным было просчитать и эту вероятность [13]: $P_2(D9) = P(D8) + P(D7) \cdot P(D6) - P(D8) \cdot P(D7) \cdot P(D6) = 0,049$.

Для того чтобы определить весь диапазон вероятностей наступления события, просчитаны все возможные сочетания событий, представленные на рис. 2.

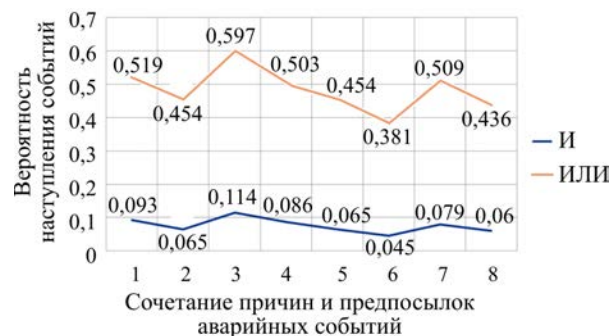


Рис. 2. Результаты расчета вероятностей наступления событий по веткам E и D схемы

На рис. 3 отражена структура «дерева событий» при разбрызгивании исследуемого биоматериала с ПБА. Сценарный подход к аварии с разбрызгиванием ПБА позволяет выделить [14]:

- ♦ четыре анализируемых исхода – нет инфицирования, выздоровление, заболевание, летальный исход;
- ♦ пять бифуркационных стадий, то есть стадий с разделением, качественной перестройкой, здесь – делением на 2–3 ветви (исхода);
- ♦ логико-вероятностную цепь, которая включает [15]:

а) инициирующее событие – факт аварии с разбрызгиванием и образованием капельно-жидкого аэрозоля (частота исходного события равна 1);

б) реализующий фактор I порядка – дисперсность аэрозоля;

в) реализующий фактор II порядка – возможность инфицирования;

г) реализующий фактор III порядка – сроки установления факта аварии;

д) реализующий фактор IV порядка – эффективные меры, предпринятые или нет в ходе событий;

е) фактор V порядка – исход аварии (выражен в трех конечных фактах: выздоровление, заболевание, летальный исход).

Частицы, содержащие ПБА, попадают в воздух лабораторий в результате проведения процедур, которые могут сопровождаться образованием аэрозолей. Крупнодисперсный аэрозоль (диаметр > 5 мкм) рас-

сеивается в пределах одного метра от источника. Для него характерно быстрое оседание из воздуха на кожу, одежду и рабочие поверхности в помещении. После высыхания влажных капель, находящихся в аэрозоле, образуются мельчайшие частицы (капельные ядра) диаметром от 1–5 мкм. В каждой такой частице может находиться от одной до нескольких жизнеспособных микробактерий. В течение длительного времени они могут сохраняться жизнеспособными, при вдыхании попадают в альвеолы легких и, как следствие, могут вызвать инфекционный процесс².

При образовании мелкодисперсного аэрозоля диаметром < 5 мкм оседание частиц замедляется, они дольше удерживаются в воздушном пространстве, и риск непосредственного вдыхания частиц с ПБА остается на высоком уровне. В условиях бактериологических и микробиологических лабораторий вероятность образования крупнодисперсного или

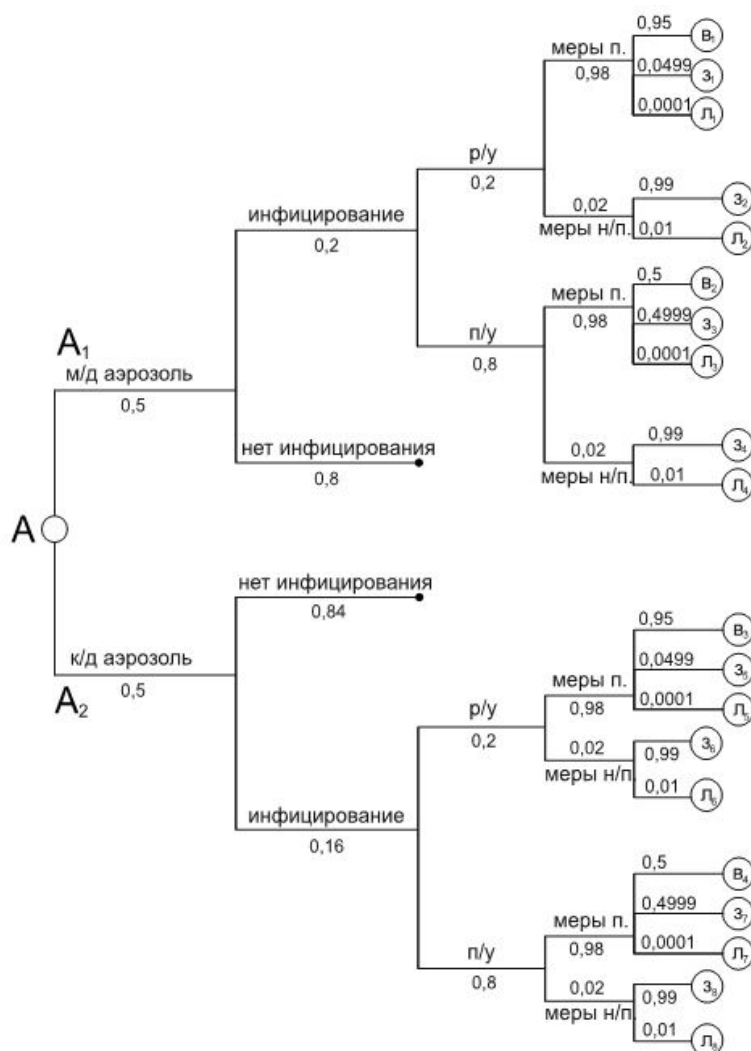


Рис. 3. Метод анализа в виде дерева. Дерево событий при разбрызгивании исследуемого биоматериала с ПБА

² Система инфекционного контроля в противотуберкулезных учреждениях: руководство / под ред. Л.С. Федоровой. – М.–Тверь: Изд-во «Триада», 2013. – 192 с.

Результаты количественной обработки по исходам событий

Условия		Ветка А ₁			Ветка А ₂		
		Исход событий	Обозначение	Значение	Исход событий	Обозначение	Значение
Раннее установление инфицирования	Меры приняты	Выздоровление	P (В ₁)	0,01862	Выздоровление	P (В ₃)	0,014896
		Заболевание	P (З ₁)	0,00097804	Заболевание	P (З ₅)	0,000782432
		Летальный исход	P (Л ₁)	0,00000196	Летальный исход	P (Л ₅)	0,000001568
	Меры не приняты	Выздоровление	–	–	Выздоровление	–	–
		Заболевание	P (З ₂)	0,000396	Заболевание	P (З ₆)	0,0003168
		Летальный исход	P (Л ₂)	0,000004	Летальный исход	P (Л ₆)	0,0000032
Позднее установление инфицирования	Меры приняты	Выздоровление	P (В ₂)	0,0392	Выздоровление	P (В ₄)	0,03136
		Заболевание	P (З ₃)	0,03919216	Заболевание	P (З ₇)	0,0311353728
		Летальный исход	P (Л ₃)	0,00000784	Летальный исход	P (Л ₇)	0,000006272
	Меры не приняты	Выздоровление	–	–	Выздоровление	–	–
		Заболевание	P (З ₄)	0,001584	Заболевание	P (З ₈)	0,0012672
		Летальный исход	P (Л ₄)	0,000016	Летальный исход	P (Л ₈)	0,0000128

мелкодисперсного аэрозоля может быть оценена как равная. Это связано с особенностями работы: при центрифугировании и работе с ПЦР-оборудованием больше риск образования мелкодисперсного аэрозоля с частицами ПБА, тогда как при пипетировании, переливании, взбалтывании и других неавтоматизированных манипуляциях с биоматериалом образуются чаще крупнодисперсные его частицы. На основании этого вероятность образования каждого из двух видов аэрозолей принималась равной 0,5.

Ветка А₁. В случае аварийной ситуации с образованием мелкодисперсного аэрозоля считается, что негативный исход большинства аварий может быть купирован за счет действия систем индивидуальной и коллективной защиты (от перчаток и маски до ультрафиолетовой бактерицидной установки). Многочисленными статистическими исследованиями выявлено, что истечение событий со своевременным установлением факта аварии и применением всех защитных мер происходит на практике не более чем в 80 % случаев [16]. Остальные 20 % приходятся на первичное инфицирование специалиста, отсюда вероятность инфицирования примем за 0,1 (80 % от 0,5), вероятность его отсутствия – 0,4 соответственно.

Особенность оценки такого факта, как инфицирование человека микробактериями, состоит в том, что длительный латентный характер первичного инфицирования не всегда позволяет выявить его в короткие сроки, а результаты диагностических исследований могут быть необъективны. Отсюда на 3-й бифуркационной стадии вероятность раннего установления факта инфицирования будет значимо меньше (0,02), чем позднего (0,08).

На следующем этапе рассматривался факт принятия или отсутствия эффективных мер и приемов лечения, которые практически всегда в дальнейшем дают положительный эффект, отсюда:

- меры приняты (эффективны) в 98 % – 0,0196;
- не приняты (человеческий фактор, неэффективны, нарушена схема лечения) в 2 % – 0,0004.

В свою очередь принятые сразу после установления инфицирования меры дают положительный эффект в лечении заболеваний и приводят к:

- выздоровлению с вероятностью 0,95 – 0,01862;
- заболеванию (0,0499) – 0,00097804;
- летальному исходу (0,0001) – 0,00000196.

Если меры не приняты, можем говорить о двух конечных исходах – заболевании (0,00038) и летальном исходе (0,00002).

Аналогично по сценарию позднего установления инфицирования биологическим агентом: выздоровление после правильно подобранной иммунопрофилактики и экспресс-лечения наступает – 0,0392, тогда как развившееся заболевание (0,0384) будет требовать дополнительных схем и методик лечения, а также более продолжительного времени. Летальный исход исключить нельзя – 0,000784. При отказе от лечения или его неправильном выборе так же, как и в первом случае, мы уже не говорим о раннем выздоровлении, развитие заболевания принимает значение – 0,00158, а вероятность летального исхода – 0,000016. Результаты количественной обработки по исходам событий представлены в таблице.

Проверялась истинность – все конечные вероятности исходов в результате бифуркационных стадий по ветке образования мелкодисперсного аэрозоля должны были быть равными 0,5:

$$P(A_1) = (0,01862 + 0,00097804 + 0,00000196 + 0,000396 + 0,000004 + 0,0392 + 0,03919216 + 0,00000784 + 0,001584 + 0,000016) + 0,4 = 0,1 + 0,4 = 0,5.$$

Вероятность летального исхода $P(L_{мда})$ в зависимости от ситуации может принимать значения 0,00000196; 0,00002; 0,00000784; 0,000016. Наиболее неблагоприятный сценарий происходит при позднем установлении факта инфицирования и пренебрежении эффективными мерами лечения и профилактики и составляет 0,00002.

Аналогично определялись вероятности по ветке А₂ с образованием крупнодисперсного аэрозоля.

По ветке А также была проверена истинность:

$$P(A_2) = (0,014896 + 0,000782432 + 0,000001568 + 0,0003168 + 0,0000032 + 0,03136 + 0,0311353728 + 0,000006272 + 0,0012672 + 0,0000128) + 0,42 = 0,8 + 0,42 = 0,5.$$

Вероятность летального исхода по этой ветке держится в диапазоне 0,000001568–0,000016. При оценке биологического фактора самой затруднительной является оценка по ветке заболеваемости, потому как необходимо учитывать все особенности биологического фактора, контагиозность бактерии, МЛУ, а в дальнейшем и риск поражения окружающих заболевшего.

Наиболее неблагоприятный сценарий. Вероятность аварий при проведении лабораторных исследований равна $8,3 \cdot 10^{-2}$ в год.

Рассчитывался риск (R) смертельного исхода для специалиста в зависимости от развития ситуации путем произведения его вероятности на вероятность аварийных ситуаций в год, результаты представлены на рис. 4.

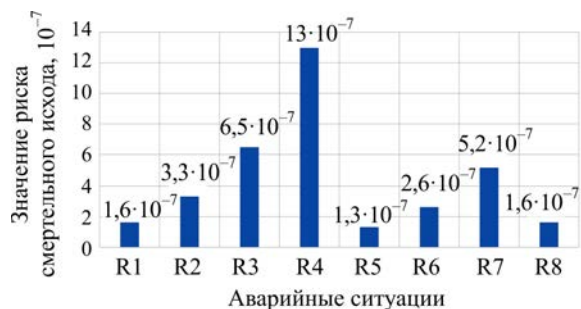


Рис. 4. Результаты расчета риска смертельного исхода для специалиста в зависимости от развития ситуации при разбрызгивании исследуемого биоматериала с ПБА

Анализ показал, что наибольший риск при пренебрежении мерами иммунопрофилактики и лечения при позднем выявлении инфицирования в результате аварии с образованием аэрозоля составляет от $1,3 \cdot 10^{-6}$.

В итоге, просчитав все вероятности, перешли к реализации цели построения дерева причин – определению вероятности головного события. Оценив все сочетания предпосылок, определили диапазон вероятности / риска наступления конечного события I. Если рассматривать сочетанную реализацию единичных причин по ветке А, которая представлена биологическими особенностями, то вероятность инфицирования человека в совокупности с другими причинами будет держаться в диапазоне $0,9 \cdot 10^{-4}$ – $0,9 \cdot 10^{-3}$. Это характеризует самое неблагоприятное течение событий, которое может реализоваться в лаборатории по определению лекарственной устойчивости микробактерий. Поэтому врачи-лаборанты, проводящие исследования на лекарственную устойчивость бактерий и множественную лекарственную устойчивость, представляют собой группу работников с самым высоким риском инфицирования. Если рассматривать ситуацию, когда срабатывает только один из биологических факторов, значение вероятности такого события варьируется в пределах от $2 \cdot 10^{-3}$ – $7 \cdot 10^{-3}$ до $9 \cdot 10^{-2}$.

Определив все вытекающие события и соединив их в логическую последовательность, удалось выявить потенциальные сценарии аварии. Использо-

вляя анализ дерева событий, определили наиболее опасные варианты развития аварии, узлы, которые, по нашему мнению, вносят наибольший вклад в риск из-за их высокой вероятности реализации или потенциального ущерба.

Данная методика оценки опасности инфицирования персонала лабораторий основана на рискологических подходах, при которых отсутствие опасности обеспечивается исключением недопустимых рисков. Величины приемлемого уровня риска, например, для обеспечения качества питьевой воды, по данным рекомендаций ВОЗ составляют 10^{-5} .

Оценка риска обеспечивает понимание возможных опасных событий, их причин и последствий, вероятности их возникновения и принятия различных решений. Анализируя определения, встречающиеся в литературе, можно сделать вывод, что в итоге величина риска определяется величиной возможного ущерба, даже в тех случаях, когда на это нет прямых указаний [17]. В мировой практике существует множество методов анализа риска возникновения внештатных ситуаций, например:

- ♦ метод ЕТА (Event Tree Analysis) является графическим методом представления взаимоисключающих последовательностей событий, следующих за появлением исходного события, в соответствии с функционированием и нефункционированием систем, разработанных для смягчения последствий опасного события. Метод может быть применен для качественной и / или количественной оценки. Последовательность событий легко представить в виде дерева событий, и поэтому с помощью ЕТА легко установить ухудшающие или смягчающие последствия события, принимая во внимание дополнительные системы, функции или барьеры;

- ♦ анализ «галстук-бабочка» представляет собой схематический способ описания и анализа пути развития опасного события от причин до последствий. Данный метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей и анализ последствий с помощью дерева событий. Однако основное внимание метода «галстук-бабочка» сфокусировано на барьерах между причинами и опасными событиями, последствиями. Диаграммы «галстук-бабочка» могут быть построены на основе выявленных неисправностей и деревьев событий, но чаще их строят непосредственно в процессе проведения мозгового штурма. Анализ «галстук-бабочка» используют для исследования риска на основе демонстрации диапазона возможных причин и последствий. Метод следует применять в ситуации, когда сложно провести полный анализ дерева неисправностей, или когда исследование в большей мере направлено на создание барьеров или средств управления для каждого пути отказа. Анализ «галстук-бабочка» часто значительно более прост для понимания, чем анализ дерева событий или дерева неисправностей, и, следовательно, он может быть полезен для обмена информацией при использовании

более сложных методов. Входными данными метода является информация о причинах и последствиях опасных событий, риске, барьерах и средствах управления, которые могут их предотвратить, смягчить или стимулировать;

♦ байесовский анализ и сеть Байеса. Создание байесовского анализа приписывают преподобному Томасу Байесу. Для оценки полной вероятности он предложил объединить априорные данные с апостериорными. События, отражающие действие «причин», в данном случае называют гипотезами, так как они – предполагаемые события, повлекшие данное. Безусловную вероятность справедливости гипотезы называют априорной (насколько вероятна причина вообще), а условную – с учетом факта произошедшего события – апостериорной (насколько вероятна причина оказалась с учетом данных о событии)³;

♦ метод аналитических сетей (МАС) является обобщением метода анализа иерархий (МАИ), учитывающего зависимости и обратные связи между элементами. Отличительными чертами МАС являются: структуризация всех элементов, описывающих проблему в виде сети, использование относительного способа измерения предпочтений путем парных сравнений (позволяет универсальным способом решить проблему измерения критериев в разных шкалах) и возможность учитывать и оценивать взаимное влияние критериев и выбираемых альтернатив (другие методы не позволяют это делать). Многие проблемы принятия решений нельзя представить иерархическими структурами, потому что в них существуют зависимости и взаимодействия между элементами разных уровней иерархии. Кроме того, существуют задачи, в которых не только важность критериев влияет на приоритеты альтернатив, но также важность альтернатив влияет на приоритеты критериев [18];

♦ дерево решений – это графическое представление процесса принятия решения, в котором отображаются возможные варианты решений, состояния природы, вероятности их наступления, а также платежи (выигрыши или убытки) при различных сочетаниях состояний природы и возможных решений. Процедура построения дерева решений на основе постановки задачи на содержательном уровне требует разграничения доступных решений и предполагаемых случайных событий, которые должны быть сформулированы в виде полной группы событий с известными вероятностями их наступления⁴.

Проанализировав все перечисленные выше методы, остановили выбор на дереве решений, считая, что этот метод наиболее точно ответит на поставленные в данной работе задачи.

Методики различных по специфике рискологических подходов отражены в работах современных ученых разных стран [19–22]. Однако разработка методического сопровождения выявленных факторов риска и локальной нормативно-технической документации для клиничко-диагностических лабораторий требует дальнейшего совершенствования.

Выводы. Количественный анализ риска показал, что вероятность инфицирования человека при самом неблагоприятном исходе событий будет держаться в диапазоне $0,9 \cdot 10^{-4}$ – $0,9 \cdot 10^{-3}$. При срабатывании только одного из биологических факторов значение вероятности инфицирования уменьшается.

С помощью метода построения дерева событий можно проанализировать аварию с разбрызгиванием ПБА в лаборатории и установить наиболее неблагоприятный сценарий ее развития. Анализ ветвей и путей развития аварии позволяет вносить изменения в систему и влиять на факторы ее функционирования. Поэтому последним этапом логико-вероятностного подхода к оценке и анализу риска является разработка рекомендаций по его уменьшению. Наибольший уклон при этом лучше делать в сторону разработки мер безопасности в области предупреждения аварийной ситуации. Система мероприятий по уменьшению вероятности возникновения аварийной ситуации с поступлением в рабочую зону ПБА включает: регулярное обучение биобезопасным методам и приемам работы, сведение до минимума перенапряжения и эмоциональной нагрузки со стороны специалистов, использование надежного оборудования, отслеживание поломок, правильный подбор защитного оборудования, боксов биологической безопасности, соблюдение режима проветривания и дезинфекции, грамотное проектирование отделений лабораторных исследований и т.д. Из всех предложенных мер по защите и предупреждению аварий с разлитием ПБА необходимо выбрать те, которые при минимальных затратах могут обеспечить снижение риска до приемлемого уровня или при заданных средствах способны обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации отделений лаборатории.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

³ Круи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента / пер. с англ.; науч. ред. В.Б. Минасян. – М.: Юрайт, 2018. – 390 с.

⁴ Lantz B. Machine Learning with R. – Birmingham–Mumbai: Packt Publishing, 2013. – 396 p.

Список литературы

1. Оценка риска для работающих при разных технологиях применения пестицидов / В.Н. Ракитский, Л.С. Тарапова, О.В. Артемова, А.В. Ильницкая, С.Г. Федорова // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1454–1459. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1454-1459
2. RoB-SPEO: A tool for assessing risk of bias in studies estimating the prevalence of exposure to occupational risk factors from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury / F. Pega, S.L. Norris, C. Backes, L.A. Bero, A. Descatha, D. Gagliardi, L. Godderis, T. Loney [et al.] // Environ. Int. – 2020. – Vol. 135. – P. 105039. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105039
3. Бурдунюк О.С., Хамза Х.А. Биологические риски и лабораторные инфекции // Научные горизонты. – 2020. – Т. 38, № 10. – С. 117–139.
4. Чернов А.Н., Мифтахов Н.Р. Современные требования при работе с патогенными биологическими агентами в ветеринарных лабораториях Российской Федерации // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2019. – № 21. – С. 452–454.
5. Еремина Н.В., Жанатаев А.К., Дурнев А.Д. Генотоксические биомаркеры у сотрудников патологоанатомических лабораторий, работающих с формальдегидом (систематический обзор) // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 8. – С. 792–802. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-792-802
6. Совершенствование методических подходов к оценке риска биологических факторов внутренней среды помещений / Т.Д. Гриценко, Н.В. Дудчик, А.Н. Ганькин, И.А. Просвирякова, А.Е. Пшегорода // Здоровье и окружающая среда: сборник материалов республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены»: в 2 т. – Минск, 2017. – С. 14–16.
7. Вероятность реализации биорисков при проведении работ с ПБА I–II группы / Т.А. Малюкова, А.В. Бойко, Ю.А. Панин, В.Е. Безсмертный, В.В. Кутырев // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2016. – Т. 21, № 3. – С. 136–145. DOI: 10.18821/1560-9529-2016-21-3-136-145
8. Chen S., Liu J., Xu Y. A logical reasoning based decision making method for handling qualitative knowledge // International Journal of Approximate Reasoning. – 2021. – Vol. 129. – P. 49–63. DOI: 10.1016/j.ijar.2020.11.003
9. Жуланов Е.С., Игнатенко Д.Ю., Шолохов А.А. Сравнительный анализ методов качественной и количественной оценки рисков // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.17 (27). – С. 139–142.
10. Щербаков С.Ю., Фокин А.А., Заборских А.А. Исследование опасных факторов производственной среды и факторов риска травмирования // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 58.
11. Баловцев В.А., Скопинцева О.В., Коликов К.С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, закрытии и временной остановке угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6. – С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94
12. Ляпин М.Н. К технологиям оценки опасности при работе с патогенными биологическими агентами // Инфекция и иммунитет. – 2017. – № 5. – С. 1059.
13. Солопова В.А., Дьякова М.М. Анализ динамики количества профессиональных заболеваний по биологическому фактору // Actual problems of applied sciences. – 2018. – № 4. – С. 5–9.
14. Медяник В.А., Сало А.В., Черных А.В. Совершенствование методов идентификации и анализа опасностей и производственного риска // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2020. – Т. 33, № 3. – С. 133–137.
15. Бодиев С.Г., Цевенова К.Е., Тимофеев С.С. Комплексная оценка профессиональных рисков для здоровья медицинских работников // XXI век. Техносферная безопасность. – 2020. – Т. 5, № 3 (19). – С. 284–291. DOI: 10.21285/2500-1582-2020-3-284-291
16. Сайфутдинов Р.А., Козлов А.А. Анализ производственного травматизма при оценке профессиональных рисков // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2020. – Т. 89, № 1. – С. 60–69.
17. Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М. Риск-анализ в экономике. – М.: Экономика, 2010. – 318 с.
18. Середенко Н.Н. Моделирование неопределенности в задачах принятия решений с использованием метода аналитических сетей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 3. – С. 88–97.
19. Бабанов С.А., Будах Д.С. Профессиональные заболевания легких: статистические показатели, оценка рисков и биологические маркеры // Медицина неотложных состояний. – 2018. – Т. 88, № 1. – С. 142–150. DOI: 10.22141/2224-0586.1.88.2018.124982
20. Дубель Е.В., Унгуряну Т.Н. Оценка восприятия медицинскими работниками факторов риска здоровью // Экология человека. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 33–41. DOI: 10.33396/1728-0869-2015-2-33-41
21. Proactive Risk Assessment for Ebola-Infected Patients: A Systematic Approach to Identifying and Minimizing Risk to Healthcare Personnel / R. Fernandez, S. Mitchell, R. Ehrmantraut, J.S. Meschke, N.J. Simcox, S.A. Wolz, S.H. Parker // Infect. Control Hosp. Epidemiol. – 2016. – Vol. 37, № 7. – P. 867–871. DOI: 10.1017/ice.2016.78
22. Occupational risk factors for severe acute respiratory coronavirus virus 2 (SARS-CoV-2) infection among healthcare personnel: A cross-sectional analysis of subjects enrolled in the COVID-19 Prevention in Emory Healthcare Personnel (COPE) study / J. Howard-Anderson, C. Adams, A.C. Sherman, W.C. Dube, T.C. Smith, N. Edupuganti, N. Chea, S.S. Magill [et al.] // Infect. Control Hosp. Epidemiol. – 2022. – Vol. 43, № 3. – P. 381–386. DOI: 10.1017/ice.2021.54

Качественный анализ и оценка риска инфицирования персонала клинично-диагностических лабораторий / Т.И. Бурцева, В.А. Солопова, А.И. Байтелова, Н.Н. Рахимова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 128–138. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.12

UDC 005.52: 005.334: 616.9: 616-051
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.12.eng



Research article

INFECTION OF PERSONNEL WORKING IN CLINICAL AND DIAGNOSTIC LABORATORIES: QUALITATIVE ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT

T.I. Burtseva, V.A. Solopova, A.I. Baitelova, N.N. Rakhimova

Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation

Personnel who work in laboratories and directly deal with detecting and examining pathogenic biological agents (PBA) in human biomaterials have to face high risks of becoming infected. At present, working conditions at workplaces of personnel in such laboratories are to be analyzed and checked thoroughly with subsequent implementation of relevant correction measures.

We performed qualitative analysis of infection risks in clinical and diagnostic laboratories using a reason tree and event tree analysis and determined a risk probability range for an ending event considering combined effects produced by preconditions.

We revealed basic reasons why personnel in medical laboratories became infected when working with PBA. The events were considered at three levels and four directions in their development. We performed mathematical calculation of possible event combinations and determined the whole probability range for occurrence of the events. Quantitative risk analysis showed that a probability of a person becoming infected remained within $0.9 \cdot 10^{-4}$ – $0.9 \cdot 10^{-3}$ range even in case of the most unfavorable outcome. The study provides a well-substantiated conclusion about peculiarities of work tasks accomplished in laboratories; we established that laboratory personnel who were involved in determining drug resistance of microbacteria had the highest risks of infection. The most hazardous scenarios of emergencies were identified; they made the highest contribution to the analyzed risk. We established that a probability of personnel becoming infected that starts with the value being $1.3 \cdot 10^{-6}$ occurs when immune prevention is neglected and a disease is revealed too late.

It is advisable to analyze ways how emergencies develop in medical laboratories since this helps to make necessary amendments in the system and influence factors of its functioning. This analysis procedure gives an opportunity to select the most relevant measures for protection and prevention of emergencies involving PBA leakage out of all the available ones. These measures can reduce risks of infection for personnel down to their acceptable levels.

Keywords: occupational risk, working conditions, laboratory personnel, infection, pathogenic biological agents, hazard analysis, risk assessment.

References

1. Rakitskii V.N., Tarasova L.S., Artemova O.V., Il'nitskaya A.V., Fedorova S.G. The risk assessment for employees working under different technologies of application of pesticides. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1454–1459. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1454-1459 (in Russian).
2. Pega F., Norris S.L., Backes C., Bero L.A., Descatha A., Gagliardi D., Godderis L., Loney T. [et al.]. RoB-SPEO: A tool for assessing risk of bias in studies estimating the prevalence of exposure to occupational risk factors from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ. Int.*, 2020, vol. 135, pp. 105039. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105039
3. Burduniuc O.S., Hamza H.A. Biological risks and laboratory-acquired infections. *Nauchnye gorizonty*, 2020, vol. 38, no. 10, pp. 117–139 (in Russian).
4. Chernov A.N., Miftakhov N.R. Sovremennye trebovaniya pri rabote s patogennymi biologicheskimi agentami v veterinarnykh laboratoriyakh Rossiiskoi Federatsii [Modern requirements to working with pathogenic biological agents in veterinary laboratories of the Russian Federation]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov sel'skogo khozyaistva*, 2019, no. 21, pp. 452–454 (in Russian).

© Burtseva T.I., Solopova V.A., Baitelova A.I., Rakhimova N.N., 2022

Tatiana I. Burtseva – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Life Safety (e-mail: burtat@yandex.ru; tel.: +7 (922) 541-13-09; ORCID: <https://0000-0001-7415-4545>).

Valentina A. Solopova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Life Safety (e-mail: solopova.valentina@mail.ru; tel.: +7 (912) 340-83-01; ORCID: <https://0000-0002-7407-2301>).

Alina I. Baitelova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Life Safety (e-mail: baitelova@outlook.com; tel.: +7 (903) 367-36-36; ORCID: <https://0000-0003-0760-6550>).

Natalia N. Rakhimova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Life Safety (e-mail: rahimovann@mail.ru; tel.: +7 (903) 367-26-06; ORCID: <https://0000-0003-0809-338X>).

5. Eremina N.V., Zhanataev A.K., Durnev A.D. Genotoxic biomarkers in employees of pathomorphological laboratories working with formaldehyde (systematic review). *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 8, pp. 792–802. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-792-802 (in Russian).
6. Gritsenko M., Dudchik N.V., Gankin A.N., Prosviryakova I.A., Pshegroda A.E. Sovershenstvovanie metodicheskikh podkhodov k otsenke riska biologicheskikh faktorov vnutrennei sredy pomeshchenii [Improvement of methodological approaches to assessing the risk of biological factors of the internal environment of premises]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda: sbornik materialov respublikanskoj nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 90-letiyu respublikanskogo unitarnogo predpriyatiya "Nauchno-prakticheskii tsentr gigieny"*, Minsk, 2017, pp. 14–16 (in Russian).
7. Malyukova T.A., Boiko A.V., Panin Yu.A., Bezsmertny V.E., Kutyrev V.V. Probability of biorisk occurrence attached to the performance of work with pathogenic biologic agents of the I-II groups of hazard. *Epidemiologiya i infeksionnye bolezni*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 136–145. DOI: 10.18821/1560-9529-2016-21-3-136-145 (in Russian).
8. Chen S., Liu J., Xu Y. A logical reasoning based decision making method for handling qualitative knowledge. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2021, vol. 129, pp. 49–63. DOI: 10.1016/j.ijar.2020.11.003
9. Zhulanov E.S., Ignatenko D.Yu., Sholokhov A.A. Sravnitel'nyi analiz metodov kachestvennoi i kolichestvennoi otsenki riskov [Comparative analysis of qualitative and quantitative risk assessment methods]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2018, no. 12.17 (27), pp. 139–142 (in Russian).
10. Sherbakov S.Yu., Fokin A.A., Zaborskikh A.A. Research of industrial environment hazards and injury risk factors. *Nauka i obrazovanie*, 2020, vol. 3, no. 2, pp. 58 (in Russian).
11. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2020, no. 6, pp. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94 (in Russian).
12. Lyapin M.N. K tekhnologiyam otsenki opasnosti pri rabote s patogennymi biologicheskimi agentami [On hazard assessment technologies when working with pathogenic biological agents]. *Infektsiya i immunitet*, 2017, no. 5, pp. 1059 (in Russian)
13. Solopova V.A., D'yakova M.M. Analiz dinamiki kolichestva professional'nykh zabolevaniy po biologicheskomu faktoru [Analysis of the number of occupational diseases as per the biological factor taken in dynamics]. *Actual problems of applied sciences*, 2018, no. 4, pp. 5–9 (in Russian).
14. Medyanik V.A., Salo A.V., Chernykh A.V. Improvement of methods for identification and analysis of hazards and industrial risk. *Vestnik Luganskogo natsional'nogo universiteta imeni Vladimira Dal'ya*, 2020, vol. 33, no. 3, pp. 133–137 (in Russian).
15. Bodienkov S.G., Tsevenova K.E., Timofeev S.S. Comprehensive assessment of professional risks to the health of healthcare workers. *XXI vek. Tekhnosfermaya bezopasnost'*, 2020, vol. 5, no. 3 (19), pp. 284–291. DOI: 10.21285/2500-1582-2020-3-284-291 (in Russian).
16. Sayfutdinov R.A., Kozlov A.A. Analysis of industrial injuries in the evaluation of professional risk. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, vol. 89, no. 1, pp. 60–69 (in Russian).
17. Tikhomirov N.P., Tikhomirova T.M. Risk-analiz v ekonomike [Risk analysis in economics]. Moscow, Ekonomika, 2010 (in Russian).
18. Seredenko N.N. Modelirovanie neopredelennosti v zadachakh prinyatiya reshenii s ispol'zovaniem metoda analiticheskikh setei [Modeling uncertainty in decision-making problems using the method of analytical networks]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2012, no. 3, pp. 88–97 (in Russian).
19. Babanov S.A., Budash D.S. Occupational lung diseases: statistical indicators, risk assessment and biological markers. *Medsitina neotlozhnykh sostoyanii*, 2018, vol. 88, no. 1, pp. 142–150. DOI: 10.22141/2224-0586.1.88.2018.124982 (in Russian).
20. Dubel E.V., Unguryanu T.N. Estimation of health risk factors perception by medical workers. *Ekologiya cheloveka*, 2015, vol. 22, no. 2, pp. 33–41. DOI: 10.33396/1728-0869-2015-2-33-41 (in Russian).
21. Fernandez R., Mitchell S., Ehrmantraut R., Meschke J.S., Simcox N.J., Wolz S.A., Parker S.H. Proactive Risk Assessment for Ebola-Infected Patients: A Systematic Approach to Identifying and Minimizing Risk to Healthcare Personnel. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, 2016, vol. 37, no. 7, pp. 867–871. DOI: 10.1017/ice.2016.78
22. Howard-Anderson J., Adams C., Sherman A.C., Dube W.C., Smith T.C., Edupuganti N., Chea N., Magill S.S. [et al.]. Occupational risk factors for severe acute respiratory coronavirus virus 2 (SARS-CoV-2) infection among healthcare personnel: A cross-sectional analysis of subjects enrolled in the COVID-19 Prevention in Emory Healthcare Personnel (COPE) study. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, 2022, vol. 43, no. 3, pp. 381–386. DOI: 10.1017/ice.2021.54

Burtseva T.I., Solopova V.A., Baitelova A.I., Rakhimova N.N. Infection of personnel working in clinical and diagnostic laboratories: qualitative analysis and risk assessment. Health Risk Analysis, 2022, no. 2, pp. 128–138. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.12.eng

Получена: 07.12.2021

Одобрена: 26.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

УДК 613.6: 616.9: 578.834.1
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.13

Читать
онлайн



Научная статья

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФИЦИРОВАНИЯ SARS-COV-2 У РАБОТНИКОВ МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

**С.С. Смирнова^{1,2}, И.А. Егоров¹, Н.Н. Жуйков¹, Л.Г. Вяткина³,
А.Н. Харитонов³, А.В. Семенов^{1,4}, О.В. Морова^{2,5}**

¹Екатеринбургский научно-исследовательский институт вирусных инфекций ФБУН «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»» Роспотребнадзора, Россия, 620030, г. Екатеринбург, ул. Летняя, 23

²Уральский государственный медицинский университет, Россия, 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3

³Центр общественного здоровья и медицинской профилактики, Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 78А/2

⁴Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета имени Первого президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

⁵Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области, Россия, 620078, г. Екатеринбург, пер. Отдельный, 3

Пандемия COVID-19 повлияла на функционирование всех государственных институтов, среди которых особое место занимает система здравоохранения. Работники медицинских организаций стали незащищенной и активно вовлекаемой в эпидемический процесс категорией населения. Результаты ряда исследований свидетельствуют об относительном риске инфицирования работников медицинских организаций COVID-19, до 11,6 раза превышающем общепопуляционный уровень. Доля работников медицинских организаций в структуре заболевших COVID-19 в разных странах варьируется – от 4,2 % в Китае до 17,8 % в США. По данным официальной регистрации, доля работников медицинских организаций, пострадавших во внутрибольничных очагах COVID-19, в субъектах Уральского и Сибирского федеральных округов в 2020 г. составила 68,6 %.

Инфицированию работников медицинских организаций SARS-CoV-2 способствует высокий эпидемический потенциал вируса, интенсивные массовые контакты с пациентами и коллегами. Изучение всего спектра факторов риска инфицирования медицинских работников SARS-CoV-2 является актуальным вопросом для обсуждения.

В ходе исследования была использована «Карта эпидемиологического расследования заболевания новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) у медицинского работника», размещенная на онлайн-сервисе Google Cloud Platform. В исследовании приняли участие 613 работников медицинских организаций различного профиля. Применялись социологические, эпидемиологические и статистические методы исследования.

© Смирнова С.С., Егоров И.А., Жуйков Н.Н., Вяткина Л.Г., Харитонов А.Н., Семенов А.В., Морова О.В., 2022

Смирнова Светлана Сергеевна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, доцент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы (e-mail: smirnova_ss69@mail.ru; тел.: 8 (908) 917-59-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-4611>).

Егоров Иван Андреевич – младший научный сотрудник Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (e-mail: egorov_ia@eniivi.ru; тел.: 8 (922) 127-66-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7153-2827>).

Жуйков Николай Николаевич – научный сотрудник Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (e-mail: zhuykov_nn@eniivi.ru; тел.: 8 (912) 263-22-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7018-7582>).

Вяткина Людмила Геннадьевна – врач-статистик (e-mail: lus-v2@mail.ru; тел.: 8 (912) 604-09-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1944-3827>).

Харитонов Александр Николаевич – исполняющий обязанности главного врача (e-mail: ek-han@mail.ru; тел.: 8 (912) 622-00-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-5014>).

Семенов Александр Владимирович – доктор биологических наук, руководитель, профессор кафедры экспериментальной биологии и биотехнологии (e-mail: alexvsemenov@gmail.com; тел.: 8 (922) 119-41-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-8219>).

Морова Ольга Васильевна – врач-эпидемиолог отдела эпидемиологических экспертиз, аспирант кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации санэпидслужбы (e-mail: ya.olga-morova@yandex.ru; тел.: 8 (904) 170-64-89; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-374X>).

Установлено, что работа в условиях инфекционного госпиталя в 1,8 раза увеличивала относительный риск инфицирования SARS-CoV-2 ($RR = 1,78$; 95 % ДИ [1,65–1,93]). Суммарный риск инфицирования SARS-CoV-2 в условиях медицинской организации, оказывающей плановую медицинскую помощь населению, был незначителен ($RR = 1,02$; 95 % ДИ [1,00–1,04]), однако отдельные факторы увеличивали риск инфицирования. Установлена значимость контакта с заболевшими COVID-19 из числа близкого окружения: родственниками, друзьями, соседями ($RR = 1,13$; 95 % ДИ [1,04–1,228]).

Полученные результаты предназначены для организации работы и противоэпидемических мероприятий в инфекционных госпиталях и медицинских организациях плановой помощи населению в части обеспечения персонала средствами индивидуальной защиты, а также при расчете продолжительности рабочей смены с учетом реализации риск-ориентированного подхода.

Ключевые слова: пандемия, COVID-19, SARS-CoV-2, работники медицинских организаций, факторы риска инфицирования, риск-ориентированный подход.

Пандемическое распространение вируса SARS-CoV-2 повлияло на функционирование всех институтов государств. Особую нагрузку испытали системы здравоохранения всех стран, в том числе и Российской Федерации. По состоянию на 1 марта 2022 г. зарегистрировано более 438,5 млн инфицированных, из которых 432,5 млн выздоровели, а 5,9 млн погибли. На долю РФ пришлось порядка 16,5 млн заболевших и 352,4 тыс. смертей. В Свердловской области подтверждено 355,3 тыс. случаев заболевания, 10,3 тыс. из которых закончились летальным исходом¹.

Работники медицинских организаций в силу своей профессиональной деятельности подвержены воздействию различных биологических факторов, среди которых SARS-CoV-2, в том числе как инфекция, связанная с оказанием медицинской помощи, не стал исключением. Находясь на передовой линии борьбы с COVID-19, медицинские работники стали самой незащищенной и активно вовлекаемой в эпидемический процесс категорией населения [1–3].

Достаточная информация по заболеваемости работников медицинских организаций COVID-19 отсутствует, однако некоторые официальные данные подчеркивают проблему более активного инфицирования SARS-CoV-2 изучаемой профессиональной группы. Так, по данным официальной регистрации случаев ИСМП, в субъектах Уральского и Сибирского федеральных округов в 2020 г. работники медицинских организаций составили 68,8 % в структуре пострадавших от внутрибольничного инфицирования SARS-CoV-2, а заболеваемость COVID-19 достигала в ряде регионов 90,4–151,48 на 1000 работающих².

Результаты отдельных исследований свидетельствуют, что риск инфицирования работников медицинских организаций, контактирующих с пациентами, выделяющими SARS-CoV-2, в 11,6 раза превышает общепопуляционный [4]. Большинство исследователей оперирует данными о доле инфицированных работников медицинских организаций в структуре больных COVID-19. Например, в Китае

доля заболевших работников медицинских организаций составила 4,2 % (в частности, в г. Ухань – 11,9 %), в Италии – 9,0 %, а в США – 17,8 %. Одно из исследований, посвященных заболеваемости COVID-19 у персонала лечебных учреждений в Италии, приводит сведения о пораженности 20 % коллектива [5–7].

Инфицированию работников медицинских организаций SARS-CoV-2 способствует высокий эпидемический потенциал вируса наряду с интенсивными и массовыми контактами как с пациентами, так и с коллегами [3, 8]. В свою очередь отсутствуют достаточные данные о рисках инфицирования персонала в медицинских организациях различного профиля, таких как инфекционные госпитали для лечения больных с COVID-19 и медицинские организации, оказывающие плановую медицинскую помощь населению. Детальное изучение всего спектра факторов риска инфицирования SARS-CoV-2 в зависимости от условий работы является актуальным вопросом для обсуждения.

Цель исследования – дать сравнительную оценку рисков инфицирования SARS-CoV-2 работников медицинских организаций различного профиля крупного промышленного города в период пандемии.

Материалы и методы. Исследование проведено специалистами Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, ЕНИИВИ ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, совместно со специалистами государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Центр общественного здоровья и медицинской профилактики» (г. Екатеринбург).

Для изучения факторов риска инфицирования была использована «Карта эпидемиологического исследования заболевания новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) у медицинского работника» (далее – карта), разработанная специалистами Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике ИСМП ЕНИИВИ ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»

¹ Коронавирус: статистика [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.ru/covid19/stat/> (дата обращения: 01.03.2022).

² Анализ выявления и регистрации инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи в Уральском и Сибирском федеральных округах в 2020 году: информационный бюллетень / С.С. Смирнова, Л.Г. Вяткина, Н.Н. Жуйков, И.А. Егоров. – Екатеринбург: Юника, 2021. – 56 с.

Роспотребнадзора³. Карта состояла из семи разделов и содержала как открытые, так и закрытые вопросы. Данная карта была размещена на онлайн-сервисе Google Cloud Platform, ссылка на электронный адрес анкеты (URL) распространялась среди работников медицинских организаций посредством корпоративной электронной почты и мессенджеров.

В исследовании применяли социологический, эпидемиологический (описательно-оценочный и аналитический) и статистический методы исследования.

Оценка комплектности средств индивидуальной защиты (СИЗ), используемых респондентами, осуществлялась в соответствии со следующими критериями:

- полным комплектом СИЗ считался набор, включающий медицинский халат или защитный комбинезон, шапочку, бахилы, две пары перчаток, респиратор класса FFP2 или FFP3, очки с плотным прилеганием или полнолицевую маску;

- комплект СИЗ с неполной защитой органов зрения характеризовался отсутствием очков с плотным прилеганием или полнолицевой маски;

- комплект СИЗ с неполной защитой органов дыхания характеризовался отсутствием респиратора класса FFP2 или FFP3 (применение масок, щитков и пр.).

Регулярность замены СИЗ оценивалась в соответствии с критериями: продолжительность использования комплекта СИЗ не более 4 ч, продолжительность использования маски не более 2–3 ч⁴. Наличие контакта работников медицинских организаций с заболевшими COVID-19 из числа окружения (родственниками, друзьями, соседями, коллегами, пациентами) устанавливалось по результатам эпидемиологического анамнеза респондента, указанного в карте.

Данные представлены в виде абсолютных и относительных величин (%). При анализе полученных данных применяли общепринятые статистические приемы. Для сравнения вероятности исхода в зависимости от различных факторов риска составляли четырехпольную таблицу сопряженности, рассчитывали относительный риск (*RR*) и его 95%-ный доверительный интервал (*ДИ*).

Различия считали достоверными при $p \leq 0,05$. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft

Office 2010, пакета программ WinPEPI 11.65 и онлайн-ресурса «Медицинская статистика»⁵.

Результаты и их обсуждение. В опросе приняли участие 613 работников из 18-ти медицинских организаций г. Екатеринбурга, ранее перенесших лабораторно подтвержденный COVID-19, в том числе 28 (4,6 %) руководителей медицинских организаций (МО), 161 (26,3 %) врач, 345 человек (56,3 %) из числа среднего и 26 человек (4,2 %) – младшего медицинского персонала, 8 (1,3 %) лиц из числа администрации, 45 (7,3 %) человек прочего персонала разного пола, возраста и стажа. Из числа лиц, принявших участие в исследовании, 19,1 % (117 человек) являлись сотрудниками инфекционных госпиталей, 80,9 % (496) – сотрудниками МО, оказывающих плановую медицинскую помощь населению. В возрастной структуре заболевших преобладали лица трудоспособного возраста (20–55 лет) – 79,8 % (489 человек). В опросе приняли участие респонденты разного пола, однако женщины составляли подавляющее большинство – 84,2 %, что соответствует специфике работы в данной отрасли.

В ходе исследования выявлены различия в факторах риска инфицирования работников МО в зависимости от условий работы.

Среди сотрудников инфекционного госпиталя женщин было 98 (83,8 %), мужчин – 19 (16,2 %). В ходе исследования не установлены значимые риски инфицирования SARS-CoV-2 в зависимости от гендерной принадлежности работников МО (табл. 1).

Возрастная структура персонала данного профиля МО была представлена следующим образом: сотрудники в возрасте 20–29 лет – 25 человек (21,4 %), 30–39 лет – 17 (14,5 %), 40–49 лет – 38 (32,5 %), 50–54 лет – 19 (16,2 %), 55–59 лет – 12 (10,3 %), 60–64 лет – 5 (4,2 %), 65 лет и старше – один (0,9 %).

При анализе профессиональной структуры работников инфекционного госпиталя установлено, что руководители МО составляли 3,4 % (4 сотрудника), врачи – 18,8 % (22), медицинские сестры – 59,8 % (70), младший медицинский персонал, уборщицы – 11,1 % (13), административный персонал – 0,9 % (один), прочий персонал – 6,0 % (7). Значимый риск заражения SARS-CoV-2 был установлен у сотрудников инфекционных госпиталей, занимающихся уборкой помещений ($RR = 2,822$; 95 % *ДИ* [1,85–4,304]).

³ Смирнова С.С., Степанова Е.А., Южанина Т.С. Карта эпидемиологического расследования заболевания новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) у медицинского работника [Электронный ресурс] // ЕНИИВИ ФБУН ГНЦ ВБ «ВЕКТОР» Роспотребнадзора. – URL: <http://eniivi.vector.na4u.ru/wp-content/uploads/2020/05/karta-epid-rassled-covid19-05-2020.pdf> (дата обращения: 03.03.2022).

⁴ МР 3.1.0229-21. Профилактика инфекционных болезней. Рекомендации по организации противоэпидемических мероприятий в медицинских организациях, осуществляющих оказание медицинской помощи пациентам с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) (подозрением на заболевание) в стационарных условиях / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 18 января 2021 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573382386> (дата обращения: 03.02.2022).

⁵ Медицинская статистика: интернет-портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://medstatistic.ru/> (дата обращения: 04.02.2022).

Таблица 1

Риски инфицирования SARS-CoV-2 работников инфекционного госпиталя для лечения больных с COVID-19

№ п/п	Показатель	Число работников МО с лабораторно-подтвержденным COVID-19	RR (относительный риск)	95 % ДИ
<i>Пол</i>				
1	Мужчины	19	1,031	0,664–1,603
2	Женщины	98	0,97	0,624–1,507
<i>Возраст, лет</i>				
3	20–29	25	1,03	0,692–1,531
4	30–39	17	0,842	0,527–1,345
5	40–49	38	1,214	0,86–1,713
6	50–54	19	1,221	0,791–1,885
7	55–59	12	1,034	0,605–1,767
8	60–64	5	0,607	0,262–1,405
9	65 и старше	1	0,243	0,036–1,657
<i>Должность</i>				
10	Руководители МО	4	0,74	0,294–1,86
11	Врачи	22	0,65	0,424–0,997
12	Медицинские сестры	70	1,157	0,829–1,615
13	Младший медицинский персонал, уборщицы	13	2,822	1,85–4,304
14	Административный персонал	1	0,652	0,103–4,108
15	Прочий персонал	7	0,803	0,398–1,619
<i>Виды контактов при оказании медицинской помощи (от числа ответов на вопрос)</i>				
16	Оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19	92	4,072	2,695–6,152
17	Присутствие при проведении пациенту с COVID-19 аэрозоль-генерирующих процедур	44	3,129	2,304–4,25
18	Наличие прямого контакта с предметами окружающей среды, в которой находился пациент с COVID-19	88	3,881	2,632–5,721
<i>Использование СИЗ, их комплектация и замена (от числа ответов на вопрос)</i>				
19	Неиспользование СИЗ при контакте с больным COVID-19	1	0,302	0,045–2,038
20	Использование СИЗ неполной защиты органов зрения и дыхания	15	0,132	0,079–0,222
21	Использование СИЗ неполной защиты органов зрения и полной – органов дыхания	23	1,678	1,137–2,477
22	СИЗ неполной защиты органов дыхания и полной – органов зрения	4	0,869	0,35–2,158
23	СИЗ (неполные комплектации и неиспользование при оказании медицинской помощи пациенту с COVID-19)	43	0,244	0,175–0,341
24	Отсутствие регулярной замены СИЗ	21	2,761	1,923–3,964
<i>Продолжительность рабочей смены (от числа ответов на вопрос), ч</i>				
25	До 6	38	1,618	1,154–2,269
26	6–8	5	0,047	0,019–0,113
27	8–12	27	2,173	1,526–3,095
28	12–24	44	3,946	2,947–5,283
29	Более 24	1	0,629	0,1–3,966
<i>Приверженность к антисептике рук (от числа ответов на вопрос)</i>				
30	Невыполнение регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций	1	0,746	0,121–4,615
<i>Контакт с больными COVID-19 (от числа ответов на вопрос)</i>				
31	Наличие заболеваний COVID-19 у родственников, друзей, соседей	9	0,497	0,262–0,944
32	Наличие заболеваний COVID-19 у коллег	58	8,896	6,943–11,397
33	Суммарный RR		1,78	1,65–1,93

Спектр профессиональных контактов персонала инфекционного госпиталя при оказании медицинской помощи включал проведение рискованных аэрозоль-генерирующих процедур, таких как интубация трахеи, искусственная вентиляция легких (ИВЛ), высокоточная оксигенация, ингаляционные процедуры, санация трахеобронхиального дерева, отбор мокроты / взятие мазков из носоглотки, трахеостомия, бронхоскопия, сердечно-легочная реанимация (СЛР), в которых участвовали 44 (37,6 %) сотрудника. В оказании медицинской помощи пациентам с COVID-19 было задействовано 92 (78,6 %) сотрудника. Прямой контакт с окружающей средой, в которой находился инфицированный пациент (личные вещи пациента, постельное белье, кровать, тумбочка и др.), имели 88 (75,2 %) сотрудников. Значимый риск инфицирования в ходе исследования был установлен для всех указанных видов контактов. Так, присутствие при проведении пациенту аэрозоль-генерирующих процедур увеличивало риск инфицирования персонала инфекционных госпиталей в 3,1 раза ($RR = 3,129$; 95 % ДИ [2,304–4,25]), непосредственное оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 – в 4,1 раза ($RR = 4,072$; 95 % ДИ [2,695–6,152]), наличие контакта с предметами окружающей среды, в которой находился пациент с COVID-19, – в 3,9 раза ($RR = 3,881$; 95 % ДИ [2,632–5,721]).

При контакте с больным COVID-19 не использовал СИЗ один (0,9 %) сотрудник инфекционного госпиталя. Полные комплекты, обеспечивающие защиту органов дыхания и зрения, включающие защитную одежду, респиратор FFP2 / FFP3, защитные очки с плотным прилеганием, использовали 75 (64,1 %) сотрудников. Комплекты СИЗ как с неполной защитой органов зрения, так и с неполной защитой органов дыхания использовали 15 (12,8 %) сотрудников инфекционного госпиталя. На отсутствие очков с плотным прилеганием или полнолицевой маски в комплекте СИЗ при работе в инфекционном госпитале указали 23 (19,7 %) респондента. Отсутствие защиты органов дыхания в комплекте СИЗ (респираторы класса FFP2 или FFP3) имело место у 4 (3,4 %) сотрудников. Регламентированную регулярность замены СИЗ соблюдали 70,9 % респондентов. Использование СИЗ неполной защиты органов зрения и полной защиты органов дыхания в условиях работы в инфекционном госпитале увеличивало риск инфицирования персонала SARS-CoV-2 в 1,7 раза ($RR = 1,678$; 95 % ДИ [1,137–2,477]). Влияло на риск инфицирования и отсутствие регулярной замены используемых СИЗ ($RR = 2,761$; 95 % ДИ [1,923–3,964]).

В условиях «заразной» зоны продолжительность рабочей смены до 6 ч зафиксирована у 38 (33,0 %) сотрудников, от 6 до 8 ч – у 5 (4,3 %), от 8 до 12 ч – у 27 (23,5 %), от 12 до 24 ч – у 44 (38,3 %). В условиях рабочей смены, превышающей 24 часа, осуществлял трудовые функции один сотрудник

(0,9 %) инфекционного госпиталя. Установлено, что риск инфицирования SARS-CoV-2 возрастал по мере увеличения продолжительности рабочей смены. Так, продолжительность рабочей смены до 6 ч увеличивала риск инфицирования SARS-CoV-2 в 1,6 раза ($RR = 1,618$; 95 % ДИ [1,154–2,269]), от 8 до 12 ч – в 2,2 раза ($RR = 2,173$; 95 % ДИ [1,526–3,095]), от 12 до 24 ч – в 4,0 раза ($RR = 3,946$; 95 % ДИ [2,947–5,283]).

Соблюдение регламента обработки рук является важной составляющей профилактики инфекций, в том числе у персонала. В нашем исследовании указание на невыполнение регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций имелось только у одного (0,9 %) сотрудника. Несмотря на объективную сложность реализации данной процедуры в условиях «заразной» зоны инфекционного госпиталя, обработку рук до и после выполнения каждой асептической процедуры проводили 40 (34,2 %) респондентов, после прямого контакта с больным COVID-19 и объектами больничной среды – 58 (49,6 %) сотрудников. Значимого влияния на вероятность инфицирования SARS-CoV-2 в данной профессиональной группе не выявлено, однако данный факт нуждается в дальнейшем изучении.

Анализ данных эпидемиологического анамнеза работников инфекционного госпиталя показал, что у 9 сотрудников имелся контакт с больными COVID-19 из числа близкого окружения вне МО (родственниками, друзьями, соседями), доля таких контактов составила 7,7 %. Значительно большее число работников инфекционных госпиталей указали на наличие контакта с заболевшими коллегами – 58 человек (49,6 %), что увеличивало риск инфицирования SARS-CoV-2 в 8,9 раза ($RR = 8,896$; 95 % ДИ [6,943–11,397]).

Факторы риска инфицирования SARS-CoV-2 работников непрофильных МО имели свои особенности (табл. 2).

Среди персонала непрофильных МО женщины составили 84,3 % (496 чел.), мужчины – 15,7 % (78 чел.). По результатам исследования также не установлена роль гендерной принадлежности сотрудников МО, оказывающих плановую медицинскую помощь населению, в качестве фактора риска инфицирования SARS-CoV-2.

Возрастная структура персонала была представлена следующим образом: сотрудники в возрасте 20–29 лет – 103 человека (20,7 %), 30–39 лет – 86 (17,3 %), 40–49 лет – 136 (27,4 %), 50–54 лет – 65 (13,1 %), 55–59 лет – 49 (9,9 %), 60–64 лет – 37 (7,5 %), 65 лет и более – 20 (4,1 %). Установлено, что работники в возрасте 65 лет и старше имели более высокий риск инфицирования SARS-CoV-2 по сравнению с молодыми коллегами ($RR = 1,184$; 95 % ДИ [1,068–1,314]).

Профессиональная структура сотрудников медицинских организаций, оказывающих плановую медицинскую помощь населению, была представлена следующим образом: руководители МО – 24 че-

ловека (4,8 %), врачи – 139 (28,0 %), медицинские сестры – 275 (55,5 %), младший медицинский персонал / уборщицы – 13 (2,6 %), административный персонал – 7 (1,4 %), прочий персонал – 38 (7,7 %). Выполнение профессиональных обязанностей врача повышало риск инфицирования в 1,1 раза ($RR = 1,093$; 95 % ДИ [1,011–1,181]).

В условиях оказания населению плановой медицинской помощи работники данных медицинских организаций не полностью были готовы к контакту с больными COVID-19, что отразилось на соблюдении мер безопасности при работе с инфекционными больными. В то же время у значительной части пациентов в последующем был установлен диагноз COVID-19, а в оказании медицинской помощи таким пациентам было задействовано 40,1 % (199 сотрудников) из числа опрошенных, в том числе в проведении аэрозоль-генерирующих процедур 27,6 % (55 человек). На прямой контакт с окружающей средой, в которой находился инфицированный пациент (личные вещи пациента, постельное белье, кровать, тумбочка и др.), указал 181 (36,5 %) сотрудник.

В условиях работы в медицинской организации, оказывающей плановую медицинскую помощь населению, СИЗ при контакте с больными COVID-19 не использовали 16 сотрудников (3,2 %). Полные комплекты, обеспечивающие защиту органов дыхания и зрения, включающие защитную одежду, респиратор FFP2 / FFP3, защитные очки с плотным прилеганием, использовали 113 (22,8 %) сотрудников. Комплекты СИЗ как с неполной защитой органов зрения, так и с неполной защитой органов дыхания использовали 308 (62,1 %) человек. На отсутствие при работе очков с плотным прилеганием или полнолицевой маски в комплекте СИЗ указали 55 (11,1 %) респондентов. Отсутствие защиты органов дыхания (респираторы класса FFP2 или FFP3 в комплекте СИЗ) имело место у 20 (4,0 %) сотрудников. Регламентированную регулярность замены СИЗ отметили 84,7 % респондентов. Отсутствие факта применения СИЗ при контакте с больными COVID-19 и использование СИЗ с неполной защитой органов зрения и дыхания увеличивали риск в 1,2 ($RR = 1,169$; 95 % ДИ [1,031–1,325]) и 1,5 раза ($RR = 1,471$; 95 % ДИ [1,347–1,606]) соответственно.

Плановую медицинскую помощь населению в условиях рабочего дня продолжительностью до 6 ч оказывали 98 (21,0 %) респондентов, от 6 до 8 ч – 282 чел. (60,4 %), от 8 до 12 ч – 45 чел. (9,6 %), от 12 до 24 ч – 35 чел. (7,5 %), более 24 ч – 7 чел. (1,5 %). Продолжительность смены от 6 до 8 ч повышала

риск инфицирования в 1,6 раза ($RR = 1,567$; 95 % ДИ [1,433–1,713]).

Регламент обработки рук не выполняли 6 (1,2 %) респондентов, работающих в МО, оказывающих плановую медицинскую помощь населению. Причем 163 (32,9 %) сотрудника выполняли обработку рук до и после выполнения каждой асептической процедуры, и 169 человек (34,1 %) – после прикосновения к пациенту с COVID-19 и объектам окружающей среды. Увеличение риска инфицирования при нарушении регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций в ходе исследования не установлено, однако данный факт нуждается в дальнейшем изучении.

Как и сотрудники инфекционного госпиталя, персонал непрофильной МО имел контакт с больными COVID-19 не только при выполнении профессиональных обязанностей. Так, с заболевшими COVID-19 родственниками / друзьями / соседями контактировало 79 (15,9 %) респондентов, с коллегами – 3 (0,6 %) чел., что повышало их риски инфицирования SARS-CoV-2 ($RR = 1,13$; 95 % ДИ [1,04–1,228]). Результирующие данные представлены в табл. 2.

Инфицирование патогенными биологическими агентами работников медицинских организаций в той или иной степени имеет место независимо от профиля МО и вида оказываемой медицинской помощи. Однако более существенные риски заражения реализуются в условиях эпидемического или пандемического распространения вирусов, имеющих высокий эпидемический потенциал. Одним из них является вирус SARS-CoV-2⁶.

За последние 20 лет мир пережил несколько эпидемий инфекционных заболеваний вирусной этиологии: тяжелого острого респираторного синдрома (ТОРС) в 2002 г., вируса гриппа типа А (H1N1) в период с 2009 по 2010 г., лихорадки Эбола (одна из самых крупных вспышек наблюдалась в Западной Африке в 2014–2016 гг.), ближневосточного респираторного синдрома (MERS) в 2015 г. Каждый раз медицинские работники оказывались на передовой линии борьбы и имели высокий профессиональный риск инфицирования, тяжелого течения болезни и летального исхода⁷ [9]. Но, безусловно, одним из самых масштабных событий XXI в. стала пандемия COVID-19. С первых дней распространения SARS-CoV-2 работники МО стали наиболее активно вовлекаемой в эпидемический процесс категорией населения, а системы здравоохранения всех стран, включая Российскую Федерацию, испытывали колоссальную нагрузку. Так, в Китае (в частности,

⁶ Профилактика, выявление и ведение случаев инфекции среди медицинских работников в контексте COVID-19: временные рекомендации [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2020. – URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336265/WHO-2019-nCoV-HW_infection-2020.1-rus.pdf (дата обращения: 01.03.2022).

⁷ Новая коронавирусная инфекция COVID-19: профессиональные аспекты сохранения здоровья и безопасности медицинских работников: методические рекомендации / под ред. И.В. Бухтиярова, Ю.Ю. Горблянского. – М.: АМТ, ФГБНУ «НИИ МТ», 2021. – 132 с.

Таблица 2

Риски инфицирования SARS-CoV-2 работников медицинских организаций, оказывающих плановую медицинскую помощь населению

№ п/п	Показатель	Число работников МО с лабораторно-подтвержденным COVID-19	RR (относительный риск)	95 % ДИ
<i>Пол</i>				
1	Мужчины	78	0,993	0,892–1,104
2	Женщины	418	1,007	0,905–1,121
<i>Возраст, лет</i>				
3	20–29	103	0,993	0,903–1,093
4	30–39	86	1,039	0,944–1,143
5	40–49	136	0,953	0,871–1,043
6	50–54	65	0,95	0,84–1,074
7	55–59	49	0,992	0,871–1,13
8	60–64	37	1,096	0,974–1,234
9	65 и старше	20	1,184	1,068–1,314
<i>Должность</i>				
10	Руководители МО	24	1,062	0,909–1,242
11	Врачи	139	1,093	1,011–1,181
12	Медицинские сестры	275	0,967	0,895–1,044
13	Младший медицинский персонал, уборщицы	13	0,608	0,413–0,894
14	Административный персонал	7	1,083	0,831–1,411
15	Прочий персонал	38	1,047	0,918–1,195
<i>Виды контактов при оказании медицинской помощи (от числа ответов на вопрос)</i>				
16	Оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19	199	0,741	0,681–0,807
17	Присутствие аэрозоль-генерирующих процедур	55	0,648	0,541–0,775
18	Наличие прямого контакта с предметами окружающей среды, в которой находился пациент с COVID-19	181	0,735	0,672–0,803
<i>Использование СИЗ, их комплектация и замена (от числа ответов на вопрос)</i>				
19	Неиспользование СИЗ при контакте с больным COVID-19	16	1,169	1,031–1,325
20	Использование СИЗ неполной защиты органов зрения и дыхания	308	1,471	1,347–1,606
21	Использование СИЗ неполной защиты органов зрения и полной органов дыхания	55	0,855	0,737–0,993
22	СИЗ неполной защиты органов дыхания и полной органов зрения	20	1,031	0,859–1,238
23	СИЗ (неполные комплектации и неиспользование при оказании медицинской помощи пациенту с COVID-19	399	1,502	1,331–1,694
24	отсутствие регулярной замены СИЗ	24	0,642	0,487–0,846
<i>Продолжительность рабочей смены (от числа ответов на вопрос)</i>				
25	Продолжительность смены до 6 часов	136	0,871	0,778–0,975
26	Продолжительность смены 6–8 ч	287	1,567	1,433–1,713
27	Продолжительность смены 8–12 ч	72	0,755	0,629–0,907
28	Продолжительность смены 12–24 ч	79	0,516	0,402–0,662
29	Продолжительность смены более 24 ч	7	1,092	0,838–1,423
<i>Приверженность к антисептике рук (от числа ответов на вопрос)</i>				
30	Невыполнение регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций	7	1,06	0,781–1,438
<i>Контакт с больными COVID-19 (от числа ответов на вопрос)</i>				
31	Наличие заболеваний COVID-19 у родственников, друзей, соседей	88	1,13	1,04–1,228
32	Наличие заболеваний COVID-19 у коллег	61	0,055	0,018–0,166
33	Суммарный RR		1,02	1–1,04

в г. Ухань) в период начального распространения SARS-CoV-2 с декабря 2019 г. по февраль 2020 г. число случаев заболевания COVID-19 у работников МО в 3,5 раза превышало таковое среди населения в целом⁷. Говоря о летальных случаях, стоит отметить, что согласно докладу ВОЗ за период с января 2020 г. по май 2021 г. от COVID-19 скончалось около 115,5 тыс. медицинских работников.

Высокая заболеваемость среди медицинских работников и общепольничного персонала неблагоприятно сказывается на качестве оказания экстренной и плановой медицинской помощи населению, а также на реализации в медицинских организациях предписанных противоэпидемических мероприятий⁸. На фоне продолжающейся пандемии по-прежнему существует потребность в детальном изучении факторов риска инфицирования вирусом SARS-CoV-2 сотрудников МО и в последующей разработке на основе этих исследований программ по охране труда как на уровне МО, так и на национальном уровне⁹ [10–12].

В настоящее время установлены основные факторы риска инфицирования, такие как оказание медицинской помощи пациентам с COVID-19 в условиях повышенного пропускного режима медицинских организаций, неправильная комплектация либо недостаточная обеспеченность средствами индивидуальной защиты (СИЗ), а также низкая приверженность персонала антисептической обработке рук⁸ [7, 13].

По результатам аналитических исследований специалистов Дании и Швеции, среди работников медицинских организаций наиболее пострадавшими были лица мужского пола моложе 30 лет [14, 15]. В настоящем исследовании не удалось установить роль определенной гендерной принадлежности как фактора риска инфицирования SARS-CoV-2. Что касается возрастного состава пострадавших медицинских работников, то высокий процент инфицирования был отмечен среди персонала непрофильных МО возрастной группы 65 лет и старше ($RR = 1,184$; 95 % ДИ [1,068–1,314]), который был привлечен к оказанию плановой медицинской помощи по причине перераспределения кадровых потоков и направления молодых специалистов в инфекционные госпитали [16].

Исследования показали, что во многих странах работники МО, задействованные на разных этапах и уровнях оказания медицинской помощи, в различной степени были подвержены риску инфицирования вирусом SARS-CoV-2. Например, среди работников МО Италии бóльшую (в 1,5 раза), чем среди других категорий, вероятность заболевания вирусом SARS-CoV-2 имели лица из числа среднего медицинского персонала (фельдшера и медицинские сес-

стры). В свою очередь в Великобритании была установлена наибольшая распространенность COVID-19 в группе работников немедицинских специальностей (сотрудники, осуществляющие уборку помещений) [17]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) также выявлен высокий уровень риска у персонала, осуществляющего уборку помещений, где пребывают пациенты, инфицированные SARS-CoV-2⁸. Наше исследование подтверждает, что значимая доля инфицированных приходится на работников инфекционных госпиталей, занимающихся уборкой помещений ($RR = 2,822$; 95 % ДИ [1,85–4,304]). В то же время и врачи непрофильных МО, оказывающих плановую помощь населению, также имели повышенный риск инфицирования как следствие проведения первичного приема пациентов с неизвестным инфекционным статусом, но данный риск можно расценить как менее значительный ($RR = 1,093$; 95 % ДИ [1,011–1,181]).

Достаточная обеспеченность и корректное использование СИЗ надлежащего качества, особенно в условиях глобального распространения инфекции с аэрозольным механизмом передачи, являются условиями, влияющими на снижение риска возникновения инфекционного заболевания [18, 19]. Так, Gómez-Ochoa et al. (2021) было установлено наличие высокого риска инфицирования сотрудников медицинских организаций, которые использовали СИЗ с неполной защитой органов зрения либо не использовали СИЗ вообще, – от 2,82 до 3,72 раза [1]. В Великобритании и США также выявлено наличие повышенной возможности инфицирования работников, оказывающих медицинскую помощь больным COVID-19, при использовании ими СИЗ неполной комплектации либо повторном использовании СИЗ – от 1,31 до 1,46 [4].

В нашем исследовании также установлено значение некорректного применения и недостаточной комплектации СИЗ в увеличении рисков инфицирования – от 1,6 раза ($RR = 1,678$; 95 % ДИ [1,137–2,477]) при использовании неполного комплекта СИЗ в ущерб защите органов зрения и до 2,8 раза ($RR = 2,761$; 95 % ДИ [1,923–3,964]) при отсутствии регулярной замены комплектов. Недостаточная обеспеченность СИЗ работников непрофильных медицинских организаций на первых этапах борьбы с инфекцией показала их неполную готовность к взаимодействию с пациентами COVID-19, что увеличивало риск инфицирования SARS-CoV-2.

Повышение нагрузки на медицинские организации за счет увеличения потока пациентов, инфицированных SARS-CoV-2, привело к возрастанию продолжительности регламентированной рабочей смены и, в свою очередь, более длительному кон-

⁸ COVID-19: гигиена и безопасность труда медицинских работников: временные рекомендации [Электронный ресурс] // МОТ, ВОЗ. – 2021. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339151/WHO-2019-nCoV-HCW-advice-2021.1-rus.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).

⁹ Caring for those who care: guide for the development and implementation of occupational health and safety programmes for health workers. – Geneva: WHO, ILO, 2022. – 124 p.

такту персонала МО с инфицированными пациентами, особенно в условиях ненадлежащего использования СИЗ. Chou et al. (2020) установлено влияние увеличения продолжительности рабочего дня в качестве фактора риска инфицирования SARS-CoV-2 персонала медицинских организаций. Для сотрудников инфекционного госпиталя этот риск возрастал при продолжительности рабочей смены 8–12 ч в 2,2 раза ($RR = 2,173$; 95 % ДИ [1,526–3,095]) и 12–24 ч – до 4,0 раза ($RR = 3,946$; 95 % ДИ [2,947–5,283]). Однако риск поражения вирусом сотрудников непрофильных МО имел место и в условиях регламентированной продолжительности рабочего времени от 6 до 8 ч ($RR = 1,567$; 95 % ДИ [1,433–1,713]), что могло быть связано с применением неполного комплекта СИЗ [20].

Одним из ключевых моментов, влияющих на риски инфицирования, является выполнение регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций¹⁰. Нарушение техники обработки рук работниками инфекционных госпиталей Китая в 3,1 раза увеличивало риск их инфицирования SARS-CoV-2 [20]. Также имеются данные, свидетельствующие о том, что пренебрежение обработкой рук кожным антисептиком наряду с регулярным гигиеническим мытьем в 2,2–3,0 раза чаще встречалось среди медицинских работников, перенесших лабораторно-подтвержденный COVID-19 [13]. В ходе исследования не установлено влияния невыполнения регламента обработки рук при проведении медицинских манипуляций на вероятность инфицирования SARS-CoV-2, однако данный факт нуждается в дальнейшем исследовании.

Выводы. В ходе исследования установлено, что работа в условиях инфекционного госпиталя в 1,8 раза увеличивала риск инфицирования SARS-CoV-2 у персонала ($RR = 1,78$; 95 % ДИ [1,65–1,93]). Основными рисками инфицирования работников инфекционного госпиталя явились: оказание медицинской помощи пациенту с COVID-19 ($RR = 4,072$; 95 % ДИ [2,695–6,152]), участие в проведении аэрозоль-генерирующих процедур ($RR = 3,129$; 95 % ДИ [2,304–4,25]), прямой контакт с окружающей средой, в которой находился больной COVID-19 ($RR = 3,881$; 95 % ДИ [2,632–5,721]), выполнение функций уборщика помещений ($RR = 2,822$; 95 % ДИ [1,85–4,304]), отсутствие регулярной замены СИЗ ($RR = 2,761$; 95 % ДИ [1,923–3,964]), использование СИЗ с неполной защитой органов зрения ($RR = 1,678$; 95 % ДИ [1,137–2,477]). Отмечено, что с увеличением про-

должительности рабочей смены в условиях «за-разной» зоны риски инфицирования SARS-CoV-2 у персонала возрастали от 1,6 до 3,9 раза ($RR = 1,618$; 95 % ДИ [1,154–2,269]; $RR = 3,946$; 95 % ДИ [2,947–5,283]).

Суммарный риск инфицирования SARS-CoV-2 в условиях медицинской организации, оказывающей плановую медицинскую помощь населению, был незначителен ($RR = 1,02$; 95 % ДИ [1,00–1,04]). В то же время определенное влияние имели отдельные факторы риска, такие как: продолжительность рабочей смены от 6 до 8 часов ($RR = 1,567$; 95 % ДИ [1,433–1,713]), использование СИЗ с неполной защитой органов зрения и дыхания ($RR = 1,471$; 95 % ДИ [1,347–1,606]), возраст 65 лет и старше ($RR = 1,184$; 95 % ДИ [1,068–1,314]), отсутствие СИЗ при оказании медицинской помощи пациенту с COVID-19 ($RR = 1,169$; 95 % ДИ [1,031–1,325]). В данной профессиональной группе отмечено также влияние на риск инфицирования SARS-CoV-2 факторов, не связанных с профессиональной деятельностью, в частности контакт с заболевшими COVID-19 из числа близкого окружения: родственниками, друзьями, соседями ($RR = 1,13$; 95 % ДИ [1,04–1,228]).

Глобальное распространение SARS-CoV-2 еще раз подчеркнуло значимость защиты работников медицинских организаций при встрече как с новыми, так и возвращающимися инфекционными агентами, способными к эпидемическому и пандемическому распространению.

Результаты данного исследования необходимо учитывать при организации работы и противоэпидемических мероприятий в инфекционных госпиталях и медицинских организациях, оказывающих плановую помощь населению, в особенности по обеспечению СИЗ персонала учреждений данных профилей и относительно продолжительности рабочей смены. Должен реализовываться риск-ориентированный подход к профилактике инфицирования работников медицинских организаций с учетом риска воздействия не только известных патогенов в условиях продолжающейся пандемии COVID-19, но и с учетом возможного развития будущих эпидемических угроз.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках реализации НИР «Изучение эпидемического процесса и профилактика вирусных инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи», рег. № НИОКТР 121040500099-5.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

¹⁰ СанПиН 3.3686-21. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 4 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – Раздел XLIV. Профилактика инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573660140> (дата обращения: 03.02.2022).

Список литературы

1. COVID-19 in Health-Care Workers: A Living Systematic Review and Meta-Analysis of Prevalence, Risk Factors, Clinical Characteristics, and Outcomes / S.A. Gomez-Ochoa, O.H. Franco, L.Z. Rojas, P.F. Raguindin, Z.M. Roa-Diaz, B.M. Wyssmann, S.L. Romero Guevara, L.E. Echeverria [et al.] // *Am. J. Epidemiol.* – 2021. – Vol. 190, № 1. – P. 161–175. DOI: 10.1093/aje/kwaa191
2. Пандемия COVID-19. Меры борьбы с ее распространением в Российской Федерации / Н.И. Брико, И.Н. Каграманян, В.В. Никифоров, Т.Г. Суранова, О.П. Чернявская, Н.А. Полежаева // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика.* – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 4–12. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12
3. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 2: особенности течения эпидемического процесса COVID-19 во взаимосвязи с проводимыми противоэпидемическими мероприятиями в мире и Российской Федерации / В.В. Кутырев, А.Ю. Попова, В.Ю. Смоленский, Е.Б. Ежлова, Ю.В. Демина, В.А. Сафронов, И.Г. Карнаухов, А.В. Иванова, С.А. Щербакова // *Проблемы особо опасных инфекций.* – 2020. – № 2. – С. 6–12. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-6-12
4. Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study / L.H. Nguyen, D.A. Drew, M.S. Graham, A.D. Joshi, C.-G. Guo, W. Ma, R.S. Mehta, E.T. Warner [et al.] // *Lancet Public Health.* – 2020. – Vol. 5, № 9. – P. e475–e483. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30164-X
5. Epidemiology of and Risk Factors for COVID-19 Infection among Health Care Workers: A Multi-Centre Comparative Study / J.-T. Wei, Z.-D. Liu, Z.-W. Fan, L. Zhao, W.-C. Cao // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2020. – Vol. 17, № 19. – P. 7149. DOI: 10.3390/ijerph17197149
6. Seroprevalence of SARS-CoV-2 IgG antibodies among health care workers prior to vaccine administration in Europe, the USA and East Asia: A systematic review and meta-analysis / A. Hossain, S.M. Nasrullah, Z. Tasnim, M.K. Hasan, M.M. Hasan // *EClinicalMedicine.* – 2021. – Vol. 33. – P. 100770. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.100770
7. Godderis L., Boone A., Bakusic J. COVID-19: A new work-related disease threatening healthcare workers // *Occup. Med. (Lond.).* – 2020. – Vol. 70, № 5. – P. 315–316. DOI: 10.1093/occmed/kqaa056
8. Specific risk factors for SARS-CoV-2 transmission among health care workers in a university hospital / G. Celebi, N. Piskin, A. Celik Beklevic, Y. Altunay, A. Salci Keles, M.A. Tuz, B. Altinsoy, D. Haciseyitoglu // *Am. J. Infect. Control.* – 2020. – Vol. 48, № 10. – P. 1225–1230. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.07.039
9. Tracking virus outbreaks in the twenty-first century / N.D. Grubaugh, J.T. Ladner, P. Lemey, O.G. Pybus, A. Rambaut, E.C. Holmes, K.G. Andersen // *Nat. Microbiol.* – 2019. – Vol. 4, № 1. – P. 10–19. DOI: 10.1038/s41564-018-0296-2
10. Seroprevalence of and Risk Factors Associated With SARS-CoV-2 Infection in Health Care Workers During the Early COVID-19 Pandemic in Italy / P. Poletti, M. Tirani, D. Cereda, G. Guzzetta, F. Trentini, V. Marziano, C. Toso, A. Piatti [et al.] // *JAMA Netw. Open.* – 2021. – Vol. 4, № 7. – P. e2115699. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.15699
11. Медведев Д.А. Сотрудничество в сфере безопасности в период пандемии нового коронавируса // *Россия в глобальной политике.* – 2020. – Т. 18, № 4 (104). – С. 8–21.
12. Медведев Д. Шесть уроков одной пандемии [Электронный ресурс] // *Российская газета.* – URL: <https://rg.ru/2021/11/01/dmitrij-medvedev-o-proshlom-nastoiashchem-i-budushchem-borby-s-covid-19.html> (дата обращения: 01.03.2022).
13. Заболеваемость COVID-19 медицинских работников. Вопросы биобезопасности и факторы профессионального риска / Т.А. Платонова, А.А. Голубкова, А.В. Тутельян, С.С. Смирнова // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика.* – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 4–11. DOI: 10.31631/2073-3046-2021-20-2-4-11
14. Work at inpatient care units is associated with an increased risk of SARS-CoV-2 infection; a cross-sectional study of 8679 healthcare workers in Sweden / A.K. Lidstrom, F. Sund, B. Albinsson, J. Lindback, G. Westman // *Ups. J. Med. Sci.* – 2020. – Vol. 125, № 4. – P. 305–310. DOI: 10.1080/03009734.2020.1793039
15. Risk of COVID-19 in health-care workers in Denmark: an observational cohort study / K. Iversen, H. Bundgaard, R.B. Hasselbalch, J.H. Kristensen, P.B. Nielsen, M. Pries-Heje, A.D. Knudsen, C.E. Christensen [et al.] // *Lancet Infect. Dis.* – 2020. – Vol. 20, № 12. – P. 1401–1408. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30589-2
16. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 1: Модели реализации профилактических и противоэпидемических мероприятий / В.В. Кутырев, А.Ю. Попова, В.Ю. Смоленский, Е.Б. Ежлова, Ю.В. Демина, В.А. Сафронов, И.Г. Карнаухов, А.В. Иванова, С.А. Щербакова // *Проблемы особо опасных инфекций.* – 2020. – № 1. – С. 6–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13
17. SARS-CoV-2 seroprevalence and asymptomatic viral carriage in healthcare workers: a cross-sectional study / A. Shields, S.E. Faustini, M. Perez-Toledo, S. Jossi, E. Aldera, J.D. Allen, S. Al-Taei, C. Backhouse [et al.] // *Thorax.* – 2020. – Vol. 75, № 12. – P. 1089–1094. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2020-215414
18. Nienhaus A., Hod R. COVID-19 among Health Workers in Germany and Malaysia // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2020. – Vol. 17, № 13. – P. 4881. DOI: 10.3390/ijerph17134881
19. COVID-19 and healthcare workers: A systematic review and meta-analysis / M. Gholami, I. Fawad, S. Shadan, R. Rowaiee, H.A. Ghanem, A. Hassan Khamis, S.B. Ho // *Int. J. Infect. Dis.* – 2021. – Vol. 104. – P. 335–346. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.01.013
20. Epidemiology of and risk factors for coronavirus infection in health care workers: A living rapid review / R. Chou, T. Dana, D.I. Buckley, S. Selph, R. Fu, A.M. Totten // *Ann. Intern. Med.* – 2020. – Vol. 173, № 2. – P. 120–136. DOI: 10.7326/M20-1632

Сравнительная оценка рисков инфицирования SARS-CoV-2 у работников медицинских организаций крупного промышленного города в период пандемии / С.С. Смирнова, И.А. Егоров, Н.Н. Жуйков, Л.Г. Вяткина, А.Н. Харитонов, А.В. Семенов, О.В. Морова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 139–150. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.13



Research article

RISKS OF BECOMING INFECTED WITH SARS-COV-2 FOR MEDICAL PERSONNEL IN A LARGE INDUSTRIAL CITY DURING THE PANDEMIC: COMPARATIVE ASSESSMENT**S.S. Smirnova^{1,2}, I.A. Egorov¹, N.N. Zhuikov¹, L.G. Vyatkina³,
A.N. Kharitonov³, A.V. Semenov^{1,4}, O.V. Morova^{2,5}**¹Yekaterinburg Research Institute of Viral Infections, State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector", Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, 23 Letnyaya Str., Ekaterinburg, 620030, Russian Federation²Ural State Medical University, 3 Repina Str., Ekaterinburg, 620028, Russian Federation³The Center for Public Health and Medical Prevention, 78A/2 8 Marta Str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation⁴Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, 19 Mira Str., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation⁵The Center for Hygiene and Epidemiology in Sverdlovsk Region, 3 Otdelnii lane, Ekaterinburg, 620078, Russian Federation

The COVID-19 pandemic has produced its effects on functioning of all the state institutions, the public healthcare system being a peculiar one among them. Medical personnel have become an unprotected population group that was actively involved into the epidemic process. Results produced by several studies indicate that relative risks to become infected with COVID-19 are by up to 11.6 times higher for medical personnel than in population at large. A share of medical personnel among patients with COVID-19 varies in different countries, from 4.2 % in China to 17.8 % in the USA. According to official statistics, in 2020 a share of medical personnel who became infected with COVID-19 in in-hospital foci amounted to 68.6 % in the RF regions located in the Urals and Siberian Federal Districts.

High epidemic potential of the virus and intensive mass contacts between medical personnel and their patients make for rapid SARS-CoV-2 spread and infection among them. It is vital to examine all the range of risk factors that cause SARS-CoV-2 infection among medical personnel.

The present study involved using "The map of epidemiological investigation focused on the incidence of the new coronavirus infection (COVID-19) in medical personnel". The map was located on Google Cloud Platform. Overall, 613 medical workers from different medical organizations took part in the research. We applied sociological, epidemiological and statistical research techniques.

We established that work in an infectious diseases hospital increased a relative risk of SARS-CoV-2 infection by 1.8 times (RR = 1.78; 95 % CI [1.65–1.93]). The total risk of SARS-CoV-2 infection was insignificant for workers employed at a medical organization that provided scheduled medical assistance to population (RR = 1.02; 95 % CI [1.00–1.04]). However, certain factors created elevated risks of infection. Any contacts with COVID-19 patients who were close relatives, friends or neighbors were established to be significant (RR = 1.13; 95 % CI [1.04–1.228]).

The research results should be used when organizing work procedures and anti-epidemic activities in infectious diseases hospitals and medical organizations providing scheduled assistance to population. The focus should be on providing medical personnel with personal protective equipment as well as on calculating relevant duration of a work shift relying on the risk-based approach.

Keywords: pandemic, COVID-19, SARS-COV-2, medical personnel, risk factors of infection, risk-based approach.

© Smirnova S.S., Egorov I.A., Zhuikov N.N., Vyatkina L.G., Kharitonov A.N., Semenov A.V., Morova O.V., 2022

Svetlana S. Smirnova – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Head of the Ural-Siberian Scientific-Methodological Center for the Prevention of Health-Care-Related Infections; Associate Professor at the Department of Epidemiology, Social Hygiene and Organization of Sanitary-Epidemiological Service (e-mail: smirnova_ss69@mail.ru; tel.: +7 (908) 917-59-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-4611>).

Ivan A. Egorov – Junior Researcher at the Ural-Siberian Scientific-Methodological Center for the Prevention of Health-Care-Related Infections (e-mail: egorov_ia@eniivi.ru; tel.: +7 (922) 127-66-88; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7153-2827>).

Nikolai N. Zhuikov – Researcher at the Ural-Siberian Scientific-Methodological Center for the Prevention of Health-Care-Related Infections (e-mail: zhuykov_nn@eniivi.ru; tel.: +7 (912) 263-22-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7018-7582>).

Liudmila G. Vyatkina – statistician (e-mail: lus-v2@mail.ru; tel.: +7 (912) 604-09-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1944-3827>).

Aleksandr N. Kharitonov – acting as Chief Medical Officer (e-mail: ek-han@mail.ru; tel.: +7 (912) 622-00-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-5014>).

Aleksandr V. Semenov – Doctor of Biological Sciences, Director; Professor at the Department of Experimental Biology and Biotechnology (e-mail: alexvsemenov@gmail.com; tel.: +7 (922) 119-41-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-8219>).

Olga V. Morova – epidemiologist at the Department of Epidemiological Examinations; postgraduate student at the Department of Epidemiology, Social Hygiene and Organization of the Sanitary and Epidemiological Service (e-mail: ya.olga-morova@yandex.ru; tel.: +7 (904) 170-64-89; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-374X>).

References

1. Gomez-Ochoa S.A., Franco O.H., Rojas L.Z., Raguindin P.F., Roa-Díaz Z.M., Wyssmann B.M., Romero Guevara S.L., Echeverría L.E. [et al.]. COVID-19 in Health-Care Workers: A Living Systematic Review and Meta-Analysis of Prevalence, Risk Factors, Clinical Characteristics, and Outcomes. *Am. J. Epidemiol.*, 2021, vol. 190, no. 1, pp. 161–175. DOI: 10.1093/aje/kwaa191
2. Briko N.I., Kagramanyan I.N., Nikiforov V.V., Suranova T.G., Chernyavskaya O.P., Polezhaeva N.A. Pandemic COVID-19. Prevention measures in the Russian Federation. *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 4–12. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12 (in Russian).
3. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B., Demina Yu.V., Safronov V.A., Karnaukhov I.G., Ivanova A.V., Shcherbakova S.A. Epidemiological peculiarities of new coronavirus infection (COVID-19). Communication 2: Peculiarities of epidemic process development in conjunction with performed anti-epidemic measures around the world and in the Russian Federation. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2020, no. 2, pp. 6–12. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-6-12 (in Russian).
4. Nguyen L.H., Drew D.A., Graham M.S., Joshi A.D., Guo C.-G., Ma W., Mehta R.S., Warner E.T. [et al.]. Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study. *Lancet Public Health*, 2020, vol. 5, no. 9, pp. e475–e483. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30164-X
5. Wei J.-T., Liu Z.-D., Fan Z.-W., Zhao L., Cao W.-C. Epidemiology of and Risk Factors for COVID-19 Infection among Health Care Workers: A Multi-Centre Comparative Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 19, pp. 7149. DOI: 10.3390/ijerph17197149
6. Hossain A., Nasrullah S.M., Tasnim Z., Hasan M.K., Hasan M.M. Seroprevalence of SARS-CoV-2 IgG antibodies among health care workers prior to vaccine administration in Europe, the USA and East Asia: A systematic review and meta-analysis. *EClinicalMedicine*, 2021, vol. 33, pp. 100770. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.100770
7. Godderis L., Boone A., Bakusic J. COVID-19: a new work-related disease threatening healthcare workers. *Occup. Med. (Lond.)*, 2020, vol. 70, no. 5, pp. 315–316. DOI: 10.1093/occmed/kqaa056
8. Celebi G., Piskin N., Celik Beklevic A., Altunay Y., Salci Keles A., Tuz M.A., Altinsoy B., Haciseyitoglu D. Specific risk factors for SARS-CoV-2 transmission among health care workers in a university hospital. *Am. J. Infect. Control*, 2020, vol. 48, no. 10, pp. 1225–1230. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.07.039
9. Grubaugh N.D., Ladner J.T., Lemey P., Pybus O.G., Rambaut A., Holmes E.C., Andersen K.G. Tracking virus outbreaks in the twenty-first century. *Nat. Microbiol.*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 10–19. DOI: 10.1038/s41564-018-0296-2
10. Poletti P., Tirani M., Cereda D., Guzzetta G., Trentini F., Marziano V., Toso C., Piatti A. [et al.]. Seroprevalence of and Risk Factors Associated With SARS-CoV-2 Infection in Health Care Workers During the Early COVID-19 Pandemic in Italy. *JAMA Netw. Open*, 2021, vol. 4, no. 7, pp. e2115699. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.15699
11. Medvedev D.A. Security cooperation during the novel coronavirus pandemic. *Rossiia v global'noi politike*, 2020, vol. 18, no. 4 (104), pp. 8–21 (in Russian).
12. Medvedev D. Shest' urokov odnoi pandemii [Six lessons from one pandemic]. *Rossiiskaya gazeta*. Available at: <https://rg.ru/2021/11/01/dmitrij-medvedev-o-proshlom-nastoiashchem-i-budushchem-borby-s-covid-19/> (01.03.2022) (in Russian).
13. Platonova T.A., Golubkova A.A., Tutelyan A.V., Smirnova S.S. The incidence of COVID-19 medical workers. The issues of biosafety and occupational risk factors. *Epidemiologiya i Vaksino profilaktika*, 2021, vol. 20, no. 2, pp. 4–11. DOI: 10.31631/2073-3046-2021-20-2-4-11 (in Russian).
14. Lidstrom A.K., Sund F., Albinsson B., Lindback J., Westman G. Work at inpatient care units is associated with an increased risk of SARS-CoV-2 infection; a cross-sectional study of 8679 healthcare workers in Sweden. *Ups. J. Med. Sci.*, 2020, vol. 125, no. 4, pp. 305–310. DOI: 10.1080/03009734.2020.1793039
15. Iversen K., Bundgaard H., Hasselbalch R.B., Kristensen J.H., Nielsen P.B., Pries-Heje M., Knudsen A.D., Christensen C.E. [et al.]. Risk of COVID-19 in health-care workers in Denmark: an observational cohort study. *Lancet Infect. Dis.*, 2020, vol. 20, no. 12, pp. 1401–1408. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30589-2
16. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B., Demina Yu.V., Safronov V.A., Karnaukhov I.G., Ivanova A.V., Shcherbakova S.A. Epidemiological features of new coronavirus infection (COVID-19). Communication 1: modes of implementation of preventive and anti-epidemic measures. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2020, no. 1, pp. 6–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13 (in Russian)
17. Shields A., Faustini S.E., Perez-Toledo M., Jossi S., Aldera E., Allen J.D., Al-Taei S., Backhouse C. [et al.]. SARS-CoV-2 seroprevalence and asymptomatic viral carriage in healthcare workers: a cross-sectional study. *Thorax*, 2020, vol. 75, no. 12, pp. 1089–1094. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2020-215414
18. Nienhaus A., Hod R. COVID-19 among Health Workers in Germany and Malaysia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 13, pp. 4881. DOI: 10.3390/ijerph17134881
19. Gholami M., Fawad I., Shadan S., Rowaiee R., Ghanem H.A., Hassan Khamis A., Ho S.B. COVID-19 and healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Infect. Dis.*, 2021, vol. 104, pp. 335–346. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.01.013
20. Chou R., Dana T., Buckley D.I., Selph S., Fu R., Totten A.M. Epidemiology of and Risk Factors for Coronavirus Infection in Health Care Workers: A Living Rapid Review. *Ann. Intern. Med.*, 2020, vol. 173, no. 2, pp. 120–136. DOI: 10.7326/M20-1632

Smirnova S.S., Egorov I.A., Zhuikov N.N., Vyatkin L.G., Kharitonov A.N., Semenov A.V., Morova O.V. Risks of becoming infected with SARS-CoV-2 for medical personnel in a large industrial city during the pandemic: comparative assessment. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 139–150. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.13.eng

Получена: 24.03.2022

Одобрена: 15.06.2022

Принята к публикации: 25.06.2022

УДК 612.17: 616.1
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.14

Читать
онлайн



Научная статья

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФИЦИТА ЗДОРОВЬЯ И ЕГО ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА ЧЕРЕЗ ДВА ГОДА ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

Л.Н. Игишева^{1,2}, А.А. Румянцева¹, А.В. Шабалдин^{1,2}, А.В. Синицкая¹,
Н.А. Литвинова², О.В. Долгих³

¹Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 6

²Кемеровский государственный медицинский университет, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а

³Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 6140045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Проанализированы факторы риска формирования нарушений состояния здоровья детей через два года после радикальной операции на сердце для задач оптимизации диагностики и прогноза негативных последствий хирургического лечения врожденного порока сердца с использованием данных широкого анамнеза и индикаторных генетических показателей.

Проведено проспективное когортное наблюдение за 89 детьми с врожденными пороками сердца в течение двух лет с момента радикальной операции на сердце. Дизайн исследования включал следующие этапы: оценка качества жизни по Cardiac Module («Кардиологический модуль») вопросника Pediatric Quality of Life Questionnaire (USA, 2001); сбор широкого анамнеза с использованием анкетирования; проведение типирования полиморфных вариантов генов биотрансформации ксенобиотиков, врожденного и адаптивного иммунитета, участвующих в эмбриогенезе сердечно-сосудистой системы; логистический регрессионный пошаговый многофакторный анализ независимых переменных широкого анамнеза, особенностей радикальной операции, дооперационных показателей здоровья, а также полиморфных вариантов исследуемых генов с зависимыми вариантами: типы функционирования и комплексный интегральный показатель здоровья через два года после хирургического лечения.

*Значимыми показателями двухлетней динамики здоровья пациентов, оперированных по поводу врожденных пороков сердца, были показатели физического функционирования и комплексный интегральный показатель здоровья, отражающие качество жизни детей в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце. Дефицит здоровья и качества жизни через два года после радикальной операции на сердце был ассоциирован с аллелями: HLADRB1*04, HLADRB1*11, HLADRB1*12, HLADRB1*13 и мажорным аллелем T полиморфного варианта гена CYP1A1 T/C (rs1048943). Влияние этих аллелей на качество жизни в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце формируется через детерминацию пролонгированного токсико-воспалительного процесса в оперированном сердце. Из медицинских и социальных факторов риска на формирование дефицита здоровья и качества жизни в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце оказывали влияние тяжесть врожденных пороков сердца, возраст на момент радикальной операции, а также неудовлетворительные материальные и жилищные условия.*

Ключевые слова: CYP1A1, HLADRB1, врожденные пороки сердца, качество жизни, факторы риска, радикальная операция на сердце, комплексный интегральный показатель здоровья, показатели физического функционирования.

© Игишева Л.Н., Румянцева А.А., Шабалдин А.В., Синицкая А.В., Литвинова Н.А., Долгих О.В., 2022

Игишева Людмила Николаевна – доктор медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории пороков сердца; профессор кафедры педиатрии и неонатологии (e-mail: igisheval@yandex.ru; тел.: 8 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7102-3571>).

Румянцева Александра Александровна – аспирант, врач-кардиолог (e-mail: aleksandra_1505@mail.ru; тел.: 8 (384) 264-45-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1352-2591>).

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 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>).

Синицкая Анна Викторовна – научный сотрудник лаборатории геномной медицины (e-mail: seroav1991@gmail.com; тел.: 8 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>).

Литвинова Надежда Алексеевна – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии (e-mail: nadyakemtsu@mail.ru; тел.: 8 (384) 273-29-84; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4815-8520>).

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>).

В последнее десятилетие в отечественной и мировой кардиохирургии произошли кардинальные изменения, давшие возможность проводить хирургическое лечение врожденных пороков сердца (ВПС) на первом году жизни, а критических и тяжелых ВПС – в период новорожденности¹. Применение современных хирургических технологий в раннем постнатальном периоде значительно снизило уровень неонатальной смертности, в том числе по причинам тяжелых и критических ВПС. Золотой стандарт хирургического лечения ВПС – открытая операция в условиях искусственного кровообращения. Радикальная операция на сердце является основой комплексного лечения ВПС, так как она максимально исправляет анатомические дефекты в сердечно-сосудистой системе. В то же время последующая медикаментозная терапия и реабилитация детей с ВПС позволяет компенсировать остаточные гемодинамические и функциональные нарушения в сердечно-сосудистой системе. Проведенные исследования показывают, что полной компенсации по функционированию сердечно-сосудистой системы у детей после радикальной операции на сердце достичь невозможно [1]. Это отражается и на других показателях здоровья, таких как отставание в физическом развитии [2]. Mussato et al. [3] показали, что после кардиохирургического вмешательства у детей с ВПС в 56 % случаев развивались речевые нарушения, а в 21 % – нарушения когнитивной функции.

Учитывая, что здоровье – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезни и физических дефектов², можно говорить о дефиците здоровья у детей после радикальной операции на сердце в отдаленном послеоперационном периоде. Возвращаясь к определению здоровья, принятому Всемирной организацией здравоохранения, можно говорить о физическом, эмоциональном, социальном и умственном функционировании как составных частях здоровья индивидуума. Соответственно каждый из этих типов функционирования может быть нарушен и требует отдельного реабилитационного воздействия. Выявление отклонений в тех или иных типах функционирования является актуальной задачей индивидуальной реабилитации после радикальной операции, проведенной по поводу ВПС.

Другой важной проблемой является составление индивидуальной программы реабилитации после радикальной операции, проведенной по поводу ВПС. Для этого необходимо прогнозирование риска формирования дефицита здоровья как в целом, так и по отдельным типам функционирования, в частности, в отдаленном послеоперационном периоде. Прединдикторами дефицита здоровья могут быть как конститу-

циональные (генетические) маркеры, так и показатели широкого анамнеза (социальные семейные и индивидуальные медицинские факторы), для которых неоднократно показаны ассоциации с ВПС [4–6].

Особое внимание хотелось бы уделить генам иммунного ответа (*HLA-DRB1*) и сигнальным мембранным рецепторам врожденного иммунитета (*TREMI*), которые могут участвовать в индукции ВПС как воспалительных эмбриопатий и в поддержании воспаления в сердечно-сосудистой системе до и после хирургического лечения этой патологии [7].

Основой для развития дефицита здоровья в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце могут быть пролонгированный иммуновоспалительный процесс в сердечно-сосудистой системе или, напротив, частые респираторные инфекционные заболевания как проявления иммунной недостаточности.

Исходя из этого, была поставлена **цель исследования** – улучшение диагностики и прогнозирования отклонений в состоянии здоровья детей через два года после радикальной операции как результата хирургического лечения ВПС за счет анализа факторов риска с помощью показателей широкого анамнеза и генетических маркеров.

Материалы и методы. Для реализации поставленной задачи выполнено проспективное когортное исследование на базе ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (НИИ КПССЗ) и ГБУЗ «Кузбасский клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша». Набор в группу исследования проводился на базе детского отделения ГБУЗ «Кузбасский клинический кардиологический диспансер имени академика Л.С. Барбараша» в период с 2019 по 2020 г. методом сплошного включения пациентов, имеющих в анамнезе радикальную операцию на сердце в условиях искусственного кровообращения.

Критериями включения в группу для проспективного исследования были:

- ♦ возраст пациента на момент операции от 0 до 15 лет включительно;
- ♦ врожденный порок сердца, требующий радикального оперативного вмешательства в условиях искусственного кровообращения;
- ♦ заполненный регистр ВПС по широкому анамнезу и инструментальным методам исследования.

Критерии исключения:

- ♦ врожденный порок сердца, требующий рентгенэндоваскулярного оперативного вмешательства;
- ♦ врожденный порок сердца, требующий паллиативного оперативного вмешательства в условиях искусственного кровообращения;

¹ Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г. Сердечно-сосудистая хирургия – 2014 // Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения: ежегодный стат. сборник. – М., 2015. – 226 с.

² Constitution of the World Health Organization [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2006. – 45th ed. – 20 p. – URL: https://www.afro.who.int/sites/default/files/pdf/generic/who_constitution_en.pdf (дата обращения: 15.10.2021).

- ♦ генетические хромосомные болезни;
- ♦ незаполненный регистр ВПС.

В группе проспективного исследования наблюдались 89 детей (44 девочки и 45 мальчиков). Распределение ВПС по нозологиям представлено в табл. 1.

Анализ анамнестических факторов показал, что одна треть детей с ВПС рождалась путем кесарева сечения, больше половины детей были переведены на искусственное вскармливание, каждый пятый ребенок имел неонатальную пневмонию и конъюгационную желтуху (табл. 2). Около 80 % детей оставались до конца не привитыми. К часто и длительно болеющим детям по критериям В.Ю. Альбицкого, А.А. Баранова (1985) относилось более половины детей. Каждый пятый ребенок имел сопутствующие заболевания ЦНС, и в среднем около 8 % пациентов с ВПС имели сопутст-

вующие заболевания мочеполовой системы, желудочно-кишечного тракта, а также атопический дерматит.

В раннем периоде после радикальной операции на сердце у 35 детей (39,33 %) развились инфекционные осложнения, а у 8 детей (8,99 %) – неинфекционные. К инфекционным осложнениям относили: длительную (более 5 дней) лихорадку, пневмонию, гидроторакс, гидроперикард, перикардит, септические проявления. К неинфекционным осложнениям, развившимся после хирургического лечения ВПС, относили нарушения ритма и проводимости, сопровождавшиеся снижением фракции выброса, судорожный синдром, парез купола диафрагмы.

Комплексная оценка здоровья. Всем пациентам была проведена оценка состояния здоровья по физическому, психоэмоциональному, социальному и умственному функционированию, а также уровня

Таблица 1

Распределение ВПС по нозологиям

Нозология ВПС	Абсолютное кол-во детей	Удельный вес, %
Дефект межпредсердной перегородки	31	34,83
Дефект межжелудочковой перегородки	14	15,73
Сочетанные септальные дефекты	4	4,5
Атриовентрикулярная коммуникация	3	3,37
Тетрада Фалло, дефекты отхождения магистральных сосудов	15	16,9
Единый желудочек сердца	6	6,74
Коарктация аорты	5	5,62
Стеноз аортального клапана	3	3,37
Сочетание коарктации аорты и дефекта межжелудочковой перегородки, гипоплазия аорты	3	3,37
Тотальный аномальный дренаж легочных вен	2	2,25
Частичный аномальный дренаж легочных вен	1	1,12
Атрезия легочной артерии первого типа	1	1,12
Аномалия Эбштейна	1	1,12
Итого	89	100

Таблица 2

Характеристика группы исследуемых детей

Данные анамнеза	Абсолютное число	Удельный вес, %
Родоразрешение путем кесарева сечения	29	32,58
Грудное вскармливание до 6 месяцев	60	67,42
Заболевания раннего неонатального периода:		
– пневмония	17	19,1
– желтуха	19	21,3
Вакцинация:		
– полная	18	20,2
– неполная	71	79,8
Частота респираторных инфекций за первый год жизни (более 2 раз)	29	32,58
Частота респираторных инфекций на втором и третьем году жизни (ОРВИ, отиты, бронхиты, пневмонии)	74	83,15
Аллергические дерматиты	5	5,6
Заболевания ЖКТ* после года (ГЭР**, гастрит, дуоденит)	5	5,6
Заболевания МПС*** (ИМВП****)	8	8,9
Заболевания нервной системы	22	24,7
Нарушение проводимости в анамнезе (транзиторная АВ-блокада 1–2-й степени)	12	13,48

Примечание: *ЖКТ – желудочно-кишечный тракт, **ГЭР – гастроэзофагеальный рефлюкс, ***МПС – мочеполовая система, ****ИМВП – инфекция мочевыводящих путей.

интеллекта (IQ) и речевого развития до оперативного лечения и через два года после хирургического лечения ВПС.

Важным показателем оценки состояния здоровья пациента является качество его жизни (КЖ), оцениваемое по результатам опросов с применением психометрических методов и опросников типа Pediatric Quality of Life Questionnaire, PEDsQL 4.0 (J.W. Varni et al., USA, 2001), с помощью которых можно оценить физическое (ФФ), эмоциональное (ЭФ), социальное функционирование (СФ), жизнь в школе (ЖШ), психическое здоровье и комплексный интегральный показатель здоровья [8, 9].

В исследовании был использован Cardiac Module («Кардиологический модуль») вопросника PEDsQL 4.0. Наличие параллельных форм вопросника – детской (self-report) и родительской (proxy-report) версий – позволило эффективно оценить КЖ ребенка.

После тестирования проводилась перекодировка данных в баллы КЖ по защищенным авторским правом (Международный центр исследования качества жизни, г. Санкт-Петербург) процедурам, представленным авторами вопросника. Применялось обратное соотношение: чем ниже балл, тем выше процент функционирования. Принята следующая шкала: 1 балл соответствует 100–76 % – отличному функционированию, 2 балла равны 75–51 % – хорошему функционированию, 3 балла показывают 50–26 % – удовлетворительное функционирование и 4 балла указывают на 25–0 % – плохое функционирование. Заключение давалось по каждому типу функционирования: физическому, психоэмоциональному, социальному и умственному, оцененному родителем, ребенком (пациентом) и врачом.

Оценка физического, психоэмоционального, социального и умственного функционирования, а также уровня интеллекта (IQ) и речевого развития проводилась у детей с определенного возраста. Данные по возрасту, с которого началась оценка того или иного вида функционирования, а также по количеству детей, участвующих в этой оценке, представлены в табл. 3.

У всех детей был выполнен забор периферической крови для проведения иммуногенетического типирования.

Для анализа роли конституциональных факторов в детерминировании дефицита здоровья детей через два года после хирургического лечения ВПС проведено типирование полиморфных вариантов генов биотрансформации ксенобиотиков, врожденного и адаптивного иммунитета.

Молекулярно-генетическое исследование. В качестве материала использована геномная ДНК, выделенная из лейкоцитов периферической крови. Выделение геномной ДНК производили методом

фенол-хлороформной экстракции по стандартному протоколу. У всех участников исследования проводился забор крови на дооперационном этапе из локтевой вены в пробирку, содержащую этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЭДТА, Becton Dickinson Vacutainer, США). Далее кровь аликвотировали по 700 мкл в пробирки 1,5 мл типа «Эппендорф» (Axygen, США) с плотно закрывающимися крышками. Все образцы биологического материала маркировали соответствующим образом и хранили при -80 °C до даты проведения исследования. Концентрацию выделенной ДНК измеряли на спектрофотометре NanoDrop ND-2000C (Thermo, USA). Выбор однонуклеотидных полиморфных сайтов для молекулярно-генетического типирования был обусловлен локализацией в генах: кодирующих ферменты биотрансформации ксенобиотиков (*GSTP*, *CYP1A2*, *CYP1A1*), участвующих в детерминировании кардиогенеза (*CRELD1*, *GATA6*), сигнальных мембранных (*TREMI*) и внутриклеточных (*NOTCH1*) рецепторов врожденного иммунитета и классического гена иммунного ответа (*HLA-DRB1*). Для однонуклеотидных замен (SNP) распространенность минорного аллеля полиморфного сайта в популяции, по данным HarMap, была не более 5 %.

По открытым научным данным³ для выбранных SNP оценивались предполагаемые или доказанные последствия на молекулярном уровне в детерминировании формирования ВПС. Всего отобрано 20 полиморфных вариантов генов, представленных в табл. 4.

Генотипирование осуществляли с помощью метода ППР с использованием TaqMan зондов (Thermo Fisher Scientific, США) на детектирующем амплификаторе ViiATM 7 Real-Time PCR System (Life Technologies, США).

Анализ *HLA-DRB1* проводили методом полимеразной цепной реакции с учетом результатов в режиме реального времени наборами компании «ДНК-технология» (Россия) при помощи детектирующего амплификатора DT-96 («ДНК-технология», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Контроль качества генотипирования осуществляли посредством повторного генотипирования 10 % случайно отобранных образцов. Область интереса определена как анализ частоты встречаемости 14 аллелей гена *HLA-DRB1*.

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программ Statistica for Windows фирмы StatSoft Inc., версия 10.0, и MedCalc 17.5.3.

В настоящем исследовании для каждого количественного признака проводилось изучение характера распределения тестами Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Количественные данные представлены в виде медианы (*Me*), а также

³ SNPedia [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.snpedia.com/index.php/Rs> (дата обращения: 20.10.2021); dbSNP [Электронный ресурс] // National Library of Medicine. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/rs> (дата обращения: 20.10.2021).

Таблица 3

Возрастные пределы и выборки детей для проведения оценок физического, психоэмоционального, социального и умственного функционирования, а также уровня интеллекта (IQ) и речевого развития

Оценка	Возраст, лет	Количество детей, участвующих в оценке
Физическое функционирование	Старше 2	76
Психоэмоциональное функционирование	Старше 5	51
Социальное функционирование		
Умственное функционирование		
Уровень интеллекта (IQ)		
Речевое развитие		

Таблица 4

Характеристика полиморфных сайтов изучаемых генов

Ген	Тип SNP	SNP ID	Аминокислотная замена	Локализация на хромосоме по GRCh.p12*	Нуклеотидная замена
GSTP1	Upstream variant	rs6591256	-	Chr11.67582428	A/G
GSTP1	Upstream variant	rs17593068	-	Chr11.67583461	G/T
GSTP1	Intron variant	rs1871042	-	Chr11.67586373	C/T
GSTP1	Missense variant	Rs1695	Missense mutation Ile105Val	Chr11.67585218	A/G
CYP1A1	Missense variant	rs1048943	Missense mutation Ile462Val	Chr15.74720644	T/C
CYP1A2	Intron variant	rs762551	-	Chr15.74749576	C/A
CRELD-1	Missense variant	rs73118372	Missense mutation Met383Arg	Chr3.9943989	T/C
CRELD-1	Intron variant	rs9878047	-	Chr3.9943773	T/C
CRELD-1	Synonymous variant	rs3774207	Amino acid codon H [CAC] > H [CAT]	Chr3.9943972	C/T
GATA6	Intron variant	rs10454095	-	Chr18.22197478	T/C
NOTCH1	Intron variant	rs13290979	-	Chr9.136531182	A/G
TREM1	Intron variant	rs1817537	-	Chr6.41276829	C/G
TREM1	Intron variant	rs3804277	-	Chr6.41277434	C/T
TREM1	Intron variant	rs6910730	-	Chr6.6:41278895	A/G
TREM1	Upstream variant	rs7768162	-	Chr6.41276829	A/G
TREM1	Downstream Variant	rs2234246	-	Chr6.41276002	C/T
TREM1	Downstream transcript variant	rs4711668	-	Chr6.41278735	C/T
TREM1	Upstream variant	rs9471535	-	Chr6.41287752	C/T
TREM1	Missense variant	rs2234237	Missense mutation Thr25Ser	Chr6.41282728	A/T

Примечание: *GRCh38.p12 – геномный консорциум по проверке локализаций SNP.

25-го и 75-го квартилей ($Q_{25} - UQ$ и $Q_{75} - LQ$). Для сравнения непараметрических показателей использовался критерий Вилкоксона. Для попарного сравнения применялся критерий Манна – Уитни. Для определения статистической значимости отличий между качественными признаками применяли критерий хи-квадрат (χ^2) с поправкой Йетса. Сила связи между изученными признаками определялась при помощи коэффициента корреляции Спирмена. Статистически значимыми считались показатели, у которых p -уровень не превышал 0,05, то есть нулевая гипотеза отвергалась при ошибке менее 5 %, что соответствует стандартам медико-биологических исследований⁴.

что соответствует стандартам медико-биологических исследований⁴.

При математическом моделировании прогнозирования вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС и его классификации использовались: множественная логистическая регрессия, в том числе пошаговый вариант для четырех балльных категорий зависимой переменной, деревья классификации и ROC-анализ. Деревья классификации позволили выявить значимые предикторы и их ранжирование. ROC-анализ дал возможность оценить значимость

⁴ Лакин Г.Ф. Биометрия: уч. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

полученного уравнения расчета вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС и включал в себя следующие параметры: AUC (area under curve) – площадь под кривой (характеризует диагностическую ценность показателя (0,9–1,0 – отличная; 0,8–0,9 – очень хорошая; 0,7–0,8 – хорошая; 0,6–0,7 – средняя; 0,6 и меньше – неудовлетворительная)), чувствительность (Se) и специфичность (Sp) фактора.

Результаты и их обсуждение. Распределение баллов функционирования (PD) по различным типам оценок здоровья с позиций врача, пациента и родителя приведено в табл. 5.

Значимых различий между оценками врача, родителя и пациента не выявлено. По результатам проведенного дополнительно корреляционного анализа через два года после радикальной операции на сердце, между оценочными показателями различных типов функционирования, выставленных родителями, пациентами и врачом, выявлена высокая степень достоверности корреляционных взаимосвязей (табл. 6).

Исходя из этого, для логистической регрессии использовали интегральные показатели (средняя

арифметическая величина родительской, детской и врачебной оценки) для каждого типа функционирования (физического, эмоционального, социального и умственного), а также для комплексного интегрального показателя здоровья.

Выполнен поиск ассоциаций между независимыми факторами: широким анамнезом, нарушениями кровообращения до хирургического лечения, особенностями радикальной операции, дооперационными показателями здоровья, а также полиморфными вариантами исследуемых генов, с одной стороны, и зависимыми переменными: интегральными показателями различных типов функционирования, а также комплексным интегральным показателем здоровья, с другой стороны. Установлен ряд значимых связей, представленных в табл. 7 и 8.

В табл. 7 приведены статистически значимые ассоциации независимых переменных широкого анамнеза, нарушений кровообращения до хирургического лечения, особенностей радикальной операции, дооперационных показателей здоровья, а также полиморфных вариантов исследуемых генов с интегральным показателем физического функционирования через два года после хирургического лечения ВПС.

Таблица 5

Распределение баллов функционирования (PD) по различным типам оценок здоровья с позиций врача, пациента и родителя

Показатели	1 – Врач			2 – Пациент			3 – Родитель			p 1,2	p 1,3	p 2,3
	Me	25 % PQ	75 % PQ	Me	25 % PQ	75 % PQ	Me	25 % PQ	75 % PQ			
PD физ.	2,66	1,75	3,56	2,67	1,66	3,69	2,64	1,65	3,63	-0,04	0,04	0,08
PD эмоц.	2,51	1,70	3,31	2,46	1,61	3,31	2,49	1,69	3,30	0,13	0,04	-0,09
PD соц.	2,44	1,55	3,33	2,57	1,73	3,42	2,48	1,63	3,32	-0,34	-0,09	0,26
PD умств.	2,39	1,32	3,46	2,41	1,53	3,29	2,46	1,57	3,35	-0,04	-0,16	-0,13

Примечание: PD – балл функционирования: физ. – физического, соц. – социального, эмоц. – эмоционального, умств. – умственного; p – уровень значимости.

Таблица 6

Корреляция между оценочными баллами, выставленными врачами, детьми и родителями через два года после радикальной операции на сердце

Показатель	Spearman R	$t \cdot (n-2)$	p -value
PD физ. врач & PD физ. пациент	0,967	29,948	0,000
PD эмоц. пациент & PD эмоц. родитель	0,848	12,574	0,000
PD соц. врач & PD соц. пациент	0,927	19,449	0,000
PD умств. врач & PD умств. пациент	0,916	17,928	0,000
PD физ. пациент & PD физ. родитель	0,964	28,646	0,000
PD эмоц. пациент & PD эмоц. родитель	0,840	12,200	0,000
PD соц. пациент & PD соц. родитель	0,837	12,045	0,000
PD умств. пациент & PD умств. родитель	0,849	12,656	0,000
PD физ. врач & PD физ. родитель	0,933	20,475	0,000
PD эмоц. врач & PD эмоц. родитель	0,836	11,985	0,000
PD соц. врач & PD соц. родитель	0,832	11,828	0,000
PD умств. врач & PD умств. родитель	0,769	9,469	0,000

Примечание: PD – балл функционирования: физ. – физического, соц. – социального, эмоц. – эмоционального, умств. – умственного; p – уровень значимости, R – коэффициент корреляции Спирмена.

Таблица 7

Результаты логистического регрессионного пошагового многофакторного анализа

Показатель	β -коэффициент	Стандартная ошибка β -коэффициента	В-коэффициент	Стандартная ошибка В-коэффициента	p-value
Intercept			1,969	0,143	0,000
<i>HLA-DRB1*12</i>	0,343	0,146	0,874	0,372	0,025
<i>HLA-DRB1*11</i>	0,329	0,147	0,399	0,178	0,032

Примечание: Intercept – свободный коэффициент логистической регрессии.

Таблица 8

Логистический регрессионный пошаговый многофакторный анализ независимых переменных

Показатель	β -коэффициент	Стандартная ошибка β -коэффициента	В-коэффициент	Стандартная ошибка В-коэффициента	p-value
Intercept			1,711	0,206	0,000
Балл ВПС по тяжести и критичности	0,633	0,123	0,065	0,013	0,000
Материальные условия	-0,531	0,120	-0,559	0,127	0,000
<i>HLA-DRB1*13</i>	0,605	0,133	0,722	0,159	0,000
Состав семьи	0,428	0,132	0,450	0,138	0,003

Примечание: Intercept – свободный коэффициент логистической регрессии.

Как видно из табл. 7, статистически значимые положительные ассоциации были достигнуты только для генетических маркеров (*HLA-DRB1*11* и *HLA-DRB1*12*). Оба аллеля кодируют одну серологическую специфичность – HLA-DR5, и это указывает на особую роль молекул HLA II класса как антигенпрезентирующих рецепторов в детерминировании физического функционирования через два года после хирургического лечения ВПС.

Можно предположить, что иммунный фенотип определяет фенотипические проявления здоровья. Как для антигена HLA-DR5, так и для аллеля *HLA-DRB1*12* выявлена положительная ассоциация с иммуновоспалительными заболеваниями, такими как недифференцированный спондилоартрит, ювенильный артрит, антифосфолипидный синдром [10, 11], а одновременно с аллелем *HLA-DRB1*11* установлена положительная ассоциация с аутоиммунным тиреодитом [12]. Вполне вероятно, что субклиническое иммунное воспаление у детей с *HLA-DRB1*11* и *HLA-DRB1*12* могло проявляться и в угнетении физического функционала. Соответственно высокое представительство *HLA-DRB1*12* в группе детей с ВПС может увеличивать его относительное содержание и в группе детей с низким физическим функционированием. Так или иначе, фенотип HLA-DR5 положительно ассоциирован с низким качеством физического функционирования через два года после радикальной операции на сердце.

Для других типов функционирования, оцененных через два года после радикальной операции на сердце, не выявлено значимых ассоциаций по всем независимым переменным.

Через два года после радикальной операции на сердце был оценен и комплексный интегральный показатель здоровья как среднее арифметическое

всех интегральных показателей различных типов функционирования (физического, эмоционального, социального и умственного). Для комплексного интегрального показателя здоровья также были исследованы ассоциации с независимыми переменными широкого анамнеза, нарушений кровообращения до хирургического лечения, особенностей радикальной операции, дооперационных показателей здоровья, а также полиморфных вариантов исследуемых генов, представленные в табл. 8.

Как видно из табл. 8, комплексный интегральный показатель здоровья через два года после хирургического лечения ВПС был положительно ассоциирован с баллом ВПС по тяжести и критичности, с составом семьи и аллелем *HLA-DRB1*13*. Отрицательная статистически значимая ассоциация была выявлена для материальных условий. Эти ассоциации указывают на то, что чем критичнее ВПС, тем хуже результаты двухгодичной реабилитации с более высоким комплексным интегральным показателем неэффективного качества здоровья.

В отношении состава семьи необходимо отметить, что полная семья имела 1 балл, полная многодетная – 2 балла, неполная – 3 балла, дети из детского дома (не имеющие семьи) – 4 балла. Исходя из этой балльной системы, ассоциация указывает, что чем выше балл, отражающий проблемы в семье, тем выше балл неэффективности комплексной оценки качества здоровья. Соответственно, дети из детских домов имели самое плохое качество жизни через два года после хирургического лечения ВПС.

Балльная характеристика материальных условий была привязана к минимальному размеру оплаты труда (МРОТ) на каждого члена семьи. Если в семье размер финансов на одного члена семьи в месяц был меньше МРОТ, то эту семью относили

к малообеспеченным (0 баллов), а если этот показатель был больше или равен МРОТ, то ее относили к обеспеченным семьям (1 балл). Соответственно, полученная отрицательная ассоциация с материальными условиями отражает то, что чем меньше достаток в семье, тем выше балл неэффективности качества здоровья через два года после хирургического лечения ВПС.

Другой механизм может быть связан с самой молекулой HLA-DR6, кодируемой аллелем *HLA-DRB1*13*. Для данной молекулы еще в 80-х гг. прошлого столетия показаны слабые антигенные характеристики, что может проявляться неэффективным иммунным ответом на антигены окружающей среды. То есть данный аллель и мембранный рецептор с изотипом HLA-DR6 ассоциированы с функциональной Ig-ассоциированной иммунной недостаточностью [13]. Именно через феномен слабости иммунитета может быть реализована комплексная недостаточность качества здоровья.

Для разработки методических подходов комплексной диагностики и прогнозирования нарушений в состоянии здоровья детей, оперированных по поводу ВПС, использовали множественную логистическую регрессию, где основной зависимой вариантой было наличие или отсутствие дефицита здоровья у детей через два года после хирургического лечения ВПС.

Представленные выше данные указывают на то, что комплексный интегральный показатель отражает состояние здоровья у детей в отдаленный послеоперационный период. Для комплексного интегрального показателя здоровья через два года было выявлено среднее значение, медиана, а также перцентильные и среднеквадратическое отклонения. Эти показатели описательной статистики легли в основу выделения границы «плохих» и «хороших» результатов оценки для комплексного показателя здоровья в отдаленном послеоперационном периоде. Данные представлены в табл. 9.

Введение границ «плохих» и «хороших» результатов комплексной оценки здоровья через два года после радикальной операции на сердце, выполненной по поводу ВПС, позволило провести множественную логистическую регрессию с бинарной зависимой переменной («хороший» или «плохой» комплексный интегральный показатель здоровья) для построения логарифмического уравнения, прогнозирования риска развития события. Соответственно, «плохой» комплексный интегральный показатель здоровья принимали как дефицит здоровья через два года после хирургического лечения ВПС.

Данные логистической регрессии для комплексного интегрального показателя через два года после хирургического лечения ВПС представлены в табл. 10.

Таблица 9

Описательные статистические характеристики и границы «плохих» и «хороших» результатов балльной оценки для комплексного интегрального показателя здоровья через два года после хирургического лечения ВПС

Показатель	Среднее	Медиана	25-й перцентиль	75-й перцентиль
Комплексный интегральный показатель здоровья через два года после хирургического лечения ВПС	2,276	2,125	2,000	2,500
Показатель	Ниже или равно	Результат (балл для регрессии)	Выше или равно	Результат (балл для регрессии)
Комплексный интегральный показатель здоровья через два года после хирургического лечения ВПС	2,000	«Хороший» (0 баллов)	2,250	«Плохой» (1 балл)

Таблица 10

Результаты логистической регрессии для комплексного интегрального показателя

Регрессия зависимой варианты: «плохой» комплексный интегральный показатель здоровья – 1 / «хороший» – 0	β -коэффициент	Стандартная ошибка β -коэффициента	В-коэффициент	Стандартная ошибка В-коэффициента	p-value
Intercept			-0,759	0,350	0,041
Состав семьи	0,524	0,108	0,541	0,112	0,000
Материальные условия	-0,615	0,103	-0,634	0,106	0,000
Балл ВПС по тяжести и критичности	0,705	0,127	0,071	0,013	0,000
Возраст проведения радикальной операции	0,424	0,099	0,072	0,017	0,000
<i>CYP1A1 T/C rs1048943*T</i>	0,215	0,094	0,396	0,174	0,033
<i>HLA-DRB1*04</i>	0,303	0,095	0,334	0,105	0,004
Жилищные условия	0,443	0,112	0,465	0,117	0,001
<i>HLA-DRB1*13</i>	0,457	0,113	0,534	0,132	0,001
<i>HLA-DRB1*01</i>	-0,223	0,098	-0,258	0,113	0,033

Примечание: Intercept – свободный коэффициент логистической регрессии.

Таблица 11

Баллы ВПС с учетом их тяжести, критичности для логистической регрессии

Нозология	Балл для логистической регрессии
Септальные дефекты и их сочетание	1
Коарктация аорты	2
Недостаточность клапанов (МК, ТК)	2
Аномалия коронарных артерий	3
Сочетание коарктации аорты и дефекта межжелудочковой перегородки, гипоплазия аорты	4
Стеноз аортального клапана	4
Тетрада Фалло, дефекты отхождения магистральных сосудов	5
Атриовентрикулярная коммуникация	5
Частичный аномальный дренаж легочных вен	5
Аномалия Эбштейна	6
Тотальный аномальный дренаж легочных вен	7
Атрезия легочной артерии первого типа	8
Единый желудочек сердца	9

Примечание: ТК – трикуспидальный клапан; МК – митральный клапан.

Из данных табл. 10 видно, что для комплексного интегрального показателя здоровья, отражающего наличие или отсутствие дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС, выявлено много значимых ассоциаций с одновременной значимой размерностью свободного коэффициента логистической регрессии (intercept). Это указывает на высокую степень эффективного прогнозирования предполагаемого события.

Необходимо отметить, что β -коэффициенты отражают относительное влияние предиктора на зависимую переменную, а B -коэффициенты показывают прогностическую значимость предиктора.

Исходя из этого, видим, что логистический регрессионный анализ позволил оценить вероятность риска формирования события, в данном случае развитие плохого (дефицита) состояния здоровья через два года после хирургического лечения ВПС, а B -коэффициенты каждого значимого предиктора использованы в формуле расчета этого риска.

В данном случае формула расчета риска дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС представлена следующим уравнением:

$$Y = (\text{EXP}(Z) / (1 + \text{EXP}(Z))) \cdot 100 \%,$$

где

$$Z = (-0,759 + (X_1 \cdot 0,541) - (X_2 \cdot 0,634) + (X_3 \cdot 0,071) + (X_4 \cdot 0,072) + (X_5 \cdot 0,396) + (X_6 \cdot 0,334) + (X_7 \cdot 0,465) + (X_8 \cdot 0,534) - (X_9 \cdot 0,258)),$$

где Y – вероятность риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС (коэффициент вероятности риска формирования дефицита здоровья, %);

-0,759 – свободный коэффициент логистической регрессии;

X_1 – состав семьи (полная – 1, полная многодетная – 2, неполная – 3, воспитанники детского дома – 4);

X_2 – материальные условия (малообеспеченные, ниже МРОТ на одного человека, – 0, обеспеченная, равно или выше МРОТ на одного человека, – 1);

X_3 – балл ВПС по тяжести, критичности и встречаемости (баллы представлены в табл. 11);

X_4 – возраста проведения радикальной операции (лет);

X_5 – наличие аллеля Т полиморфного варианта гена CYP1A1 T/C, rs1048943 (отсутствие – 0, присутствие в гетерозиготе – 1, присутствие в гомозиготе – 2);

X_6 – наличие аллеля 04 полиморфного варианта гена HLADRB1 (отсутствие – 0, присутствие в гетерозиготе – 1, присутствие в гомозиготе – 2);

X_7 – жилищные условия (очень хорошие – 1, хорошие – 2, плохие – 3, очень плохие – 4);

X_8 – наличие аллеля 13 полиморфного варианта гена HLADRB1 (отсутствие – 0, присутствие в гетерозиготе – 1, присутствие в гомозиготе – 2);

X_9 – наличие аллеля 01 полиморфного варианта гена HLADRB1 (отсутствие – 0, присутствие в гетерозиготе – 1, присутствие в гомозиготе – 2).

Баллы для различных нозологических форм ВПС были выставлены с учетом трех критериев: их тяжести, критичности и частоты встречаемости для проведения радикальной операции на сердце (табл. 11).

Логарифмический характер уравнения, полученного на основе логистической регрессии для расчета Y (вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС), ограничивает интервал показателей риска от 0 до 100 %. Так, если Y стремится к 50 %, то риск развития предполагаемого события равновероятен; если Y стремится к нулю, то риск маловероятен; и, наоборот, при Y , близком к 100 %, риск развития дефицита здоровья через два года после радикального хирургического лечения ВПС становится высоковероятным. Вклад всех предикторов в формирование дефицита здоровья через два года

после радикальной операции на сердце был статистически значимым ($p < 0,001$).

Как видно из уравнения, все предикторы вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС можно оценить в пред- и операционный период и через это выявить степень вероятности риска формирования этого состояния, а также составить индивидуальный план реабилитационных мероприятий в течение послеоперационного периода.

Основными предикторами формирования дефицита здоровья в отдаленном послеоперационном периоде были тяжесть и критичность ВПС (табл. 11) и срок проведения радикальной операции на сердце по поводу самого ВПС. Положительная ассоциация указывала на то, что чем тяжелее и критичнее ВПС, тем хуже прогноз по качеству жизни в отдаленном послеоперационном периоде.

С другой стороны, положительная ассоциация с возрастом проведения радикальной операции показывает, что чем старше пациент, тем хуже прогноз по качеству его жизни и здоровью в отдаленном периоде после хирургического лечения ВПС. Вопрос о возрасте проведения радикальной операции на сердце у детей с септальными ВПС остается дискуссионным и требует отдельного изучения. В настоящем исследовании доминировали пациенты с септальными ВПС, и с этих позиций показатель возраста проявлял себя предиктором дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС. Отсюда можно предположить, что в отношении септальных спорадических несиндромальных ВПС возраст проведения радикальной операции должен уменьшаться. Это будет способствовать не только эффективному лечению ВПС, но и реабилитации после радикальной операции на сердце. В то же время необходим поиск нижних возрастных пределов для такого типа операций с учетом материала для имплантации.

Роль каждого из выявленных генетических предикторов дефицита здоровья в отдаленном послеоперационном периоде связана с их влиянием на сам процесс формирования ВПС и на пролонгирование иммунного воспаления в оперированном сердце. В частности, аллель *HLA-DRB1*04*, высоко ассоциированный с системными и органоспецифическими аутоиммунными и аутовоспалительными заболеваниями, может детерминировать повышенный воспалительный потенциал у этих детей [14]. Напротив, аллель *HLA-DRB1*13*, ассоциированный с иммунной недостаточностью, детерминирует иммунопарезы на антигены макро- и микроэкологии [15]. Как уже говорилось выше, иммунная недостаточность, ассоциированная с *HLA-DRB1*13* (HLA-DR6), может проявляться частой респираторной заболеваемостью, и это будет способствовать ухудшению качества жизни детей в отдаленном периоде после хирургического лечения ВПС.

Отрицательная ассоциация с аллелем *HLA-DRB1*01* указывает на то, что чем чаще встречается

этот аллель, тем реже формируется дефицит здоровья через два года после хирургического лечения ВПС. То есть этот аллель является протектором дефицита здоровья и качества жизни в отдаленном периоде после хирургического лечения ВПС. Аллель *HLA-DRB1*01* доминирует во всех популяциях мира [13], достигая 25 %, что указывает на его свойство детерминировать иммунную устойчивость индивидуумов к факторам макро- и микроэкологии. В данном случае этот аллель является маркером хороших адаптационных возможностей детей после радикальной операции на сердце.

Гомозиготность по мажорному (дикому) аллелю *T* полиморфного варианта гена *CYP1A1 T/C* (rs1048943) детерминирует повышенное окисление ксено- и эндобиотиков с образованием аддуктов [16], стимулирующих иммунный ответ и аутовоспалительные реакции, в том числе за счет участия в метаболизме арахидоновой кислоты [17]. Тем самым через этот полиморфный вариант гена также активируется токсико-воспалительный процесс. В целом эти полиморфные варианты генов будут способствовать манифестации пролонгированного воспалительного ответа на фоне дефицита эффекторных иммунных реакций. Частая респираторная заболеваемость у таких детей, описанная ранее [18], является следствием иммуногенетического детерминирования. Дефицит здоровья у этих детей развивается в том числе и за счет субклинического пролонгированного воспаления [19, 20].

Роль социальных факторов в потенцировании дефицита здоровья в отдаленном послеоперационном периоде связана с прямым и косвенным влиянием на эффективность реабилитации и комплаенс-терапии. Плохие жилищные и материальные условия являются основными неблагоприятными факторами, ограничивающими проведение эффективного курса амбулаторной реабилитации. С этих позиций дети из таких семей должны проходить дополнительные курсы реабилитации в стационарных условиях.

Для выявления порогового значения комплексного интегрального показателя здоровья, отражающего риск формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС, и проверки качества полученного регрессионного уравнения был проведен ROC-анализ. Анализ выполнен между качественным показателем, указывающим на наличие (1) или отсутствие (0) дефицита здоровья через два года после хирургического лечения, с одной стороны, и расчетными данными Y (коэффициент вероятности риска формирования дефицита здоровья) для каждого пациента – с другой. Проведенный ROC-анализ показал критерий отсечения для вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС. Эта величина равнялась 57,66 ($p < 0,001$). Данные представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, проведенный ROC-анализ показал, что величина комплексного интегрального показателя здоровья через два года после хирургического

ческого лечения ВПС, равная 57,66, является разграничительной между наличием и отсутствием дефицита здоровья. По данному критерию полученное уравнение характеризуется отличной диагностической ценностью ($AUC = 0,901$), специфичностью (100,0 %) и чувствительностью (77,5 %). То есть при проведении расчета вероятности риска формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС можно с точностью, близкой к 90 %, определить развитие этого состояния. Это событие произойдет у детей с уровнем комплексного интегрального показателя здоровья, равным или выше 58 %, и не произойдет у пациентов с показателем ниже 58 %.

Одним из важных доказательств значимости предикторов в формировании дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС является их оценка посредством метода математического анализа «деревья классификации». Выполненный анализ «деревьев классификации» показал два важных классификационных фактора, представленных на рис. 2.

Как видно из рис. 2, классификация риска развития дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС происходит первично по возрасту проведения самой радикальной операции. Разделяющим критерием является возраст в 4 года 2 месяца; если операция проводится в более старшем возрасте, то риск дефицита здоровья увеличивается, а если в младшем – уменьшается. Следующим классификационным критерием выступает балл, ВПС по тяжести, критичности и распространенности (см. табл. 11). Критерием отсека является балл, равный 7,5. Если балл ВПС по критичности, тяжести и распространенности выше этой отметки, то дефицит здоровья через два года после хирургического лечения ВПС весьма вероятен. Соответственно дети с тетрадой Фалло, оперированные до 4 лет, должны по комплексному интегральному показателю здоровья через два года после радикальной операции полностью восстановиться.

Ранжирование предикторов, выполненное посредством математического анализа «деревья классификации», для формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС представлено на рис. 3.

Из рис. 3 видим, что балл ВПС по критичности, тяжести и распространенности (см. табл. 11) являлся самым значимым предиктором в отношении формирования дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС. Влияние его на зависимую переменную (наличие / отсутствие дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС) достигает 99 %. Второй по этому действию – предиктор возраста на момент радикальной операции на сердце. Соответственно, третий ранг приходится на функциональный класс (ФК) до хирургического лечения ВПС. Таким образом, наиболее значимое влияние на формирование

дефицита здоровья в отдаленном послеоперационном периоде оказывают факторы, связанные с самим ВПС (тяжесть и критичность, возраст ребенка на момент радикальной операции и ФК в этом периоде). Вклад генетических маркеров по ранжированной шкале был самым низким – от 35 до 20 %.

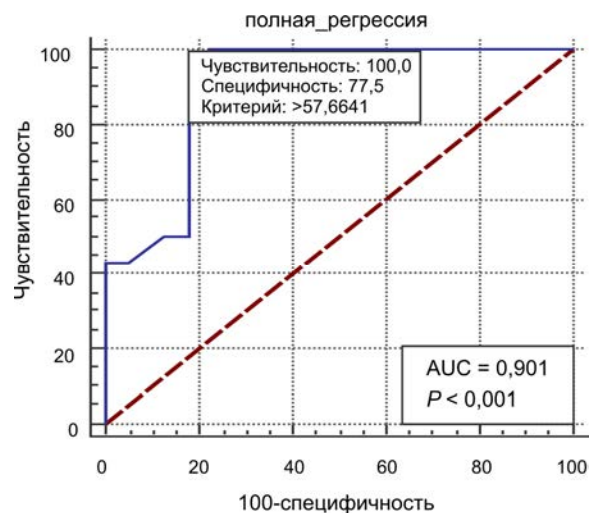


Рис. 1. ROC-анализ порогового значения комплексного интегрального показателя здоровья через два года после хирургического лечения ВПС и определение его диагностической значимости, чувствительности и специфичности в отношении расчета риска формирования этого состояния

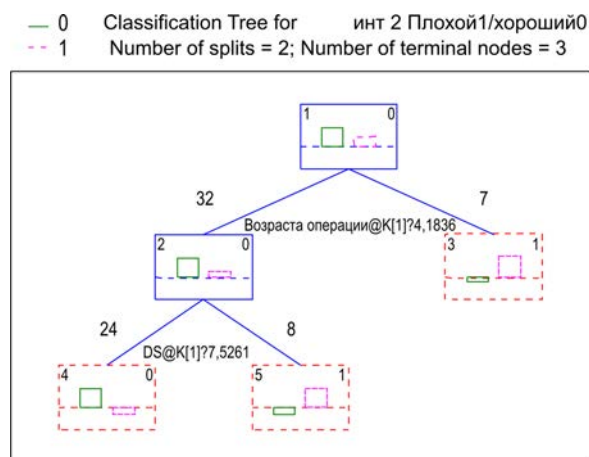


Рис. 2. Деревья классификации комплексного интегрального показателя здоровья во второй декретированный период (качественная оценка: 0 баллов – хороший, 1 балл – плохой) в зависимости от факторов широкого анамнеза, нарушений кровообращения до хирургического лечения, особенностей радикальной операции, дооперационных показателей здоровья, а также полиморфных вариантов исследуемых генов: DS – балл ВПС по критичности, тяжести и распространенности (см. табл. 11), @K[1]? – указатель разделительного коэффициента: для возраста операции – 4,1836, для балла ВПС по критичности – 7,5261

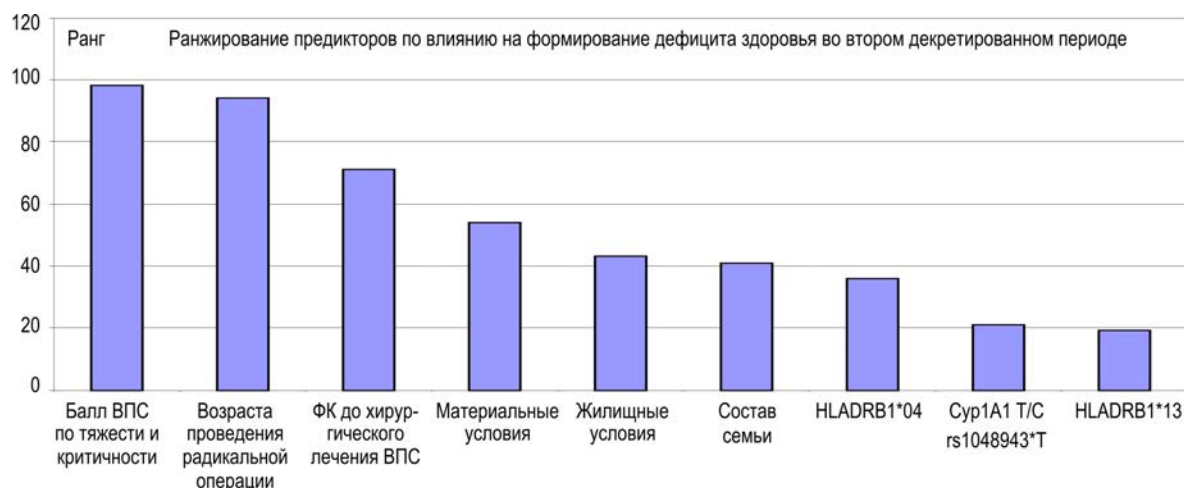


Рис. 3. Ранги значимых предикторных вариантов подчиненной переменной наличия / отсутствия (1 / 0) дефицита здоровья через два года после хирургического лечения ВПС, полученные при математическом анализе «деревья классификации»

Общий практический вывод вытекает из расчета комплексного интегрального показателя здоровья через два года после хирургического лечения ВПС. Если расчетный показатель в операционном периоде был выше 58 %, то для этого ребенка обязательными являются дополнительные курсы реабилитации в стационаре в течение двух лет после радикальной операции на сердце.

Выводы. Таким образом, проведенное исследование показало, что значимыми индикаторными показателями здоровья через два года после хирургического лечения ВПС были показатели физического функционирования и комплексный интегральный показатель здоровья, отражающие качество жизни детей в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце.

Дефицит здоровья и качество жизни через два года после радикальной операции на сердце были ассоциированы с аллелями: *HLA-DRB1*04*, *HLA-DRB1*11*, *HLA-DRB1*12*, *HLA-DRB1*13* и мажорным аллелем *T* полиморфного варианта гена *CYP1A1 T/C* (rs1048943). Влияние этих аллелей на качество жизни в отдаленном периоде после

радикальной операции на сердце могло осуществляться через детерминирование пролонгированного токсико-воспалительного процесса в оперированном сердце.

Из медицинских и социальных факторов риска, влияющих на формирование дефицита здоровья и качество жизни в отдаленном периоде после радикальной операции на сердце, следует выделить первичную тяжесть и критичность ВПС, возраст на момент радикальной операции, а также плохие материальные и жилищные условия. Одним из решений по улучшению реабилитации детей после хирургического лечения ВПС является проведение дополнительных курсов реабилитации в стационарных условиях с учетом величины комплексного интегрального показателя здоровья с пороговым значением 58 %.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН в рамках фундаментальной темы НИИ КПССЗ № 0419-2022-0001.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Task force 1: the changing profile of congenital heart disease in adult life / C.A. Warnes, R. Liberthson, G.K. Danielson, A. Dore, L. Harris, J.I. Hoffman, J. Somerville, R.G. Williams, G.D. Webb // J. Am. Coll. Cardiol. – 2001. – Vol. 37, № 5. – P. 1170–1175. DOI: 10.1016/s0735-1097(01)01272-4
2. Neurologic status of newborns with congenital heart defects before open heart surgery / C. Limperopoulos, A. Majnemer, M.I. Shevell, B. Rosenblatt, C. Rohlicek, C. Tchervakov // Pediatrics. – 1999. – Vol. 103, № 2. – P. 402–408. DOI: 10.1542/peds.103.2.402
3. Risk factors for abnormal developmental trajectories in young children with congenital heart disease / K.A. Mussato, R. Hoffmann, G. Hoffman, J.S. Tweddell, L. Bear, Y. Cao, J. Tanem, C. Brosig // Circulation. – 2015. – Vol. 132, № 8. – P. 755–761. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014521
4. The congenital heart disease genetic network study: cohort description / T.T. Hoang, E. Goldmuntz, A.E. Roberts, W.K. Chung, J.K. Kline, J.E. Deanfield, A. Giardini, A. Aleman [et al.] // PLoS One. – 2018. – Vol. 13, № 1. – P. e0191319. DOI: 10.1371/journal.pone.0191319
5. Socioeconomic status in relation to selected birth defects in a large multicentered US case-control study / J. Yang, S.L. Carmichael, M. Canfield, J. Song, G.M. Shaw, National Birth Defects Prevention Study // Am. J. Epidemiol. – 2008. – Vol. 167, № 2. – P. 145–154. DOI: 10.1093/aje/kwm283

6. Periconceptional stressors and social support and risk for adverse birth outcomes / K.A. Weber, S.L. Carmichael, W. Yang, S.C. Tinker, G.M. Shaw, National Birth Defects Prevention Study // BMC Pregnancy Childbirth. – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. 487. DOI: 10.1186/s12884-020-03182-6
7. Влияние социальных, медицинских и экологических факторов на формирование спорадических врожденных пороков сердца / А.В. Шабалдин, А.В. Цепкина, С.А. Шмулевич, М.Ю. Табакаев, Е.В. Шабалдина // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 14–21. DOI: 10.21508/1027-4065-2018-63-1-14-21
8. Varni J.W., Seid M., Kurtin P.S. PedsQL 4.0: reliability and validity of the Pediatric Quality of Life Inventory version 4.0 generic core scales in healthy and patient populations // Med. Care. – 2001. – Vol. 39, № 8. – P. 800–812. DOI: 10.1097/00005650-200108000-00006
9. Соснина С.Ф., Волосников Д.К., Тюков Ю.А. Анализ проблем родительско-детских отношений с помощью опросника PEDsQL™4.0 // Современные исследования социальных проблем. – 2010. – № 1. – С. 78–79.
10. Хаитов Р.М., Алексеев Л.П., Кофиади И.А. Роль иммуногенетики в решении фундаментальных и прикладных задач персонализированной медицины // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – Т. 3, № 57. – С. 9–24.
11. Human leukocyte antigens in undifferentiated spondyloarthritis / H.-T. Liao, K.-C. Lin, C.-H. Chen, T.-H. Liang, M.-W. Lin, C.-Y. Tsai, D. Tak Yan Yu, C.-T. Chou // Semin. Arthritis Rheum. – 2007. – Vol. 37, № 3. – P. 198–201. DOI: 10.1016/j.semarthrit.2007.04.004
12. Interaction of HLA-DRB1* alleles and CTLA4 (+ 49 AG) gene polymorphism in autoimmune thyroid disease / S. Ramgopal, C. Rathika, M.R. Padma, V. Murali, K. Arun, M.N. Kamaludeen, K. Balakrishnan // Gene. – 2018. – Vol. 642. – P. 430–438. DOI: 10.1016/j.gene.2017.11.057
13. Caillat-Zucman S. Molecular mechanisms of HLA association with autoimmune diseases // Tissue Antigens. – 2009. – Vol. 73, № 1. – P. 1–8. DOI: 10.1111/j.1399-0039.2008.01167.x
14. О влиянии тканевой совместимости по HLA и некоторых других факторов на выживаемость аллотрансплантата (по результатам трансплантации трупной почки за 25 лет) / Ю.М. Зарецкая, В.Ю. Абрамов, Я.Г. Мойсюк, А.Г. Долбин // Трансплантология. – 2011. – № 2-3. – С. 39–47. DOI: 10.23873/2074-0506-2011-0-2-3-39-47
15. Сепиашвили Р.И. Функциональная система иммунного гомеостаза // Аллергология и иммунология. – 2015. – Т. 16, № 1. – С. 91–100.
16. Božina, N., Bradamante, V., Lovrić, M. Genetic polymorphism of metabolic enzymes P450 (CYP) as a susceptibility factor for drug response, toxicity, and cancer risk // Arh. Hig. Rada Toksikol. – 2009. – Vol. 60, № 2. – P. 217–242. DOI: 10.2478/10004-1254-60-2009-1885
17. Morgan E.T. Regulation of cytochromes P450 during inflammation and infection // Drug Metab. Rev. – 1997. – Vol. 29, № 4. – P. 1129–1188. DOI: 10.3109/03602539709002246
18. Особенности субпопуляций Т-лимфоцитов хелперов, экспрессирующих CD45RA-и CD31-маркеры, у детей после тимэктомии, выполненной при хирургическом лечении врожденного порока сердца / Ю.И. Ровда, С.А. Шмулевич, А.В. Шабалдин, Е.Б. Лукьянычева // Медицинская иммунология. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 119–128. DOI: 10.15789/1563-0625-2016-2-119-128
19. Mental health disorders in children with congenital heart disease / V.J. Gonzalez, R.T. Kimbro, K.E. Cutitta, J.C. Shabosky, M.F. Bilal, D.J. Penny, K.N. Lopez // Pediatrics. – 2021. – Vol. 147, № 2. – P. e20201693. DOI: 10.1542/peds.2020-1693
20. Health-related quality of life outcomes in children and adolescents with congenital heart disease / K. Mellion, K. Uzark, A. Cassedy, D. Drotar, G. Wernovsky, J.W. Newburger, L. Mahony, K. Mussatto [et al.] // J. Pediatr. – 2014. – Vol. 164, № 4. – P. 781–788. DOI: 10.1016/j.jpeds.2013.11.066

Анализ факторов риска формирования дефицита здоровья и его индикаторных показателей у детей с врожденными пороками сердца через два года после радикальной операции / Л.Н. Игишева, А.А. Румянцева, А.В. Шабалдин, А.В. Синицкая, Н.А. Литвинова, О.В. Долгих // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 151–165. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.14



Research article

ANALYSIS OF RISK FACTORS CAUSING HEALTH DEFICIENCY AND ITS INDICATORS IN CHILDREN WITH CONGENITAL HEART DISEASES TWO YEARS AFTER RADICAL SURGERY

L.N. Igisheva^{1,2}, A.A. Rumyantseva¹, A.V. Shabaldin^{1,2}, A.V. Sinitskaya¹,
N.A. Litvinova², O.V. Dolgikh³

¹Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, 6 Sosnoviy 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

Our research goal was to analyze risk factors that could cause health disorders in children two years after a radical heart surgery. It is vital for optimizing diagnostics and predicting negative outcomes of surgical treatment for congenital heart diseases (CHD) using data taken from anamnesis vitae and genetic indicators.

We performed prospective cohort monitoring of 89 children with CHD during two years starting from the moment they had a radical heart surgery. The study design included the following stages: quality of life assessment using "Cardiac Module" in the Pediatric Quality of Life Questionnaire (USA, 2001); collecting data to create anamnesis vitae by questioning; identifying types of polymorphisms of xenobiotic biotransformation genes, inborn and adaptive immunity genes participating in embryogenesis of the cardiovascular system; logistic regression incremental multifactorial analysis of independent variables in anamnesis vitae, peculiarities of a radical surgery, health indicators prior to an operation, as well as polymorph variants of the examined genes with dependent variants: types of functioning and the complex integral health indicator two years after surgical treatment.

*The complex integral health indicator and indicators of physical functioning were significant ones in 2-year dynamics of patients' health after surgical treatment for CHD. These indicators reflected children's quality of life long time after a radical heart surgery. Health deficiency and impaired quality of life two years after a radical heart surgery was associated with HLADRB1*04, HLADRB1*11, HLADRB1*12, HLADRB1*13 alleles and the major allele T in the polymorph variant of CYP1A1 T/C (rs1048943) gene. Influence exerted by these alleles on quality of life long time after a radical heart surgery is determined by long-term toxic inflammation in an operated heart. CHD severity, an age when a radical surgery was performed, as well as unsatisfactory material benefits and living conditions are common medical and social risk factors that cause health deficiency and impaired quality of life long time after a radical heart surgery.*

Keywords: CYP1A1, HLADRB1, congenital heart diseases, quality of life, risk factors, radical heart surgery, complex integral health indicator, indicators of physical functioning.

© Igisheva L.N., Rumyantseva A.A., Shabaldin A.V., Sinitskaya A.V., Litvinova N.A., Dolgikh O.V., 2022

Liudmila N. Igisheva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Heart Diseases; Professor at the Department of Pediatrics and Neonatology (e-mail: igisheval@yandex.ru; tel.: +7 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7102-3571>).

Aleksandra A. Rumyantseva – post-graduate student, cardiologist (e-mail: aleksandra_1505@mail.ru; tel.: +7 (384) 264-45-80; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1352-2591>).

Andrey V. Shabaldin – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Heart Diseases; Professor at the Department of Microbiology, Immunology and Virology (e-mail: weit2007@yandex.ru; tel.: +7 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>).

Anna V. Sinitskaya – Researcher at the Laboratory of Genomic Medicine (e-mail: cepov1991@gmail.com; tel.: +7 (384) 264-46-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>).

Nadezhda A. Litvinova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor at the Department of Physiology (e-mail: nadyakemsu@mail.ru; tel.: +7 (384) 273-29-84; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4815-8520>).

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: <https://orcid.org/0000-0003-4860-3145>).

References

1. Warnes C.A., Liberthson R., Danielson G.K., Dore A., Harris L., Hoffman J.I., Somerville J., Williams R.G., Webb G.D. Task force 1: the changing profile of congenital heart disease in adult life. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2001, vol. 37, no. 5, pp. 1170–1175. DOI: 10.1016/s0735-1097(01)01272-4
2. Limperopoulos C., Majnemer A., Shevell M.I., Rosenblatt B., Rohlicek C., Tchervenkov C. Neurologic status of newborns with congenital heart defects before open heart surgery. *Pediatrics*, 1999, vol. 103, no. 2, pp. 402–408. DOI: 10.1542/peds.103.2.402
3. Mussato K.A., Hoffmann R., Hoffman G., Tweddell J.S., Bear L., Cao Y., Tanem J., Brosig C. Risk factors for abnormal developmental trajectories in young children with congenital heart disease. *Circulation*, 2015, vol. 132, no. 8, pp. 755–761. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014521
4. Hoang T.T., Goldmuntz E., Roberts A.E., Chung W.K., Kline J.K., Deanfield J.E., Giardini A., Aleman A. [et al.]. The congenital heart disease genetic network study: cohort description. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. e0191319. DOI: 10.1371/journal.pone.0191319
5. Yang J., Carmichael S.L., Canfield M., Song J., Shaw G.M., National Birth Defects Prevention Study. Socioeconomic status in relation to selected birth defects in a large multicentered US case-control study. *Am. J. Epidemiol.*, 2008, vol. 167, no. 2, pp. 145–154. DOI: 10.1093/aje/kwm283
6. Weber K.A., Carmichael S.L., Yang W., Tinker S.C., Shaw G.M., National Birth Defects Prevention Study. Periconceptional stressors and social support and risk for adverse birth outcomes. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 487. DOI: 10.1186/s12884-020-03182-6
7. Shabaldin A.V., Tsepokina A.V., Shmulevich S.A., Tabakaev M.Yu., Shabaldina E.V. Influence of the social, medicinal and environmental factors upon the development of sporadic congenital heart diseases. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii*, 2018, vol. 63, no. 1, pp. 14–21. DOI: 10.21508/1027-4065-2018-63-1-14-21 (in Russian).
8. Varni J.W., Seid M., Kurtin P.S. PedsQL 4.0: reliability and validity of the Pediatric Quality of Life Inventory version 4.0 generic core scales in healthy and patient populations. *Med. Care*, 2001, vol. 39, no. 8, pp. 800–812. DOI: 10.1097/00005650-200108000-00006
9. Sosnina S.F., Volosnikov D.K., Tyukov Yu.A. Analiz problem roditel'sko-detskikh otnoshenii s pomoshch'yu oprosnika PEDsQL™4.0 [Analysis of the problems of parent-child relations using the PEDsQL™ questionnaire 4.0]. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem*, 2010, no. 1, pp. 78–79 (in Russian).
10. Khaitov R.M., Alexeev L.P., Kofiadi I.A. Role of immunogenetics in addressing fundamental and applied tasks of personalized medicine. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2016, vol. 3, no. 57, pp. 9–24 (in Russian).
11. Liao H.-T., Lin K.-C., Chen C.-H., Liang T.-H., Lin M.-W., Tsai C.-Y., Tak Yan Yu D., Chou C.-T. Human leukocyte antigens in undifferentiated spondyloarthritis. *Semin. Arthritis Rheum.*, 2007, vol. 37, no. 3, pp. 198–201. DOI: 10.1016/j.semarthrit.2007.04.004
12. Ramgopal S., Rathika C., Padma M.R., Murali V., Arun K., Kamaludeen M.N., Balakrishnan K. Interaction of HLA-DRB1* alleles and CTLA4 (+ 49 AG) gene polymorphism in autoimmune thyroid disease. *Gene*, 2018, vol. 642, pp. 430–438. DOI: 10.1016/j.gene.2017.11.057
13. Caillat-Zucman S. Molecular mechanisms of HLA association with autoimmune diseases. *Tissue Antigens*, 2009, vol. 73, no. 1, pp. 1–8. DOI: 10.1111/j.1399-0039.2008.01167.x
14. Zaretskaya Yu.M., Abramov V.Yu., Moisyuk Y.G., Dolbin A.G. The influence of HLA tissue compatibility and some other factors on allograft survival (according to the results of cadaveric kidney transplantation for 25 years). *Transplantologiya*, 2011, no. 2-3, pp. 39–47. DOI: 10.23873/2074-0506-2011-0-2-3-39-47 (in Russian).
15. Sepiashvili R.I. Funktsional'naya sistema immunnogo gomeostaza [The autonomous immune system of the brain]. *Allergologiya i immunologiya*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 91–100 (in Russian).
16. Božina, N., Bradamante, V., Lovrić, M. Genetic polymorphism of metabolic enzymes P450 (CYP) as a susceptibility factor for drug response, toxicity, and cancer risk. *Arh. Hig. Rada Toksikol.*, 2009, vol. 60, no. 2, pp. 217–242. DOI: 10.2478/10004-1254-60-2009-1885
17. Morgan E.T. Regulation of cytochromes P450 during inflammation and infection. *Drug Metab. Rev.*, 1997, vol. 29, no. 4, pp. 1129–1188. DOI: 10.3109/03602539709002246
18. Rovda Yu.I., Shmulevich S.A., Shabaldin A.V., Lukoyanycheva E.B. Subpopulation profiles of T helper cells expressing CD45RA and CD31 markers in children after thymectomy performed upon surgical treatment of congenital heart disease. *Meditsinskaya immunologiya*, 2016, vol. 18, no. 2, pp. 119–128 (in Russian).
19. Gonzalez V.J., Kimbro R.T., Cutitta K.E., Shabosky J.C., Bilal M.F., Penny D.J., Lopez K.N. Mental health disorders in children with congenital heart disease. *Pediatrics*, 2021, vol. 147, no. 2, pp. e20201693. DOI: 10.1542/peds.2020-1693
20. Mellion K., Uzark K., Cassidy A., Drotar D., Wernovsky G., Newburger J.W., Mahony L., Mussatto K. [et al.]. Health-related quality of life outcomes in children and adolescents with congenital heart disease. *J. Pediatr.*, 2014, vol. 164, no. 4, pp. 781–788. DOI: 10.1016/j.jpeds.2013.11.066

Igisheva L.N., Rumyantseva A.A., Shabaldin A.V., Sinitskaya A.V., Litvinova N.A., Dolgikh O.V. Analysis of risk factors causing health deficiency and its indicators in children with congenital heart diseases two years after radical surgery. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 151–165. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.14.eng

Получена: 29.10.2021

Одобрена: 10.06.2022

Принята к публикации: 21.06.2022



Научная статья

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ РИСКА РАЗВИТИЯ СИНДРОМА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ У ВРАЧЕЙ-СТОМАТОЛОГОВ, РАБОТАЮЩИХ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ДЕТСКИХ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИКЛИНИКАХ

А.О. Карелин, П.Б. Ионов

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6-8

В последнее время среди врачей-стоматологов все чаще отмечается развитие синдрома профессионального выгорания (СПВ). Воздействие стресса характерно для врачей этого профиля особенно при оказании медицинской помощи детям.

Проанализированы факторы риска развития СПВ у врачей-стоматологов, работающих в государственных детских лечебно-профилактических учреждениях. Проведено комплексное анкетирование 120 врачей из восьми государственных детских лечебно-профилактических учреждений (на примере г. Санкт-Петербурга): 8 мужчин и 112 женщин; средний возраст – $47,2 \pm 11,34$ г.; средний стаж работы по специальности – $19,2 \pm 13,6$ г. Специалисты заполняли стандартизированные опросники: профессионального выгорания – Maslach Burnout Inventory, качества жизни – RAND SF-36 и определения индекса профессиональной работоспособности – Work Ability Index. Проводилось исследование по типу «случай – контроль». На основании данных опросника профессионального выгорания были сформированы две группы: респонденты, имеющие профессиональное выгорание по двум и трем шкалам опросника («случай»), и респонденты, не имеющие профессионального выгорания («контроль»). Для анализа факторов риска развития СПВ проводили сравнение частот признаков в группах, рассчитывали отношения шансов и их статистическую значимость.

Установлено, что значимыми факторами риска развития СПВ у данной категории врачей являются возраст > 40 лет, стаж работы по специальности > 10 лет, наличие хронических заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сниженные физическое функционирование, общее здоровье, ролевое эмоциональное функционирование, а также интегральный показатель качества жизни. У врачей-стоматологов в возрасте 40–49 лет самые высокие шансы развития СПВ. Профессиональный стаж более 20 лет существенно повышает шансы развития СПВ. Наличие хронических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата, а также сниженное качество жизни многократно увеличивают шансы развития СПВ.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки мероприятий по профилактике СПВ у врачей-стоматологов, работающих с детским населением.

Ключевые слова: врач-стоматолог, государственная стоматологическая поликлиника, детское население, синдром профессионального выгорания, опросник профессионального выгорания, факторы риска, качество жизни, исследование «случай-контроль».

На врачей стоматологического профиля оказывает воздействие комплекс вредных производственных факторов, среди которых нервно-психические перегрузки, способствующие развитию профессионального стресса [1–6]. Одним из последствий профессионального стресса является синдром профессионального выгорания (СПВ),

для которого в англоязычных изданиях используется термин burnout. Согласно общепринятой модели профессионального выгорания этот синдром включает в себя три базовых составляющих: эмоциональное истощение (ЭИ), деперсонализацию (ДП) и редукцию интереса к профессиональной деятельности (РПД)¹.

© Карелин А.О., Ионов П.Б., 2022

Карелин Александр Олегович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены с экологией (e-mail: karelin52@mail.ru; тел.: 8 (921) 756-31-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2467-7887>).

Ионов Павел Борисович – ассистент кафедры общей гигиены с экологией (e-mail: p-ionov@mail.ru; тел.: 8 (921) 649-71-98; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1050-0247>).

¹ Maslach C., Jackson S.E. The Maslach Burnout Inventory Manual. – 2nd ed. – Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1986; Maslach C., Jackson S.E., Leiter M.P. Maslach burnout inventory manual. – 3rd ed. – Palo Alto, California: Consulting Psychological Press, 1996.

Среди врачей-стоматологов отмечается достаточно высокая распространенность СПВ. При таком состоянии полноценная деятельность и активная жизненная позиция врача подменяется апатией и безразличным отношением не только к своей деятельности, но и к другим жизненным ценностям, что оказывает негативное влияние на психическое, физическое и социальное функционирование специалиста, его работоспособность (РС), профессиональные взаимоотношения с коллегами и пациентами, а также на его личную жизнь [7, 8]. Среди установленных факторов риска развития СПВ у врачей-стоматологов, работающих с взрослым населением, – возраст, профессиональный стаж, специализация, место работы (государственная / частная), наличие хронических заболеваний, таких психологических качеств, как тревожность, сенситивность, интровертированность [9–12]. Воздействие стресса характерно для врачей этого профиля и особенно при оказании медицинской помощи детям [13, 14]. В большом числе случаев поведенческие реакции ребенка, общение с родителями приводят к возрастанию эмоционально-психологической нагрузки на врача-стоматолога. В работах ряда авторов [15, 16] отмечается, что у врачей-стоматологов государственных лечебно-профилактических учреждений, обслуживающих детское население, имеется высокая вероятность развития СПВ. Для разработки мер по своевременному выявлению и профилактике этого синдрома необходимо изучение факторов риска развития СПВ в этой группе специалистов. В доступной научной литературе исследований, посвященных анализу факторов риска развития СПВ у врачей-стоматологов, оказывающих помощь детям, крайне недостаточно.

Цель исследования – выявить факторы риска развития СПВ у врачей-стоматологов, работающих в государственных детских лечебно-профилактических учреждениях.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись факторы риска развития СПВ у врачей-стоматологов, оказывающих медицинскую помощь детям в государственных стоматологических поликлиниках. Предметом исследований выступали анкеты 120 врачей-стоматологов разных специализаций (врачи-стоматологи детские, врачи-ортодонты и врачи стоматологи-хирурги) из восьми государственных детских лечебно-профилактических учреждений г. Санкт-Петербурга. Выборка включала 8 мужчин и 112 женщин в возрасте от 23 до 72 лет (средний возраст – $47,2 \pm 11,34$ г.) со стажем работы по специальности от 1 до 49 лет (средний стаж – $19,2 \pm 13,6$ г.).

Специалисты заполняли стандартизированные опросники: опросник профессионального выгорания Maslach Burnout Inventory (MBI), разработанный Maslach & Jackson [17], в адаптации Н.Е. Водопьяновой², опросник качества жизни RAND SF-36³ и опросник определения индекса профессиональной работоспособности Work Ability Index (WAI)⁴. Опрос проводился анонимно; врачи заполняли опросники во время перерывов в рабочей смене. Опросник MBI содержит 22 утверждения, касающихся чувств и переживаний, связанных с профессиональной деятельностью, отношениями с коллегами и пациентами, что позволяет оценить основные компоненты СПВ: ЭИ, ДП, РПД, для обозначения которой также используется термин «потеря мотивации». Опросник RAND SF-36 является общим опросником качества жизни, состоит из 36 вопросов, которые формируют восемь шкал: физическое функционирование (ФФ), ролевое физическое функционирование (РФФ), боль (Б), общее здоровье (ОЗ), жизнеспособность (Ж), социальное функционирование (СФ), ролевое эмоциональное функционирование (РЭФ) и психическое здоровье (ПЗ). На основании шкал опросника вычисляли интегральный показатель (ИП) качества жизни. Уровень снижения качества жизни по каждой из шкал опросника определяли на основании сравнения его значения для каждого респондента с соответствующим значением популяционной нормы [18]. Для оценки изменения уровня РС работника использовали индекс работоспособности WAI.

Проводилось исследование по типу «случай – контроль». На основании данных опросника профессионального выгорания MBI были сформированы две группы. Первая включала респондентов, имеющих профессиональное выгорание по двум и трем шкалам MBI («случай»), вторая – не имеющих профессионального выгорания («контроль»). Для анализа факторов риска развития СПВ проводили сравнение частот признаков в группах «случай – контроль» и рассчитывали отношения шансов [19]. Анализ качественных признаков проводился с использованием критерия χ^2 Пирсона. Различия считали достоверными при заданном критерии значимости $p < 0,05$. Для оценки факторов риска развития СПВ проводили расчет отношения шансов (ОШ, odds ratio – OR), 95%-ного доверительного интервала (ДИ). В качестве возможных факторов риска рассматривали следующие: пол, возраст, стаж работы по специальности, специализацию, наличие хронических заболеваний, наличие заболеваний опорно-двигательного аппарата, снижение показателей качества жизни (по каждой шкале и ИП качества жизни) и уровня РС.

² Водопьянова Н.Е., Старченкова Е.С. Синдром выгорания: диагностика и профилактика. – СПб.: Питер, 2008. – 336 с.

³ Hays R.D., Sherbourne C.D., Mazel R.M. User's Manual for Medical Outcomes Study (MOS) Core Measures of Health-Related Quality of Life // RAND Corporation. – 1995. – 168 p.

⁴ Work Ability Index / K. Tuomi, J. Ilmarinen, A. Jahkola, L. Katajarinne, A. Tulkki. – 2nd revised ed. – Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 1998.

Для обработки данных использовали программное обеспечение SPSS 17.0 и MedCalc.

Результаты и их обсуждение. На рисунке представлена структура распределения врачей-стоматологов по выраженности СПВ.



Рис. Структура распределения врачей-стоматологов по выраженности СПВ, %

Высокие оценки по шкалам ЭИ и ДП и низкие оценки по шкале РПД свидетельствуют о формировании синдрома выгорания. В зависимости от набранных баллов выделяются три уровня выгорания. По шкале ЭИ градации следующие: высокий уровень – 25 баллов и больше, средний уровень – 16–24 балла, низкий уровень – 0–15 баллов. По шкале ДП: высокий уровень – 11 баллов и больше, средний уровень – 6–10 баллов, низкий уровень – 0–5 баллов. По шкале РПД: высокий уровень – 30 баллов и меньше, средний уровень – 31–36 баллов, низкий уровень – 37 баллов и больше².

Из 120 врачей-стоматологов, включенных в исследование, у 84 (70 %) респондентов выявлено профессиональное выгорание по двум и трем шкалам опросника МВІ. По всем трем шкалам (ЭИ, ДП и РПД) высокий уровень проблемы определен у 9 (7,5 %) человек, по двум шкалам – ЭИ и ДП – у 75 (62,5 %). Высокий уровень проблемы по одной из шкал установлен у 12 (10 %) специалистов. У 24 (20 %) человек не обнаружено профессионального выгорания ни по одной из шкал.

На основании данного распределения сформированы две группы: первая группа – врачи-стоматологи, имеющие СПВ по двум шкалам МВІ и более («случай»), вторая группа – врачи-стоматологи, не имеющие профессионального выгорания («контроль»). 12 человек, которые имели профессиональное выгорание по одной шкале опросника МВІ, не вошли в дальнейший анализ.

В табл. 1 представлена характеристика исследованных групп врачей-стоматологов в зависимости от факторов риска развития СПВ.

Анализ результатов, представленных в табл. 1, позволил установить, что сравниваемые группы имеют значимые различия по возрасту ($p < 0,001$): в группе респондентов, имеющих СПВ, 52,4 % в возрасте ≥ 50 лет и 28,4 % в возрасте 40–49 лет, а в группе без СПВ 66,7 % – лица в возрасте < 40 лет. Также группы значимо отличаются по стажу работы по специальности ($p < 0,001$): в группе респондентов, имеющих СПВ, большинство (71,4 %) работают по

специальности > 20 лет и только 7,2 % – < 10 лет, среди лиц без СПВ 50 % имеют профессиональный стаж < 10 лет, а 25 % – > 20 лет. Значимые различия между группами выявлены в зависимости от наличия хронических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата ($p < 0,05$). Подавляющее большинство врачей-стоматологов с СПВ имели хронические заболевания и заболевания опорно-двигательного аппарата – 97 и 90 % соответственно. При этом ни у одного респондента контрольной группы данные заболевания не наблюдались. Значимых гендерных различий и различий по специализации между группами не обнаружено.

Статистически значимые различия между группами выявлены в зависимости от наличия снижения показателей качества жизни по шести шкалам из восьми и по ИП качества жизни ($p < 0,05$). У большего числа врачей-стоматологов, имеющих СПВ, наблюдалось снижение ФФ (34,5 против 8,3 %), РФФ (19 против 0 %), ОЗ (29,8 против 0 %), Ж (26,2 против 0 %), РЭФ (33 против 0 %) и ПЗ (17,9 против 0 %). ИП качества жизни был снижен в 34,5 % случаев у респондентов основной группы, и ни в одном случае в контрольной группе. Оценка уровня РС показала, что среди врачей-стоматологов, имеющих СПВ, 22,6 % респондентов имели умеренный уровень РС, остальные – хороший и очень хороший. В группе без СПВ все респонденты характеризовались хорошим и очень хорошим уровнем РС.

В табл. 2 представлены результаты анализа отношения шансов развития СПВ.

Значимыми факторами риска развития СПВ у данной категории врачей оказались возраст > 40 лет, стаж работы по специальности > 10 лет, наличие хронических заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сниженные физическое функционирование, общее здоровье, ролевое эмоциональное функционирование, а также ИП качества жизни. Такие факторы, как сниженная жизнеспособность, сниженное ролевое физическое функционирование, сниженное психическое здоровье, умеренная РС не оказывают значимого воздействия на развитие СПВ. Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что шансы развития СПВ повышаются с возрастом. У врачей-стоматологов в возрасте 40–49 лет и старше 50 лет эти шансы в 24,0 и 6,3 раза соответственно выше, чем у лиц моложе 40 лет, следовательно, возрастная группа 40–49 лет имеет наиболее высокие шансы развития СПВ.

Шансы развития СПВ выше у врачей-стоматологов, имеющих больший профессиональный стаж. По сравнению с лицами, имеющими стаж < 10 лет, шанс развития СПВ у лиц со стажем 10–20 лет в 6 раз, а у лиц со стажем > 20 лет в 20 раз выше. Наличие хронических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата повышает шанс развития СПВ в 351 и 158 раз соответственно.

Таблица 1

Характеристика врачей-стоматологов в зависимости от факторов риска развития СПВ

Фактор	Группа с СПВ, «случай»		Группа без СПВ, «контроль»		Достоверность различий <i>p</i>
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
Пол					
мужской	6	7,1	2	8,3	> 0,05
женский	78	92,9	22	91,7	
Возраст, лет					
< 40	16	19,0	16	66,7	< 0,001
40–49	24	28,6	1	4,2	
≥ 50	44	52,4	7	29,2	
Стаж, лет					
< 10	6	7,2	12	50	< 0,001
10–20	18	21,4	6	25	
> 20	60	71,4	6	25	
Специализация					
врач-стоматолог детский	56	66,7	16	66,7	0,454
врач стоматолог-хирург	10	11,9	1	4,2	
врач-ортодонт	18	21,4	7	29,2	
Наличие хронических заболеваний					
есть	67	97	0	–	< 0,05
нет	2	3	6	100	
Наличие заболеваний опорно-двигательного аппарата					
есть	67	90	0	0	< 0,05
нет	2	10	9	100	
Снижение физического функционирования					
есть	29	34,5	2	8,3	< 0,05
нет	58	65,5	22	91,7	
Снижение ролевого физического функционирования					
есть	16	19,0	0	0	< 0,05
нет	68	81,0	24	100	
Выраженность боли					
есть	2	2,4	0	0	> 0,05
нет	82	97,6	24	100	
Снижение общего здоровья					
есть	25	29,8	0	0	< 0,05
нет	59	70,2	24	100	
Снижение жизнеспособности					
есть	22	26,2	0	0	< 0,05
нет	62	73,8	24	100	
Снижение социального функционирования					
есть	17	20,2	0	0	> 0,05
нет	67	79,8	24	100	
Снижение ролевого эмоционального функционирования					
есть	28	33,3	0	0	< 0,05
нет	56	66,7	24	100	
Снижение психического здоровья					
есть	15	17,9	0	0	< 0,05
нет	69	82,1	24	100	
Снижение ИП качества жизни					
есть	30	22,6	0	0	< 0,05
нет	54	77,4	24	100	
Уровень работоспособности					
умеренный	19	22,6	0	0	> 0,05
хороший и очень хороший	65	77,4	24	100	

Таблица 2

Анализ отношения шансов развития СПВ у врачей-стоматологов

Факторы риска	Отношение шансов ОШ (95 % ДИ)	Достоверность различий <i>p</i>
Возраст, лет		
≥ 50	6,29 (2,19–18,08)	0,006
40–49	24,00 (2,89–199,36)	0,0033
< 40	Группа сравнения	-
Стаж работы по специальности, лет		
> 20	20,00 (5,50–72,67)	< 0,0001
10–20	6,00 (1,56–23,07)	0,009
< 10	Группа сравнения	-
Сниженное физическое функционирование		
есть	5,80 (1,27–26,41)	0,023
нет	Группа сравнения	-
Сниженная жизнеспособность		
нет	1,63 (0,92–2,87)	0,093
да	Группа сравнения	-
Наличие хронических заболеваний		
есть	351,00 (15,17–8120,01)	0,0003
нет	Группа сравнения	-
Наличие заболеваний опорно-двигательного аппарата		
есть	158,33 (8,35–3004,01)	0,0007
нет	Группа сравнения	-
Сниженное ролевое физическое функционирование		
есть	11,81 (0,68–204,28)	0,0897
нет	Группа сравнения	-
Сниженное общее здоровье		
есть	21,00 (1,23–358,77)	0,0355
нет	Группа сравнения	-
Сниженное ролевое эмоциональное функционирование		
есть	24,72 (1,45–421,35)	0,0266
нет	Группа сравнения	-
Сниженное психическое здоровье		
есть	10,93 (0,63–189,61)	0,1005
нет	Группа сравнения	-
Сниженный ИП качества жизни		
есть	27,42 (1,61–466,94)	0,0221
нет	Группа сравнения	-
Уровень работоспособности		
умеренный	16,37 (0,95–280,49)	0,054
хороший и очень хороший	Группа сравнения	-

Полученные в выполненном исследовании по типу «случай – контроль» результаты в целом соответствуют данным, установленным на основании корреляционного анализа, о рисках развития СПВ у врачей-стоматологов, работающих с взрослым населением, согласно которым такими факторами являются возраст, профессиональный стаж, специализация, наличие хронических заболеваний, психологические качества специалиста [9–12, 20, 21]. Дополнительными факторами риска развития СПВ у врачей-стоматологов, работающих с детьми, явились показатели качества жизни, связанные с физическим и эмоциональным функционированием.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют, что значимыми факторами риска СПВ у врачей-стоматологов, работающих с детским населением в государственных стоматологических поликлиниках, являются возраст старше 40 лет,

стаж работы по специальности более 10 лет, наличие хронических заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сниженное общее здоровье, ролевое физическое и эмоциональное функционирование, а также интегральный показатель качества жизни. В рамках данной работы впервые выявлены значимые факторы риска развития СПВ у врачей-стоматологов, оказывающих помощь детям. Установлено, что у врачей-стоматологов в возрасте 40–49 лет самые высокие шансы развития СПВ. Профессиональный стаж более 20 лет существенно повышает шансы развития СПВ. Наличие хронических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата многократно увеличивает шансы развития СПВ. Сниженные показатели качества жизни – еще один существенный фактор, способствующий формированию СПВ у этой категории специалистов.

Выводы. В связи с высокой распространенностью СПВ среди врачей-стоматологов, работающих с детьми, для разработки мероприятий по его выявлению и профилактике существует необходимость анализа факторов риска развития СПВ в этой группе специалистов. Результаты настоящего исследования продемонстрировали, что СПВ встречается у 70 % врачей данной категории. Значимыми факторами риска являются возраст > 40 лет, стаж работы по специальности > 10 лет, наличие хронических заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сниженные физическое функционирование, общее здоровье, ролевое эмоциональное функционирование, а также интегральный показатель качества жизни.

Полученные результаты позволяют не только расширить представление о факторах, способствующих формированию СПВ у врачей-стоматологов, работающих с детьми, но и создают предпосылки для разработки программ профилактики по сни-

жению риска выгорания. Установленный комплекс факторов риска может быть использован для разработки мероприятий, направленных на профилактику СПВ у врачей-стоматологов.

При проведении диспансеризации целесообразно использовать опросник профессионального выгорания Maslach Burnout Inventory для своевременного выявления соответствующих признаков. Реализация мероприятия предусматривает выделение в лечебно-профилактическом учреждении специального помещения для психофизиологической разгрузки специалистов, разработку мероприятий по снятию эмоционального перенапряжения и восстановлению работоспособности.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ларенцова Л.И. Профессиональный стресс стоматологов. – М.: Медицинская книга, 2006. – 148 с.
2. Петров П.И., Мингазов Г.Г. Синдром эмоционального выгорания у стоматологов // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, № 4. – С. 657–660.
3. Factors Related to Physician Burnout and Its Consequences: A Review / R.S. Patel, R. Bachu, A. Adikey, M. Malik, M. Shah // Behav. Sci. (Basel). – 2018. – Vol. 8, № 11. – P. 98. DOI: 10.3390/bs8110098
4. Gazelle G., Liebschutz J.M., Riess H. Physician burnout: Coaching a way out // J. Gen. Intern. Med. – 2015. – Vol. 30, № 4. – P. 508–513. DOI: 10.1007/s11606-014-3144-y
5. Kapoor S., Puranik M.P., SR U. Burnout in Dentistry: An Overview // International Journal of Advanced Health Sciences. – 2014. – Vol. 1, № 8. – P. 17–22.
6. Changes in Burnout and Satisfaction with Work-Life Balance in Physicians and the General US Working Population between 2011 and 2014 / T.D. Shanafelt, O. Hasan, L.N. Dyrbye, C. Sinsky, D. Satele, J. Sloan, C.P. West // Mayo Clin. Proc. – 2015. – Vol. 90, № 12. – P. 1600–1613. DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.08.023
7. Изучение проявлений синдрома эмоционального выгорания у врачей-стоматологов / С.И. Токмакова, Ю.В. Луныцына, Ю.Д. Порсева, Т.А. Протопопова // Проблемы стоматологии. – 2014. – № 1. – С. 34–37.
8. Sherman J.J., Cramer A. Measurement of changes in empathy during dental school // J. Dent. Educ. – 2005. – Vol. 69, № 3. – P. 338–345
9. Любимова Д.В., Ларенцова Л.И., Бухаров Я.М. Особенности субъективной картины системы стрессогенных факторов в профессиональной деятельности врача-стоматолога // Российский стоматологический журнал. – 2007. – № 1. – С. 32–34.
10. Ермолаева Л.А., Мироненко О.В., Шенгелия З.Н. Синдром эмоционального выгорания у врачей-стоматологов Санкт-Петербурга // Институт стоматологии. – 2010. – Т. 49, № 4. – С. 14–15.
11. Роль психических и социальных факторов в формировании синдрома «эмоционального выгорания» врачей-стоматологов / Л.И. Ларенцова, В.М. Гринин, Д.В. Любимова, Г.С. Тумасян, О.Р. Курбанов, Е.В. Иванова, А.Я. Долгоаршинных // Стоматология. – 2008. – Т. 87, № 1. – С. 89–95.
12. Панкова С.Н., Азарова О.А., Кумирова О.А. Синдром эмоционального выгорания у врачей-стоматологов // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2019. – № 76. – С. 109–115.
13. Диагностика и коррекция негативного поведения детей на амбулаторном стоматологическом приеме / Л.И. Ларенцова, Е.А. Рвачева, Д.В. Любимова, Д.В. Сосульников, Л.М. Барденштейн // Российский стоматологический журнал. – 2007. – № 5. – С. 34–36.
14. Ларенцова Л.И., Рвачева Е.А. Профессиональный стресс и синдром эмоционального выгорания врачей-стоматологов на детском амбулаторном приеме // Российский стоматологический журнал. – 2010. – № 1. – С. 36–37.
15. Брусницина Е.В., Закиров Т.В., Кондрахова С.М. Влияние профессиональной деятельности детских врачей-стоматологов на их психоэмоциональное состояние // Проблемы стоматологии. – 2011. – № 5. – С. 52–55.
16. Карелин А.О., Ионов П.Б. Изучение профессионального выгорания врачей-стоматологов, работающих в детских стоматологических поликлиниках // Профилактическая и клиническая медицина. – 2019. – Т. 73, № 4. – С. 10–15.
17. Maslach C., Jackson S.E. The measurement of experienced burnout // Journal of Occupational Behavior. – 1981. – Vol. 2, № 2. – P. 99–113. DOI: 10.1002/job.4030020205
18. Stratification of patients using QoL parameters by the method of integral profiles / A.A. Novik, T.I. Ionova, A.V. Kish-tovich, A.A. Tsepkova, S.V. Mylnikov // Quality of Life Research. – 2003. – Vol. 12, № 7. – P. 770.

19. Norton E.C., Dowd B.E., Maciejewski M.L. Odds Ratios – Current best practice and use // JAMA. – 2018. – Vol. 320, № 1. – P. 84–85. DOI: 10.1001/jama.2018.6971
20. Mathias S., Koerber A., Fadavi S. Specialty and sex as predictors of depression in dentists // J. Am. Dent. Assoc. – 2005. – Vol. 136, № 10. – P. 1388–1395. DOI: 10.14219/jada.archive.2005.0052
21. Rada R.E., Johnson-Leong C. Stress, burnout, anxiety and depression among dentists // JADA. – 2004. – Vol. 135, № 6. – P. 788–794. DOI: 10.14219/jada.archive.2004.0279

Карелин А.О., Ионов П.Б. Изучение факторов риска развития синдрома профессионального выгорания у врачей-стоматологов, работающих в государственных детских стоматологических поликлиниках // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 166–173. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.15

UDC 614.23: 616.314 - 053.2 + 616.8 - 008.615
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.15.eng



Research article

RISK FACTORS OF OCCUPATIONAL BURNOUT IN DENTISTS EMPLOYED BY STATE CHILDREN'S DENTAL POLYCLINICS

A.O. Karelin, P.B. Ionov

Pavlov First State Medical University of St. Petersburg, 6-8 L'va Tolstogo Str., Saint Petersburg, 197022, Russian Federation

Recently occupational burnout has become more frequent among dentists. Exposure to stress is especially typical for those dentists who work with children.

We identified risk factors that caused developing occupational burnout among dentists employed by state children's dental polyclinics.

We performed comprehensive questioning with 120 dentists participating in it. They all were employed by state children's dental polyclinics in Saint Petersburg. Totally, there were 8 male participants and 112 female ones; their average age was 47.2 ± 11.34 years; average working experience as a dentist, 19.2 ± 13.6 years. The dentists filled in standardized questionnaires including Maslach Burnout Inventory (MBI), RAND SF-36 for assessing quality of life and Work Ability Index. Our study was designed as a "case – control" one. Based on the data of MBI, two groups were created: respondents with occupational burnout by two and three MBI scales (case) and respondents without any occupational burnout (control). To analyze risk factors of occupational burnout, we compared frequency of signs in the groups and calculated odds ratio and their statistical significance.

Several significant risk factors of occupational burnout were identified for this group. They included age >40 years; working experience as a dentist >10 years; presence of chronic diseases and diseases of the musculoskeletal system; impaired physical functioning, general health, and emotional role functioning, as well as the integral quality of life index. Dentists aged 40–49 years have the highest risk of occupational burnout. Working experience that is longer than 20 years creates significantly elevated risks of occupational burnout. Chronic diseases and diseases of the musculoskeletal system as well as impaired quality of life multiply risks of occupational burnout.

These research results can be used to develop activities aimed at preventing occupational burnout among dentists working with children.

Keywords: dentist, state children's dental polyclinics, children, occupational burnout, Maslach Burnout Inventory, risk factors, quality of life, case-control study.

© Karelin A.O., Ionov P.B., 2022

Alexander O. Karelin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Common Hygiene and Ecology Department (e-mail: karelin52@mail.ru; tel.: +7 (921) 756-31-09; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2467-7887>).

Pavel B. Ionov – Assistant at the Common Hygiene and Ecology Department (e-mail: p-ionov@mail.ru; tel.: +7 (921) 649-71-98; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1050-0247>).

References

1. Larentsova L.I. Professional'nyi stress stomatologov [Occupational stress among dentists]. Moscow, Meditsinskaya kniga, 2006, 148 p. (in Russian).
2. Petrov P.I., Mingazov G.G. Emotional burnout syndrome among dentists. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2012, vol. 93, no. 4, pp. 657–660 (in Russian).
3. Patel R.S., Bachu R., Adikey A., Malik M., Shah M. Factors Related to Physician Burnout and Its Consequences: A Review. *Behav. Sci. (Basel)*, 2018, vol. 8, no. 11, pp. 98. DOI: 10.3390/bs8110098
4. Gazelle G., Liebschutz J.M., Riess H. Physician burnout: Coaching a way out. *J. Gen. Intern. Med.*, 2015, vol. 30, no. 4, pp. 508–513. DOI: 10.1007/s11606-014-3144-y
5. Kapoor S., Puranik M.P., SR U. Burnout in Dentistry: An Overview. *International Journal of Advanced Health Sciences*, 2014, vol. 1, no. 8, pp. 17–22.
6. Shanafelt T.D., Hasan O., Dyrbye L.N., Sinsky C., Satele D., Sloan J., West C.P. Changes in Burnout and Satisfaction with Work-Life Balance in Physicians and the General US Working Population between 2011 and 2014. *Mayo Clin. Proc.*, 2015, vol. 90, no. 12, pp. 1600–1613. DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.08.023
7. Tokmakova S.I., Lunitsyna Y.V., Porseva Y.D., Protopopova T.A. Studying of manifestations of a syndrome of emotional burning out at dentists. *Problemy stomatologii*, 2014, no. 1, pp. 34–37 (in Russian).
8. Sherman J.J., Cramer A. Measurement of changes in empathy during dental school. *J. Dent. Educ.*, 2005, vol. 69, no. 3, pp. 338–345.
9. Lyubimova D.V., Larentsova L.I., Bukharov Ya.M. Osobennosti sub'ektivnoi kartiny sistemy stressogennykh faktorov v professional'noi deyatel'nosti vracha-stomatologa [Features of the subjective picture showing the system of stress factors in the occupational activity of a dentist]. *Rossiiskii stomatologicheskii zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 32–34 (in Russian).
10. Ermolaeva L.A., Mironenko O.V., Shengeliya Z.N. Sindrom emotsional'nogo vygoraniya u vrachei-stomatologov Sankt-Peterburga [Burnout syndrome in dentists in St. Petersburg]. *Institut stomatologii*, 2010, vol. 49, no. 4, pp. 14–15 (in Russian).
11. Larentsova L.I., Grinin V.M., Lyubimova D.V., Tumasyan G.S., Kurbanov O.R., Ivanova E.V., Dolgoarshinnykh A.Ya. Role of psychological and social factors in forming in doctors-stomatologists the syndrome of emotional burnout. *Stomatologiya*, 2008, vol. 87, no. 1, pp. 89–95 (in Russian).
12. Pankova S.N., Azarova O.A., Kumirova O.A. Burnout syndrome in stomatologists. *Nauchno-meditsinskii vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*, 2019, no. 76, pp. 109–115 (in Russian).
13. Larentsova L.I., Rvachova Ye.A., Lyubimova D.V., Sosulnikov D.V., Bardenshtein L.M. Diagnostics and correction of children's negative behavior in outpatient dentistry. *Rossiiskii stomatologicheskii zhurnal*, 2007, no. 5, pp. 34–36 (in Russian).
14. Larentsova L.I., Rvacheva E.A. Professional'nyi stress i sindrom emotsional'nogo vygoraniya vrachei-stomatologov na detskom ambulatornom prieme [Occupational stress and burnout syndrome of dentists at a pediatric outpatient appointment]. *Rossiiskii stomatologicheskii zhurnal*, 2010, no. 1, pp. 36–37 (in Russian).
15. Brusnitsyna E.V., Zakirov T.V., Kondrahova S.M. Influence of the professional work of pediatric dentists on their psychoemotional condition. *Problemy stomatologii*, 2011, no. 5, pp. 52–55 (in Russian).
16. Karelin A.O., Ionov P.B. Study of dentists burnout working in pediatric dentistry. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*, 2019, vol. 73, no. 4, pp. 10–15 (in Russian).
17. Maslach C., Jackson S.E. The measurement of experienced burnout. *J. Occup. Behav.*, 1981, vol. 2, no. 2, pp. 99–113. DOI: 10.1002/job.4030020205
18. Novik A.A., Ionova T.I., Kishtovich A.V., Tsepkova A.A., Mylnikov S.V. Stratification of patients using QoL parameters by the method of integral profiles. *Quality of Life Research*, 2003, vol. 12, no. 7, pp. 770.
19. Norton E.C., Dowd B.E., Maciejewski M.L. Odds Ratios – Current best practice and use. *JAMA*, 2018, vol. 320, no. 1, pp. 84–85. DOI: 10.1001/jama.2018.6971
20. Mathias S., Koerber A., Fadavi S. Specialty and sex as predictors of depression in dentists. *J. Am. Dent. Assoc.*, 2005, vol. 136, no. 10, pp. 1388–1395. DOI: 10.14219/jada.archive.2005.0052
21. Rada R.E., Johnson-Leong C. Stress, burnout, anxiety and depression among dentists. *JADA*, 2004, vol. 135, no. 6, pp. 788–794. DOI: 10.14219/jada.archive.2004.0279

Karelin A.O., Ionov P.B. Risk factors of occupational burnout in dentists employed by state children's dental polyclinics. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 166–173. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.15.eng

Получена: 11.08.2021

Одобрена: 02.06.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 57.044; 616.092
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.16



Научная статья

СОЗДАНИЕ БИОИНФОРМАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСК-АССОЦИИРОВАННЫХ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ

М.А. Землянова^{1,2,3}, Н.В. Зайцева¹, Ю.В. Кольдибекова¹, Е.В. Пескова^{1,2}, 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

³Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29

Одним из приоритетных факторов, формирующих медико-демографические потери, является долговременное непрерывное загрязнение атмосферного воздуха селитебных территорий химическими компонентами. Актуальным является повышение точности прогнозных оценок риска изменений гомеостаза на ранних обратимых стадиях (молекулярный уровень), которые с достаточно высокой степенью вероятности могут трансформироваться в патологические процессы в зрелом возрасте при сохраняющихся условиях экспозиции.

Исследование ставило целью создание биоинформационной матрицы молекулярных маркеров для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья (на примере маркера экспозиции). Предложен поэтапный алгоритм исследований, включающий применение протеомной технологии для выделения экспрессированных белков, выявление: причинно-следственных связей белков с факторами; молекулярно-клеточных и функциональных взаимоотношений в системе «фактор экспозиции – ген – белок – негативный исход» для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья. Реализация алгоритма выполнена на примере исследования белкового профиля плазмы детей в возрасте 3–6 лет, подвергающихся длительной аэрогенной экспозиции фторсодержащих соединений.

Показано изменение белковой композиции плазмы крови экспонированных детей относительно неэкспонированных по 27 идентифицированным белкам. На примере белка катепсина L1, с изменением уровня которого установлена причинно-следственная связь концентрации фторид-иона в моче, построена биоинформационная матрица. Качественный синтез молекулярно-клеточной локализации, функциональной и тканевой принадлежности показал, что экспрессия катепсина L1, обусловленная повышенным содержанием фторид-иона в моче, может инициировать нарушение ремоделирования внеклеточного матрикса, деградацию и посттрансляционную модификацию белков в клетках легких, толстого кишечника, поджелудочной железы, в кардиомиоцитах, подоцитах почечных клубочков, опосредует процессинг расщепления субъединицы спайкового белка S1 SARS-CoV-2, необходимого для проникновения

© Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В., Булатова Н.И., 2022

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

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

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

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

Булатова Наталья Ивановна – научный сотрудник лаборатории биохимической и наносенсорной диагностики (e-mail: 1179815@mail.ru; тел.: 8 (342) 236-80-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3392-9097>).

в клетку и репликации вируса. Созданная биоинформационная матрица на примере белка катепсина L1, позволила спрогнозировать развитие риск-ассоциированных негативных эффектов у экспонированных лиц в виде кардиомиопатии, колита, гломерулонефрита, сахарного диабета, атеросклероза, коронавирусной инфекции. Полученные прогнозные оценки позволяют повышать эффективность раннего выявления и разработки профилактических превентивных мер, направленных на минимизацию негативных последствий.

Ключевые слова: протеомный профиль, детское население, клеточно-молекулярная и тканевая принадлежность, молекулярные маркеры, экспрессия гена, негативные эффекты, фторид-ион в моче, катепсин L1, биоинформационные ресурсы.

Сохранение и укрепление здоровья, повышение продолжительности жизни населения, снижение смертности от болезней, в том числе сердечно-сосудистой системы, злокачественных и хронических респираторных заболеваний и др., обозначены в качестве национальных государственных приоритетов в области социально-экономического и демографического развития Российской Федерации на период до 2024 г.

Одним из ведущих факторов риска формирования дополнительных ущербообразующих последствий здоровью, по мнению экспертов ВОЗ, является длительное и постоянное воздействие загрязнений атмосферного воздуха, питьевых вод и почв селитебных территорий химическими компонентами¹ [1]. В целом бремя болезней, обусловленных комплексной химической нагрузкой, оценивается на уровне 15–35 %. Для снижения потерь здоровья у подверженного химическому воздействию населения (в первую очередь, наиболее чувствительные контингенты – дети, подростки, молодые люди) актуальным является повышение точности прогнозных оценок риска формирования изменений гомеостаза на ранних обратимых стадиях (на молекулярном уровне), которые с достаточно высокой степенью вероятности могут трансформироваться в патологические процессы в зрелом возрасте при сохраняющихся условиях экзогенного поступления химических веществ.

Одним из инструментов поиска потенциальных молекулярных маркеров нарушения динамического равновесия может являться применение высокоинформативной протеомической технологии, позволяющей на основании исследований белковой композиции идентифицировать изменения, происходящие в результате экспрессии генов, кодирующих целевые белки (взаимоотношения по типу «ДНК – РНК – белок»), в условиях негативного воздействия факторов, в том числе химического генеза [2–5]. Использование данного подхода является предпочтительным, поскольку основную функциональную нагрузку при взаимодействии любого организма с внешней средой несут белки (либо непосредственно, либо посредством своих ферментативных активностей). Выявление молекулярных белковых и пептидных мишеней, определение их структуры и функций, тканевой принадлежности, вовлеченности в патогенез функциональных нарушений

с применением существующих биоинформационных и токсикогенетических ресурсов [6–10] обеспечивает эффективное предположение ожидаемых негативных исходов со стороны здоровья. Установление при этом ассоциативных патогенетических связей между воздействием факторов экспозиции и экспрессией белковых молекулярных маркеров позволяет прогнозировать риск-ассоциированные негативные эффекты, что приобретает особую значимость для решения задач повышения эффективности раннего (клеточно-молекулярного) выявления нарушений состояния здоровья экспонированного населения.

На основании вышеизложенного представляется целесообразным уточнение подходов к проведению исследований по выявлению экспрессированных белков, ассоциированных с экспозицией химических факторов, биологическая и биохимическая интерпретация клеточно-функциональной принадлежности для детализации молекулярно-клеточных механизмов и повышения точности оценок возможного развития негативных эффектов, участвующих в патогенезе риск-ассоциированных неинфекционных заболеваний, что явилось основанием для определения цели настоящего исследования.

Цель исследования – создание биоинформационной матрицы молекулярных маркеров для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья (на примере маркера экспозиции).

Материалы и методы. Создание биоинформационной матрицы молекулярных маркеров для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья возможно посредством поэтапного алгоритма исследований:

- формирование выборок из числа экспонированных и неэкспонированных лиц, относящихся к наиболее чувствительным к негативному воздействию химических факторов (группа наблюдения и группа контроля);
- установление факта экспозиции на основании определения повышенного содержания в биосредах химических веществ, доказанно связанных с экспозицией (идентификация маркеров экспозиции);
- построение протеомного профиля, идентификация, сравнительный анализ и выделение статистически различающихся по интенсивности белковых пятен в группе наблюдения относительно контроля;

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.

– выявление причинно-следственных связей идентифицированных экспрессированных белков с факторами экспозиции (по содержанию маркеров экспозиции в биосредах);

– качественный синтез и построение филогенетического древа, отражающего молекулярно-клеточные и функциональные взаимоотношения в системе «фактор экспозиции – ген – белок – негативный исход» для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья.

Реализация предложенного алгоритма выполнена на примере исследования протеомного профиля плазмы детей в возрасте 3–6 лет, подвергающихся длительной аэрогенной экспозиции фтористых газобразных и твердых соединений, формирующей неканцерогенный риск здоровью, в 1,5–2 раза превышающий приемлемый уровень. Критерием формирования выборок детей группы наблюдения явилось повышенное в 1,5 раза и более относительно референтного значения² содержание фторид-иона в моче (маркера экспозиции фтористых соединений в соответствии с установленными причинно-следственными связями). У детей группы контроля уровень изучаемого химического вещества соответствовал референтной величине или являлся близким ему. Обследование детей выполнено с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) и одобрено Комитетом по биомедицинской этике ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с обязательным получением информированного добровольного согласия законного представителя.

Исследование протеомного профиля выполнено по технологии двухмерного электрофореза в полиакриламидном геле. Полученные электрофореограммы плазмы крови визуализировали методом окраски серебром и документировали с помощью системы для гель-документирования (BioRad, США). Сравнительный анализ полученных протеомных карт проводили с помощью программного комплекса PDQuest (BioRad, США), выделяли значимые белковые пятна по их интенсивности и осуществляли последующий анализ методом жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим анализом (на хроматографе UltiMate 3000 (Германия) и тандемном масс-спектрометре AB Sciex 4000 QTRAP с источником ионизации Nanospray 3 (Кана-

да)). Данные тандемных исследований обрабатывали 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 (пептидный фингерпринт). Основную часть информации о полученных белках экстрагировали из баз данных Gene Ontology Resource и UniProt³. Установление генов, кодирующих экспрессию идентифицированных белков, выполнено с помощью базы данных HGNC database of human gene name⁴.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью пакета программ Statistica 10. Сравнительную оценку полученных значений относительного объема белковых пятен у детей группы наблюдения выполняли относительно аналогичных показателей у детей группы контроля. Результаты проведенных исследований представлены в виде среднего значения (\bar{X}), ошибки среднего (SEM). Статистическую значимость различий переменных между группами определяли по критерию Манна – Уитни ($U \leq U_{кр}$) при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$.

Выявление и оценку причинно-следственных связей между изменением статистически отличающихся белковых пятен и концентрацией в моче фторид-иона проводили с помощью построения математической модели линейной регрессии. Достоверность и адекватность полученных моделей оценивали на основе дисперсионного анализа с использованием F -критерия Фишера, коэффициента детерминации (R^2), t -критерию Стьюдента при статистической значимости $p \leq 0,05$.

Классификация белков по классам, биологическим и молекулярным функциям выполнена с помощью баз данных Panther Classification System и Gene Ontology and GO Annotations⁵. Для установления экспрессии белков в тканях организма применяли информацию, содержащуюся на платформах Tissue expression database и The Human Protein Atlas⁶. Описание отношений в системе «фактор экспозиции (маркер экспозиции) – ген – белок – заболевание» производили с использованием информационного ресурса Comparative Toxicogenomics⁷.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ результатов денситометрического измерения протеомных карт плазмы крови обследуемых детей позволил выявить наличие достоверных различий относительного объема 27 белковых пятен у детей группы наблюдения и группы сравнения (табл. 1).

² Тиц Н.У. Клиническое руководство по лабораторным тестам. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.

³ Gene Ontology Resource [Электронный ресурс]. – URL: <http://geneontology.org/> (дата обращения: 08.03.2022); UniProt [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.uniprot.org> (дата обращения: 08.03.2022).

⁴ HGNC database of human gene name [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.genenames.org> (дата обращения: 12.04.2022).

⁵ Panther Classification System [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pantherdb.org> (дата обращения: 23.03.2022); Gene Ontology and GO Annotations [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/QuickGO> (дата обращения: 23.03.2022).

⁶ Tissue expression database [Электронный ресурс]. – URL: <https://tissues.jensenlab.org/Search> (дата обращения: 18.03.2022); The Human Protein Atlas [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.proteinatlas.org/> (дата обращения: 18.03.2022).

⁷ Comparative Toxicogenomics [Электронный ресурс]. – URL: <http://ctdbase.org/> (дата обращения: 12.03.2022).

Таблица 1

Белки, достоверно отличающиеся от таковых группы сравнения, выделенные в протеомном профиле плазмы крови детей

№ п/п	Наименование белка	Идентификатор UniProt	Кодирующий ген	Средний объем белкового пятна, $\bar{X} \pm SEM$	
				Группа наблюдения	Группа сравнения
1	Кератин 9	P35527	KRT9	1406,3 ± 148,7*	2232,5 ± 272,2
2	Band4.1-подобный белок 3	Q9Y2J2	EPB41L3	1890,6 ± 56,2*	2833,8 ± 135,7
3	Инозитол 1,4,5-трисфосфатный рецептор взаимодействующий белокоподобный 1	Q6GPH6	ITPRIPL1	1736,9 ± 56,2*	2743,4 ± 304,4
4	Бета субъединица гемоглобина	P68871	HBB	2350,7 ± 161,6*	1447,9 ± 253,0
5	Субъединица ламинина альфа-3	Q16787	LAMA3	2435,4 ± 148,4*	66,5 ± 61,5
6	Аполипопротеин А-I	P02647	APOA1	66,5 ± 12,5*	2435,4 ± 148,4
7	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B	Q8IYD1	GSPT2	2547,5 ± 118,0*	94,0 ± 81,0
8	J-цепь иммуноглобулина	P01591	JCHAIN	1785,0 ± 86,0*	101,0 ± 34,0
9	ТНО комплексная субъединица 2	Q8NI27	THOC2	3157,56 ± 65,4*	2983,4 ± 61,1
10	Nck-ассоциированный белок 5	Q9HCH0	NCKAP5L	2586,6 ± 105,1*	2840,3 ± 92,5
11	GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1	O75420	GIGYF1	2340,7 ± 183,3*	95,4 ± 61,4
12	Кельч-подобный белок 4	Q9C0H6	KLHL4	1806,6 ± 78,0*	100,5 ± 76,9
13	Протромбин	P00734	F2	1893,7 ± 117,3*	1724,6 ± 47,4
14	Нуклеофосмин	P06748	NPM1	469,0 ± 120,0*	94,0 ± 26,0
15	Дополнение C4-B	P0C0L5	C4B	2749,8 ± 56,0**	1821,2 ± 259,7
16	Катепсин L1	P07711	CTSL	1712,0 ± 123,7*	518,5 ± 125,5
17	Анкирин-1	P16157	ANK1	1765,6 ± 91,0*	454,2 ± 505,1
18	Транспортный холинотипный белок 3	Q8N4M1	SLC44A3	1715,2 ± 123,0*	72,7 ± 71,0
19	Обонятельный рецептор 8A1	Q8NGG7	OR8A1	1712,1 ± 123,7*	518,5 ± 248,0
20	Трансиретин	P02766	TTR	3966,9 ± 189,3*	2344,4 ± 300,2
21	Витронектин	P04004	VTN	3568,8 ± 233,2*	1844,1 ± 142,6
22	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14	Q15678	PTPN14	1639,1 ± 156,8*	99,5 ± 95,63
23	Фактор терминации транскрипции 1	Q15361	TTF1	3109,5 ± 75,2*	3342,2 ± 118,7
24	Аполипопротеин C-III	P02656	APOC3	4249,6 ± 250,1*	3027,4 ± 250,1
25	Миотубулярин	Q13496	MTM1	4408,1 ± 263,9*	3228,0 ± 335,8
26	Аполипопротеин C-II	P02655	APOC2	3802,7 ± 272,0*	2326,7 ± 295,1
27	Сывороточный амилоидный белок А-1	P0DJ18	SAA1	2326,3 ± 154,1*	61,8 ± 5,9

Примечание: * – достоверность межгруппового различия по средним для $p = 0,0001$; ** – достоверность межгруппового различия по средним для $p = 0,009$.

У детей группы наблюдения относительно соответствующих данных группы сравнения установлено достоверное увеличение в 1,4–37,6 раза объема порядка 75 % выявленных белковых пятен от общего количества, а также уменьшение в 1,5–36,6 раза объема 25,0 % белков ($p = 0,0001–0,009$).

На рис. 1 представлен фрагмент двумерной электрофореграммы для установления количественных различий белка катепсина L1 в плазме крови обследованных детей.

Биоинформационный анализ локализации идентифицированных белков, выполненный с помощью системы классификации Panther, позволил установить, что большинство из них (57,7 %) входят в состав клеточных структур (GO: 0110165), и 15,4 % белков локализованы в протеиновых комплексах (GO: 00032991). В зависимости от участия в жизненном цикле белки классифицированы следующим образом: 22,7 % белков относятся к протеинам, участвующим в передаче сигналов (PC00219), 13,6 % –

к метаболитам взаимосвязи ферментов (PC00262), по 9,1 % – к ферментативным модуляторам (PC00260), белкам цитоскелета (PC00085) и белкам-адаптерам (PC00226) (табл. 2, рис. 2).

Анализ классификационных признаков по молекулярным процессам показал, что большинство белков осуществляют функции связывания с другими молекулами (GO: 0005488; 44,8 %) и каталитической активности (GO: 0003824; 31,3 %) (табл. 3, рис. 3).

Исследование и оценка классификации биологических функций показали, что основная часть белков обеспечивает клеточные (GO: 0009987; 30 %) и метаболические процессы (GO: 0008152; 15 %), а также биологическое регулирование (GO: 0065007; 12 %) (табл. 4, рис. 4).

Установленные классификационные признаки (локализация, участие в жизненном цикле, биологические функции) идентифицированных белков у детей группы наблюдения аналогичны таковым белков группы контроля.

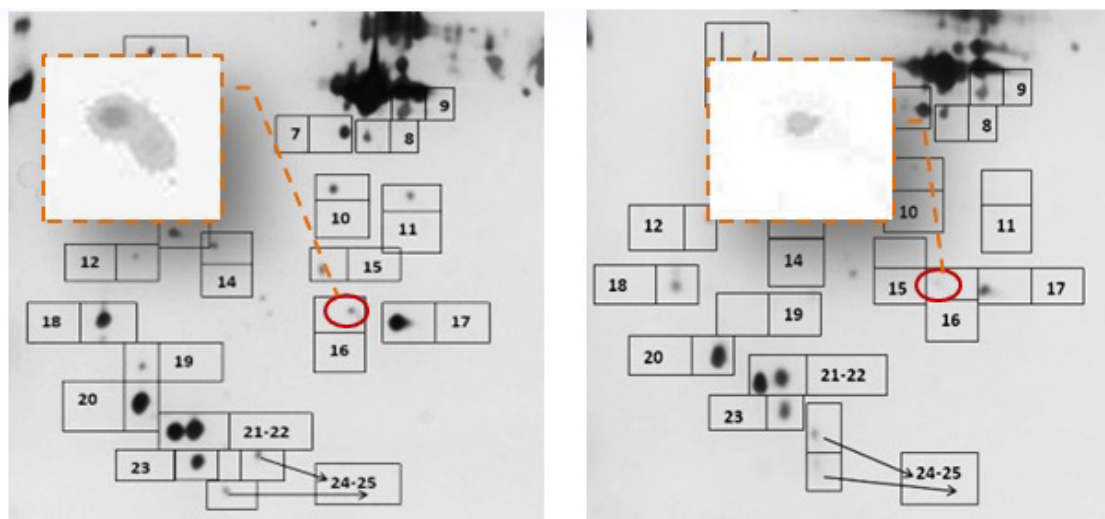


Рис. 1. Фрагмент двумерной электрофореграммы плазмы крови детей:
 а – индивид группы наблюдения; б – индивид группы сравнения

Таблица 2

Классы выделенных белков плазмы крови детей в зависимости от участия в жизненном цикле

Класс белков*	Наименование белка
Ферментативные модуляторы	Тирозин-протеинфосфатаза нерцепторного типа 14, протромбин, катепсин L1
Белок адаптер	Анкирин-1, Кельч-подобный белок 4
Белок передачи	Аполипопротеин А-I, АПОЛИПОПРОТЕИН С-II, аполипопротеин С-III, бета субъединица гемоглобина
Белок цитоскелета	Band4.1-подобный белок 3, Кератин 9
Метаболит взаимосвязи ферментов	Транстиретин, инозитол 1,4,5-трисфосфатный рецептор взаимодействующий белкоподобный 1, миотубулярин
Транспортер	Транспортный холиноподобный белок 3
Шаперон	Нуклеофосмин
Молекула клеточной адгезии	Субъединица ламинина альфа-3
Модулятор активности белкового связывания	Дополнение С4-В
Трансмембранный сигнальный рецептор	Обонятельный рецептор 8A1
Белок защиты	J-цепь иммуноглобулина
Регулятор специфичной геной транскрипции	ТНО-комплексная субъединица 2
Белок трансляции	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B

Примечание: * – согласно данным The PANTHER Classification System⁸.

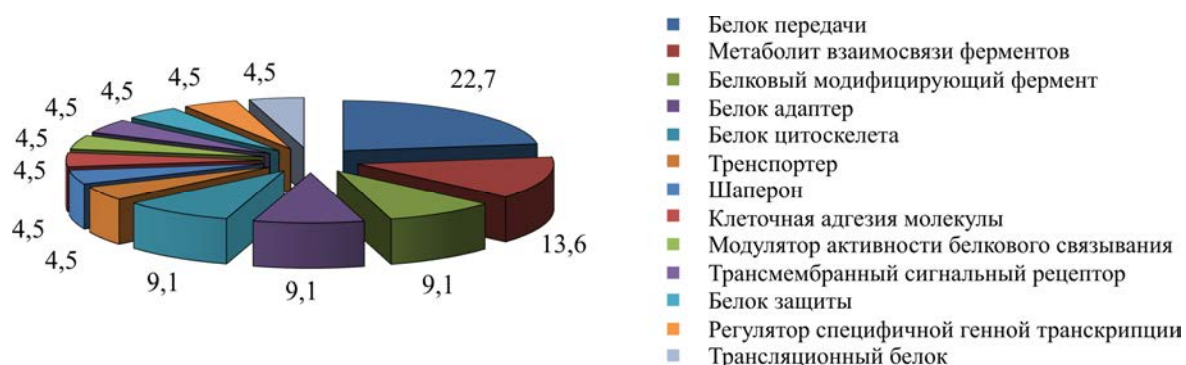


Рис. 2. Классы выделенных белков плазмы крови детей в зависимости от участия в жизненном цикле, %

⁸ The PANTHER Classification System [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pantherdb.org/> (дата обращения: 19.03.2022).

Таблица 3

Молекулярные функции выделенных белков плазмы крови детей

Молекулярная функция*	Название белка
Активность молекулярного преобразователя	Обонятельный рецептор 8A1
Активность молекулярного адаптера	Анкирин-1
Активность транспорта	Транспортный холиноподобный белок 3
Регуляторная активность	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B
Связи с другими молекулами	Обонятельный рецептор 8A1; ТНО-комплексная субъединица 2; бета-субъединица гемоглобина; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; анкирин-1; витронектин
Каталитическая активность	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; бета-субъединица гемоглобина; миотубулярин; катепсин L1

Примечание * – согласно данным The PANTHER Classification System⁸.

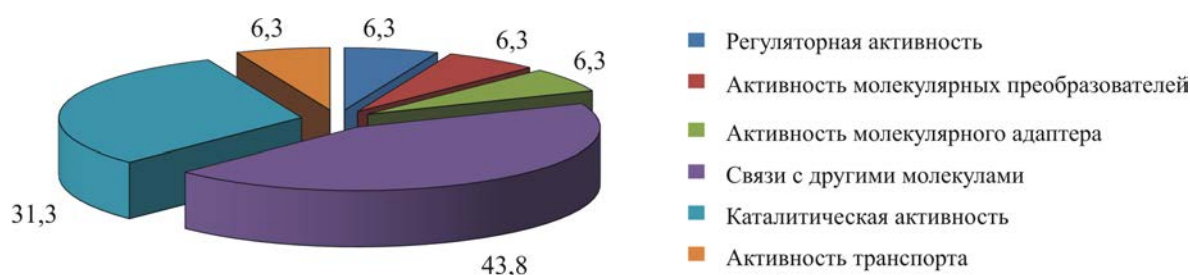


Рис. 3. Молекулярные функции выделенных белков плазмы крови детей, %

Таблица 4

Биологические функции выделенных белков плазмы крови детей

Биологическая функция	Название белка
Биологическая адгезия	Витронектин
Процессы роста	Протромбин
Процессы иммунной системы	Дополнение C4-B; катепсин L
Биологическое регулирование	Протромбин; обонятельный рецептор 8A1; нуклеофосмин; дополнение C4-B; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; миотубулярин
Клеточные процессы	Nck-ассоциированный белок 5; протромбин; ТНО-комплексная субъединица 2; обонятельный рецептор 8A1; бета-субъединица гемоглобина; транспортный холиноподобный белок 3; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; анкирин-1; транстеритин; миотубулярин; витронектин; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; катепсин L1
Процессы развития	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; миотубулярин;
Локализация	ТНО-комплексная субъединица 2; транспортный холиноподобный белок 3; нуклеофосмин; анкирин-1; миотубулярин
Метаболический процесс	ТНО-комплексная субъединица 2; бета-субъединица гемоглобина; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; транстеритин; дополнение C4-B; миотубулярин; катепсин L1
Многоклеточный процесс организма	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; обонятельный рецептор 8A1
Ответ на стимул	Протромбин; обонятельный рецептор 8A1; дополнение C4-B; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; катепсин L1
Сигнальная функция	Обонятельный рецептор 8A1; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1

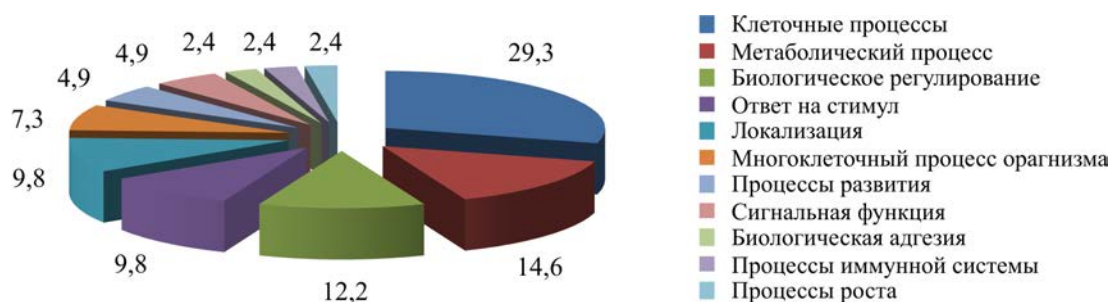


Рис. 4. Биологические процессы выделенных белков плазмы крови детей, %

Анализ причинно-следственных связей между изменением уровня экспрессированных 27 белков и концентрацией фтор-иона в моче позволил выявить достоверную прямую зависимость только для белка катепсина L1 ($R^2 = 0,45$; $b_0 = 764,23$; $b_1 = 51,47$; $p = 0,016$), что согласуется с данными экспериментальных исследований, свидетельствующих, что

экспозиция соединений фтора приводит к увеличению экспрессии катепсина L1 [11].

На примере белка катепсина L1 построена биоинформационная матрица функциональной принадлежности (рис. 5), полученная на биоинформационной платформе Gene Ontology and GO Annotations⁹.

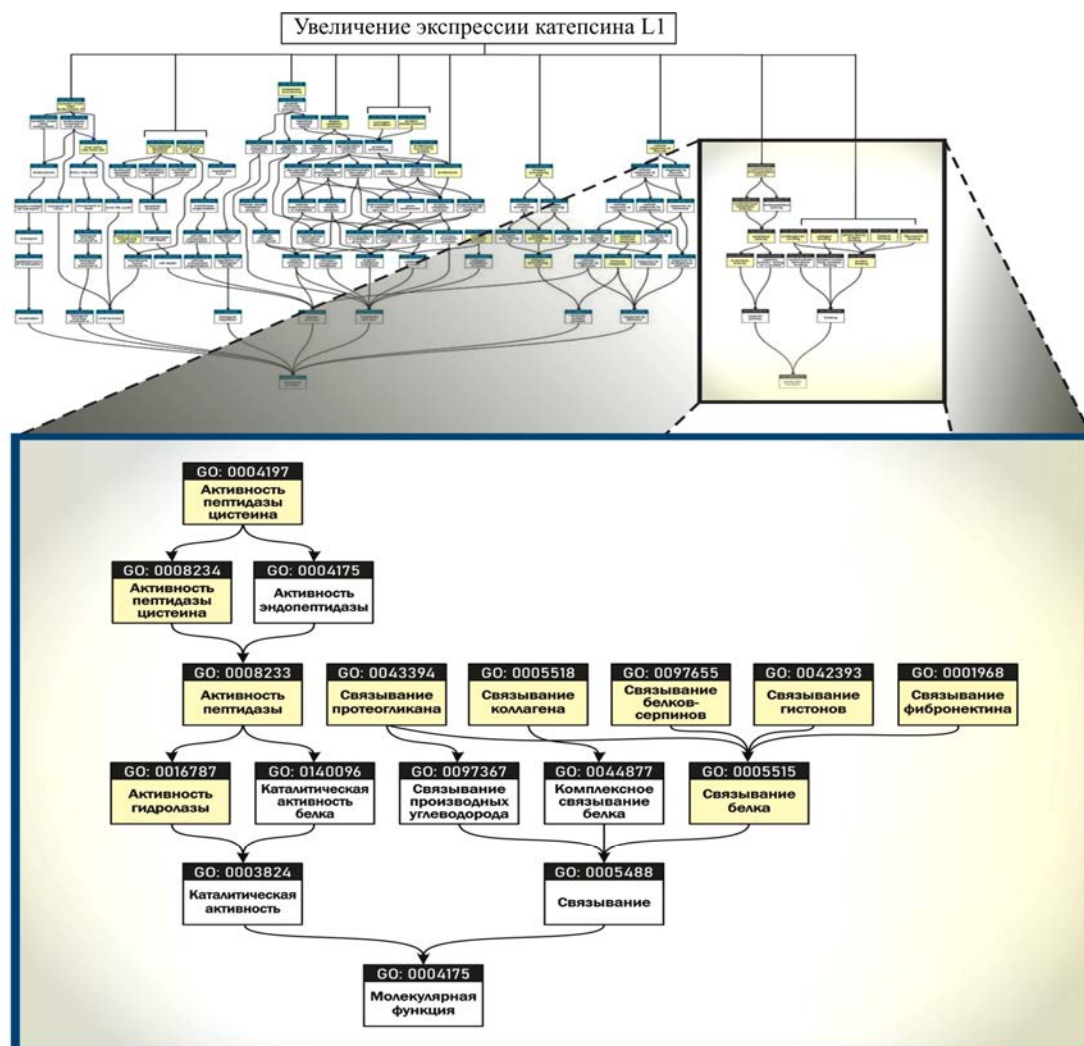


Рис. 5. Схема функциональной принадлежности белка катепсина L1 (база данных Gene Ontology and GO Annotations, 2022)

⁹ Gene Ontology and GO Annotations [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/QuickGO/> (дата обращения: 19.03.2022).

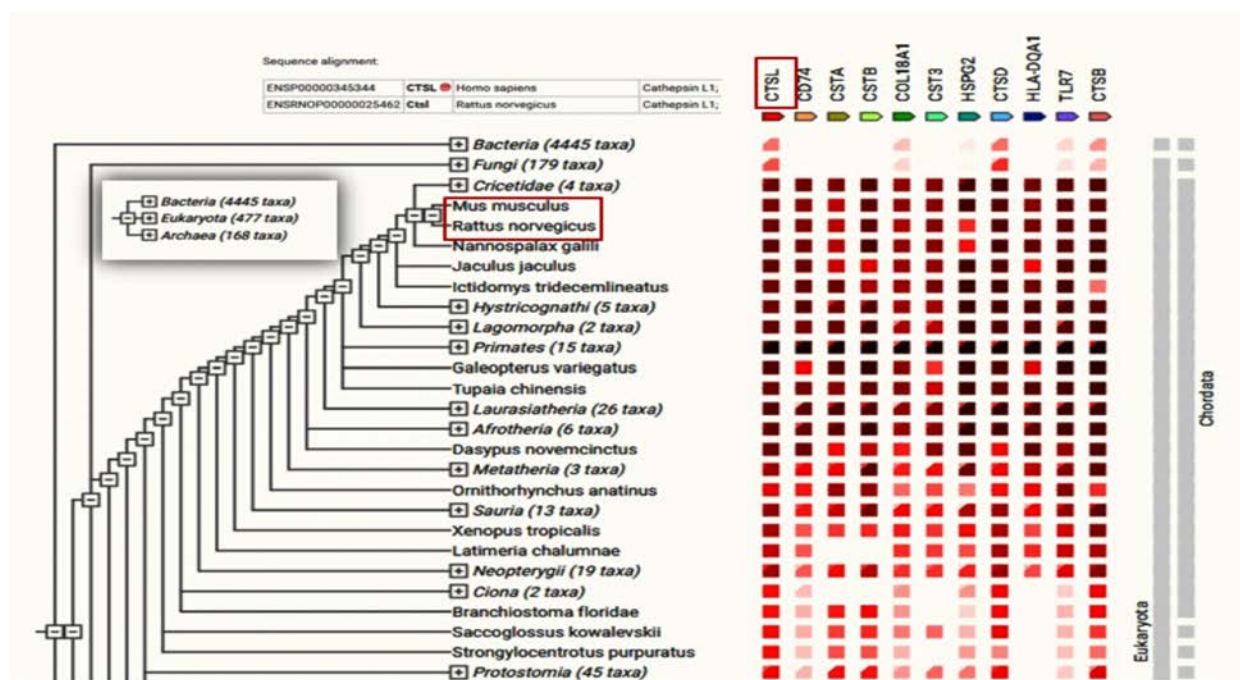


Рис. 6. Фрагмент филогенетического дерева ортологических генов катепсина L1 (база данных STRING Consortium¹⁰, 2022)

Экспрессия белка катепсина L1 осуществляется в тканях респираторного тракта, эндокринной системы, желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы, почках и мышечной ткани. К этому подсемейству белков, согласно филогенетическому дереву, относится 477 ортологических генов, принадлежащих к различным таксонам, в том числе *Rattus norvegicus* (крысы) и *Mus musculus* (мыши) (рис. 6).

Биоинформационный анализ локализации, функциональной и тканевой принадлежности показал, что белки семейства катепсинов являются лизосомальными цистеиновыми протеиназами, участвующими в процессах, связанных с гибелью клеток, деградацией и посттрансляционными модификациями белков, ремоделированием внеклеточного матрикса, аутофагией и передачей иммунных сигналов. Конкретно с увеличением уровня катепсина L1 связаны деградация и нарушение ремоделирования внеклеточного матрикса в макрофагах легких и толстого кишечника; нарушение баланса «трипсиноген – трипсин» с развитием воспаления в паренхиме поджелудочной железы; нарушение передачи сигналов пути митоген-активируемых протеинкиназ (МАРК) в кардиомиоцитах, повреждение подоцитов почечных клубочков [12–17]. Кроме этого, катепсин L1 опосредует процессинг расщепления субъединицы спайкового белка S1 SARS-CoV-2, необходимого для проникновения в клетку и последующей репликации вируса [18–20]. При сохраняющихся условиях экспозиции

фторсодержащими соединениями увеличивается вероятность развития таких риск-ассоциированных негативных исходов со стороны здоровья, как прогрессирующая дилатационная кардиомиопатия, атеросклероз, панкреатит и сахарный диабет, гломерулонефрит, колит, коронавирусная инфекция.

Выводы. В результате реализации предложенного алгоритма и сравнительного анализа протеомных карт плазмы крови детей, экспонированных и не экспонированных фторсодержащими соединениями, идентифицировано 27 экспрессированных белков. На примере белка катепсина L1, экспрессия которого достоверно связана с повышенным содержанием фтор-иона в моче (маркера экспозиции), создана биоинформационная матрица, позволившая спрогнозировать развитие риск-ассоциированных негативных эффектов у экспонированных лиц, в том числе в виде кардиомиопатии, колита, гломерулонефрита, сахарного диабета, атеросклероза, коронавирусной инфекции. Полученные прогнозные оценки позволяют повышать эффективность раннего выявления и разработки профилактических превентивных мер, направленных на минимизацию негативных последствий.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

¹⁰ STRING Consortium [Электронный ресурс]. – URL: <https://string-db.org/> (дата обращения: 02.03.2022).

Список литературы

1. План действий по профилактике и борьбе с неинфекционными заболеваниями в Европейском регионе ВОЗ [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2017. – URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/346330/NCD-ActionPlan-RU.pdf (дата обращения: 02.03.2022).
2. Биомониторинг человека: факты и цифры [Электронный ресурс]. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/164589/WHO-EURO-2015-3209-42967-60041-rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (дата обращения: 02.03.2022).
3. Мирошниченко И.И., Птицина С.Н. Биомаркеры в современной медико-биологической практике // Биомедицинская химия. – 2009. – Т. 55, № 4. – С. 425–440.
4. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects // Mol. Cell. Proteomics. – 2002. – Vol. 1, № 11. – P. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200
5. Baer B., Millar A.H. Proteomics in evolutionary ecology // J. Proteomics. – 2016. – Vol. 135. – P. 4–11. DOI: 10.1016/j.jprot.2015.09.031
6. Dynamic Proteomics: a database for dynamics and localizations of endogenous fluorescently-tagged proteins in living human cells / M. Frenkel-Morgenstern, A.A. Cohen, N. Geva-Zatorsky, E. Eden, J. Prilusky, I. Issaeva, A. Sigal, C. Cohen-Saidon [et al.] // Nucleic Acids Res. – 2010. – Vol. 38, Suppl. 1. – P. D508–D512. DOI: 10.1093/nar/gkp808
7. Mi H., Muruganujan A., Thomas P.D. PANTHER in 2013: modeling the evolution of gene function, and other gene attributes, in the context of phylogenetic trees // Nucleic Acids Res. – 2003. – Vol. 41. – P. D377–D386. DOI: 10.1093/nar/gks1118
8. Bioinformatic-driven search for metabolic biomarkers in disease / C. Baumgartner, M. Osl, M. Netzer, D. Baumgartner // J. Clin. Bioinforma. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 2. DOI: 10.1186/2043-9113-1-2
9. TISSUES 2.0: an integrative web resource on mammalian tissue expression / O. Palasca, A. Santos, C. Stolte, J. Gorodkin, L.J. Jensen // Database. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–12. DOI: 10.1093/database/bay003
10. Large-scale gene function analysis with the PANTHER classification system / H. Mi, A. Muruganujan, J.T. Casagrande, P.D. Thomas // Nat. Protoc. – 2013. – Vol. 8, № 8. – P. 1551–1566. DOI: 10.1038/nprot.2013.092
11. Alterations in epididymal proteomics and antioxidant activity of mice exposed to fluoride / Z. Sun, S. Li, Y. Yu, H. Chen, M.M. Ommati, R.K. Manthari, R. Niu, J. Wang // Arch. Toxicol. – 2018. – Vol. 92, № 1. – P. 169–180. DOI: 10.1007/s00204-017-2054-2
12. Differential expression of cysteine and aspartic proteases during progression of atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice / S. Jormsjö, D.M. Wuttge, A. Sirsjö, C. Whatling, A. Hamsten, S. Stemme, P. Eriksson // Am. J. Pathol. – 2002. – Vol. 161, № 3. – P. 939–945. DOI: 10.1016/S0002-9440(10)64254-X
13. Lysosomal cysteine peptidase cathepsin L protects against cardiac hypertrophy through blocking AKT/GSK3 β signaling / Q. Tang, J. Cai, D. Shen, Z. Bian, L. Yan, Y.-X. Wang, J. Lan, G.-Q. Zhuang [et al.] // J. Mol. Med. (Berl.). – 2008. – Vol. 87, № 3. – P. 249–260. DOI: 10.1007/s00109-008-0423-2
14. Roles for cathepsins S, L, and B in insulinitis and diabetes in the NOD mouse / L.C. Hsing, E.A. Kirk, T.S. McMillen, S.-H. Hsiao, M. Caldwell, B. Houston, A.Y. Rudensky, R.C. LeBoeuf // J. Autoimmun. – 2010. – Vol. 34, № 2. – P. 96–104. DOI: 10.1016/j.jaut.2009.07.003
15. Podocyte migration during nephrotic syndrome requires a coordinated interplay between cathepsin L and α 3 integrin / J. Reiser, J. Oh, I. Shirato, K. Asanuma, A. Hug, T.M. Mundel, K. Honey, K. Ishidoh [et al.] // J. Biol. Chem. – 2004. – Vol. 279, № 33. – P. 34827–34832. DOI: 10.1074/jbc.M401973200
16. Angiotensin II type-2-receptor stimulation ameliorates focal and segmental glomerulosclerosis in mice / M.C. Liao, K.N. Miyata, S.Y. Chang, X.P. Zhao, C.S. Lo, M.A. El-Mortada, J. Peng, I. Chenier [et al.] // Clin. Sci. (Lond.). – 2022. – Vol. 136, № 10. – P. 715–731. DOI: 10.1042/CS20220188
17. Cathepsin S is activated during colitis and causes visceral hyperalgesia by a PAR2-dependent mechanism in mice / F. Cattaruzza, V. Lyo, E. Jones, D. Pham, J. Hawkins, K. Kirkwood, E. Valdez-Morales, C.H. Ibeakanma [et al.] // Gastroenterology. – 2011. – Vol. 141, № 5. – P. 1864–1874.e1-3. DOI: 10.1053/j.gastro.2011.07.035
18. Glycopeptide Antibiotics Potently Inhibit Cathepsin L in the Late Endosome/Lysosome and Block the Entry of Ebola Virus, Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV), and Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus (SARS-CoV) / N. Zhou, T. Pan, J. Zhang, Q. Li, X. Zhang, C. Bai, F. Huang, T. Peng [et al.] // J. Biol. Chem. – 2016. – Vol. 291, № 17. – P. 9218–9232. DOI: 10.1074/jbc.M116.716100
19. Transcriptomic characteristics of bronchoalveolar lavage fluid and peripheral blood mononuclear cells in COVID-19 patients / Y. Xiong, Y. Liu, L. Cao, D. Wang, M. Guo, A. Jiang, D. Guo, W. Hu [et al.] // Emerg. Microbes Infect. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 761–770. DOI: 10.1080/22221751.2020.1747363
20. Novel inhibitors of severe acute respiratory syndrome coronavirus entry that act by three distinct mechanisms / A.O. Adedeji, W. Severson, C. Jonsson, K. Singh, S.R. Weiss, S.G. Sarafianos // J. Virol. – 2013. – Vol. 87, № 14. – P. 8017–8028. DOI: 10.1128/JVI.00998-13

Создание биоинформационной матрицы молекулярных маркеров для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова, Н.И. Булатова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 174–184. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.16



Research article

**CREATING BIOINFORMATICS MATRIX OF MOLECULAR MARKERS
TO PREDICT RISK-ASSOCIATED HEALTH DISORDERS****M.A. Zemlyanova^{1,2,3}, N.V. Zaitseva¹, Yu.V. Koldibekova¹, E.V. Peskova^{1,2}, N.I. Bulatova¹**¹Federal 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 Federation³Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation

Long-term or permanent chemical ambient air pollution in residential areas is among priority factors that cause medical and demographic losses. It is necessary to achieve greater precision when assessing risks of changes in homeostasis at their early reversible stage (molecular level). These changes are highly likely to transform into pathological processes at an older age in case the exposure persists.

Our research goal was to create a bioinformatics matrix of molecular markers to predict risk-associated health disorders (exemplified by a marker of exposure). We introduced a stepwise research algorithm that involved using the proteome technology to identify expressed proteins and cause-effect relations between them and influencing factors; revealing molecular-cellular and functional relationships within the “exposure factor – gene – protein – negative outcome” system to predict risk-associated health disorders. The algorithm was implemented to examine the proteomic blood plasma profile of children aged 3–6 years living under long-term aerogenic exposure to fluoride-containing compounds.

We established certain changes in the proteomic profiles of the exposed children in comparison with non-exposed ones as per 27 identified proteins. A bioinformatics matrix was created on the example of cathepsin L1; we established that changes in the level of this protein had a cause-effect relationship with fluoride ion concentrations in urine. Qualitative synthesis of molecular-cellular localization, functional and tissue belonging showed that cathepsin L1 expression caused by elevated fluoride ion levels in urine could affect extracellular matrix remodeling, degradation and post-translation modification of proteins in cells of the lungs, large intestine, and pancreas, in cardiomyocytes and in glomerular podocytes. It also mediated proteolysis of the subunits of the SARS-CoV-2 S1 protein necessary for the virus penetration into a cell and its replication. This created bioinformatics matrix exemplified by cathepsin L1 made it possible to predict risk-associated negative outcomes in exposed people including cardiomyopathy, colitis, glomerulonephritis, diabetes mellitus, atherosclerosis, and coronavirus infection. These predictive estimates raise effectiveness of early detection and development of preventive measures aimed at minimizing possible negative outcomes.

Keywords: proteomic profile, children, cellular-molecular and tissue belonging, molecular markers, gene expression, negative effects, fluoride ion in urine, cathepsin L1, bioinformatics resources.

© Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V., Bulatova N.I., 2022

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

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

Yulia V. Koldibekova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, 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>).

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

Natalya I. Bulatova – Researcher at the Laboratory of Biochemical and Nanosensory Diagnostics (e-mail: 1179815@mail.ru; tel.: +7 (342) 236-80-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3392-9097>).

References

1. Action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases in the WHO European Region. WHO, 2016. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/341522/WHO-EURO-2016-2582-42338-58618-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (02.03.2022).
2. Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2015. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/164588/WHO-EURO-2015-3209-42967-60040-eng.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (02.03.2022).
3. Miroshnichenko I.I., Ptitsina S.N. Biomarkers in the modern medical and biologic practice. *Biomeditsinskaya khimiya*, 2009, vol. 55, no. 4, pp. 425–440 (in Russian).
4. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects. *Mol. Cell. Proteomics*, 2002, vol. 1, no. 11, pp. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200
5. Baer B., Millar A.H. Proteomics in evolutionary ecology. *J. Proteomics*, 2016, vol. 135, pp. 4–11. DOI: 10.1016/j.jprot.2015.09.031
6. Frenkel-Morgenstern M., Cohen A.A., Geva-Zatorsky N., Eden E., Prilusky J., Issaeva I., Sigal A., Cohen-Saidon C. [et al.]. Dynamic Proteomics: a database for dynamics and localizations of endogenous fluorescently-tagged proteins in living human cells. *Nucleic Acids Res.*, 2010, vol. 38, suppl. 1, pp. D508–D512. DOI: 10.1093/nar/gkp808
7. Mi H., Muruganujan A., Thomas P.D. PANTHER in 2013: modeling the evolution of gene function, and other gene attributes, in the context of phylogenetic trees. *Nucleic Acids Res.*, 2003, vol. 41, pp. D377–D386. DOI: 10.1093/nar/gks1118
8. Baumgartner C., Osl M., Netzer M., Baumgartner D. Bioinformatic-driven search for metabolic biomarkers in disease. *J. Clin. Bioinforma.*, 2011, vol. 1, no. 1, pp. 2. DOI: 10.1186/2043-9113-1-2
9. Palasca O., Santos A., Stolte Ch., Gorodkin J., Jensen L.J. TISSUES 2.0: an integrative web resource on mammalian tissue expression. *Database*, 2018, vol. 2018, pp. 1–12. DOI: 10.1093/database/bay003
10. Mi H., Muruganujan A., Casagrande J.T., Thomas P.D. Large-scale gene function analysis with the PANTHER classification system. *Nat. Protoc.*, 2013, vol. 8, no. 8, pp. 1551–1566. DOI: 10.1038/nprot.2013.092
11. Sun Z., Li S., Yu Y., Chen H., Ommati M.M., Manthari R.K., Niu R., Wang J. Alterations in epididymal proteomics and antioxidant activity of mice exposed to fluoride. *Arch. Toxicol.*, 2018, vol. 92, no. 1, pp. 169–180. DOI: 10.1007/s00204-017-2054-2
12. Jormsjö S., Wuttge D.M., Sirsjö A., Whatling C., Hamsten A., Stemme S., Eriksson P. Differential expression of cysteine and aspartic proteases during progression of atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice. *Am. J. Pathol.*, 2002, vol. 161, no. 3, pp. 939–945. DOI: 10.1016/S0002-9440(10)64254-X
13. Tang Q., Cai J., Shen D., Bian Z., Yan L., Wang Y.-X., Lan J., Zhuang G.-Q. [et al.]. Lysosomal cysteine peptidase cathepsin L protects against cardiac hypertrophy through blocking AKT/GSK3 β signaling. *J. Mol. Med. (Berl.)*, 2008, vol. 87, no. 3, pp. 249–260. DOI: 10.1007/s00109-008-0423-2
14. Hsing L.C., Kirk E.A., McMillen T.S., Hsiao S.-H., Caldwell M., Houston B., Rudensky A.Y., LeBoeuf R.C. Roles for cathepsins S, L, and B in insulinitis and diabetes in the NOD mouse. *J. Autoimmun.*, 2010, vol. 34, no. 2, pp. 96–104. DOI: 10.1016/j.jaut.2009.07.003
15. Reiser J., Oh J., Shirato I., Asanuma K., Hug A., Mundel T.M., Honey K., Ishidoh K. [et al.]. Podocyte migration during nephrotic syndrome requires a coordinated interplay between cathepsin L and α 3 integrin. *J. Biol. Chem.*, 2004, vol. 279, no. 33, pp. 34827–34832. DOI: 10.1074/jbc.M401973200
16. Liao M.C., Miyata K.N., Chang S.Y., Zhao X.P., Lo C.S., El-Mortada M.A., Peng J., Chenier I. [et al.]. Angiotensin II type-2-receptor stimulation ameliorates focal and segmental glomerulosclerosis in mice. *Clin. Sci. (Lond.)*, 2022, vol. 136, no. 10, pp. 715–731. DOI: 10.1042/CS20220188
17. Cattaruzza F., Lyo V., Jones E., Pham D., Hawkins J., Kirkwood K., Valdez-Morales E., Ibeakanma C.H. [et al.]. Cathepsin S is activated during colitis and causes visceral hyperalgesia by a par2-dependent mechanism in mice. *Gastroenterology*, 2011, vol. 141, no. 5, pp. 1864–1874.e1-3. DOI: 10.1053/j.gastro.2011.07.035
18. Zhou N., Pan T., Zhang J., Li Q., Zhang X., Bai C., Huang F., Peng T. [et al.]. Glycopeptide Antibiotics Potently Inhibit Cathepsin L in the Late Endosome/Lysosome and Block the Entry of Ebola Virus, Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV), and Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus (SARS-CoV). *J. Biol. Chem.*, 2016, vol. 291, no. 17, pp. 9218–9232. DOI: 10.1074/jbc.M116.716100
19. Xiong Y., Liu Y., Cao L., Wang D., Guo M., Jiang A., Guo D., Hu W. [et al.]. Transcriptomic characteristics of bronchoalveolar lavage fluid and peripheral blood mononuclear cells in COVID-19 patients. *Emerg. Microbes Infect.*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 761–770. DOI: 10.1080/22221751.2020.1747363
20. Adedeji A.O., Severson W., Jonsson C., Singh K., Weiss S.R., Sarafianos S.G. Novel inhibitors of severe acute respiratory syndrome coronavirus entry that act by three distinct mechanisms. *J. Virol.*, 2013, vol. 87, no. 14, pp. 8017–8028. DOI: 10.1128/JVI.00998-13

Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V., Bulatova N.I. Creating bioinformatics matrix of molecular markers to predict risk-associated health disorders. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 174–184. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.16.eng

Получена: 07.04.2022

Одобрена: 10.06.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

УДК [615.9+612.014.46]: 546.43
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.17

Читать
онлайн



Научная статья

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ХРОНИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Е.В. Дроздова¹, С.И. Сычик¹, В.А. Грынчак¹, С.Н. Рябцева²

¹Научно-практический центр гигиены, Республика Беларусь, 220012, г. Минск, ул. Академическая, 8

²Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 28

Методологии оценки рисков здоровью и гигиенического нормирования химических веществ не принимают во внимание такую уязвимую группу населения, как лица с хроническими неинфекционными заболеваниями. По данным ВОЗ, для многих стран европейского региона характерны высокие уровни данной патологии, поэтому неучтенность груза заболеваний в популяции может снижать точность проводимых оценок. Однако введение слишком высоких коэффициентов запаса при разработке гигиенических регламентов веществ в различных средах приводит к высокой неопределенности и избыточным ограничениям.

Осуществлены научное обоснование и апробация методологии применения экспериментальных моделей патологии для повышения надежности гигиенического нормирования и точности оценок риска здоровью для чувствительных групп населения при воздействии химических веществ природного генеза. Результаты проведенной апробации применительно к питьевой воде свидетельствуют, что в условиях хронической 6-месячной экспериментальной экспозиции животных модельными веществами их токсическое действие для моделей патологии (спонтанной артериальной гипертензии и экспериментально индуцированной гентамицином нефропатии), в сравнении с классической моделью на здоровых животных, было достоверно более выраженным.

Это позволило рекомендовать использование экспериментальных моделей врожденной и индуцированной патологии животных с учетом органов-мишеней токсического действия изучаемых химических веществ при обосновании гигиенических нормативов, в том числе с учетом рисков здоровью, на этапе установления дозозависимых реакций (определение недействующих и / или пороговых уровней) в дополнение к исследованиям на «здоровых» животных. Наиболее целесообразно применение данного подхода при выполнении следующих условий: 1) объект исследования – химические вещества природного генеза, широко распространенные в окружающей среде вследствие природных особенностей ее формирования; 2) мишенями биологического действия тестируемых веществ являются органы (системы), патология которых широко распространена в популяции (заболевания системы кровообращения, выделительной системы и т.д.).

Ключевые слова: экспериментальные модели патологии, нефропатия, животные со спонтанной гипертензией, оценка рисков, гигиеническое нормирование, чувствительные группы населения, методические подходы, барий, минерализация.

При разработке гигиенических нормативов химических веществ в объектах среды обитания для перехода к регламентируемым значениям от пороговых или недействующих доз (концентраций), полученных по результатам экспериментов на лабораторных животных, математического моделирования или эпидемиологического исследования, использу-

ется коэффициент запаса. При этом предполагается, что коэффициент запаса должен учесть основные виды неопределенностей – внутривидовую, межвидовую и обусловленную качеством исходных данных для нормирования (наличие / отсутствие данных о хронической и специфической токсичности, репротоксичности и иных видах отдаленных эффек-

© Дроздова Е.В., Сычик С.И., Грынчак В.А., Рябцева С.Н., 2022

Дроздова Елена Валентиновна – кандидат медицинских наук, доцент, заместитель директора по научной работе (e-mail: drozdovaev@mail.ru; тел.: 8 (017) 370-50-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3032-0895>).

Сычик Сергей Иванович – кандидат медицинских наук, доцент, директор (e-mail: rspch@rspch.by; тел.: 8 (017) 347-73-70; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-9799>).

Грынчак Виталий Александрович – кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией прикладной токсикологии и безопасности изделий медицинского назначения (e-mail: grinchakva@gmail.com; тел.: 8 (017) 399-44-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-1793>).

Рябцева Светлана Николаевна – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий лабораторией «Центр электронной и световой микроскопии» (e-mail: sveta.rjabceva@tut.by; тел.: 8 (017) 357-22-72; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5960-3656>).

тов, масштабность эксперимента / эпидемиологического исследования). Этот подход широко применяется в национальной, региональной (страны ЕАЭС) и наилучшей международной практике [1, 2].

По данным ряда исследователей, применение для внутривидовой изменчивости консервативного фактора неопределенности, равного 10, может гарантировать учет вариабельности человеческой популяции лишь на 80–95 % с учетом различий в метаболизме ксенобиотиков [3]. Позднее было отмечено, что в данный анализ не были включены некоторые подгруппы населения (не отражено влияние возраста, генетического полиморфизма и т. д.), как и не была учтена большая группа потенциально уязвимых людей, чувствительность которых гораздо выше по сравнению со «средним здоровым взрослым», например, вследствие патологий в работе органа или системы органов, принимающих участие в метаболизме токсичного вещества [4–9]. При учете всех указанных показателей установившееся значение фактора неопределенности 10 в состоянии «защитить» только 60 % населения [10, 11]. Кроме того, человек для лечения хронических заболеваний может длительное время принимать лекарственные препараты, которые могут существенно изменять прямую и косвенную реакцию организма на химическое воздействие¹ [12, 13]. Предсуществующие почечные болезни, несомненно, играют важную роль в возникновении нефротоксических нарушений. Эксперименты на лабораторных животных убедительно показали, что часто встречающиеся болезни человека (гипертензия, почечная недостаточность и ишемия почки) усиливают нефротоксическое действие циклоsporина и бактериальных эндотоксинов. Однако в научной литературе очень мало данных о реальной прогностической значимости клинических наблюдений и результатов экспериментов на лабораторных животных. Изучение токсичности химических веществ обычно проводят на здоровых лабораторных животных, что не позволяет экстраполировать полученные результаты на такие уязвимые группы населения, как болеющие хроническими инфекционными заболеваниями и / или принимающие на постоянной основе лекарственные препараты.

В последние годы проводилось много исследований, целью которых являлось обоснование методических подходов к оптимизации выбора факторов внутривидовой и межвидовой неопределенности при установлении адекватных коэффициентов запаса. Например, разработаны так называемые химически-специфические корректирующие факторы или кофакторы (chemical-specific adjustment factors – CSAFs), учитывающие данные токсикокинетики и

токсикодинамики химического вещества и его метаболитов в организме [14, 15]. Применение CSAFs уже формализовано в международных рекомендациях и внедрено в практику оценки риска² [16], однако данный подход также учитывает лишь оптимальные условия работы «здоровых» органов.

Следовательно, при оценке рисков здоровью от воздействия химического фактора и гигиеническом нормировании такая уязвимая группа населения, как лица с хроническими заболеваниями, не учитывается вовсе. При этом для Республики Беларусь, как и для большинства стран региона ВОЗ-Евро, характерны глобальные тенденции в состоянии здоровья населения – избыточность неинфекционной хронической заболеваемости, на долю которой приходится 86 % смертности и 77 % бремени в общей заболеваемости. К приоритетным относят заболевания системы кровообращения и онкологические заболевания, возникновение которых этиологически потенциально может быть связано с воздействием химического фактора [17].

Неучтенность груза заболеваний в популяции снижает точность оценок риска здоровью и гигиенического нормирования на основе классического подхода. В то же время введение слишком высоких коэффициентов запаса при разработке предельно допустимых концентраций веществ в различных средах приводит к высокой неопределенности и избыточным ограничениям. Примером может служить проблема невозможности использования в питьевых целях воды отдельных источников в связи присутствием в составе веществ природного происхождения в концентрациях свыше «жестких» нормативов и необходимостью значительных затрат на водоподготовку (барий).

Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что повышение надежности гигиенического нормирования и точности оценки рисков здоровью при воздействии химических веществ с учетом чувствительных групп населения является актуальным направлением и представляет особый интерес при обосновании гигиенических нормативов для химических веществ природного происхождения, присутствующих в объектах среды обитания в повышенных концентрациях в связи с региональными особенностями.

В настоящей работе нами предложен новый методический подход для снижения неопределенностей, связанных с недоучтенностью потенциально более высокой чувствительности уязвимой группы населения (люди, страдающие хроническими инфекционными заболеваниями либо принимающие на постоянной основе определенные группы лекарственных препаратов), при оценке рисков здоровью

¹ Мясников А.Л. Патогенез гипертонии // Гипертония военного времени. – Л.: МСУ ВМФ, 1945. – С. 4–16.

² Chemical-specific adjustment factors for interspecies differences and human variability: guidance document for use of data in dose/concentration–response assessment. – Geneva: World Health Organization, 2005. – 96 p.

от воздействия химических веществ природного происхождения и их гигиенической регламентации.

Известно, что экспериментальные модели патологии, в том числе спонтанно-гипертензивные крысы (SHR), достаточно давно используются для оценки фармакологических свойств лекарственных препаратов [18–24] и изучения влияния некоторых видов пищевых продуктов на развитие патологии [25, 26]. Нашли они применение и в отдельных токсикологических исследованиях: модель артериальной гипертензии для оценки малых доз поллютантов в атмосферном воздухе или острого воздействия малых доз этанола [27, 28]. Однако методология системного использования моделей патологии при оценке рисков здоровью и обосновании гигиенических нормативов химических веществ в объектах среды обитания отсутствует.

Цель исследования – научно обосновать и апробировать методологию применения экспериментальных моделей патологии животных, учитывающих основные органы-мишени и механизм биологического действия изучаемых веществ, для повышения надежности гигиенического нормирования и точности оценок риска здоровью для чувствительных групп населения при воздействии веществ природного генеза.

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

1) изучить существующие экспериментальные модели патологии (на примере моделей артериальной гипертензии и нефропатии) и обосновать их выбор для последующей экспериментальной апробации применения при гигиеническом нормировании и оценке рисков здоровью (на примере питьевой воды и модельных химических показателей, типичных для гидрогеохимических условий республики);

2) провести изучение и дать сравнительную оценку биологического действия модельных химических показателей при различных уровнях экспозиции на здоровых животных (усредненная или стандартизованная модель) и экспериментальных моделях патологии (модели группы риска);

3) обосновать методические подходы применения экспериментальных моделей патологии для гигиенической регламентации химических веществ природного происхождения на основе оценки рисков здоровью с учетом чувствительных групп населения.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования для отработки предложенных методических подходов на основании проведенного анализа с учетом комплекса критериев был обоснован выбор двух экспериментальных моделей патологии – артериальной гипертензии (спонтанной) и нефропатии (экспериментально индуцированной гентамицином).

Выбор модельного вещества (барий) и обобщенного показателя (общая минерализация) осуществлялся на основе следующих критериев: 1) актуальность с позиций регионального гигиенического нормирования – широкое их присутствие в питьевой воде на территории республики вследствие природных особенностей формирования подземных водоносных горизонтов; 2) сердечно-сосудистая и выделительная системы являются мишенями при воздействии модельных веществ, их биологическое действие доказано в многочисленных экспериментах, а пороговые эффекты учитывались при обосновании национальных и зарубежных нормативов безопасности и рекомендуемых ВОЗ значений³; 3) неинфекционная патология органов (систем), являющихся мишенью биологического действия для данных веществ, широко распространена в популяции.

В ходе апробации предложенных моделей лабораторных животных в хроническом эксперименте длительностью 6 месяцев выпаивали в свободном питьевом режиме водой, содержащей модельные вещества в различных концентрациях. Концентрации обосновывались с учетом токсиметрических параметров, использовавшихся при разработке нормативов изучаемых веществ на национальном и международном уровнях, – концентрации недействующие и заведомо оказывающие биологическое действие на организм здоровых лабораторных животных: вода с содержанием бария 1,3 и 70 мг/л и с уровнем минерализации 1 500 и 10 000 мг/л соответственно.

Для отработки экспериментальных моделей патологии формировали пять групп по 10 самцов белых рандомбредных крыс в каждой, при этом контрольная группа получала воду в свободном питьевом режиме в неограниченном количестве, а остальные четыре экспериментальные группы – воду с соответствующим содержанием модельных веществ (группы «Контроль», «Ba 1,3», «Ba 70», «M 1 500», «M 10 000») – классическая модель.

³ Guidelines for Drinking-water Quality. – 4th ed. with adds. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 631 p.; Barium in Drinking Water: Guideline Technical Document for Public Consultation [Электронный ресурс] // Health Canada. – 2018. – 52 p. – URL: <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/programs/consultation-barium-drinking-water/document-eng.pdf> (дата обращения: 20.11.2021); Barium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2016. – 21 p. – URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/barium-background-jan17.pdf?sfvrsn=9a2355a1_4 (дата обращения: 20.11.2021); Toxicological profile for barium and barium compounds [Электронный ресурс] // US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. – 2007. – 231 p. – URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf> (дата обращения: 20.11.2021); Barium and Compounds. CASRN 7440-39-3 [Электронный ресурс] // US Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment. – 2005. – 34 p. – URL: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0010_summary.pdf (дата обращения: 20.11.2021).

При моделировании нефропатии предварительно лабораторным животным, сформированным в пять групп по 10 крыс в каждой, внутривенно вводили гентамицин в течение 10 дней в дозе 70 мг/кг/день. После развития нефропатии одна группа («Контроль») получала воду в неограниченном количестве, а остальные четыре экспериментальные группы – воду с соответствующим содержанием модельных веществ в свободном питьевом режиме (группы «Контроль EINP», «EINP Ba 1,3», «EINP Ba 70», «EINP M 1 500», «EINP M 10 000») (модель экспериментально-индуцированной нефропатии (EINP)).

Для апробации модели артериальной гипертензии были сформированы три группы по 10 самцов крыс линии SHR (крысы со спонтанной гипертензией), у которых было установлено стойкое повышение артериального давления. Контрольная и две опытные группы получали в неограниченном количестве исходную воду и воду с концентрациями бария 1,3 и 70 мг/л соответственно (группы «Контроль SHR», «SHR Ba 1,3», «SHR Ba 70») (модель артериальной гипертензии – «Модель АГ»).

В экспериментах использовали самцов рандомбредных белых крыс из вивария государственного предприятия «НПЦГ» и крыс линии SHR из вивария ГНУ «Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси» после двухнедельного карантинного содержания. Для экспериментов отбирались активные животные, хорошо поедающие корм, с гладким и блестящим шерстным покровом, нормальной окраской видимых слизистых оболочек, которых содержали на стандартном рационе вивария.

Воду с заданными концентрациями бария (Ba) и минерализации (М) готовили путем разведения в воде в необходимых пропорциях порошка 2-водного бария хлорида (ЗАО «ВЕКТОН», Россия, ГОСТ 4108-72) и минеральной добавки «Северянка» (ООО «Эко-Проект», Россия) соответственно.

На протяжении всего шестимесячного хронического эксперимента животных еженедельно взвешивали и ежедневно оценивали уровень водопотребления, клинические проявления интоксикации и гибель. Для определения развития критического эффекта – гипертензии – у всех крыс до начала и по окончании эксперимента измеряли систолическое (АДс) и диастолическое артериальное давление (АДд), частоту сердечных сокращений (ЧСС) с применением системы неинвазивного измерения кровяного давления грызунов «Систола» и платформы «Флогистон» производства ООО «Нейроботикс», Россия.

При аутопсии после одномоментной декапитации белых крыс определены относительные коэффициенты массы (ОКМ) внутренних органов. Для изучения морфофункционального состояния организма экспериментальных животных оценивали: биохимические показатели сыворотки крови (мочевина, лактатдегидрогеназа (ЛДГ), холестерин, гам-

ма-глутамилтранспептидаза (ГГТ), аспаратаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ), альбумин, креатинин, общий билирубин и белок, α -амилаза, глюкоза, мочевая кислота, липопротеины низкой (ЛПНП) и высокой плотности (ЛПВН), фосфор, железо и магний) и показатели мочевыделительной системы с помощью автоматического биохимического анализатора Accent 200, Польша; морфофункциональный состав периферической крови методом проточной цитометрии с использованием гематологического анализатора Mythic18, Швейцария; морфологическое строение внутренних органов животных с применением общепринятых методов.

Обращение с лабораторными животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики⁴.

Полученные в опытах данные подвергали статистической обработке принятыми в медико-биологических исследованиях методами параметрического и непараметрического анализа с использованием компьютерных программ Statistica 10, MS Excel. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. О развитии модельной патологии – хронической нефропатии – свидетельствовали функциональные изменения у лабораторных животных группы «Контроль EINP» относительно белых крыс, не получавших гентамицин («Контроль»), в виде статистически значимого снижения в крови концентрации фосфора на 13,5 %, ЛПНП – в 1,9 раза, мочевины – в 2,3 раза ($p < 0,001$), общего белка – на 16,9 % ($p < 0,01$), альбумина – на 18,1 % ($p < 0,003$), увеличения мочевой кислоты – на 29,8 % ($p < 0,04$), креатинина – на 25,4 %, глюкозы – на 22,9 %, АСТ – на 13,6 % ($p < 0,001$), АЛТ – на 43,9 % ($p < 0,007$), а также снижения суточного диуреза на 19,1 % ($p < 0,004$), разнонаправленных сдвигов белкового и минерального обменов в виде повышенной экскреции общего белка – в 1,2 раза ($p < 0,008$), снижения концентрации фосфора в 2,3 раза, магния – в 2,6 раза, мочевины и креатинина – в 1,4 и 1,3 раза в моче соответственно (при $p < 0,001$). Также отмечалось повышение уровня лейкоцитов на 12,1 %, в том числе нейтрофилов – на 20,0 %, моноцитов – в 2,2 раза, эозинофилов – на 29,3 % и базофилов – в 1,4 раза ($p < 0,01$) у животных с индуцированной нефропатией относительно контрольной группы животных.

Анализ результатов исследований при экспозиции модельными веществами показал, что на протяжении хронического эксперимента у животных всех 13 экспериментальных групп не наблюдалось существенных изменений в общем состоянии, объем водопотребления оставался на уровне контрольных значений. Ежедневная доза для лабораторных животных, получавших растворы бария в концентрациях 1,3 и 70 мг/л, при пересчете на массу тела составила соответственно 0,05 и 2,7–2,9 мг/кг (табл. 1).

⁴ Guide for the care and use of laboratory animals. – Washington, D.C.: National Academies Press, 1996. – 154 p.

Таблица 1

Полученная доза и объем водопотребления крыс при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, $Me (P_{25}-P_{75})$

Животные	Группы сравнения	Показатель, единицы измерения	
		Водопотребление, мл	Доза, мг/кг в день
Белые крысы	«Контроль»	84,6 (71,4–97,8)	–
	«Ba 1,3»	84,8 (71,6–98,0)	0,05 (0,05–0,05)
	«Ba 70»	84,7 (71,5–97,9)	2,70 (2,68–2,72)
	«M 1 500»	84,6 (71,4–97,8)	–
	«M 10 000»	85,0 (71,8–98,2)	–
Белые крысы с нефропатией (EINP)	«Контроль EINP»	85,2 (71,9–98,3)	–
	«EINP Ba 1,3»	85,0 (71,7–98,0)	0,05 (0,05–0,05)
	«EINP Ba 70»	85,3 (72,0–98,3)	2,71 (2,57–2,75)
	«EINP M 1500»	91,6 (72,8–103,5)	–
	«EINP M 10 000»	84,5 (78,1–97,1)	–
Крысы линии SHR	«Контроль SHR»	105,0 (91,7–120,7)	–
	«SHR Ba 1,3»	106,3 (93,0–119,3)	0,05 (0,05–0,06)
	«SHR Ba 70»	107,4 (94,1–120,4)	2,91 (2,68–3,17)

Изучение функциональных показателей лабораторных животных по окончании эксперимента позволило установить статистически значимые нарушения работы ряда систем и органов. Показано, что хроническое употребление животными воды с концентрацией бария 70 мг/л способствует статистически значимому повышению артериального давления (как систолического, так и диастолического) для всех моделей: у белых крыс: АДс – на 5,5 % ($p < 0,003$) и АДд – на 9,4 % ($p < 0,009$), у животных с индуцированной нефропатией: АДс – на 9,7 % ($p < 0,001$) и АДд – на 9,3 % ($p < 0,005$), у гипертензивной линии крыс: АДс – на 14,8 % ($p < 0,003$) и АДд – на 18,6 % ($p < 0,02$) (табл. 2). Наиболее выражено развитие гипертензии при экспозиции барием 70 мг/л у животных линии SHR – артериальное давление в среднем повышается на 30 мм рт. ст., причем наиболее выражено повышение АДд. В то же время ЧСС во всех опытных группах оставалась без изменений.

В экспериментальных условиях при хронической экспозиции барием в концентрации 70 мг/л в питьевой воде выявлено статистически значимое увеличение массы тела белых крыс, крыс с нефропатией и гипертензией на 2,8 % ($p < 0,003$), 6,1 % ($p < 0,02$) и 5,1 % ($p < 0,01$) соответственно на фоне отсутствия изменений прироста массы тела остальных опытных групп по сравнению с контрольными данными.

Экспозиция животных с почечной недостаточностью и без патологии почек барием в концентрации 70 мг/л способствовала развитию лейкоцитоза, выраженного в увеличении лейкоцитов и нейтрофилов на 19,9 и 32,0 % ($p < 0,003$), в сравнении с контрольными крысами, и на 14,6 и 16,7 % ($p < 0,01$) соответственно относительно контрольной группы с нефропатией. Также отмечено снижение уровня тромбоцитов на 10,9 % ($p < 0,006$), содержания гемоглобина в эритроцитах – на 7,2 % ($p < 0,001$), что определило понижение его в крови опытных крыс на 4,2 % ($p < 0,001$), по сравнению с контрольными животными с нефропатией.

Токсическое действие бария на животных с нефропатией проявлялось более выраженным снижением в крови общего белка на 12,5 % ($p < 0,006$), повышением концентрации креатинина на 5,0 % ($p < 0,001$). Изменения в сыворотке крови при экспозиции лабораторных животных с модельной патологией растворами с минерализацией 10 000 мг/л проявлялись нарушением минерального обмена в виде статистически значимого снижения содержания фосфора и магния на 19,7 и 12,5 % соответственно, а также мочевой кислоты – в 2,2 раза, по сравнению с контрольной группой белых крыс, получавших гентамицин.

Воздействие бария в концентрации 70 мг/л у лабораторных животных линии SHR также инициировало развитие признаков слабовыраженного лейкоцитоза, но при отсутствии иных статистически значимых изменений морфофункциональных показателей крови крыс линии SHR (табл. 3).

Со стороны биохимических показателей крови при экспозиции барием в концентрации 70 мг/л контрольной группы белых крыс и крыс линии SHR выявлено снижение содержания общего белка на 20,7 % ($p < 0,004$) и 16,2 % ($p < 0,001$), увеличение АСТ на 21,4 % ($p < 0,001$) и 10,6 % ($p < 0,003$) соответственно. Следует отметить разнонаправленные сдвиги минерального обмена у гипертензивных крыс, получавших барий в концентрации 70 мг/л, в виде повышения содержания в сыворотке крови фосфора на 25,7 % ($p < 0,001$) и снижения магния на 7,8 % ($p < 0,02$).

Хроническое воздействие бария в концентрации 70 мг/л инициировало развитие признаков протеинурии, которые были более выражены при воздействии на животных с нефропатией. У спонтанно-гипертензивных крыс, в отличие от других животных, при воздействии бария в концентрации 70 мг/л в моче выявлены статистически значимые нарушения минерального обмена и азот-содержащих продуктов белкового обмена (табл. 4).

Таблица 2

Артериальное давление и ЧСС крыс линии SHR при воздействии растворов с различными уровнями бария в хроническом эксперименте, $Me (P_{25}-P_{75})$

Группа	Показатель артериального давления, единицы измерения					
	исходная			6 месяцев		
	АДс, мм рт. ст.	АДд, мм рт. ст.	ЧСС, уд./мин	АДс, мм рт. ст.	АДд, мм рт. ст.	ЧСС, уд./мин
«Контроль SHR»	140 (138–144)	123 (118–125)	484 (471–490)	189 (177–201)	167 (160–190)	534 (520–556)
«SHR Ba 1,3»	142 (133–147)	122 (113–123)	483 (473–491)	189 (184–202)	175 (163–186)	544 (532–555)
«SHR Ba 70»	145 (139–148)	123 (111–129)	486 (479–491)	217 (210–226) *	198 (193–206) *	534 (528–545)

Примечание: * – статистически значимые различия при $p < 0,02$.

Таблица 3

Морфофункциональные показатели крови крыс линии SHR при воздействии растворов с различными уровнями бария в хроническом эксперименте, $Me (P_{25}-P_{75})$

Показатель, единицы измерения	Группа, уровень воздействия, мг/л		
	«Контроль»	«Ba 1,3»	«Ba 70»
Лейкоциты, 10^9 кл/л	14,2 (13,6–14,9)	14,5 (12,9–15,5)	16,7 (15,9–17,2) *
Нейтрофилы, 10^9 кл/л	2,7 (2,5–2,9)	2,6 (2,4–2,8)	3,2 (2,9–3,5) *
Лимфоциты, 10^9 кл/л	9,4 (8,5–10,2)	9,1 (8,4–9,9)	9,3 (8,3–9,9)
Моноциты, 10^9 кл/л	1,2 (0,9–1,6)	1,0 (0,7–1,5)	1,1 (0,9–1,3)
Эозинофилы, 10^9 кл/л	0,87 (0,80–0,91)	0,87 (0,81–0,91)	0,89 (0,83–0,95)
Базофилы, 10^9 кл/л	0,18 (0,11–0,19)	0,17 (0,16–0,20)	0,18 (0,15–0,21)
Эритроциты, 10^{12} кл/л	8,2 (8,0–8,4)	8,1 (8,0–8,3)	8,1 (7,9–8,6)
Концентрация гемоглобина, г/л	142 (139–143)	140 (139–141)	143 (142–143)
Гематокрит, л/л	0,39 (0,37–0,41)	0,38 (0,37–0,39)	0,39 (0,39–0,40)
Средний объем эритроцита, фл	51,4 (51,0–51,8)	51,1 (50,2–51,7)	51,5 (49,8–52,1)
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	18,3 (18,1–18,7)	18,3 (18,1–18,7)	18,5 (17,8–18,7)
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	363 (362–364)	363 (362–364)	364 (362–368)
Тромбоциты, 10^9 кл/л	849 (823–935)	853 (729–1015)	863 (844–900)
Средний объем тромбоцита, фл	6,2 (6,1–6,3)	6,2 (6,1–6,3)	6,3 (6,1–6,3)

Примечание: * – статистически значимые различия при $p < 0,001$.

Таблица 4

Показатели функционального состояния почек крыс линии SHR при воздействии растворов с различными уровнями бария в хроническом эксперименте, $Me (P_{25}-P_{75})$

Показатель, единицы измерения	Группа, уровень воздействия, мг/л		
	«Контроль»	«Ba 1,3»	«Ba 70»
Общий белок, г/л	5,4 (5,2–6,0)	5,6 (5,4–5,8)	6,6 (6,1–7,0) *
Фосфор, ммоль/л	33,9 (22,5–43,0)	33,3 (28,7–38,3)	17,9 (14,8–20,0) *
Железо, ммоль/л	17,4 (17,1–17,5)	17,3 (16,4–17,5)	17,3 (16,4–18,7)
Магний, ммоль/л	0,87 (0,54–0,98)	0,92 (0,81–1,00)	0,51 (0,46–0,54) *
Мочевина, ммоль/л	251 (230–329)	232 (213–258)	192 (177–224) *
Мочевая кислота, ммоль/л	3700 (3303–3706)	3568 (3310–3689)	2916 (2791–3048) *
α -амилаза, Ед/л	1185 (986–1234)	1197 (1074–1293)	1134 (1026–1247)
Креатинин, ммоль/л	5244 (3480–6476)	5305 (4848–5935)	2753 (2359–3073) *
Глюкоза, ммоль/л	0,99 (0,83–1,05)	1,02 (0,97–1,07)	0,92 (0,82–0,98)
Диурез, л ³ /сут	13,8 (13,0–14,1)	14,4 (14,0–15,2)	13,6 (13,1–13,9)
pH, ед. pH	7,1 (7,0–7,2)	6,9 (6,7–7,0)	7,0 (6,7–7,2)

Примечание: * – статистически значимые различия при $p < 0,01$.

Изменения со стороны показателей функционального состояния почек отсутствовали при экспозиции белых крыс питьевой водой с минерализацией 1500 мг/л, в то время как питьевая вода с минерализацией 10 000 мг/л способствовала развитию функциональных нарушений мочевыделительной системы в виде статистически значимого снижения в моче содержания фосфора и магния на 42,4 и 35,7 % соответственно и повышенной экскреции мочевины, которые усиливались у лабораторных животных с хронической нефропатией. Обращает на себя внимание снижение выведения α -амилазы на 19,4 % ($p < 0,01$) с мочой, по сравнению с контрольными данными белых крыс с патологией почек.

Анализ ОКМ внутренних органов контрольных лабораторных животных через 6 месяцев после введения гентамицина показал увеличение массы печени на 5,3 % ($p < 0,02$) и желудка – на 16,4 % ($p < 0,001$), снижение ОКМ почек на 6,8 % ($p < 0,03$). Статистически значимо увеличивалась масса сердца во всех группах животных (у крыс линии SHR и с нефропатией, белые крысы без патологии почек) при воздействии водных растворов с минерализацией 10 000 мг/л и концентрацией бария 70 мг/л. Также барий в концентрации 70 мг/л способствовал снижению ОКМ печени и желудка на 6,8 % ($p < 0,04$) и 21,2 % ($p < 0,001$) соответственно у животных с нефропатией, а минерализация 10 000 мг/л – снижению массы желудка на 20,0 % при $p < 0,001$.

Указанные изменения относительных коэффициентов масс, а также функциональные нарушения внутренних органов опытных животных подтверждаются морфологическими исследованиями. Так, после хронической экспозиции барием в концентрации 70 мг/л в органах белых крыс наблюдались очагово-диффузные слабовыраженные дистрофические изменения миокарда, признаки миокардита, очаговый хронический гепатит со слабовыраженной дистрофией гепатоцитов (1/3 части от периферии долек), пиелит и умеренно выраженные дистрофические и некробиотические изменения эпителия проксимальных канальцев почек. После хронического воздействия растворов с минерализацией 10 000 мг/л в органах опытных животных отмечены признаки повреждения почек, сердца и печени (очагово-диффузные дистрофические изменения миокарда и миокардит, очаговый хронический гепатит с дистрофией гепатоцитов 2/3 части периферии долек, пиелит и очаговые дистрофические изменения эпителия проксимальных канальцев почек, хронический слабовыраженный активный атрофически-гиперпластический гастрит).

После введения гентамицина в группе лабораторных животных «Контроль EINP» по окончании опыта со стороны внутренних органов установлены: слабовыраженная дистрофия печени и почек, признаки пиелита на фоне поражения клубочков и признаки гепатита без патологических изменений в сердце и желудке. Однако при экспозиции барием

в концентрации 1,3 мг/л в органах белых крыс выявлены слабовыраженные нарушения в виде изменений в почках в сочетании с пиелитом. Токсическое действие на сердце и желудок не установлено. После воздействия бария в концентрации 70 мг/л выявлены выраженные изменения в почках, поражение сердечной мышцы с развитием миокардита, умеренно выраженная дистрофия гепатоцитов. В желудке наблюдался хронический активный гастрит с признаками гиперплазии и атрофии эпителия желез. Минерализация воды 1500 мг/л в органах опытных животных с нефропатией инициировала слабовыраженную дистрофию гепатоцитов, признаки гепатита, слабовыраженные изменения в почках без токсического поражения сердца и желудка, в то время как после экспозиции крыс растворами с минерализацией 10 000 мг/л установлены умеренные проявления поражения сердечной мышцы и почек, признаки развития пиелита, миокардита, умеренно выраженная дистрофия гепатоцитов, а также хронический активный гастрит с гиперплазией и атрофией желез в сочетании с гиперсекрецией эпителия.

При хронической экспозиции крыс линии SHR барием в воде в концентрации 1,3 мг/л в органах опытных животных признаки токсического воздействия на сердце, печень и желудок отсутствовали, отмечались незначительные изменения со стороны эпителия проксимальных канальцев почек, характерные для данных лабораторных животных. После выпаивания гипертензивных крыс барием в концентрации 70 мг/л в почках отмечались выраженные изменения эпителия проксимальных канальцев, развитие гломерулонефрита и пиелита, выявлены умеренно выраженные признаки повреждения печени и сердца. В желудке наблюдался хронический активный гастрит с признаками как гиперплазии и атрофии желез, так и гиперсекреции и десквамации эпителия.

Таким образом, результаты проведенной апробации свидетельствуют, что в условиях хронической шестимесячной экспериментальной экспозиции животных модельными веществами их токсическое действие для экспериментальных моделей патологии (спонтанной артериальной гипертензии и экспериментально индуцированной гентамицином нефропатии), в сравнении с классической моделью на здоровых животных, было достоверно более выраженным. О развитии патологии у животных в хроническом эксперименте при воздействии изучаемых веществ в заведомо действующих концентрациях свидетельствовали морфофункциональные нарушения мочевыделительной, сердечно-сосудистой и гепатобилиарной систем. Токсическое действие бария в концентрации 70 мг/л проявлялось развитием лейкоцитоза, нарушением белкового обмена, повышением артериального давления, морфологическими изменениями сердца с увеличением его массы, а также признаками хронического гепатита, пиелита, дистрофическими изменениями эпителия про-

ксимальных канальцев почек. Экспозиция белых крыс водой с минерализацией 10 000 мг/л обуславливала нарушение минерального и белкового обменов, развитие слабо выраженных признаков повреждения почек, сердца и печени. Концентрации 1,3 мг/л бария и 1500 мг/л минерализации в условиях хронического эксперимента на крысах могут быть приняты в качестве недействующих.

Выводы. Предложены методические подходы применения экспериментальных моделей патологии для оценки рисков здоровью и гигиенической регламентации химических веществ с учетом чувствительных групп населения (болеющие хроническими неинфекционными заболеваниями либо принимающие на постоянной основе определенные группы лекарственных препаратов). При апробировании методологии применительно к питьевой воде в хроническом эксперименте на моделях спонтанной артериальной гипертензии и экспериментально индуцированной хронической нефропатии и модельных химических показателях, типичных для водоносных горизонтов Республики Беларусь (барий и общая минерализация), было подтверждено предположение о достоверно большей восприимчивости и чувствительности моделей патологии к токсическому действию химических веществ в сравнении с классической моделью на «здоровых» животных.

Полученные результаты позволили рекомендовать использование экспериментальных моделей врожденной и индуцированной патологии животных с учетом органов-мишеней токсического действия химических веществ при обосновании гигиенических нормативов с учетом рисков здоровью на этапе изучения дозозависимых реакций (определение недействующих и / или пороговых уровней экспозиции) в дополнение к классическим исследованиям на «здоровых» животных. Наиболее целесообразно применение данного подхода при выполнении сле-

дующих условий: 1) объект исследования – химические вещества природного генеза, широко распространенные в окружающей среде вследствие природных особенностей ее формирования; 2) мишенями биологического действия тестируемых веществ являются органы (системы), патология которых широко распространена в популяции (заболевания системы кровообращения, выделительной системы и т.д.).

Изучение биологических эффектов веществ с установлением недействующих концентраций (доз) для опорных эффектов в хроническом эксперименте на моделях патологии животных, выбранных с учетом органов-мишеней их токсического действия, в дополнение к классическому эксперименту на «здоровых» животных позволит повысить точность результатов оценки риска здоровью и надежность гигиенических регламентов содержания вещества в объектах среды обитания для чувствительных групп населения. Это может быть использовано как «усиление» доказательной базы при актуализации гигиенических нормативов химических веществ в средах с учетом региональных особенностей в сторону их «смягчения» (risk-based-нормирование).

Предложенные методические подходы формализованы в инструкции по применению «Метод гигиенического нормирования химических веществ в питьевой воде по критерию риска здоровью».

Финансирование. Исследование выполнено в рамках гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № М20-071 «Экспериментальные модели патологии в оценке рисков воздействия химических факторов на здоровье чувствительных групп населения».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Uncertainty factors: Their use in human health risk assessment by UK Government. – Leicester: Institute for Environment and Health, 2003. – 73 p.
2. Шур П.З., Хасанова А.А. Аналитический обзор подходов к обеспечению безопасности при обосновании гигиенических нормативов содержания химических веществ в атмосферном воздухе // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 2. – С. 156–167. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.15
3. Calabrese E.J. Uncertainty factors and interindividual variation // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 1985. – Vol. 5, № 2. – P. 190–196. DOI: 10.1016/0273-2300(85)90032-7
4. Hattis D., Erdreich L., Ballew M. Human variability in susceptibility to toxic chemicals – a preliminary analysis of pharmacokinetic data from normal volunteers // Risk Anal. – 1987. – Vol. 7, № 4. – P. 415–426. DOI: 10.1111/j.1539-6924.1987.tb00479
5. Dourson M.L., Felter S.P., Robinson D. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 1996. – Vol. 24, № 2. – P. 108–120. DOI: 10.1006/rtph.1996.0116
6. Scheuplein R., Charnley G., Dourson M.L. Differential sensitivity of children and adults to chemical toxicity: I. Biological basis // Reg. Toxicol. Pharmacol. – 2002. – Vol. 35, № 3. – P. 429–447. DOI: 10.1006/rtph.2002.1558
7. Dourson M.L., Charnley G., Scheuplein R. Differential sensitivity of children and adults to chemical toxicity: II. Risk and regulation // Reg. Toxicol. Pharmacol. – 2002. – Vol. 35, № 3. – P. 448–467. DOI: 10.1006/rtph.2002.1559
8. Approaches for assessing risks to sensitive populations: lessons learned from evaluating risks in the pediatric population / R.N. Hines, D. Sargent, H. Autrup, L.S. Birnbaum, R.L. Brent, N.G. Doerr, E.A. Cohen Hubal, D.R. Juberg [et al.] // Toxicol. Sci. – 2010. – Vol. 113, № 1. – P. 4–26. DOI: 10.1093/toxsci/kfp217
9. Genetic polymorphisms in assessing interindividual variability in delivered dose / L.T. Haber, A. Maier, P.R. Gentry, H.J. Clewell, M.L. Dourson // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2002. – Vol. 35, № 2 (Pt 1). – P. 177–197. DOI: 10.1006/rtph.2001.1517

10. Data derived extrapolation factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA) / M.L. Dourson, B. Gadagbui, C. Onyema, P.M. McGinnis, R.G. York // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2020. – Vol. 110. – P. 104502. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.104502
11. Data derived Extrapolation Factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA) / M.L. Dourson, B. Gadagbui, C. Onyema, P.M. McGinnis, R.G. York // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2019. – Vol. 108. – P. 104446. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.104446
12. Грынчак В.А., Сычик С.И. Особенности токсического действия пластификатора диизонилфталата на экспериментальных моделях // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 5. – С. 474–477. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-5-474-477
13. Dorne J.L.C.M. Human variability in hepatic and renal elimination: implications for risk assessment // Journal of Applied Toxicology. – 2007. – Vol. 27, № 5. – P. 411–420. DOI: 10.1002/jat.1255
14. A new approach method for characterizing inter-species toxicodynamic variability / S.D. Burnett, M. Karmakar, W.J. Murphy, W.A. Chiu, I. Rusyn // J. Toxicol. Environ. Health A. – 2021. – Vol. 84, № 24. – P. 1020–1039. DOI: 10.1080/15287394.2021.1966861
15. Evolution of chemical-specific adjustment factors (CSAF) based on recent international experience; increasing utility and facilitating regulatory acceptance / V.S. Bhat, M.E.B. Meek, M. Valcke, C. English, A. Boobis, R. Brown // Crit. Rev. Toxicol. – 2017. – Vol. 47, № 9. – P. 729–749. DOI: 10.1080/10408444.2017.1303818
16. Murray F.J., Schlegel C.E. Comparison of Risk Assessments of Boron: Alternate Approaches to Chemical-Specific Adjustment Factors // Human and Ecological Risk Assessment. – 2004. – Vol. 10, № 1. – P. 57–68. DOI: 10.1080/10807030490280954
17. The public health impact of chemicals: knowns and unknowns [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2016. – 13 p. – URL: <http://www.who.int/ipcs/publications/chemicals-public-health-impact/en/> (дата обращения: 19.12.2021).
18. Possible involvement of descending serotonergic systems in antinociception by centrally administered elcatonin in mice / H. Nakamoto, Y. Soeda, T. Seki, T. Watanabe, M. Satoh // Biol. Pharm. Bull. – 1999. – Vol. 22, № 7. – P. 691–697. DOI: 10.1248/bpb.22.691
19. Nifedipine and arotinolol in combination for accelerated-malignant hypertension: results of one year follow-up / H. Nakamoto, H. Nemoto, N. Sugahara, H. Okada, H. Suzuki // Hypertens. Res. – 1999. – Vol. 22, № 2. – P. 75–80. DOI: 10.1291/hypres.22.75
20. Nakamoto H., Hasegawa M. Targeted inactivation of the gene psaK encoding a subunit of photosystem I from the cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803 // Plant Cell Physiol. – 1999. – Vol. 40, № 1. – P. 9–16. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029479
21. Журавлев Д.А. Модели артериальной гипертензии. Спонтанно-гипертензивные крысы // Артериальная гипертензия. – 2009. – Т. 15, № 6. – С. 721–723. DOI: 10.18705/1607-419X-2009-15-6-721-723
22. Okamoto K., Aoki K. Development of a strain of spontaneously hypertensive rats // Jpn. Circ. J. – 1963. – Vol. 27. – P. 282–293. DOI: 10.1253/jcj.27.282
23. Динамика артериального давления и количественных показателей эритроцитов у крыс SHR в ранние сроки формирования артериальной гипертензии / М.Б. Плутников, О.И. Алиев, А.М. Анищенко, А.В. Сидехменова, А.Ю. Шаманаев, Е.П. Федорова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2015. – Т. 101, № 7. – С. 822–828.
24. Динамика показателей тромбоцитов, лейкоцитов и функциональной активности эндотелия у молодых крыс линии SHR / А.В. Сидехменова, О.И. Алиев, А.М. Анищенко, А.Ю. Шаманаев, Е.П. Федорова, М.Б. Плутников // Сибирский медицинский журнал (Томск). – 2015. – Т. 30, № 3. – С. 61–65. DOI: 10.29001/2073-8552-2015-30-3-61-65
25. Применение животных со спонтанной гипертензией для моделирования метаболического синдрома / М.А. Ковалева, М.Н. Макарова, А.И. Селенева, В.Г. Макаров // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 91–94.
26. Effects of high-cholesterol and atherogenic diets on vascular relaxation in spontaneously hypertensive rats / M. Cappelli-Bigazzi, S. Rubattu, C. Battaglia, R. Russo, I. Enea, G. Ambrosio, M. Chiariello, M. Volpe // Am. J. Physiol. – 1997. – Vol. 273, № 2. – P. H647–H654. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.273.2.H647
27. Acrolein inhalation alters arterial blood gases and triggers carotid body-mediated cardiovascular responses in hypertensive rats / C.M. Perez, M.S. Hazari, A.D. Ledbetter, N. Haykal-Coates, A.P. Carll, W.E. Cascio, D.W. Winsett, D.L. Costa, A.K. Farraj // Inhal. Toxicol. – 2015. – Vol. 27, № 1. – P. 54–63. DOI: 10.3109/08958378.2014.984881
28. Abdel-Rahman A.A. Alcohol abolishes the hypotensive effect of clonidine in spontaneously hypertensive rats // Hypertension. – 1994. – Vol. 24, № 6. – P. 802–807. DOI: 10.1161/01.hyp.24.6.802

Экспериментальные модели хронической патологии животных для оценки рисков здоровью чувствительных групп населения / Е.В. Дроздова, С.И. Сычик, В.А. Грынчак, С.Н. Рябцева // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 185–195. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.17



EXPERIMENTAL MODELS OF ANIMAL CHRONIC PATHOLOGY IN ASSESSING HEALTH RISKS FOR SENSITIVE POPULATION GROUPS

E.V. Drozdova¹, S.I. Sychik¹, V.A. Hrynychak¹, S.N. Rjabceva²

¹Scientific and Practical Center for Hygiene, 8 Akademicheskaya Str., Minsk, 220012, Republic of Belarus

²Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus, 28 Akademicheskaya Str., Minsk, 220072, Republic of Belarus

The methodology for health risk assessment and hygienic standardization of chemicals often neglects such a vulnerable population group as people with chronic non-communicable diseases. According to the data provided by the WHO, the prevalence of such pathologies is high in many European countries; therefore, when a disease burden in a certain population is unaccounted for, this may result in lower accuracy of accomplished assessments. On the other hand, introduction of too conservative safe factors when hygienic standards are being developed for chemicals in various media leads to high uncertainty and excessive limitations.

Our research goal was to provide scientific substantiation for a methodology for using experimental pathology models to improve reliability of hygienic standardization and accuracy of health risk assessments for sensitive population groups (people suffering from non-chronic communicable diseases) under exposure to naturally occurring chemicals. Another goal was to test this methodology by performing a case study on drinking water. The testing results indicate that a chronic 6-month exposure to model substances produced more apparent toxic effects on experimental animals with model pathologies (spontaneous hypertension and experimental histamine-induced nephropathy) in comparison with “healthy” animals.

This allowed us to recommend using experimental models of congenital and induced animal pathology bearing in mind target organs for toxic effects produced by the analyzed chemicals to substantiate hygienic standards, health risks taken into account. This should be done at the stage when dose-dependent reactions are identified (determination of no-effect and / or threshold levels) in addition to studies performed on “healthy” animals. It is most appropriate to use this approach when the following conditions are met: 1) a research object is naturally occurring chemicals that are widely spread in the environment due to its natural formation; 2) pathologies of organs (systems) that are targets for biological effects produced by the tested chemicals are widely spread in a population (circulatory diseases, diseases of the excretory system, etc.).

Keywords: experimental pathology models, nephropathy, spontaneously hypertensive rats, risk assessment, hygienic standardization, sensitive population groups, methodological approaches, barium, total mineralization.

References

1. Uncertainty factors: Their use in human health risk assessment by UK Government. Leicester, Institute for Environment and Health Publ., 2003, 73 p.
2. Shur P.Z., Khasanova A.A. Analytical review of approaches to providing safety when substantiating hygienic standards for chemicals contents in ambient air. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 2, pp. 156–167. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.15.eng
3. Calabrese E.J. Uncertainty factors and interindividual variation. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 1985, vol. 5, no. 2, pp. 190–196. DOI: 10.1016/0273-2300(85)90032-7
4. Hattis D., Erdreich L., Ballew M. Human variability in susceptibility to toxic chemicals—a preliminary analysis of pharmacokinetic data from normal volunteers. *Risk Anal.*, 1987, vol. 7, no. 4, pp. 415–426. DOI: 10.1111/j.1539-6924.1987.tb00479.x
5. Dourson M.L., Felter S.P., Robinson D. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 1996, vol. 24, no. 2, pp. 108–120. DOI: 10.1006/rtp.1996.0116

© Drozdova E.V., Sychik S.I., Hrynychak V.A., Rjabceva S.N., 2022

Elena V. Drozdova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science (e-mail: drozdovaev@mail.ru; tel.: +7 (017) 370-50-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3032-0895>).

Sergey I. Sychik – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, director (e-mail: rspch@rspch.by; tel.: +7 (017) 347-73-70; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-9799>).

Vitali A. Hrynychak – Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory for Applied Toxicology and Safety of Medical Products (e-mail: grinchakva@gmail.com; tel.: +7 (017) 399-44-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-1793>).

Svetlana N. Rjabceva – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory “Center for Electron and Light Microscopy” (e-mail: sveta.rjabceva@tut.by; tel.: +7 (017) 357-22-72; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5960-3656>).

6. Scheuplein R., Charnley G., Dourson M.L. Differential sensitivity of children and adults to chemical toxicity: I. Biological basis. *Reg. Toxicol. Pharmacol.*, 2002, vol. 35, no. 3, pp. 429–447. DOI: 10.1006/rtp.2002.1558
7. Dourson M.L., Charnley G., Scheuplein R. Differential sensitivity of children and adults to chemical toxicity: II. Risk and regulation. *Reg. Toxicol. Pharmacol.*, 2002, vol. 35, no. 3, pp. 448–467. DOI: 10.1006/rtp.2002.1559
8. Hines R.N., Sargent D., Autrup H., Birnbaum L.S., Brent R.L., Doerr N.G., Cohen Hubal E.A., Juberg D.R. [et al.]. Approaches for assessing risks to sensitive populations: lessons learned from evaluating risks in the pediatric population. *Toxicol. Sci.*, 2010, vol. 113, no. 1, pp. 4–26. DOI: 10.1093/toxsci/kfp217
9. Haber L.T., Maier A., Gentry P.R., Clewell H.J., Dourson M.L. Genetic polymorphisms in assessing interindividual variability in delivered dose. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2002, vol. 35, no. 2 (pt 1), pp. 177–197. DOI: 10.1006/rtp.2001.1517
10. Dourson M.L., Gadagbui B., Onyema C., McGinnis P.M., York R.G. Data derived extrapolation factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA). *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2020, vol. 110, pp. 104502. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.104502
11. Dourson M.L., Gadagbui B., Onyema C., McGinnis P.M., York R.G. Data derived Extrapolation Factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA). *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2019, vol. 108, pp. 104446. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.104446
12. Grynychak V.A., Sychik S.I. Peculiarities of the toxic effect of diisononyl phthalate plasticizer phthalate on experimental models. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 5, pp. 474–477. DOI: 10.47470/0016-9900-2018-97-5-474-477 (in Russian).
13. Dorne J.L.C.M. Human variability in hepatic and renal elimination: implications for risk assessment. *Journal of Applied Toxicology*, 2007, vol. 27, no. 5, pp. 411–420. DOI: 10.1002/jat.1255
14. Burnett S.D., Karmakar M., Murphy W.J., Chiu W.A., Rusyn I. A new approach method for characterizing inter-species toxicodynamic variability. *J. Toxicol. Environ. Health A*, 2021, vol. 84, no. 24, pp. 1020–1039. DOI: 10.1080/15287394.2021.1966861
15. Bhat V.S., Meek M.E.B., Valcke M., English C., Boobis A., Brown R. Evolution of chemical-specific adjustment factors (CSAF) based on recent international experience; increasing utility and facilitating regulatory acceptance. *Crit. Rev. Toxicol.*, 2017, vol. 47, no. 9, pp. 729–749. DOI: 10.1080/10408444.2017.1303818
16. Murray F.J., Schlegel C.E. Comparison of Risk Assessments of Boron: Alternate Approaches to Chemical-Specific Adjustment Factors. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2004, vol. 10, no. 1, pp. 57–68. DOI: 10.1080/10807030490280954
17. The public health impact of chemicals: knowns and unknowns. Geneva, World Health Organization, 2016. Available at: <http://www.who.int/ipcs/publications/chemicals-public-health-impact/en/> (19.12.2021).
18. Nakamoto H., Soeda Y., Seki T., Watanabe T., Satoh M. Possible involvement of descending serotonergic systems in antinociception by centrally administered elcatonin in mice. *Biol. Pharm. Bull.*, 1999, vol. 22, no. 7, pp. 691–697. DOI: 10.1248/bpb.22.691
19. Nakamoto H., Nemoto H., Sugahara S., Okada H., Suzuki H. Nifedipine and arotinolol in combination for accelerated-malignant hypertension: results of one year follow-up. *Hypertens. Res.*, 1999, vol. 22, no. 2, pp. 75–80. DOI: 10.1291/hyres.22.75
20. Nakamoto H., Hasegawa M. Targeted inactivation of the gene psaK encoding a subunit of photosystem I from the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Plant Cell Physiol.*, 1999, vol. 40, no. 1, pp. 9–16. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029479
21. Zhuravlyov D.A. Hypertension models. Spontaneously hypertensive rats. *Arterial'naya gipertenziya*, 2009, vol. 15, no. 6, pp. 721–723. DOI: 10.18705/1607-419X-2009-15-6-721-723 (in Russian).
22. Okamoto K., Aoki K. Development of a strain of spontaneously hypertensive rats. *Jpn. Circ. J.*, 1963, vol. 27, pp. 282–293. DOI: 10.1253/jcj.27.282
23. Plotnikov M.B., Aliev O.I., Anishchenko A.M., Sidekhmenova A.V., Shamanaev A.Yu., Fedorova E.P. Dynamics of blood pressure and quantity indices of erythrocytes in SHR in early period of arterial hypertension forming. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2015, vol. 101, no. 7, pp. 822–828 (in Russian).
24. Sidekhmenova A.V., Aliev O.I., Anishchenko A.M., Shamanaev A.Yu., Fedorova E.P., Plotnikov M.B. Dynamics of indicators of platelets, white blood cells, and functional activity of the endothelium in young SHR rats. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Tomsk)*, 2015, vol. 30, no. 3, pp. 61–65. DOI: 10.29001/2073-8552-2015-30-3-61-65 (in Russian).
25. Kovaleva M.A., Makarova M.N., Selezneva A.I., Makarov V.G. Expediency of application of animals with the spontaneous hypertension for modelling of the metabolic syndrome. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*, 2012, vol. 10, no. 4, pp. 91–94 (in Russian).
26. Cappelli-Bigazzi M., Rubattu S., Battaglia C., Russo R., Enea I., Ambrosio G., Chiariello M., Volpe M. Effects of high-cholesterol and atherogenic diets on vascular relaxation in spontaneously hypertensive rats. *Am. J. Physiol.*, 1997, vol. 273, no. 2, pp. H647–H654. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.273.2.H647
27. Perez C.M., Hazari M.S., Ledbetter A.D., Haykal-Coates N., Carll A.P., Cascio W.E., Winsett D.W., Costa D.L., Farraj A.K. Acrolein inhalation alters arterial blood gases and triggers carotid body-mediated cardiovascular responses in hypertensive rats. *Inhal. Toxicol.*, 2015, vol. 27, no. 1, pp. 54–63. DOI: 10.3109/08958378.2014.984881
28. Abdel-Rahman A.A. Alcohol abolishes the hypotensive effect of clonidine in spontaneously hypertensive rats. *Hypertension*, 1994, vol. 24, no. 6, pp. 802–807. DOI: 10.1161/01.hyp.24.6.802

Drozdova E.V., Sychik S.I., Hrynychak V.A., Rjabceva S.N. Experimental models of animal chronic pathology in assessing health risks for sensitive population groups. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 185–195. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.17.eng

Получена: 03.02.2022

Одобрена: 20.05.2022

Принята к публикации: 21.06.2022

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

Второй квартал 2022 г. (21 марта 2022 г. – 11 июня 2022 г.)

Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) от 29.03.2022 № 53 «О перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных) стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «Технический регламент на масложировую продукцию (ТР ТС 024/2011)», и перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов... для применения и исполнения требований (ТР ТС 024/2011) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования»

С 1 июля 2022 г. применяются актуализированные перечни стандартов, с помощью которых обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «Технический регламент на масложировую продукцию» (ТР ТС 024/2011)

Решение Совета ЕЭК от 15.04.2022 № 64 «О внесении изменений в технический регламент Таможенного союза “О безопасности парфюмерно-косметической продукции” (ТР ТС 009/2011)»

Изменения заключаются в изложении ряда позиций в новой редакции, а также включении в регламент новых позиций.

Решение Коллегии ЕЭК от 19.04.2022 № 65 «О переходных положениях технического регламента Евразийского экономического союза (ЕАЭС) “О безопасности мяса птицы и продукции его переработки” (ТР ЕАЭС 051/2021)»

До 30 июня 2024 г. допускаются производство и выпуск в обращение на таможенной территории Союза продукции в соответствии с обязательными требованиями, ранее установленными актами Союза, при наличии документов об оценке соответствия продукции обязательным требованиям, выданных или принятых до дня вступления в силу указанного технического регламента. Обращение данной продукции допускается в течение срока годности, установленного изготовителем.

Решение Коллегии ЕЭК от 17.05.2022 № 80 «О перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных)

стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента ЕАЭС “О безопасности алкогольной продукции” (ТР ЕАЭС 047/2018), и перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов... для применения и исполнения требований технического регламента ЕАЭС “О безопасности алкогольной продукции” (ТР ЕАЭС 047/2018) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования»

Утверждены перечни стандартов, необходимых для исполнения требований технического регламента ЕАЭС «О безопасности алкогольной продукции» (ТР ЕАЭС 047/2018). Регламент устанавливает обязательные требования к алкогольной продукции, выпускаемой в обращение на территориях государств-членов ЕАЭС, связанные с ними требования к процессам производства, хранения, перевозки (транспортирования), реализации и утилизации, а также к маркировке и упаковке алкогольной продукции.

Решение Коллегии ЕЭК от 31.05.2022 № 89 «О порядке введения в действие изменений в технический регламент ЕАЭС “О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду” (ТР ЕАЭС 044/2017)»

До 31 декабря 2022 г. включительно допускаются производство и выпуск в обращение некоторых видов лечебно-столовой природной минеральной воды и лечебной природной минеральной воды, в отношении которой Решением Совета ЕЭК от 5 октября 2021 г. № 97 внесены изменения в Решение Совета ЕЭК от 23 июня 2017 г. № 45 «О техническом регламенте ЕАЭС “О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду”». Обращение такой продукции допускается в течение срока годности.

Рекомендация Коллегии ЕЭК от 05.04.2022 № 13 «О Методических рекомендациях по лабораторной диагностике коронавирусной инфекции COVID-19»

В рекомендациях для лабораторий государств-членов ЕАЭС, участвующих в обследовании лиц на коронавирусную инфекцию COVID-19, приводится порядок организации, проведения и обеспечения ее качества лабораторной диагностики.

Рекомендация Коллегии ЕЭК 05.04.2022 № 12 «О Санитарно-эпидемиологических рекомендациях, регламентирующих согласованный алгоритм реагирования на вспышки инфекционных заболеваний»

Государствам-членам ЕАЭС предложен согласованный алгоритм реагирования на эпидемии и вспышки инфекционных заболеваний (включая пандемию, вызванную коронавирусной инфекцией COVID-19), в том числе связанных со стихийными бедствиями, техногенными катастрофами и другими событиями, которые могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации санитарно-эпидемиологического характера.

Рекомендация Коллегии ЕЭК от 31.05.2022 № 22 «Об общих подходах к созданию в государствах-членах Евразийского экономического союза систем референтных лабораторий»

Для государств-членов ЕАЭС разработаны общие подходы к созданию систем референтных лабораторий. Определены основные условия назначения аккредитованных испытательных лабораторий (центров) в качестве референтных лабораторий, функции, связанные с референтной областью их деятельности. Систему референтных лабораторий рекомендуется создавать в целях подтверждения достоверности и точности результатов исследований и измерений продукции; обеспечения единства измерений.

Федеральный закон от 01.05.2022 № 122-ФЗ «О внесении изменений в Водный кодекс Российской Федерации»

Законом уточнены понятия «водное хозяйство», «негативное воздействие вод»; скорректирован порядок осуществления водохозяйственных мероприятий; установлено право органов государственной власти субъектов РФ наделять органы местного самоуправления муниципальных районов, муниципальных округов, городских округов полномочиями Российской Федерации в области водных отношений; уточнены мероприятия по предотвращению негативного воздействия вод и его ликвидации.

Постановление Правительства РФ от 22.04.2022 № 741 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 2099»

Перенесены сроки перехода на внедрение технологий поэкземплярного учета в отношении молочной продукции с 1 декабря 2023 г. на период с 1 июня 2025 г. Внесены изменения в правила маркировки молочной продукции.

Постановление Правительства РФ от 30.04.2022 № 791 «Об установлении особенностей оценки соответствия продукции детского питания на молочной основе требованиям технических регламентов»

По 31 декабря 2022 г. на территории РФ допускается производство и выпуск в обращение жидкой продукции детского питания на молочной основе для детей раннего возраста, подлежащей государственной регистрации в соответствии с требованиями технических регламентов, в герметичной упаковке, не превышающей объем 0,5 л. Указанная продукция не маркируется единым знаком обращения продукции на рынке ЕАЭС и не подлежит выпуску в обращение на территории других государств-членов Союза. В случае ранее выданного свидетельства о государственной регистрации, замена или повторное получение свидетельства о государственной регистрации не требуется.

Постановление Правительства РФ от 07.05.2022 № 830 «Об утверждении Правил создания и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду»

С 1 сентября 2022 г. вступает в силу новый порядок создания и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Государственный реестр состоит из: федерального государственного реестра; региональных государственных реестров. Ведение федерального реестра осуществляется: территориальными органами Росприроднадзора по месту нахождения объектов, за исключением объектов, подведомственных ФСБ России; ФСБ России в отношении подведомственных ей объектов. Ведение региональных реестров осуществляется органами исполнительной власти субъектов РФ по месту нахождения объектов.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.03.2022 № 9 «О внесении изменений в санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1/2.4.3598-20 “Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19)”», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.06.2020 № 16»

Смягчены санитарно-эпидемиологические требования к деятельности образовательных и иных детских и молодежных организаций в условиях распространения COVID-19. Исключена обязанность организаций уведомлять территориальный орган Роспотребнадзора о планируемых сроках их открытия; отменены требования по закреплению за каждым классом отдельного учебного кабинета и по соблюдению в местах проведения аттестации социальной дистанции между обучающимися. Сняты ограничения по наполняемости отрядов, смягчены

требования к порядку тестирования персонала на COVID-19; снят запрет на проведение массовых мероприятий вне закрытых помещений.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14.04.2022 № 12 «О внесении изменения в постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 24.12.2020 № 44»

Уточнен порядок применения санитарно-эпидемиологических требований к эксплуатации объектов и условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг. Предусмотрено, что объекты, введенные в эксплуатацию до вступления в силу 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», эксплуатируются в соответствии с утвержденной проектной документацией.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2022 № 14 «О дополнительных мерах по профилактике холеры в Российской Федерации»

Роспотребнадзором разработаны меры по недопущению завоза и распространения на территории РФ случаев холеры. Предусматривается контроль санитарно-гигиенического состояния территорий населенных пунктов, водопроводных и канализационных сетей, торговых объектов, мест массового пребывания людей. Указано на важность определения категорий граждан, подлежащих обязательной вакцинации против холеры и организации информационно-разъяснительной работы с юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

МР 3.1.0282-22. Изменения № 1 в МР 3.1.0278-22 «Рекомендации по организации тестирования для выявления новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в условиях эпидемического процесса, вызванного новым геновариантом коронавируса «Омикрон». Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 14.04.2022)

Рекомендован порядок организации тестирования для выявления COVID-19 в условиях эпидемического процесса, вызванного новым геновариантом коронавируса «Омикрон». Предусмотрена трехуровневая система охвата лабораторными исследованиями для выявления возбудителя COVID-19, исходя из активности эпидемического процесса в субъекте РФ (высокий, средний и низкий уровни тестирования).

МР 2.3.0279-22. «2.3. Гигиена питания. Рекомендации по осуществлению производственно-

го контроля за соответствием изготовленной продукции стандартам, техническим регламентам и техническим условиям. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21.03.2022)

Рекомендован порядок осуществления производственного контроля за соответствием изготовленной продукции стандартам, техническим регламентам и условиям. Рекомендации разработаны в целях предотвращения возникновения и распространения инфекционных и неинфекционных заболеваний (отравлений), связанных с производством и обращением пищевой продукции, в том числе продукции общественного питания, и могут быть использованы в практической деятельности хозяйствующими субъектами при организации работы по производству и обращению указанной пищевой продукции. Приведены рекомендуемые типовые программы организации производственного контроля за безопасностью пищевой продукции в предприятиях торговли, общественного питания, пищевой промышленности с указанием объектов, параметров, периодичности контроля, ответственных лиц и нормативных документов.

МР 2.3.7.0271-22. «2.3.7. Гигиена. Гигиена питания. Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Изменения № 2 в МР 2.3.7.0168-20 «Оценка качества пищевой продукции и оценка доступа населения к отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов». Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 20.01.2022)

Уточнены рекомендации по оценке качества пищевой продукции и оценке доступа населения к отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов. Обновлен ассортимент пищевой продукции для определения показателей качества и безопасности на 2022 г.

Письмо Роспотребнадзора от 10.03.2022 № 02/5124-2022-17 «О проработке вопроса обеспечения возможности паллетной выкладки в торговых залах объектов розничной торговли сыпучей пищевой продукции и розничной продажи хлеба без упаковки»

Изложена позиция по вопросу о возможности паллетной выкладки в торговых залах объектов розничной торговли сыпучей пищевой продукции и хлеба без упаковки. Сообщается, что продажа сыпучих товаров, подвергающихся впоследствии термической обработке, не противоречит установленным требованиям. Не запрещена реализация иной продукции, включая хлеб, не упакованной производителем в потребительскую упаковку, но расфасованной продавцом, в том числе непосредственно перед продажей покупателю, а также реализация хлеба из закрытых витрин.

Письмо Роспотребнадзора от 11.04.2022 № 02/7815-2022-24 «О дополнительных мерах по профилактике актуальных инфекционных заболеваний при подготовке к летней оздоровительной кампании»

Роспотребнадзор сообщает о необходимости принятия дополнительных мер по профилактике актуальных инфекционных заболеваний при подготовке летнего отдыха детей в оздоровительных организациях. Даны рекомендации по корректировке региональных программ и планов профилактики инфекционных болезней, обеспечению готовности медицинских организаций к приему инфекционных больных, по недопуску к работе персонала с признаками инфекционных заболеваний и не прошедших своевременные обследования.

Приказ Минтруда России от 20.04.2022 № 223н «Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организа-

циях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве»

С 1 сентября 2022 г. вступает в силу новое Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях.

Приказ Минэкономразвития России от 11.05.2022 № 248 «Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта»

Утверждены критерии отнесения проектов, реализуемых юрлицами, индивидуальными предпринимателями или физлицами, к климатическим проектам, порядок представления отчета о реализации климатического проекта и форма отчета о реализации климатического проекта.