

Федеральная служба по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека
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

АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ – 2025. К НАУЧНОМУ СУВЕРЕНИТЕТУ РОССИИ

Сборник материалов, посвященный 30-летию
образования Федерального научного центра
медико-профилактических технологий управления рисками
здоровью населения

*Под редакцией д-ра мед. наук В.Б. Алексеева,
д-ра мед. наук, профессора, академика РАН Н.В. Зайцевой*

Пермь 2025

УДК 614
А64

А64 Анализ риска здоровью – 2025. К научному суверенитету России : сборник материалов, посвященный 30-летию образования Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения / под ред. д-ра мед. наук В.Б. Алексева, д-ра мед. наук, проф., акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2025. – 346 с.

ISBN 978-5-398-03315-1

Материалы сборника «Анализ риска здоровью – 2025. К научному суверенитету России» освещают фундаментальные и прикладные вопросы методологии анализа рисков здоровью человека при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации и других стран. Сборник материалов посвящен 30-летию со дня образования Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения.

Представленные статьи раскрывают методические подходы к оценке, прогнозированию и верификации рисков здоровью населения при воздействии внешнесредовых факторов, знакомят с опытом организации мониторинга ситуации и контрольно-надзорных мероприятий. Глубоко освещаются рискогенные факторы внешней среды, трудового, образовательного процесса, образа жизни, социально-экономических условий, негативно влияющих на здоровье населения. Анализируются современные методы диагностики, технологии коррекции и профилактики нарушений здоровья, ассоциированных с ведущими факторами опасности.

В работах ученых федерального научного центра обобщен опыт оценки рисков здоровью в гигиенических и эпидемиологических исследованиях. Обсуждается дальнейшее развитие риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического контроля, вопросы обеспечения качества и безопасности пищевой продукции по критериям рисков для здоровья населения. Подчеркивается значимость проектов в улучшении качества и увеличении ожидаемой продолжительности жизни населения России.

Отдельный раздел материалов посвящен фундаментальным исследованиям негативного влияния факторов среды обитания на здоровье с использованием клеточных, субклеточных, молекулярно-генетических методов диагностики, математического моделирования, аналитической и информационной поддержке; перспективы внедрения в практику.

В целом представлены результаты исследований и методических разработок, актуальных для практической деятельности службы при проведении гигиенического анализа, расследований, исследований, экспертиз.

Материалы предназначены для специалистов органов и организаций системы Роспотребнадзора, научно-исследовательских учреждений, образовательных учреждений высшего образования по медико-профилактическому направлению, студентов, аспирантов, врачей и специалистов, работающих в смежных областях науки и практики.

Редакционная коллегия:

д-р мед. наук В.Б. Алексеев, д-р мед. наук, проф., акад. РАН Н.В. Зайцева,
д-р биол. наук, проф. И.В. Май, д-р мед. наук, доцент К.П. Лужецкий, М.М. Цинкер

УДК 614

ISBN 978-5-398-03315-1

© ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2025

Юбилейные даты

**Федеральному научному центру
медико-профилактических
технологий управления рисками
здоровью населения – 30 лет**

30 лет в сфере гигиены и профилактической медицины

В.Б. Алексеев, Н.В. Зайцева, И.В. Май, К.П. Лужецкий

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Свою историю учреждение ведет с 1995 г., когда в результате убедительной исследовательской и общественно-политической деятельности профессора Н.В. Зайцевой, с учетом накопленного уникального научного опыта и практических знаний в области медицинской экологии, в целях обеспечения охраны здоровья детей, проживающих на экологически неблагоприятных территориях, решением администрации Пермской области было создано областное государственное учреждение здравоохранения «Пермский научно-исследовательский клинический институт детской эконатологии». В последующем, 8 мая 2009 г., решением Правительства Российской Федерации, НИИ получил статус федерального учреждения науки, переименован в Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения (далее – Центр) и передан в ведение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Основной задачей Центра является методическое сопровождение текущей деятельности органов и учреждений госсанэпиднадзора по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации и научное обоснование перспективных направлений развития предупредительных мероприятий. Деятельность Центра сосредоточена на проведении инновационных фундаментальных и прикладных исследований в области гигиены и профилактической медицины.

Стратегической целью Центра является научно-методическое обеспечение системы мер по управлению санитарно-эпидемиологической ситуацией в Российской Федерации и достижению стратегических целей государства по повышению качества и продолжительности жизни населения.

О Центре

На базе Центра Н.В. Зайцевой создана научная школа анализа риска здоровью, объединяющая потенциал признанных и начинающих молодых ученых в области профилактической медицины, гигиены, эпидемиологии неинфекционных заболеваний, цитогенетики, иммунологии, аналитической химии, математического моделирования биологических процессов. Научная школа развивает как современные методы оценки риска здоровью, связанного с воздействием разнородных факторов среды обитания, так и систему доказательств вреда здоровью населения от негативного влияния окружающей среды, а также медико-профилактические технологии минимизации риска здоровью. Разрабатываемые методы базируются на глубоком анализе результатов мониторинга качества сре-

ды обитания и связанного с ним состояния здоровья населения России, данных углубленных клинико-лабораторных, химико-аналитических, эпидемиологических исследований и внедряются в практику в виде комплекса методических документов Роспотребнадзора и информационно-аналитических материалов для органов власти и населения.

У истоков создания Центра стояла команда учеников профессора, доктора медицинских наук (в будущем академика РАН) Нины Владимировны Зайцевой – Май Ирина Владиславовна, Землянова Марина Александровна, Шур Павел Залманович, Долгих Олег Владимирович, Кирьянов Дмитрий Александрович, Нурисламова Татьяна Валентиновна, Лужецкий Константин Петрович, Вековщина Светлана Анатольевна.

Нина Владимировна возглавляла Центр с момента его создания до 2018 г., когда эстафету принял д-р мед. наук Вадим Борисович Алексеев.

Академик РАН Н.В. Зайцева, являясь научным руководителем Центра, остается генератором идей и задает основной вектор развития исследовательской деятельности учреждения.

В конце 2019 г. в качестве филиала к Центру присоединен Саратовский медицинский научный центр гигиены (бывший Саратовский НИИ сельской гигиены), который привнес в работу Центра новые научные направления.

В структуре учреждения восемь научных отделов, 23 научных лаборатории, современный испытательный лабораторный центр, клиника на 120 коек, консультативная поликлиника мощностью 50 тыс. посещений в год, центр медицины труда и профпатологии.

Центр располагает необходимой для эффективного развития организационной структурой и кадровым ресурсом – на начало 2025 г. ученые степени имеет более половины исследователей. В центре трудятся 19 докторов и 36 кандидатов медицинских, биологических, химических, технических, математических, социологических наук. К категории «молодые» относятся две трети специалистов.

Масштабирование кадрового потенциала проводится через реализацию программы научной аспирантуры (5–7 аспирантов в год), а также через подготовку диссертационных исследований на условиях соискательства специалистами практического звена. Только за период 2019–2025 гг. в организации подготовлено 15 диссертационных работ, в том числе две докторские диссертации.

В рамках отраслевой научно-исследовательской программы «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» Центром ежегодно выполняется порядка 40 научно-исследовательских работ. Всего за 30 лет выполнено более 1000 научно-исследовательских работ.

Ряд работ носит фундаментальный характер, что определяет их ориентацию на самые современные направления, методы и подходы в гигиенических исследованиях:

– **разработка научных основ совершенствования государственной политики** – по проблемам экологии человека, гигиены и медицины окружающей среды, медицины труда, обеспечения химической и биологической безопасности населе-

ния России в части совершенствования методологии гигиенического нормирования новых химических веществ, включая наноматериалы и наночастицы;

– **развитие фундаментальных основ методологии оценки риска** на базе эволюционного моделирования накопления повреждений в организме человека вследствие воздействия разнородных факторов среды обитания.

– **изучение влияния патофизиологических механизмов производственных и неблагоприятных факторов окружающей среды** на здоровье населения и работников в том числе на основе протеомного и метаболомного анализов, и исследования молекулярно-клеточных механизмов вовлечения трансформированного профиля в патогенез приоритетных неинфекционных заболеваний, ассоциированных с воздействием факторов риска;

– **разработка научных основ профилактики основных заболеваний человека:** создание многоуровневой эволюционной математической модели прогнозирования патологических состояний человека, обусловленных закономерностями комбинированного воздействия риск-индуцирующих факторов среды обитания, для задач здоровьесбережения.

Прикладные работы Центра посвящены научным исследованиям и методическим разработкам по направлениям:

– **изучение закономерностей и особенностей формирования и динамики параметров санитарно-эпидемиологического состояния территории.** Научно-методическая поддержка ситуационного и прогнозного моделирования санитарно-гигиенической ситуации.

– **совершенствование научных основ риск-ориентированной модели контроля (надзора)** за соблюдением обязательных требований санитарного законодательства и законодательства в сфере защиты прав потребителей;

– **научное обоснование и разработка технологий ранней диагностики, коррекции и профилактики заболеваний детей и подростков** в условиях воздействия вредных факторов среды обитания, обучения и воспитания, в том числе с использованием клеточных, субклеточных и геномных технологий;

– **научное обоснование и разработка технологий ранней диагностики, коррекции и профилактики производственно обусловленных заболеваний у работников** в условиях воздействия вредных производственных факторов;

– **научно-методическое сопровождение вопросов продовольственной безопасности населения страны;**

– **разработка современных и высокочувствительных методик** определения токсичных химических соединений и элементов в пищевой продукции;

– **совершенствование системы контроля физических факторов** объектов среды обитания, жилых и нежилых зданий и производственной среды.

Центр обеспечивает методическое сопровождение важнейших национальных проектов «Экологическое благополучие» («Чистый воздух», «Генеральная уборка»), «Продолжительная и активная жизнь» («Демография»). Функционирует образовательная программа и образовательный ресурс «Здоровое питание для групп населения, проживающих на территориях с особенностями в части воздействия факторов окружающей среды». Разработаны «Справочник технологий профилакти-

ки распространения инфекционных болезней» и «Концепция внедрения форм дистанционного контроля».

В рамках Проекта содействия международному развитию (СМР) «Оказание научно-методической и материально-технической поддержки в 2020–2025 гг. в области противодействия угрозам инфекционных болезней и рискам, связанным с опасными для здоровья химическими веществами» ведется совместная работа с учеными Социалистической Республики Вьетнам.

В клинике Центра осуществляется специализированная консультативно-диагностическая и лечебно-профилактическая помощь детскому и взрослому населению, проживающему или осуществляющему трудовую деятельность в условиях неудовлетворительного состояния окружающей и производственной среды. За 30-летний период консультационно-диагностическая помощь оказана более 1 млн детского и взрослого населения РФ, стационарное лечение получили 59 тыс. человек.

По критериям результативности научной деятельности, установленным Министерством высшего образования и науки по профилям «Генерация знаний», в референтных группах «Профилактическая и реабилитационная медицина» ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий» отнесен к 1-й категории («Лидеры»).

Учеными и специалистами Центра ежегодно публикуется около 300 научных статей, до половины из них индексируются в международных системах научного цитирования Web of Science и Scopus. Всего в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU содержатся 4000 научных публикаций сотрудников Центра. В период 2019–2025 гг. подготовлен 351 объект интеллектуальной деятельности, а всего за 30-летний период более 600 РИД (патенты на изобретение, промышленные образцы, базы данных и продукты для ЭВМ).

Центром издается научно-практический журнал «Анализ риска здоровью», индексируемый в Q3 системы Scopus. Из 646 изданий в разделе «Медицина и здравоохранение» eLIBRARY.RU журнал вошел в «ТОП-15», а по пятилетнему импакт-фактору РИНЦ – в «ТОП-10» научных журналов России (8-е место «Белого списка» ВАК). За три последних года в журнале опубликованы статьи авторов из 36 регионов РФ, Белоруссии, Украины, Узбекистана, США, Вьетнама, Швеции, Франции, Финляндии, Израиля, Эфиопии, Индонезии.

Ежегодно проводится три Всероссийских научно-практических конференций. За 3-летний период подготовлено девять сборников материалов конференции (индексирующихся в РИНЦ), опубликовано более 500 статей и тезисов.

За 30-летний период разработано более 500 нормативно-методических документов.

Наиболее значимые и востребованные документы, подготовленные под руководством или при активном участии специалистов Центра:

- СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- МР 2.1.10.0156-19 «Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений

в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения».

- МР 2.1.6.0158-19 «Оценка экономической эффективности реализации мероприятий по снижению уровней загрязнения атмосферного воздуха на основании оценки риска здоровью населения».

- МУ 2.1.10.3675-20 «Оценка достаточности и эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для митигации рисков и вреда здоровью населения».

- МР 2.1/6.01157-19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга».

- МР 2.5/4.3.0258-21 «Методика установления (изменения) седьмой подзоны приаэродромной территории».

- МР 2.1.10.0269-21 «Определение социально-гигиенических детерминант и прогноз потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации».

- Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

По результатам оценки научной результативности Центр является получателем гранта в форме субсидии из федерального бюджета ведущим организациям, выполняющим научные исследования и разработки (федеральный проект «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты»). На обновление приборной базы с учетом софинансирования из средств от приносящей доход деятельности в 2020–2024 гг. направлено 167,8 млн рублей (закуплено 72 единицы научного оборудования) (рисунок).

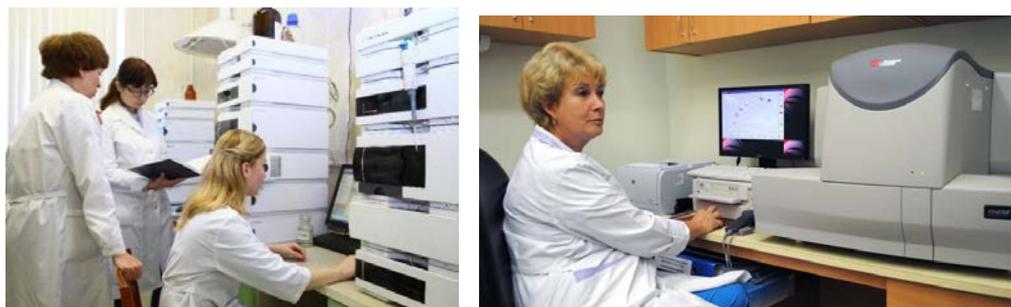


Рис. Обновление приборной базы

В соответствии с приказом Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 30.11.2023 № 869 «О референс-центрах социально-гигиенического мониторинга» на базе Отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга на функциональной основе образован Референс-центр социально-гигиенического мониторинга (СГМ). Референс-центр СГМ создан для оказания информационно-аналитической, научно-методической и консультативной поддержки ведения социально-гигиени-

ческого мониторинга в 15 субъектах Российской Федерации: Ингушская Республика, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Кировская область, Красноярский край, Нижегородская область, Пензенская область, Пермский край, Республика Татарстан, Республика Дагестан, Самарская область, Саратовская область, Ставропольский край, Ульяновская область, Чеченская Республика.

В настоящее время ведется строительство нового комплекса зданий, в которые Центр планирует переехать к 2027 г. После завершения строительства новых корпусов общая площадь новых лабораторий и клинических подразделений центра составит более 22 тыс. м² (рис. 3).

За тридцать лет плодотворной работы научный центр значительно увеличил объем выполняемых исследований. Перед учеными ставятся всё более сложные задачи по разработке концептуально новых, современных подходов к анализу и минимизации риска для здоровья населения, связанного с воздействием комплекса факторов среды обитания.

Научные исследования базируются на новых методах анализа, оценок, прогнозов данных, соответствуют большим вызовам и угрозам, стратегическим приоритетам РФ.

Наиболее перспективные и актуальные направления научной деятельности в настоящее время и на перспективу до 2030 г.:

- научное обоснование технологий диагностики и анализа генома и транскриптома человека для задач обоснования иммунологических и генетических диагностических тест-систем идентификации заболеваний, индуцированных сочетанием негативных факторов среды обитания, с верификацией их геномно-эпигеномных механизмов в эксперименте *in vitro* в рамках проведения фундаментальных и прикладных исследований;
- разработка научных основ персонифицированной медико-профилактической платформы сбережения здоровья и жизни на основе прогноза индивидуальных рисков;
- развитие инновационных технологий профилактики и коррекции заболеваний, ассоциированных с факторами среды обитания, включая условия труда;
- совершенствование научных основ в сфере защиты прав потребителей как инструмента эффективного сдерживания угроз и опасностей для здоровья населения в условия общего снижения административных барьеров для бизнеса;
- подготовка информационно-аналитического обеспечения по проблемам безопасности для здоровья факторов среды обитания и потребительской продукции;
- разработка методик оценки экономической эффективности мероприятий по управлению рисками здоровью населения.

Вызовы сегодняшнего времени диктуют высокие требования к уровню организации исследований, темпам обработки больших массивов данных, слаженности командной работы всего коллектива и самоотдаче каждого сотрудника. Коллектив центра готов к высоким требованиям, предъявляемым современной наукой, и будет продолжать вкладывать всю свою энергию и знания на благо сохранения здоровья человека в современном постоянно меняющемся мире.

В год тридцатилетия ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» мы хотели бы поблагодарить за поддержку и результативное сотрудничество руководство и специалистов центрального аппарата Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, сотрудников управлений Роспотребнадзора и центров гигиены и эпидемиологии в субъектах Российской Федерации, отраслевые научные организации, органы законодательной и исполнительной власти Пермского края. Убеждены, что и в дальнейшем будем сохранять и укреплять добрые партнерские связи для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия и общественного здравоохранения.

Раздел I

**Методические подходы, практика
оценки, прогнозирования и
верификации рисков здоровью
населения при воздействии
внешнесредовых факторов**

Модификация развития и течения риск-ассоциированных нарушений здоровья в условиях воздействия химических факторов среды обитания

Н.В. Зайцева^{1,2}, М.А. Землянова¹

¹ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

²Отделение медицинских наук (секция профилактической медицины)
Российской академии наук,
г. Москва, Россия

Одной из актуальных современных проблем остается поиск ведущих причин и условий формирования управляемых потерь здоровья населения, связанных с воздействием химического загрязнения объектов среды обитания. В связи с этим особое значение приобретает совершенствование подходов к оценке и прогнозированию изменений показателей как популяционного, так и индивидуального здоровья, детерминированных воздействием химических факторов риска.

Установлено более 450 причинно-следственных связей комплексов биомаркеров экспозиции и негативных эффектов, уточнены ключевые звенья системного и клеточно-молекулярного уровня патоморфоза заболеваний органов дыхания, нервной, сердечно-сосудистой, костной, эндокринной систем, а также закономерности и особенности их модифицированного развития и течения при воздействии химических компонентов. Механизм модификации преимущественно связан с цитотоксичностью и окислительной способностью веществ. Обоснована необходимость верификации расчетных оценок рисков результатами доказательства фактов причинения вреда здоровью. Показана востребованность и эффективность специализированных технологий диагностики, лечения и профилактики риск-ассоциированных заболеваний, учитывающих их патоморфоз, дополняющих стандарты медицинской помощи населению.

Ключевые слова: риск-ассоциированные заболевания, модификация, химический фактор, среда обитания, население.

Человеческий капитал, комфортная среда для жизни, экономический рост на мировом и национальном уровнях являются одними из важнейших векторов развития государства с позиций сохранения здоровья нации. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» в качестве приоритетов обозначено: сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей (в том числе увеличение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2030 г. и до 81 года к 2036 г.). Демография, здоровье, городская среда объявлены в числе абсолютных макроэкономических целевых индикаторов на ближайшие десятилетия, обеспечивающих национальные интересы и стабильное развитие страны. Выбор обозначенных государственных приоритетов продиктован необходимостью усиления и укрепления позиций России в мире, наращивания научно-техно-

логического потенциала для перехода на новый экономический уклад, повышения благосостояния и жизненного уровня граждан в современных условиях [1–4].

В этом аспекте обеспечение устойчивого роста гигиенической безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия нации, определяющегося совокупностью благоприятных и безопасных условий для здоровья и жизнедеятельности, приобретает особую актуальность и является одной из целевых функций и критерием эффективности государственной политики, одним из основных условий реализации конституционных прав граждан «...на охрану здоровья, обеспечиваемого охраной окружающей среды, созданием безопасных и благоприятных условий труда...» (Конституция Российской Федерации, Федеральный закон от 21 ноября 2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»).

Одним из механизмов целедостижения является деятельность и реализация полномочий санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации, направленная на системной основе на решение гигиенических проблем, в том числе связанных с химическим загрязнением объектов среды обитания, профилактику риска здоровью и снижение негативных последствий его реализации. В связи с этим выявление и устранение основных причин и условий формирования управляемых медико-демографических потерь, связанных с воздействием химических факторов среды обитания, остается одной из актуальных ключевых современных проблем [5–8].

В Российской Федерации в результате системного и последовательного повышения эффективности государственного регулирования состояния объектов среды обитания населения регионов показатели качества ведущих воздействующих сред по содержанию опасных и высокоопасных для здоровья химических веществ за последнее десятилетие существенно улучшились. Отмечается устойчивая тенденция к снижению доли проб атмосферного воздуха населенных мест и питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим нормативам (в среднем в 1,4 раза относительно 2014 г.) [9]. Показатель комплексной химической нагрузки за 10 лет снизился в 1,3 раза. Вместе с тем доля населения, подверженного такому воздействию, достигает 52 % (75,4 млн человек). В более чем 40 % регионов страны сохраняются проблемы в области обеспечения гигиенической безопасности населения [9], что диктует необходимость совершенствования подходов к оценке и прогнозированию изменений показателей как популяционного, так и индивидуального здоровья, детерминированных воздействием химических факторов риска. Особую значимость приобретает доказательство реализации химического риска здоровью в части оценки модификации течения и ключевых звеньев патоморфоза заболеваний. По существу речь идет о доказательности причинения вреда здоровью экспонированного населения в результате нарушения обязательных требований санитарного законодательства [10]. Для решения сложившихся гигиенических проблем в рамках научной поддержки комплексных мер при осуществлении надзорной и профилактической деятельности Роспотребнадзора на принципах преемственности создано методическое обеспечение, включающее на сегодняшний день более 50 разработок. Они развивают научные подходы к аналитическим оценкам на популяционном, групповом и индивидуальном уровнях, основанные ведущими российскими учеными. Разработки посвящены методам оценки санитарно-гигиенической ситуации, анализу риска здоровью, расчету предотвращенных в ре-

зультате риск-ориентированной контрольно-надзорной деятельности экономических потерь, вопросам применения результатов углубленных медико-биологических исследований, для доказательства причинения вреда здоровью, оценке эффективности регулирующих мер и другим задачам [11–15]. На базе этих методических разработок создано программное обеспечение системы сбора и хранения больших массивов данных. В информационно-аналитическом комплексе всего более 2,42 млрд записей, в том числе популяционного уровня – более 160 млн. При обработке и анализе больших массивов данных и математическом моделировании причинно-следственных связей в системе «среда обитания – здоровье населения» используются методы ситуационного, эволюционного моделирования риска, машинного обучения, в том числе искусственного нейросетевого распознавания образов, нелинейной оптимизации, пространственно-временной анализ на базе ГИС-технологий, построение деревьев решений и др. Научный инструментарий позволяет обосновывать приоритетные химические компоненты и их источники, зоны неприемлемого риска здоровью и численность населения под воздействием, факторы и факты причинения вреда, рекомендации по оптимизации программ социально-гигиенического мониторинга, оценивать эффективность регулирующих мер; решать задачи оптимизации управления, обеспечивающего достижение целевых показателей устойчивого развития территорий [16–19].

С применением современной методической основы выявлено, что предотвратимые потери здоровья населением Российской Федерации сохраняются, но характеризуются системной положительной динамикой. За последнее десятилетие установлено снижение более чем в 1,5–2,0 раза дополнительной смертности и заболеваемости, ассоциированных с воздействием химического фактора [9]. Вместе с тем на примере ведущей риск-образующей среды – атмосферного воздуха, химическое загрязнение которого вносит основной вклад в дополнительные потери здоровья населения, – отмечается, что смертность, ассоциированная с его воздействием, в Российской Федерации последние 5 лет составляет от 1,5 до 5 дополнительных случаев на 100 тысяч всего населения. Спектр причин ассоциированной смертности практически не меняется и включает злокачественные новообразования, болезни органов дыхания, кровообращения, органов пищеварения. Дополнительный уровень ассоциированной заболеваемости ежегодно составляет для трудоспособного населения более 500 случаев, для детского населения – около 3 тыс. случаев на 100 тыс. соответствующего населения. Основными причинами высокого уровня заболеваемости, стабильно превышающего среднероссийские показатели от 5,5 до 14 раз, являются болезни органов пищеварения и кровообращения, крови и нервной систем [9]. Распределение дополнительной заболеваемости и смертности населения по территории России неравномерное. Ведущими общераспространенными факторами риска, превышающими предельно допустимые среднегодовые и референтные концентрации (ПДК_{ср} и *RfC*) ингаляционного хронического воздействия до 5–10 раз (в 3–13 раза выше среднероссийских показателей), остаются взвешенные вещества и их фракции РМ_{2,5} и РМ₁₀, формальдегид, бенз(а)пирен, оксиды алюминия, марганца, меди, свинца, соединения фтора, ароматические углеводороды (бензол, ксилол, этилбензол), дигидросульфид, углерод (сажа), окислы азота, серы, углерода и др.

Прогнозируемая ассоциированная смертность и заболеваемость подтверждается расчетами рисков здоровью населения. Так, неприемлемые канцерогенные риски, связанные с качеством атмосферного воздуха, относительно допустимого

уровня, оцениваемый как настораживающий и высокий, установлены в 5 из 12 (42 %) городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология». Хронические неканцерогенные риски, оцениваемые как настораживающие и высокие относительно допустимого уровня, установлены во всех 12 городах. Приоритетными органами и системами, для которых риск нарушения функций превышает приемлемый уровень от 4 до 33 раз, являются органы дыхания, иммунная система, система крови, процессы развития, нервная система. Приоритетные химические факторы, определяющие риски: взвешенные вещества, $PM_{2.5}$ и PM_{10} , серы диоксид, окислы азота и серы, формальдегид, бенз(а)пирен, фтористый водород, фториды твердые, бензол, бенз(а)пирен, оксиды марганца, меди и никеля, акролеин и др. Всего до 25 веществ. При этом перечень примесей, определяющих дополнительную смертность и заболеваемость, уточнен за счет компонентов загрязнения, характерных для каждого конкретного городского поселения. Используемые подходы позволяют объективизировать прогнозные оценки.

В целом это индикаторные показатели санитарно-гигиенического неблагополучия, требующие научно обоснованных регулирующих воздействий, что актуализирует необходимость детального изучения фактически выявленных риск-реализованных нарушений здоровья (причинение вреда) экспонированного населения [10]. Основаниями для проведения углубленных медицинских исследований на индивидуальном уровне по выявлению риск-реализованных нарушений здоровью в зонах априорного риска являются: сохраняющийся высокий уровень химического загрязнения объектов среды обитания, повышенные показатели смертности и заболеваемости, жалобы населения на ненадлежащее качество среды обитания и связанные с ним нарушения здоровья. В этом аспекте одним из ключевых вопросов является необходимость уточнения по отношению к расчетным данным размеров фактической зоны, численности населения и конкретных лиц, здоровью которых причинен вред [20].

В доказательстве модифицирующего действия особое значение имеют результаты биологического мониторинга человека. Биомониторинг как подсистема социально-гигиенического мониторинга обеспечен современными химико-аналитическими методами количественного определения в биосредах приоритетных химических загрязнителей. Методы обладают селективностью и высокой чувствительностью. Обеспечивают контроль на уровне фоновых и референтных уровней и ниже [21–23]. Для задач сравнительного анализа и оценки сформирована и постоянно актуализируется информационная база данных о фоновых [24] и референтных уровнях [25–27] содержания порядка 200 загрязняющих веществ в биосредах взрослых и детей различных возрастных категорий (около 400 тыс. записей). В ходе динамических биомониторинговых исследований, выполненных на этой методической основе, на различных территориях России многократно подтверждены факты хронических экспозиций населения для более 400 тыс. обследованных лиц. Металлы в биосредах, например в крови и моче, до 10 раз превышают референтный уровень, органические соединения – до 30 раз. Масштабно распространены порядка 25 веществ в биосредах. При этом маркеры экспозиции тождественны контаминации объектов среды обитания в регионах [28, 29]. В ряде регионов и муниципалитетов фактический перечень биомаркеров экспозиции существенно шире перечня химических веществ, формирующих расчетные риски [30]. Источники значимых маркеров экспозиции в ряде случаев не идентифицированы (например, се-

роуглерод). Формируются локальные зоны экспонированных с высокими уровнями контаминации биосред.

Особую значимость приобретают взвешенные вещества как практически тотальный фактор экспозиции. В 50 % регионов РФ фиксируются факты хронических экспозиций взвешенными веществами более 5 ПДК_{сс}, РМ_{2,5}, РМ₁₀ – более 10 ПДК_{сс}. При этом их химический и морфологический состав неоднороден [20]. Методами растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального анализа показано, что кроме соединений кремния взвешенные вещества могут содержать до 70 % токсических примесей: алюминий, хром, марганец, никель, медь, свинец, фтор и др. Форма частиц различная: в виде икосаэдра, близкого к сферичной, диска, куба, призмы и другие. В натуральных исследованиях с привлечением волонтеров у экспонированных лиц выявлено, что твердые частицы размером менее 1,5 мкм достигают нижних дыхательных путей. Наибольшей проникающей способностью обладают частицы с формой, приближенной к сфере. В крови до 90 % составляют частицы размером от 1,5 мкм до 10 нм. Это подчеркивает необходимость гигиенического нормирования взвешенных веществ с учетом их химического состава и морфологии [31]. Методами прогнозирования эволюции риска в возрастном разрезе показано, что при длительной аэрогенной экспозиции взвешенными веществами (до 5–7 RfC) совокупный риск дополнительной вероятности развития, например, заболеваний сердечно-сосудистой системы, достигает чрезвычайно высокого уровня (совокупный риск 0,613) к 50 годам [32].

Методами клинико-функциональных, иммунологических, биохимических, цитологических исследований установлены маркеры негативных эффектов органного и системного уровня, отражающих механизмы модификации развития заболеваний в ответ на воздействие химических экспозиций. Например, в качестве биомаркеров негативных эффектов со стороны нервной системы у детей при длительной аэрогенной экспозиции алюминием являются повышенный в 1,3–2,5 раза относительно физиологической нормы уровень глутаминовой кислоты, нейрон-специфической энлазы, нейротропина-3, ацетилхолина и миелопероксидазы ($p = 0,0001–0,001$). Маркером экспозиции являлось повышенное относительно референтного уровня более чем в 1,3 раза содержание алюминия в моче ($p = 0,002$). Выявленные синдромокомплексы гиперреактивности с дефицитом внимания и вегетативной дисфункции у экспонированных детей реализуются в виде дополнительных случаев, превышающих на более чем 14 % частоту заболеваний у неэкспонированных. Всего на групповом уровне исследовано порядка 450 связей «биомаркер экспозиции – биомаркер негативных эффектов» [33, 34].

Технологией протеомного анализа у экспонированных лиц выявлена трансформация белково-пептидного профиля плазмы крови, что свидетельствует о развитии изменений гомеостаза на молекулярном уровне. Активация экспрессии от 2 до 6 белков и пептидов, ассоциированная с воздействием распространенных маркеров экспозиции (Mn, Al, Cu, Ni, Va, F, бенз(а)пирен), установлена в различных возрастных группах. Подтвержден полиморфизм генов экспрессированных белков [35]. Уточнены элементы вовлечения трансформированного протеомного профиля для 20 пептидных молекул-мишеней в этиопатогенез прогнозируемых негативных исходов. Например, с повышенным содержанием ряда контаминантов в биосредах экспонированных детей 4–7 лет (Al и F в моче более 1,5 RfL) ассоциирована активация относительно неэкспонированных в 3,3 раза ($p = 0,0001$) экспрессии

белка катепсин L1 (ген CTSL), определяющего начальную стадию апоптоза и ремоделирование экстрацеллюлярного матрикса. На практике это позволяет прогнозировать модификацию заболеваний костной системы в виде развития сколиоза. Кроме этого, катепсин опосредует процессинг расщепления субъединицы спайкового белка S1 SARS-CoV-2. При активации его экспрессии повышается вероятность проникновения в клетку и последующей репликации вируса [36].

Всего исследовано порядка 100 систем «биомаркер экспозиции – экспрессированные белки и пептиды». Выделено 20 молекул-мишеней. Уточнены элементы вовлечения экспрессированных белков в этиопатогенез негативных исходов со стороны сердечно-сосудистой, костной, нервной систем, органов дыхания при экспозиции ряда распространенных загрязняющих веществ (например, формальдегида, взвешенных веществ, ароматических углеводородов, бенз(а)пирена, оксидов алюминия, никеля, меди, гидрофторида и др.). Ключевые звенья, на уровне которых осуществляется изменение признаков заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистой, нервной, костной, эндокринной систем, зависят от тропности и характера токсического действия веществ. Показано, что модификация процесса может быть связана с механизмами прямой и опосредованной цитотоксичности и окислительной активности большинства представленных токсикантов [37, 38]. Ряд веществ (например, оксиды хрома, никеля) обуславливают специфическую сенсбилизацию. Подавление синтеза ферментов энергетического обеспечения нейронов и эксайтоксический эффект связаны с воздействием оксидов марганца, алюминия и др. Нарушение остеорегуляции этиопатогенетически обусловлено негативным воздействием фторсодержащих соединений свинца и его соединений, оксидов алюминия и др. Важно при этом учитывать, что вещества могут действовать не изолированно, а в смеси. Тип комбинированного действия может проявляться в виде простой суммации, что учитывается в практике регулирования, но встречается примерно в 15 % случаев. Более сложные взаимодействия веществ в виде синергизма и эмерджентности, встречающиеся в 50 % случаев, практически не учитываются [38].

Выделены общие закономерности и особенности модификации развития и течения заболеваний ведущих классов болезней. У детей, например, закономерности характеризуются преобладанием ранней манифестации заболеваний (до 2–3 лет), сочетанностью и коморбидностью нозологических форм, устойчивостью к базисной терапии, большей, до 2–3 раз, частотой среднетяжелого и тяжелого течения, склонностью к рецидивам и хронизации, укорочением периодов ремиссии в 1,5–2 раза, дисгармоничностью физического и нервно-психического статусов и др. [39, 40]. Всего выделены особенности патоморфоза по 15 группам признаков для 5 классов болезней (нервной системы, органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, печени, костно-суставного аппарата).

Необходимо подчеркнуть, что в ходе анализа риск-реализованных нарушений здоровья установлена особая значимость доказательности реализации риска здоровью в виде причиненного вреда. Это связано с тем, что выявлены нередкие факты расхождение выводов об опасности воздействия как в сторону переоценки, так и недооценки расчетного риска по отношению к реализованному. Например, у детей в зоне риска, связанного с выбросами от источников металлургического производства, индекс опасности развития болезней органов дыхания составляет 32,1 «чрезвычайно высокий риск», а величина фактически реализованного риска – 0,53

«средняя степень опасности» [41]. Сопоставимость расчетных и фактически полученных данных имеет большое значение для практики принятия адекватных управленческих решений, направленных на профилактику потерь здоровья населения в условиях химических нагрузок.

Для населения с риск-ассоциированными заболеваниями, устойчивыми к базисному лечению, на период до достижения приемлемых рисков необходимы специализированные лечебно-профилактические мероприятия, дополняющие стандарт оказания медицинской помощи по конкретной нозологической единице [42, 43]. Содержание и объем этих мероприятий определяется характером дозозависимой и временной модификации течения заболевания, вызванной конкретным веществом. Ведущие принципы построения медико-профилактических технологий – это адресность, таргетность, комплексность, достаточность и тиражируемость. Для реализации специализированных лечебно-профилактических мероприятий в отношении заболеваний, ассоциированных с воздействием химических факторов среды обитания, разработаны, апробированы и рекомендованы к применению в практике 19 стандартов и протоколов, 54 медицинских технологии оказания различных форм специализированной профилактической помощи по 8 классам болезней. Опыт реализации адресных специализированных медико-профилактических мероприятий накоплен центром за последние 20 лет достаточно большой. Охвачено порядка 800 тыс. человек из более чем 15 регионов и республик страны. Подтверждена эффективность профилактических мер в виде снижения частоты обострений и длительности заболеваний до 3 раз. Содержание токсичных компонентов в биосредах через один год после лечения снижается до 30 раз. Экономическая эффективность составляет порядка 6,5 рублей на 1 рубль затрат.

На основе накопленных результатов исследований создана и систематически пополняется библиотека математических моделей, цифровизирующих причинно-следственные связи в системе «воздействие химических веществ среды обитания – здоровье населения». Цифровизация обеспечивает решение прогностических задач от популяционного до индивидуального уровня для различных условий экспозиций. Библиотека включает в общей сложности порядка 3000 моделей и двухсот тысяч их параметров. На все результаты интеллектуальной деятельности, предназначенные для решения аналитических задач различного уровня, закреплены права. Всего более 230 наименований объектов.

Таким образом, в РФ сохраняется актуальность проблемы социально-демографических потерь, обусловленных воздействием химического фактора среды обитания, что определяет необходимость дальнейшего научно-методического развития соответствующих аспектов профилактической медицины и гигиены. Широкий спектр воздействующих компонентов обуславливает патогенетическую, в том числе раннюю, модификацию развития и течения риск-ассоциированных заболеваний по ведущим классам болезней у экспонированных лиц. Вовлеченность клеточно-молекулярных механизмов в процесс изменений гомеостаза характеризуется в том числе активацией экспрессии белков и пептидов, что обусловлено преимущественно цитотоксичностью и окислительной активностью большинства химических факторов риска. Технологии диагностики, лечения и профилактики должны базироваться на стандартах оказания медицинской помощи и включать дополнения, учитывающие патоморфоз признаков нозологической формы. Доказательства фактов реализации рисков в виде причинения вреда здоровью являются

эффективной основой для восполнения в условиях моратория функций контрольно-надзорной и профилактической деятельности Роспотребнадзора. В целях достижения национальных приоритетов необходимо дальнейшее развитие наукоемких подходов в области профилактической медицины, касающиеся цифровизации ключевых аспектов гигиены, создания национальной системы биомониторинга человека (возможно, с биобанком образцов), интеллектуально-аналитических систем соответствующих компетенций, применения методов математического моделирования и прогноза, а также медико-профилактических технологий снижения негативных последствий.

Список литературы

1. Медведев Д.А. Россия-24: Стратегия социально-экономического развития // Вопросы экономики. – 2018. – № 1. – С. 5–28.
2. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – Т. 251, № 2. – С. 4–7.
3. Здоровье населения и среда обитания: становление, стратегия и перспективы развития – к тридцатилетию основания журнала «Здоровье населения и среда обитания» / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, Н.А. Горбачева [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 7–21.
4. Социально-экономические детерминанты и потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 14–29.
5. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения / В.Н. Ракитский, С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 23–29.
6. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общей ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М.; Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед.политехн.ун-та, 2014. – 738 с.
7. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска / Ю.А. Рахманин, О.О. Сеницына, С.М. Новиков [и др.]. – М., 2017. – 68 с.
8. Зайцева Н.В. Эффективность и резервы достижения стратегических приоритетов в снижении неинфекционных заболеваний, связанных с факторами окружающей среды // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: сб. матер. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч-ем; под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – С. 7–12.
9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад [Электронный ресурс]. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 393 с. – URL: https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=27779 (дата обращения: 15.04.2025).

10. Научно-методические аспекты и практический опыт формирования доказательной базы причинения вреда здоровью населения в зоне влияния отходов прошлой экономической деятельности / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1038–1044.
11. О научно-методическом обеспечении оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека / А.Ю. Попова, И.В. Брагина, Н.В. Зайцева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 5–9.
12. Зайцева Н.В., Май И.В. Новые механизмы нормирования выбросов в атмосферу: концептуальный взгляд на перспективы и проблемы с позиций обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 2. – С. 4–15.
13. Математическая модель эволюции функциональных нарушений в организме человека с учетом внешнесредовых факторов / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов [и др.] // Математическая биология и биоинформатика. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 589–610.
14. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р. Методика расчета дополнительной заболеваемости и смертности на основе эволюционного моделирования риска здоровью населения // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 1. – С. 31–39.
15. К вопросу о применении прогнозирования эволюции риска здоровью в гигиенических оценках / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 106–112.
16. Май И.В., Кокоулина А.А., Балашов С.Ю. К вопросу оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха для реализации федерального проекта «Чистый воздух» // Медицина труда и промышленная. – 2019. – Т. 59, № 11. – С. 931–936.
17. Кирьянов Д.А., Цинкер М.Ю., Хисматуллин Д.Р. К расчету количества случаев заболеваний населения, ассоциированных с острым кратковременным воздействием вредных химических веществ в атмосферном воздухе // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 69–79.
18. Параметризация зависимостей между факторами риска и здоровьем населения при хроническом воздействии многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха / Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, М.Ю. Цинкер [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 33–44.
19. Научное обоснование приоритетных веществ, объектов квотирования и направлений действий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения при реализации полномочий санитарной службы Российской Федерации / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 4–17.
20. Землянова М.А., Тихонова И.В. Реализация рисков развития заболеваний органов дыхания у детей, подвергающихся воздействию химических факторов экспозиции, связанной с хозяйственной деятельностью субъекта по производству глинозема // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2019. – № 11 (320). – С. 42–47.
21. Методические особенности определения химических соединений и элементов в биологических средах / Т.С. Уланова, Т.В. Нурисламова, Т.Д. Карнажицкая [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 112–116.

22. Установление ассоциации уровней хлороформа в крови детского населения с концентрациями хлороформа и его производных в питьевой воде систем централизованного водоснабжения / Т.С. Уланова, Т.В. Нурисламова, О.А. Мальцева [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 8 (329). – С. 58–63.

23. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация несимметричного диметилгидразина и его производных в объектах окружающей среды и биологических средах населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей / В.Б. Алексеев, Т.С. Уланова, Т.В. Нурисламова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 8. – С. 773–779.

24. Балашов С.Ю., Кирьянов Д.А. Математический аппарат установления региональных фоновых уровней содержания вредных веществ в биологических средах детского населения [Электронный ресурс] // Здоровье семьи – 21 век. – 2010. – URL: http://www.fh-21.perm.ru/download/3_3.pdf (дата обращения: 24.09.2023).

25. Laboratory Test Handbook / D.S. Jakobs, B.L. Kasten, W.R. DeMott [et al.] // The Yale journal of biology and medicine. – 1988. – Vol. 62 (5). – P. 550–550.

26. Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission / C. Schulz, M. Wilhelm, U. Heudorf [et al.] // Int J. Hyg. Environ. Health. – 2011. – Vol. 215 (1). – 26–35.

27. Клиническое руководство по лабораторным тестам / под ред. проф. Норберта У. Тица. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.

28. Горяев Д.В., Тихонова И.В. Воздействие атмосферных поллютантов предприятий металлургического производства на здоровье населения // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 1. – С. 16–19.

29. Землянова М.А., Пережогин А.Н., Кольдибекова Ю.В. Тенденции состояния здоровья детского населения и их связь с основными аэрогенными факторами риска в условиях специфического загрязнения атмосферного воздуха предприятиями металлургического и деревообрабатывающего профиля // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 4. – С. 46–53.

30. Оценка аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов на детское население в зоне влияния предприятий по производству алюминия / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 68–75.

31. Распределение твердых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натурный эксперимент / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, С.В. Клейн [и др.] // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 412–420.

32. Математическая модель эволюции функциональных нарушений в организме человека с учетом внешнесредовых факторов / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов [и др.] // Математическая биология и биоинформатика. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 589–610.

33. Иммунологические маркеры нарушения здоровья детей, проживающих в условиях загрязнения атмосферного воздуха алюминием / О.В. Долгих, Е.А. Отавина, А.В. Кривцов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2019. – № 2 (311). – С. 15–18.

34. Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В. Биомаркеры неканцерогенных негативных эффектов со стороны центральной нервной

системы у детей в зоне влияния источников выбросов алюминиевого производства // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 5. – С. 461–469.

35. Выявление омик-маркеров для прогнозирования риска развития негативных эффектов у детей с повышенным содержанием меди и никеля в крови / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 48–56.

36. Выявление омик-маркеров негативных эффектов, ассоциированных с аэрогенным комбинированным воздействием соединений алюминия и фтора / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 123–132.

37. Ассоциативные связи показателей негативных эффектов со стороны органов дыхания, крови и иммунной системы с повышенным содержанием меди, никеля и хрома в крови / М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Д.В. Горяев [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 11. – С. 54–61.

38. Оценка особенности комбинированного действия ряда химических веществ на основе анализа параметризованных причинно-следственных связей маркеров экспозиции и негативных эффектов и количественной оценки дополнительного риска для здоровья / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 10. – С. 1132–1142.

39. Маклакова О.А., Зайцева Н.В., Устинова О.Ю. Особенности формирования сочетанной патологии у детей в условиях аэрогенного воздействия техногенных химических факторов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 4. – С. 54–61.

40. Кольдибекова Ю.В., Землянова М.А., Цинкер М.Ю. Оценка вероятности развития коморбидности заболеваний нервной системы и органов пищеварения у детей при сочетанном воздействии химических факторов и факторов образовательного процесса // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 100–107.

41. Комплексная оценка эффективности митигации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраных мероприятий / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, И.В. Май [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 25–37.

42. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Сбоев А.С. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 17–22.

43. Методические подходы к оценке и прогнозированию индивидуального риска здоровью при воздействии комплекса разнородных факторов для задач персонализированной профилактики / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, О.Ю. Устинова // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 34–43.

Оценка дополнительного риска развития заболеваний, ассоциированных с комбинированным воздействием загрязняющих веществ, взрослого населения трудоспособного возраста

Ю.В. Кольдибекова, В.М. Чигвинцев

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Оценка риска и обусловленных им негативных последствий со стороны здоровья, научное обоснование решений по его управлению, в том числе в условиях комбинированного действия загрязняющих веществ, является одной из приоритетных гигиенических задач в рамках реализации функций и полномочий Роспотребнадзора. Выполнена оценка дополнительного риска развития заболеваний взрослого населения трудоспособного возраста в условиях комбинированного воздействия загрязняющих веществ (на примере оксидов меди, никеля и хрома). Дизайн исследования базируется на итерационном алгоритме, включающем каскадную модель взаимосвязанных событий «экспозиция – биомаркер экспозиции – биомаркер негативного эффекта – негативный исход (заболевание) – дополнительный риск здоровью». Оценено порядка 100 многофакторных моделей (450 параметров). Исследование выполнено для условий реальной хронической аэрогенной экспозиции оксидами меди на уровне 1,5–3,0 *RfC*, никеля – 0,5–8,0 *RfC* и хрома –0,2–3,9 *RfC* с применением результатов многолетних углубленных исследований 920 взрослых (18–59 лет), реализованных за период 2014–2023 гг. Установлен преимущественно синергетический тип комбинированного действия оксидов меди, никеля и хрома (до 60,0 % случаев), формирующий дополнительный к изолированному риск развития заболеваний, превышающий приемлемый уровень в 5,2–6,4 раза. Дополнительный риск здоровью обусловлен у взрослых болезнями системы кровообращения, нарушением обмена веществ, нервной системы. Оценка дополнительного комбинированного риска к изолированному позволяет объективизировать анализ в части реально сложившейся санитарно-гигиенической ситуации, повысить адресность медико-профилактических мер на период до достижения приемлемых рисков здоровью.

Ключевые слова: комбинированное действие, аэрогенная экспозиция, дополнительный риск здоровью, каскадная модель, биомаркеры экспозиции и негативных эффектов, заболевания.

Минимизация рисков здоровью населения является критически важной задачей обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Роспотребнадзора. Одним из ведущих факторов риска здоровью, формирующего дополнительную ассоциированную заболеваемость и смертность населения, остается химическое загрязнение атмосферного воздуха разнообразными соединениями (по химическому составу, структуре и др.), в том числе их комбинированными смесями переменного состава [1, 2]. В регионах присутствия стабильно функционирующих промышленных компаний, в первую очередь, цветной металлургии, хроническая аэрогенная комбинированная экспозиция может обуславливать неприемлемые

уровни риска, в условиях которых развиваются негативные клеточные и системные нарушения здоровья, приводящие в дальнейшем к медико-экономическим ущербам [3–5]. За прошедший год с воздействием химических примесей атмосферного воздуха селитебных территорий ассоциировано порядка 600 дополнительных случаев заболеваний и 4,6 случая смертности на 100 тыс. всего населения, что неизбежно приводит к потерям занятости экономически активного населения в процессе производства валового внутреннего продукта.

В связи с этим оценка риска и обусловленных им негативных последствий со стороны здоровья, научное обоснование решений по его управлению в условиях комбинированного действия загрязняющих веществ является одной из приоритетных гигиенических задач в рамках реализации функций и полномочий Роспотребнадзора [6]. Методология оценки риска, связанного с эффектами химических смесей, развивалась десятилетиями с переменными принципами, понятиями, приоритетами и совершенствовалась в условиях реализации потенциала междисциплинарных знаний и достижений [3, 7, 8].

К истокам научных работ по изучению особенностей комбинированного действия относят экспериментальные исследования, основанные на количественной оценке летальности биологических моделей с применением двух-, трехфакторных комбинаций веществ (в большей степени для различных металлов и металлоидов) [3, 9, 10]. Последующее применение методов статистической обработки, математического моделирования, графических приемов (например, наименьших квадратов, корреляция и регрессия, анализ изобол и др.) способствовало повышению достоверности и адекватности результатов [3, 7]. При этом межвидовые различия экспериментальных животных и человека [11, 12], сложность моделирования реальной экспозиции химических смесей и противоречивость интерпретации преобладающего типа действия [3, 13] являлись основными неопределенностями, влияющими на точность и объективность оценок.

Существенный вклад в развитие методологии оценки комбинированного действия внес подход, основанный на суммировании негативного эффекта или аддитивности доз [9, 14]. Ключевым элементом данного направления явилось применение зависимости «доза – ответ» [15, 16]. Детализация и подведение исследований комбинированного действия к реальным условиям потребовали включения оценки количественных уровней химических соединений в биологических средах организма и возможных последствий со стороны здоровья чувствительной группы населения (определение биомаркеров экспозиции и негативных эффектов) [17–19]. При этом для выявления достоверной ассоциированности негативных эффектов с факторами экспозиции стали применять систему причинно-следственных связей, параметризованную с помощью корреляционно-сетевых подходов, многомерных регрессионных и нейросетевых моделей и др. [20, 21]. Существующая методология оценки риска в целом является инструментом, обеспечивающим анализ санитарно-гигиенической ситуации на формализованной основе для обоснования мер по предотвращению и снижению негативных последствий комбинированной экспозиции. Вместе с тем одним из значимых вопросов остается уточнение по отношению к расчетным данным дополнительного риска в реальных условиях по критерию риск-реализованных заболеваний и ранжирование веществ по степени их приоритетности в составе смеси. Особенности комбинированного действия, т.е. более сложные, чем простая сумма, взаимодействия (синергизм, потенцирование, антагонизм

и др.) не в полной мере учитываются в практике регулирования, но встречаются гораздо чаще (более 50,0 % случаев) [22–25].

Поэтому расширение научных основ методологии оценки риска, обусловленного комбинированным действием, является принципиально важным для гигиены и профилактической медицины. Это позволит разработать подходы к регулированию содержания веществ в их различных комбинациях в смесях, формирующих экспозицию, что даст обосновать адекватную стратегию минимизации риска и устранения негативных последствий со стороны здоровья.

Цель исследования – оценка дополнительного риска развития заболеваний в условиях комбинированного воздействия оксидов меди, никеля и хрома на взрослое население трудоспособного возраста.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели дизайн исследования базируется на предложенном итерационном алгоритме количественной оценки дополнительного к изолированному действию риска развития заболеваний в условиях комбинированного действия трехкомпонентной смеси веществ.

Оценка дополнительной к изолированной вероятности развития негативных эффектов (Δp_n), предусмотренная на этапах I–III представленной схемы, выполнена на примере смеси оксида алюминия, гидрофторида, бенз(а)пирена и детально изложена в ранее опубликованном исследовании [26]. Дальнейшее развитие методических основ (этапы IV–VIII) включает оценку дополнительного риска здоровью по критерию дополнительной к изолированной вероятности развития ассоциированного заболевания с учетом его тяжести.

Дополнительную вероятность развития риск-ассоциированного заболевания (Δp_z) при комбинированном действии трехкомпонентной смеси веществ определяли по формуле (1):

$$\Delta p_{z_n} = \frac{1}{1 + e^{-(b_{z0} + \sum_n b_{zn} \Delta p_n)}} - \frac{1}{1 + e^{-b_{z0}}}, \quad (1)$$

где Δp_{z_n} – дополнительная вероятность развития z -й нозологической формы заболевания при отклонении n -х биомаркеров негативных эффектов от физиологической нормы в результате эффектов комбинированного действия веществ;

$\frac{1}{1 + e^{-(b_{z0} + \sum_n b_{zn} \Delta p_n)}}$ – вероятность z -го заболевания при отклонении биомарке-

ров негативных эффектов от физиологической нормы при комбинированном действии химических веществ;

Δp_n – дополнительная вероятность изменения n -х биомаркеров негативных эффектов, обусловленная комбинированным действием;

b_{z0}, b_{zn} – параметры математической модели;

$\frac{1}{1 + e^{-b_{z0}}}$ – фоновая вероятность z -го заболевания при отклонении биомарке-

ров негативных эффектов от физиологической нормы в условиях отсутствия воздействия химического фактора.

Величину дополнительного риска (ΔR_z) развития заболевания, обусловленного комбинацией химических веществ, рассчитывали по формуле (2):

$$\Delta R_z = \left(\frac{1}{1 + e^{-(b_{z0} + \sum_n b_{zn} \Delta p_n)}} - \frac{1}{1 + e^{-b_{z0}}} \right) \cdot g_z, \quad (2)$$

где ΔR_z – дополнительный риск развития z -го заболевания, обусловленный комбинированным воздействием веществ;

g_z – показатель средневзвешенной тяжести z -й болезни по одной нозологической группе [27].

Дополнительный риск заболеваний по классу болезней в условиях комбинированного действия определяли по формуле (3):

$$\Delta R_k = 1 - \prod_z (1 - \Delta R_z), \quad (3)$$

где ΔR_k – дополнительный риск развития заболеваний по классу болезней, обусловленный комбинированным воздействием веществ;

ΔR_z – дополнительный риск развития z -го заболевания, обусловленный комбинированным действием веществ.

В качестве критерия приемлемости дополнительного неканцерогенного риска применяли диапазон $1,1 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$. При $\Delta R_z > 1,1 \cdot 10^{-4}$ дополнительный риск оценивали как «настораживающий» для здоровья.

Расчет дополнительного риска развития заболеваний проведен по результатам собственных многолетних углубленных исследований 920 взрослых трудоспособного возраста (18–59 лет), реализованных за период 2014–2023 гг. Сформированный массив данных включал индивидуальные концентрации меди, никеля и хрома в крови, значения патогенетически связанных с экспозицией биохимических, иммунологических и гематологических показателей, диагноз основного заболевания (МКБ-10).

Для проведения настоящего исследования не требовалось заключение этического комитета (работа выполнена на ранее полученных материалах).

Биомаркерами комбинированной аэрогенной экспозиции являлись концентрации в крови взрослых: концентрации меди $0,948 \pm 0,053$ мг/дм³ (1,1 RfL); никеля – $0,009 \pm 0,001$ мг/дм³ (9,0 RfL); хрома – $0,005 \pm 0,0003$ мг/дм³ (7,1 RfL). В качестве биомаркеров негативных эффектов со стороны критических органов и систем, патогенетически связанных с воздействием изучаемых факторов экспозиции, использовано 47 биохимических, иммунологических и гематологических показателей. Негативные эффекты характеризуют 14 групп болезней. К ним относятся болезни нервной системы (G90.8, G90.9), в том числе эстрапирамидные и другие двигательные расстройства (G24.9); крови в виде анемии, связанной с дефицитом железа (D50.9), уточненной и неуточненной (D64.8, D64.9), отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм (D83.9, D84.9); болезни сердца (I34.1, I45.1, I49.9), в том числе ишемическая (I20) и характеризующаяся повышенным кровяным давлением (I10, I11.9); болезни верхних дыхательных путей (J30, J30.3, J31, J32); почек и мочеточника (N25), в том числе мочекаменная болезнь (N20–N23); нарушения обмена веществ (E78), включающих ожирение и другие формы избы-

точности питания (E66, E67); болезни пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки (K25, K29, K30), печени (K76.0), желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы (K80, K81, K82.8, K83.4, K83.8, K83.9, K86).

Расчет дополнительной вероятности и рисков развития заболеваний осуществлен с помощью каскада взаимосвязанных событий, включающего поэтапное определение параметров моделей причинно-следственных связей «экспозиция – биомаркер экспозиции – биомаркер негативного эффекта – негативный исход (заболевание) – дополнительный риск здоровью». Математическое моделирование выполнено методом множественной логистической регрессии в многофакторной постановке с помощью программных продуктов с приложениями MS-Office. Оценка достоверности и адекватности результатов моделирования осуществлена по *F*-критерию Фишера, коэффициенту детерминации (R^2).

Результаты. В ходе реализации первых трех этапов алгоритма установлены достоверные причинно-следственные связи и их коэффициенты регрессии, характеризующие скорость нарастания дополнительной к изолированной вероятности (Δp_n) отклонения некоторых биомаркеров негативных эффектов у взрослых в условиях комбинированной экспозиции оксидами меди, никеля и хрома (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Дополнительная вероятность изменения биомаркеров негативных эффектов у взрослых трудоспособного возраста при комбинированном воздействии оксидов меди, никеля и хрома

Биомаркер негативного эффекта	Вектор опасности развития негативного эффекта	Коэффициенты регрессии при изолированном и комбинированном действии химических веществ							Вероятность развития негативного эффекта			Дополнительная вероятность при комбинированном воздействии (Δp_n)
		фоновый уровень	медь (x_1)	никель (x_2)	хром (x_3)	медь и никель (x_1, x_2)	медь и хром (x_1, x_3)	никель и хром (x_2, x_3)	при отсутствии воздействия веществ (p_i)	при независимом изолированном воздействии веществ ($p_{i\text{обн}}$)	при изолированном и комбинированном воздействии ($p_{\text{комб}}$)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Аланинаминотрансфераза	Повышение	-3,12	0,92	-241,84	0,00	199,98	-129,46	27221,3	0,074	0,082	0,096	0,014
Аспартагатаминотрансфераза	Повышение	-2,84	0,95	-22,59	-81,94	0,00	0,00	14060,7	0,112	0,113	0,119	0,005
Глутаматдегидрогеназа	Повышение	0,62	-1,69	0,00	0,00	62,01	168,52	-6251,18	0,288	0,321	0,513	0,192
Глутаминовая кислота	Повышение	-1,42	0,00	390,29	0,00	0,00	135,23	-91934,5	0,264	0,268	0,185	-0,082
Индекс эозинофилии	Повышение	-2,69	0,00	0,00	-194,21	0,00	137,94	8012,01	0,056	0,061	0,062	0,000
Кортизол	Повышение	-2,09	0,00	-878,34	0,00	647,26	-195,42	50102,7	0,049	0,078	0,045	-0,033
Малоновый диальдегид	Повышение	0,60	0,00	0,00	-106,71	0,00	41,05	0,00	0,629	0,635	0,559	-0,076
Моноциты в крови	Повышение	4,95	-3,50	0,00	-394,77	46,66	602,71	-21142,0	0,821	0,873	0,890	0,017
Нейронспецифическая энолаза	Повышение	-0,79	-2,44	0,00	-598,92	0,00	614,29	24034,9	0,032	0,047	0,093	0,046
Трансферрин	Повышение	3,24	-6,95	1153,6	-2995,92	-1063,28	3683,96	0,00	0,019	0,070	0,591	0,521
Щелочная фосфатаза	Повышение	-2,41	0,00	-788,67	0,00	845,00	-458,65	52076,8	0,039	0,064	0,065	0,001
Эозинофилы в назал. секрете	Повышение	-0,02	-0,83	-53,48	-89,26	61,42	75,83	0,00	0,294	0,315	0,297	-0,018
Абсолютный фагоцитоз	Понижение	-2,00	0,00	-67,31	-150,93	0,00	215,63	19283,8	0,102	0,116	0,189	0,073
Гемоглобин	Понижение	-3,34	1,98	-63,38	-296,73	0,00	214,18	25081,2	0,139	0,158	0,189	0,031

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Железо в крови	Понижение	-1,50	0,00	76,13	-798,50	-219,38	692,75	34853,8	0,121	0,152	0,134	-0,018
Липопротеин выс. плотности	Понижение	-0,68	0,00	-52,42	107,04	60,64	-58,25	-3417,67	0,342	0,346	0,380	0,034
Процент фагоцитоза	Понижение	-0,24	-2,01	-390,66	294,29	533,68	-341,12	0,00	0,096	0,122	0,184	0,062
Фагоцитарное число	Понижение	1,39	-1,52	-150,97	-34,86	167,53	0,00	0,00	0,462	0,500	0,455	-0,045

Дополнительные к изолированному действию вероятность ($\Delta p_{z,n}$) и риск (ΔR_z) развития z-х заболеваний у взрослых, полученных на IV и V этапах алгоритма, представлен в табл. 2.

Анализ частоты встречаемости выявленных типов комбинированного действия позволил установить, что преобладающим в обеих возрастных группах является синергизм до 57,1 %. Антагонизм установлен в 42,9 % случаев.

Таблица 2

Дополнительный риск развития заболевания, обусловленный комбинированным действием оксидов меди, никеля и хрома

Группа болезней (МКБ-10)	Вероятность развития заболевания при отсутствии воздействия (p_i)	Тяжесть заболевания (g_i)	Дополнительная к фону вероятность развития заболевания			Дополнительный к фону риск развития заболевания			Дополнительная (ый) к изолированному действию и фону		Тип комбинированного действия веществ
			при изолированном действии меди (Δp_{z1})	при изолированном действии никеля (Δp_{z2})	при изолированном действии хрома (Δp_{z3})	при изолированном действии меди (ΔR_{z1})	при изолированном действии никеля (ΔR_{z2})	при изолированном действии хрома (ΔR_{z3})	вероятность развития заболевания при комбинированном действии (Δp_n)	риск развития заболевания при комбинированном действии (ΔR_n)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Анемии, связанные с дефицитом железа (D50.9)	0,019	0,017	0,0005	0,0052	-0,0047	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$-7,9 \cdot 10^{-5}$	-0,0003	$-5,7 \cdot 10^{-6}$	Антагонизм
Анемия уточненная и неуточненная (D64.8, D64.9)	0,011	0,022	0,0001	0,0085	-0,0007	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$-1,6 \cdot 10^{-5}$	-0,0013	$-2,9 \cdot 10^{-5}$	Антагонизм
Отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D83.9, D84.9)	0,043	0,116	0,0001	0,0004	0,0007	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$	0,0006	$7,3 \cdot 10^{-5}$	Синергизм
Дистония (G24.9)	0,003	0,299	0,0003	-0,0008	0,0031	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$-3,0 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	-0,0002	$-6,4 \cdot 10^{-5}$	Антагонизм
Нарушения нервной системы (G90.8, G90.9)	0,369	0,142	0,0000	-0,0005	-0,0034	0,00	$-1,0 \cdot 10^{-4}$	$-4,9 \cdot 10^{-4}$	0,0049	$7,0 \cdot 10^{-4}$	Синергизм
Гипертензии (I10, I11.9)	0,114	0,062	0,0027	0,0098	0,0371	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,0098	$6,1 \cdot 10^{-4}$	Синергизм
Ишемическая болезнь сердца (I20)	0,015	0,075	0,0019	-0,0051	0,0199	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$-4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-0,0007	$-5,0 \cdot 10^{-5}$	Антагонизм

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Болезни сердца (I34.1, I45.1, I49.9)	0,036	0,131	0,0013	-0,0041	0,0100	1,7 ·10 ⁻⁴	-5,0 ·10 ⁻⁴	1,3 ·10 ⁻³	-0,0003	-4,1·10 ⁻⁵	Антагонизм
Болезни верхних дыхательных путей (J30, J30.3, J31, J32)	0,296	0,016	0,0012	0,0112	0,0092	1,8 ·10 ⁻⁵	1,8 ·10 ⁻⁴	1,5 ·10 ⁻⁴	0,0018	2,9·10 ⁻⁵	Синергизм
Ожирение и др. формы избыт. питания (E66, E67)	0,070	0,086	0,0008	-0,0009	0,0143	6,7 ·10 ⁻⁵	-1,0 ·10 ⁻⁴	1,2 ·10 ⁻³	0,0031	2,7·10 ⁻⁴	Синергизм
Нарушение обмена веществ (E78)	0,040	0,091	0,0007	0,0074	0,0057	6,7 ·10 ⁻⁵	6,7 ·10 ⁻⁵	5,2 ·10 ⁻⁴	0,0030	2,7·10 ⁻⁴	Синергизм
Болезни желудочно-кишечного тракта (K25, K29, K30)	0,182	0,173	0,0005	0,0089	0,0099	7,9 ·10 ⁻⁵	1,5 ·10 ⁻³	1,7 ·10 ⁻³	0,0016	2,7·10 ⁻⁴	Синергизм
Болезни печени (K76.0)	0,039	0,221	0,0001	-0,0009	-0,0003	2,7 ·10 ⁻⁵	-2,0 ·10 ⁻⁴	-7,6 ·10 ⁻⁵	0,0001	2,3·10 ⁻⁵	Синергизм
Болезни желчевыводящих путей (K80, K81, K82.8, K83.4, K83.8, K83.9, K86)	0,344	0,062	0,0370	-0,2041	0,2688	2,3 ·10 ⁻³	-12,7 ·10 ⁻³	1,7 ·10 ⁻²	-0,0511	-3,2·10 ⁻³	Антагонизм

Показано, что синергетический тип комбинированного действия оксидов меди, никеля и хрома формирует дополнительный к изолированному риск развития заболеваний по классу болезней (ΔR_k) (табл. 3).

Таблица 3

Дополнительный риск развития заболеваний по классам болезней, обусловленный комбинированной экспозицией оксидами меди, никеля и хрома

Класс болезни (МКБ-10)	Дополнительный риск (ΔR_k)
Система кровообращения (I10, I11.9, I20, I34.1, I45.1, I49.9)	5,2·10⁻⁴
Нервная система (G90.8, G90.9, G24.9)	6,4·10⁻⁴
Расстройства питания и нарушения обмена веществ (E66, E67, E78)	5,4·10⁻⁴
Органы дыхания (J30, J30.3, J31, J32)	1,8·10 ⁻⁵
Кровь, кроветворные органы и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50.9, D64.8, D64.9, D83.9, D84.9)	3,7·10 ⁻⁵
Органы пищеварения (K25, K29, K30, K76.0, K80, K81, K82.8, K83.4, K83.8, K83.9)	0,0

Установлено, что у взрослых 18–59 лет формируется дополнительный риск, оцениваемый как «настораживающий», развития заболеваний системы кровообращения, нервной системы, нарушения обмена веществ, превышающих приемлемый уровень до 6,4 раза.

Таким образом, оценка особенности комбинированного действия веществ по величине дополнительного к изолированному риска здоровью на основе параметризованных причинно-следственных связей маркеров экспозиции и негативных эффектов позволила обосновать приоритетные виды заболеваний нервной, сердечно-сосудистой систем и нарушения обмена веществ. Это позволяет повысить эффективность раннего выявления и мер профилактики негативных последствий.

Список литературы

1. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагоприятного района крупного промышленного центра. Здоровье населения и среда обитания / Ю.В. Мякишева, И.В. Федосейкина, Н.А. Михайлюк, О.Я. Сказкина, Ю.А. Алешина, А.Ф. Павлов // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. – 2022. – № 3. – С. 44–52. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52
2. Air pollution exposure – the (in) visible risk factor for respiratory diseases / G.-P. Bălă, R.-M. Râjnoveanu, E. Tudorache, R. Motișan, Cr. Oancea // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – Vol. 28. – P. 19615–19628. DOI: 10.1007/s11356-021-13208-x
3. Meek M. International experience in addressing combined exposures: Increasing the efficient of assessment // *Toxicology*. – 2013. – Vol. 313. – P. 185–189. DOI: 10.1016/j.tox.2012.09.015.
4. 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
5. Приоритетные факторы риска для здоровья населения крупных промышленных городов / С.А. Сковронская, Н.А. Мешков, Е.А. Вальцева, С.В. Иванова // *Гигиена и санитария*. – 2022. – Т. 101 (4). – С. 459–467. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467
6. Применение методологии оценки риска для здоровья населения от вредных факторов окружающей среды в практической деятельности Управления Роспотребнадзора / Е.Е. Андреева, А.В. Иваненко, В.А. Силиверстов, Е.В. Судакова // *Гигиена и санитария*. – 2016. – Т. 95 (2). – С. 219–222. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-219-222
7. Overview on legislation and scientific approaches for risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: the potential EuroMix contribution / S. Rotter, A. Beronius, A.R. Boobis, A. Hanberg, J. van Klaveren, M. Luijten, K. Machera, D. Nikolopoulou, H. van der Voet, J. Zilliacus, R. Solecki // *Critical Reviews in Toxicology*. – 2019. – Vol. 48 (9). – P. 796–814. DOI: 10.1080/10408444.2018.1541964
8. Critical assessment and integration of separate lines of evidence for risk assessment of chemical mixtures / A.F. Hernandez, A. Buha, C. Constantin, D.R. Wallace, D. Sarigiannis, M. Neagu, A. Tsatsakis. – *Archives of Toxicology*. – 2019. – Vol. 93 (10). – P. 2741–2757. DOI: 10.1007/s00204-019-02547-x
9. Экспериментальное моделирование и математическое описание хронической комбинированной токсичности как основа анализа многофакторных химических рисков для здоровья / Б.А. Кацнельсон, А.Н. Вараксин, В.Г. Панов, Л.И. Привалова, И.А. Минигалиева, Е.П. Киреева // *Токсикологический вестник*. – 2015. – № 5. – С. 37–45.
10. Минигалиева И.А. Некоторые закономерности комбинированной токсичности металлоксидных наночастиц // *Токсикологический вестник*. – 2016. – № 6 (141). – С. 18–24.
11. Heavy metals and metalloid in aquatic invertebrates: A review of single/mixed forms, combination with other pollutants, and environmental factors / J. Haksoo, B. Eunjin, K. Duck-Hyun, P. Maszczyk, J-S Lee // *Marine Pollution Bulletin*. – 2023. – Vol. 191. – P. 114959. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.114959

12. Humans are animals, but are animals human enough? A systematic review and meta-analysis on interspecies differences in renal drug clearance / K. Jansen, C. Pou Casellas, L. Groenink, K.E. Wever, R. Masereeuw // *Drug discovery today*. – 2020. – Vol. 25 (4). – P. 706–717. DOI: 10.1016/j.drudis.2020.01.018

13. Методы оценки комбинированного действия веществ / З.И. Жолдакова, Н.В. Харчевникова, Р.А. Мамонов, О.О. Сеницына // *Гигиена и санитария*. – 2012. – № 2. – С. 86–89.

14. Rider C.V. Simmons J.E. *Chemical Mixtures and Combined Chemical and Nonchemical Stressors: Exposure, Toxicity, Analysis, and Risk*. – Switzerland.: Springer International Publishing AG, 2018. – 556 p.

15. Основные результаты экспериментального изучения комбинированного действия стирола и диоктилфталата / Р.В. Богданов, Л.М. Бондаренко, В.М. Василькевич, В.О. Земцова, А.А. Евтерева, В.А. Занкевич // *Здоровье и окружающая среда*. – 2022. – № 32. – С. 146–153.

16. The use of mode of action information in risk assessment: quantitative key events/dose-response framework for modeling the dose-response for key events / T. W. Simon, S.S. Simons Jr, R.J. Preston, A.R. Boobis, S.M. Cohen, N.G. Doerrer, P.A. Fenner-Crisp, T.S. McMullin, C.A. McQueen, J.C. Rowlands // *Critical reviews in toxicology*. – 2014. – Vol. 44, Suppl. 3. – P. 17–43. DOI: 10.3109/10408444.2014.931925

17. An efficient and pragmatic approach for regulatory aquatic mixture risk assessment of pesticides / C. Dietrich, M. Wang, M. Ebeling, A. Gladbach // *Environmental Sciences Europe*. – 2022. – Vol. 34. – P. 16. DOI: 10.1186/s12302-022-00594-3

18. Mixture risk assessment and human biomonitoring: Lessons learnt from HBM4EU / M. Luijten, J. Vlaanderen, A. Kortenkamp, J.P. Antignac, R. Barouki, W. Bil, A. van den Brand, S. den Braver-Sewradj, J. van Klaveren, M. Mengelers, I. Ottenbros, P. Rantakokko, M. Kolossa-Gehring, E. Lebret // *International journal of hygiene and environmental health*. – 2023. – Vol. 249. – P. 114135. DOI: 10.1016/j.ijheh.2023.114135

19. HBM4EU combines and harmonises human biomonitoring data across the EU, building on existing capacity – The HBM4EU survey / L. Gilles, E. Govarts, L. Rambaud, N. Vogel, A. Castaño, M. Esteban López, M.L. Rodríguez, G. Koppen, S. Remy, M. Vrijheid, P. Montazeri, L. Birks, O. Sepai, L. Stewart, U. Fiddicke, I. Loots, L.E. Knudsen, M. Kolossa-Gehring, G. Schoeters // *International journal of hygiene and environmental health*. – 2021. – Vol. 237. – P. 113809. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113809

20. Цинкер М.Ю., Кирьянов Д.А., Клейн С.В. Статистическое моделирование для оценки влияния факторов среды обитания на индикаторные показатели здоровья населения Российской Федерации // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2013. – № 11 (248). – С. 10–13.

21. What Is Machine Learning, Artificial Neural Networks and Deep Learning? – Examples of Practical Applications in Medicine / J. Kufel, K. Bargieł-Łączek, S. Kocot, M. Koźlik, W. Bartnikowska, M. Janik, Ł. Czogalik, P. Dudek, M. Magiera, A. Lis, I. Paszkiewicz, Z. Nawrat, M. Cebula, K. Gruszczyńska // *Diagnostics (Basel)*. – 2023. – Vol. 3, № 13 (15). – P. 2582. DOI: 10.3390/diagnostics13152582

22. Assessment of chemical mixtures using biomarkers of combined biological activity: A screening study in human placentas / A. Rodríguez-Carrillo, A.K. Rosenmai, V. Mustieles, S. Couderq, J.B. Fini, F. Vela-Soria, J.M. Molina-Molina, P. Ferrando-Marco, M. Wielsøe, M. Long, E.C. Bonefeld-Jorgensen, N. Olea, A.M. Vinggaard, M.F. Fernández // *Reproductive toxicology (Elmsford, N.Y.)*. – 2021. – Vol. 100. – P. 143–154. DOI: 10.1016/j.reprotox.2021.01.002

23. Hormetic Neurobehavioral effects of low dose toxic chemical mixtures in real-life risk simulation (RLRS) in rats / A.M. Tsatsakis, A.O. Docea, D. Calina, A.M. Buga, O. Zlatian, S. Gutnikov, R.N. Kostoff, M. Aschner // Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association. – 2019. – Vol. 125. – P. 141–149. DOI: 10.1016/j.fct.2018.12.043

24. Dose Addition in the Induction of Craniofacial Malformations in Zebrafish Embryos Exposed to a Complex Mixture of Food-Relevant Chemicals with Dissimilar Modes of Action / L.T.M. Van Der Ven, P. Van Ommeren, E.P. Zwart, E.R. Gremmer, H.M. Hodemaekers, H.J. Heusinkveld, J.D. van Klaveren, E. Rorije // Environmental health perspectives. – 2022. – Vol. 130 (4). – P. 47003. DOI: 10.1289/EHP9888

25. Mustafa E., Valente M.J., Vinggaard A.M. Complex chemical mixtures: Approaches for assessing adverse human health effects // Current Opinion in Toxicology. – 2023. – Vol. 34. – Article 100404. DOI: 10.1016/j.cotox.2023.100404

26. Оценка особенности комбинированного действия ряда химических веществ на основе анализа параметризованных причинно-следственных связей маркёров экспозиции и негативных эффектов и количественной оценки дополнительного риска для здоровья / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Д.А. Кирьянов, В.М. Чигвинцев // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102 (10). – С. 1132–1142. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-10-1132-1142

27. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. – Т. 2. – С. 1010–1014.

Оценка риска для здоровья населения в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере малого города Сибирского федерального округа)

А.А. Клячин

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Город Минусинск включен в число участников федерального проекта «Чистый воздух» в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 07.07.2022 № 1852-р и входит в перечень 29 городов, отобранных для эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. В ходе проведенного исследования выполнена оценка ингаляционного риска для здоровья населения Минусинска в 2024 г. с определением ключевых химических факторов риска. Анализ проводился на основе данных о промышленных выбросах, выбросах автотранспорта и автономных источников теплоснабжения, содержащихся в базе данных объектов негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты показали отсутствие превышения допустимых уровней канцерогенного и хронического неканцерогенного риска на территории города. Однако в отдельных зонах зафиксированы повышенные уровни острого неканцерогенного риска (HQ_{ac}), классифицируемые как настораживающие, с максимальными значениями коэффициента опасности для бензола (до 2,3 HQ_{ac}) и диоксида азота (до 1,2 HQ_{ac}). В зоне влияния данных факторов проживает около 100 человек (0,14 % населения города).

Ключевые слова: атмосферный воздух, ингаляционный риск, факторы риска, количественные критерии для оценки риска, риск здоровью населения.

Минусинск представляет собой городской округ, расположенный в южной части Красноярского края, в центральной зоне обширной лесостепной Минусинской котловины, на правобережье реки Енисей. Минусинск является старейшим городом и самым крупным муниципальным образованием на юге Красноярского края [1]. Административная территория города занимает площадь 60,5 км². Согласно официальным данным на 1 января 2024 г., численность постоянного населения Минусинска составляет 71 792 человека [2].

Располагаясь в пределах Минусинской котловины (одного из наиболее благоприятных для сельского хозяйства регионов Сибири), городской округ Минусинск выполняет функции важного агропромышленного узла юга Красноярского края. Экономика территории характеризуется сочетанием сельскохозяйственного производства (включая зерновое хозяйство, овощеводство и мясо-молочное направление) и перерабатывающей промышленности. Значительную роль в местном производственном секторе играют предприятия по переработке древесины, а также строительные организации, обеспечивающие развитие инфраструктуры округа [3].

Общие объемы выбросов загрязняющих веществ городского округа Минусинска в 2023 г. составили 28 850,27 т/год, в том числе от объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, – 3 867,44 т/год, от автотранспортных потоков для обследованного перечня участков дорог – 194,13 т/год и от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых строений (далее АИТ) – 24 788,70 т/год. Основным источником поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух являлись АИТ – 85,92 %. Данная ситуация напрямую связана с особенностями системы теплоснабжения, где преобладает децентрализованная схема обеспечения теплом частных домовладений.

Комплексный план мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на атмосферный воздух городского округа Минусинск, принятый в рамках федерального проекта «Чистый воздух», предусматривает достижение к 2036 г. целевого показателя сокращения совокупных выбросов приоритетных загрязняющих веществ на 49,97 % относительно базового уровня 2020 г. (30 452,48 т) [4]. Ключевым критерием эффективности реализации указанных мероприятий выступает снижение потенциальных рисков для здоровья населения, что обеспечивается за счет системного уменьшения эмиссии приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха и последующего улучшения его качественного состояния [5–7].

При этом формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга, основанное на практическом опыте реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух», является необходимым условием для динамического контроля и анализа пространственно-временной динамики концентраций загрязняющих веществ, что позволяет объективно оценивать результативность принимаемых мер [8].

Цель исследования – оценка ингаляционного риска здоровью населения по данным сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха г. Минусинска в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух».

Материалы и методы. Оценка риска для здоровья населения г. Минусинска проводилась на основе комплексного анализа данных о параметрах выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников, включая промышленные предприятия, автотранспорт и АИТ. Исходные данные были получены из базы источников загрязнения атмосферного воздуха, содержащей сведения об объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. В исследование включен полный перечень из 66 химических соединений, отобранных на основе данных инвентаризации выбросов от всех учитываемых источников загрязнения.

Для определения пространственного распределения загрязнения применялся метод моделирования рассеивания с использованием специализированного программного комплекса УПРЗА «Эколог-город» 4.7, разработанного фирмой «Интеграл» (г. Санкт-Петербург). Программа использует расчетную методику «Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (МРР-2017), которая утверждена и введена в действие приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273. Моделирование проводилось для двух ключевых показателей: максимальных разовых концентраций и среднегодовых концентраций. Расчеты выполнялись в 6530 расчетных точках, соответствующих геометрическим центрам жилых зданий на территории города, что обеспечило высокую детализацию оценки экспозиции населения.

Оценка риска осуществлялась в соответствии с действующими нормативно-методическими документами: Р 2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» [9] и методические рекомендации МР 2.1.6.0320-23 «Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня квотируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения» [10].

Результаты. В ходе выполненной гигиенической оценки выявлено превышение установленных гигиенических нормативов по максимальным разовым концентрациям для ряда химических веществ: пыль абразивная – до 28,8 раза, углерода оксид – до 9,2 раза, взвешенные вещества – до 6,9 раза, а также диоксид азота – до 3,9 раза, пыль неорганическая ($70\text{--}20\% \text{SiO}_2$) – до 3,8 раза, и диоксид серы – до 2,1 раза. По расчетным данным превышений среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минусинска не установлено.

В ходе проведенного исследования по оценке риска для здоровья населения г. Минусинска были получены следующие результаты. На этапе идентификации опасности из 66 химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух г. Минусинска, поступающих от стационарных и передвижных источников загрязнения, 46 соединений (69,7 % от общего количества) были идентифицированы как способные оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

В ходе оценки канцерогенного риска установлено, что максимальные значения индивидуального канцерогенного риска, варьируются в пределах допустимого (приемлемого) уровня и связаны с воздействием формальдегида ($1,25 \cdot 10^{-6}$) и углерода (пигмент черный) ($2,72 \cdot 10^{-6}$). Для остальных канцерогенов, содержащихся

в выбросах г. Минусинска, характерны значения канцерогенного риска на уровне минимального. Анализ суммарного индивидуального канцерогенного риска от комплексного воздействия химических загрязнителей атмосферного воздуха показал, что во всех обследованных точках жилой застройки значения риска не превышают приемлемый уровень (не более $1,0 \cdot 10^{-4}$).

Однако оценка неканцерогенных рисков при кратковременном воздействии выявила превышения допустимых уровней коэффициентов опасности для двух приоритетных загрязнителей: бензола и диоксида азота. Наибольшую опасность представляет бензол, максимальный коэффициент опасности острого воздействия которого составил $2,33 HQ_{ac}$, при этом в зоне повышенного риска проживает 79 человек. Второе ранговое место по величинам HQ_{ac} занимает азота диоксид с максимальным HQ_{ac} 1,2, в зоне повышенного риска проживает 21 человек.

Результаты проведенной оценки рисков для здоровья населения позволили классифицировать выявленные значения как настораживающий уровень риска. Согласно действующим методологическим подходам (Р 2.1.10.3968-23), данный уровень считается условно приемлемым для профессиональных групп и неприемлемым для населения в целом. Возникновение подобного уровня риска требует разработки и проведения комплекса плановых оздоровительных мероприятий.

Результаты комплексной оценки аддитивного воздействия анализируемых химических веществ, содержащихся в выбросах в атмосферный воздух г. Минусинска, по влиянию на критические органы (системы) при остром воздействии показали, что уровни неканцерогенного риска, выраженные индексами опасности HI_{ac} , не превышают допустимый (приемлемый) для населения уровень риска, (максимальные значения установлены для иммунной, кроветворной и репродуктивной систем – $2,33 HI_{ac}$). Следует отметить, что, несмотря на формальное соответствие допустимым значениям, выявленные уровни воздействия требуют постоянного мониторинга в связи с возможным кумулятивным эффектом при длительном воздействии, особенно для наиболее уязвимых групп населения.

Проведенный анализ пространственного распределения и уровней хронического неканцерогенного риска для здоровья населения на территории г. Минусинска по расчетным данным показал отсутствие превышения допустимых уровней воздействия для всех исследуемых химических веществ и систем организма. Максимальные установленные расчетные значения величины риска находятся в диапазоне минимального уровня: максимум по HQ_{ch} формируется по диоксиду серы $0,94 HQ_{ch}$, по HI_{ch} для органов дыхания – $2,0 HI_{ch}$. Полученные результаты свидетельствуют, что текущие уровни загрязнения атмосферного воздуха по расчетным данным не создают значительной угрозы для здоровья населения при хроническом воздействии.

Выводы. В результате проведенной комплексной оценки рисков для здоровья населения г. Минусинска можно сделать следующие выводы:

- результаты расчетов рассеивания загрязняющих веществ свидетельствуют об отсутствии на территории города неприемлемых уровней как канцерогенного, так и хронического неканцерогенного риска;
- в отдельных зонах городской застройки выявлены повышенные уровни острого неканцерогенного риска (HQ_{ac}), классифицируемые как настораживающие, с максимальными значениями для бензола (HQ_{ac} до 2,3) и диоксида азота (HQ_{ac} до 1,2);

– в зонах повышенного риска, преимущественно расположенных вблизи автодорог с интенсивным движением и промышленных объектов, проживает около 100 человек (0,14 % от общей численности населения города).

Полученные данные, указывают на необходимость разработки мероприятий по оптимизации транспортных потоков и снижению промышленных выбросов; проведения углубленных исследований возможного синергетического действия загрязняющих веществ. Особое внимание следует уделить организации долгосрочного мониторинга атмосферного воздуха и оценке рисков для здоровья на территории городского округа Минусинск в рамках реализации комплексного плана мероприятий по снижению выбросов до 2036 г. Результаты исследования могут служить научной основой для разработки адресных мероприятий в рамках реализации региональных программ по улучшению качества атмосферного воздуха.

Список литературы

1. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2023 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/70305> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Возрастно-половой состав населения по одноплетным возрастам по муниципальным округам, районам и городским округам Красноярского края на 1 января 2024 года [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва. – URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/27812> (дата обращения: 14.04.2025).
3. Швалов П.Г., Хало В.А. Оценка экономического развития и анализ развития логистической инфраструктуры в г. Минусинске, Минусинском, Идринском и Каратузском районах Красноярского края // Социально-экономический и гуманитарный журнал. – 2019. – № 1 (11). – С. 109–119.
4. Об утверждении комплексного плана мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в городских округах Абакан, Искитим, Минусинск, Улан-Удэ, Черногорск, Южно-Сахалинск и в городском поселении Гусиноозерск: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2024 г. № 3995-р [Электронный ресурс] // Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/411240717/> (дата обращения: 14.04.2025).
5. Роль научных организаций гигиенического профиля в научном обосновании национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России / С.В. Кузьмин, В.Р. Кучма, В.Н. Ракитский [и др.] // Здравоохранение Российской Федерации. – 2022. – Т. 66, № 5. – С. 356–365.
6. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development / G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva, I.V. May [et al.]. – Moscow, Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014. – 686 p.
7. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

8. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / С.В. Клейн, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 11. – С. 1196–1202.

9. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания [Электронный ресурс] // Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/408644981> // (дата обращения: 14.04.2025).

10. МР 2.1.6.0320-23. Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня квотируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения [Электронный ресурс] // Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/408056349> (дата обращения: 14.04.2025).

Объекты накопленного вреда окружающей среде: оценка риска для здоровья граждан на региональном уровне

Е.В. Максимова, И.В. Май

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Длительный период существования бесхозных объектов привел к загрязнению окружающей среды и последующей заболеваемости населения. Федеральный проект «Генеральная уборка» разработан с целью выявления таких объектов, оценки, категорирования, ранжирования и последующей очередности ликвидации объектов накопленного вреда. Оценка проведена для объектов, расположенных в Пермском крае. Установлено, что к объектам высокого риска относится 4 объекта, характеризующихся сходными признаками: длительное существование, большой объем накопленных отходов, расположение в крупных поселениях, близость к водным объектам, отсутствие защитных сооружений и превышение гигиенических нормативов почти во всех средах обитания. Объекты среднего и умеренного риска расположены в небольших поселениях или за пределами, и там зачастую не фиксировались превышения гигиенических нормативов. Результаты оценки риска для жизни и здоровья граждан достаточно объективны для определения дальнейшей очередности ликвидации объектов.

Ключевые слова: объекты накопленного вреда, федеральный проект «Генеральная уборка», окружающая среда, риск для здоровья, оценка, категорирование, ранжирование.

На протяжении длительного периода объекты прошлой экономической деятельности ухудшают качество объектов среды обитания и, соответственно, являются потенциальной угрозой для здоровья населения [1–5]. Такими объектами являются места складирования коммунальных и промышленных отходов, накопители химически опасных отходов, загрязненные территории промышленных объектов

и т.д. Большинство таких объектов не имеют собственников, поэтому вопрос ликвидации объектов долго был не урегулирован.

Федеральный проект «Генеральная уборка» [6] разработан с целью выявления объектов накопленного вреда, их оценки, категорирования, ранжирования и ликвидации. Влияние объектов накопленного вреда осуществляется не только на природную среду [7, 8], но и на жизнь и здоровье населения [9–11].

В настоящее время определено более 3,5 тыс. объектов накопленного вреда окружающей среде (далее ОНВОС). Ряд объектов расположен в Пермском крае [12]. Все объекты имеют разное происхождение и различаются типами, отражающими особенности влияния ОНВОС на среду обитания и степень опасности для здоровья населения.

Цель исследования – оценка воздействия объектов накопленного вреда на жизнь и здоровье граждан на примере Пермского края для определения последующей очередности ликвидации.

Материалы и методы. Оценка объектов накопленного вреда была проведена в отношении 29 объектов Пермского края. Каждый ОНВОС региона отнесен к определенному типу объектов: объекты размещения отходов и загрязненные территории.

Оценка воздействия ОНВОС на жизнь и здоровье граждан осуществлялась в соответствии с «Методикой осуществления оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан», утвержденной приказом Роспотребнадзора от 27.11.2023 № 851 (далее – Методика). Согласно Методике все объекты оценивались по унифицированному перечню показателей, отражающих особенности влияния каждого типа объектов на качество объектов среды обитания и здоровья населения (наличие в составе отходов опасных примесей, близость к населенным пунктам, расположение объектов в зоне чрезвычайных ситуаций, наличие гидроизоляционных сооружений, содержание опасных загрязняющих веществ в воде, воздухе, почве селитебной территории и т.д.). По результатам расчета оценки риска объекты относили к одной из установленных категорий риска здоровью: низкий, умеренный, средний, высокий, очень высокий. Объекты высокого и очень высокого риска подлежат ликвидации в приоритетном порядке.

Исходными данными для оценки объектов накопленного вреда являлись фондовые материалы (проектная документация, результаты оценки объектов, проведенные Росприроднадзором и др.). При учете всех данных были составлены программы лабораторных исследований для каждого объекта для определения компонентов среды обитания как в зоне влияния ОНВОС, так и на жилой застройке. После обработки полученных данных были заполнены программные модули для расчета категории риска по каждому объекту.

Результаты. Полученные результаты оценки риска объектов накопленного вреда свидетельствуют о потенциальной угрозе жизни и здоровью граждан. Большинство объектов расположены в границах населенных пунктов региона: от небольших сельских поселений (отработанные участки угольных месторождений) до краевого центра (свалка твердых коммунальных отходов). Ряд объектов характеризуется продолжительной длительностью существования – более десятка лет. Например, разливы кислых шахтных вод являются загрязнителями водных объектов и почвы в течение 60 лет.

Практически все объекты содержат в составе отходов вещества, обладающие мутагенными, репротоксичными, эмбриотоксичными и канцерогенными эффек-

тами. При этом только один объект имеет защитный барьер, препятствующий проникновению опасных загрязняющих веществ в среду обитания.

Крайне опасным для населения является близкое расположение объектов к землям сельскохозяйственного назначения и водоемам. Так, треть объектов накопленного вреда расположено на расстоянии менее 50 м от водных объектов, используемых для хозяйственно-бытовых целей или для рекреации. Часть ОНВОС граничит с сельскохозяйственными угодьями и создает угрозу миграции вредных примесей в продукты питания.

Фондовые материалы о подстилающих породах показали, что грунтовые воды залегают не более чем в 2 м под телом объектов. Это свойственно для тех объектов, где имелась такая информация. Тем самым возможен огромный недоучет факторов воздействия именно этого показателя по другим объектам, так как существует угроза фильтрации загрязнения в верхний водоносный горизонт и дальнейшее распространение по другим средам обитания.

По результатам инструментальных исследований было выявлено химическое загрязнение окружающей среды, особенно характерное для объектов промышленного характера. В качестве примера приведены результаты химического загрязнения почв в зоне влияния накопителя производственных и бытовых отходов бывшего химического завода (табл. 1). Объект расположен в крупном населенном пункте и граничит с источником водоснабжения, который далее попадает в водный объект, используемый для питьевых целей.

Т а б л и ц а 1

Загрязнение почв в зоне влияния накопителя производственных и бытовых отходов бывшего химического завода и потенциальные негативные эффекты для здоровья

Показатель	Значение показателя, мг/кг		Потенциальные негативные эффекты для здоровья
	максимальное	фоновое	
Нефтепродукты	2840	120 ± 36	Воздействие на органы дыхания и нервную систему
Анионоактивные ПАВ	547	4,80 ± 1,70	Поражение нервной системы
Алюминий	417	67 ± 16,8	Поражение нервной системы, печени
Ртуть	0,053	0,002 ± 0,0004	Влияние на нервную систему, развитие, почки
Железо	44306	2680 ± 536	Воздействие на желудочно-кишечный тракт
Барий	7899	66,9 ± 20,1	Влияние на мочеполовую систему
Ванадий	118	36 ± 13	Влияние на мочеполовую систему
Медь	437	1,60 ± 0,40	Поражение сердечно-сосудистой системы, нервной системы, органов дыхания
Цинк	101	66 ± 20	Воздействие на иммунную систему и кровь
Марганец	819	62 ± 15,5	Влияние на нервную систему
Хром (VI)	6,5	1,54 ± 0,39	Канцероген. Воздействие на систему крови
Свинец	1091	59 ± 18	Канцероген. Негативное влияние на нервную систему, кровь, развитие, и пр.
Никель	29	6,50 ± 1,63	Канцероген. Системное поражение
Кадмий	0,81	0,51 ± 0,13	Канцероген. Негативное воздействие на почки
Кобальт	1,1	0,25 ± 0,06	Канцероген. Воздействие на эндокринную систему
Мышьяк	1,74	0,30 ± 0,15	Канцероген. Влияние на развитие, сердечно-сосудистую систему, нервную систему и пр.

Анализ результатов показал, что почвы в зоне влияния объекта загрязнены соединениями металлов, в том числе подвижными их формами, нефтепродуктами, анионоактивными поверхностно-активными веществами (АПАВ). Все эти примеси потенциально воздействуют на здоровье населения. Соединения хрома, свинца, кадмия, никеля, мышьяка являются канцерогенами. При этом были выявлены значительные превышения фоновых значений (медь – до 273 раз, барий – до 118 раз, АВАВ – до 114 раз, ртуть – до 26,5 раза, нефтепродукты – до 23,7 раза, свинец – до 18,5 раза, железо – до 16,5 раза, марганец – до 13,2 раза, алюминий – до 6,2 раза, мышьяк – до 5,8 раза, хром – до 4,6 раза, никель – до 4,5 раза, кобальт – до 4,4 раза, ванадий – до 3,3 раза, кадмий – до 1,6 раза, цинк – до 1,5 раза).

В воде водного объекта были установлены превышения гигиенических нормативов по железу, марганцу и другим примесей, характерных для состава ОНВОС (с кратностью до 9 ПДК). Основные примеси в атмосферном воздухе были в пределах гигиенических нормативов, однако были выявлены в значимых концентрациях.

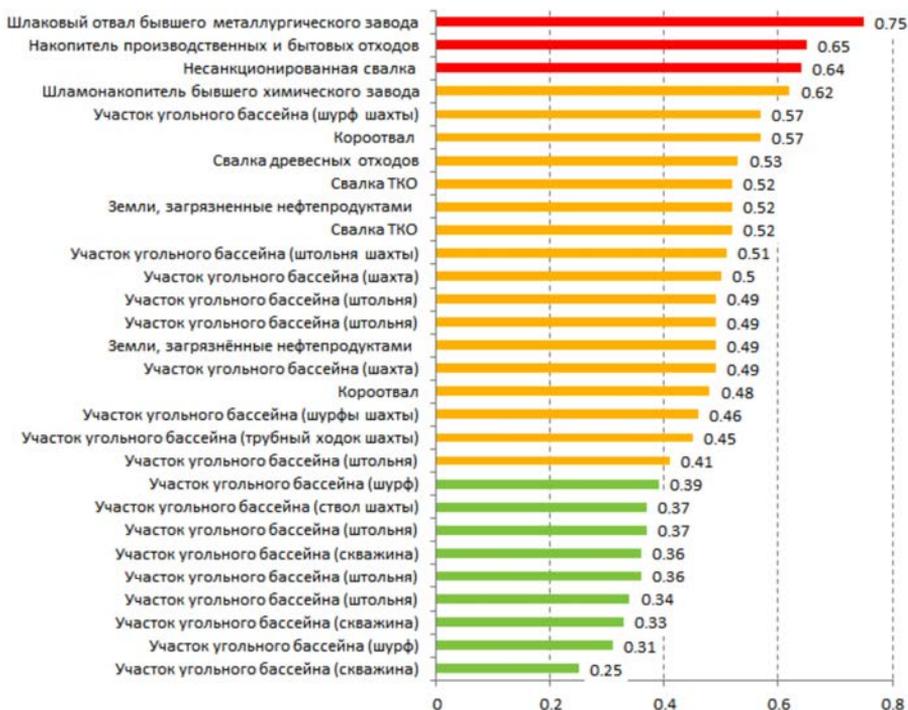
В зонах влияния объектов накопления твердых коммунальных отходов были выявлены факты нарушения гигиенических требований содержания микробиологических показателей. В зонах влияния свалок ТКО в почвах наблюдалось повышенное содержание общих колиформных бактерий до 100 КОЕ/г и более и энтерококков до 100 КОЕ/г (при допустимом уровне 1–9 КОЕ/г в обоих случаях). В водоемах, используемых для рекреационных целей и прилегающих к таким объектам, выявлены *Escherichia coli* на уровне 130 КОЕ/100 см³ (при допустимом уровне не более 100 КОЕ/100 см³), энтерококки до 240 КОЕ/100 см³ (при допустимом уровне не более 10 КОЕ/100 см³).

Проведенный пул работ позволил оценить уровень риска и проранжировать объекты накопленного вреда по степени воздействия на здоровье населения (рисунок).

По результатам комплексной оценки 4 объекта были отнесены к категории «объект высокого риска» ($R = 0,75 \div 0,62$). Объекты высокого риска характеризуются схожими признаками. Все объекты расположены в крупных населенных пунктах с численностью населения от 50 тыс. до 1 млн человек. Длительное существование как «бесхозные объекты» и значительный объем накопленных отходов – данные признаки характерны для всех объектов высокого риска. В составе отходов присутствуют опасные загрязняющие вещества, превышающие гигиенические нормативы, что создает высокую опасность загрязнения близлежащих населенных территорий. У трех объектов отсутствуют защитные сооружения, которые препятствуют попаданию опасных примесей в другие среды обитания (табл. 2).

Оценка риска здоровью показала, что данные объекты подлежат ликвидации в первоочередном порядке.

Порядка 16 объектов характеризовались уровнем «среднего риска» ($R = 0,51 \div 0,41$), 9 объектов формировали «умеренный риск» для здоровья населения ($R = 0,39 \div 0,25$). Объекты среднего и умеренного риска в Пермском крае – это небольшие свалки коммунальных и промышленных отходов, отработанные угольные участки, земли, загрязненные нефтепродуктами, зачастую расположенные за пределами населенных пунктов или небольших поселений. По многим таким объектам не зафиксированы превышения гигиенических нормативов, однако часть объектов расположены в туристической зоне края, поэтому целесообразна ликвидация таких объектов и восстановление природной среды.



■ Объекты высокого риска ■ Объекты среднего риска ■ Объекты умеренного риска

Рис. Результаты оценки и ранжирования объектов накопленного вреда окружающей среде в Пермском крае вреда по степени воздействия на здоровье населения

Таблица 2

Основные показатели объектов высокого риска причинения вреда здоровью населения

Объект накопленного вреда окружающей среде	Несанкционированная свалка	Накопитель производственных и бытовых отходов бывшего химического завода	Шламонакопитель бывшего химического завода	Шлаковый отвал бывшего металлургического завода
Период существования, лет	27	12	12	4
Площадь, га	11,60	5,78	1,33	34,18
Объем отходов, тыс. м ³	177,1	22,7	24,4	461,3
Наличие в отходах веществ с канцерогенным, эмбриотоксичным, тератогенным и репротоксичным эффектом	да	да	да	да
Расположение в черте населенного пункта	да	да	да	да
Население под воздействием объекта, тыс. человек	1049,2	151,3	151,3	60,3
Расстояние до ближайшего водоема, м	680	5	18	5
Глубина залегания грунтовых вод, м	1,6	1,0	0,5	1,2
Наличие обваловок, ограждений и пр.	нет	нет	да	нет

Полученные результаты свидетельствуют об адекватности оценки работ. Проведенный всесторонний анализ всех факторов полностью отражает суть выполненных оценок и способствует дальнейшему принятию решения по ликвидации объектов.

Выводы. Оценка риска объектов накопленного вреда показала, что из 29 объектов 4 были оценены как объекты высокого риска ($R = 0,75 \div 0,62$). Порядка 16 ОНВОС формировали средний уровень риска ($R = 0,51 \div 0,41$), для 9 объектов был установлен умеренный риск для здоровья населения ($R = 0,39 \div 0,25$).

Объекты высокого риска имели ряд схожих признаков: длительное существование, большой объем накопленных отходов, расположение в крупных поселениях, близость к водным объектам, отсутствие защитных сооружений и превышения гигиенических нормативов почти во всех средах обитания.

Объекты среднего и умеренного риска более «безопасные» для населения, проживающего в зонах влияния таких объектов. По таким объектам концентрации в средах обитания (почва, вода водных объектов, атмосферный воздух) зачастую не фиксировались выше нормативов.

Таким образом, 4 объекта высокого риска являются приоритетными и подлежат ликвидации в первоочередном порядке. Отнесение объектов накопленного вреда окружающей среде к умеренному и среднему риску не позволяет их считать приоритетными, и дальнейшая ликвидация объектов будет осуществляться в среднесрочной перспективе.

Список литературы

1. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.
2. Сидорова А.Ю., Макарова Е.А. Объекты накопленного экологического вреда в России – сегодня и завтра // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы: материалы научно-практической конференции с международным участием. – М., 2020. – С. 184–191.
3. Клепиков О.В. Оценка риска для здоровья населения от объектов накопленного вреда окружающей среде – свалок твердых коммунальных отходов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 12 (138). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.36.
4. Куликова О.А., Мазлова Е.А. Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде в условиях Арктики: подходы и ограничения рекультивации нефтезагрязненных земель // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 4 (36). – С. 26–37.
5. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development / G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva, I.V. May [et al.]. – Moscow, Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014. – 686 p.
6. Генеральная уборка: Федеральный проект [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/gencleaning/> (дата обращения: 18.04.2025).
7. Пичугин Е.А. К вопросу оценки загрязнения почвы вблизи объектов накопленного вреда окружающей среде // Химия. Экология. Урбанистика. – 2023. – Т. 1. – С. 176–181.

8. Анисимов П.И., Пичугин Е.А. Оценка площади загрязненной территории вблизи объектов накопленного вреда окружающей среде // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 8. – С. 42–47.

9. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. Здоровье граждан и продолжительность их жизни как критерий при оценке негативного воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на состояние окружающей среды и человека // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 3. – С. 62–70.

10. Оценка качества среды обитания и рисков для здоровья населения г. Закаменска – территории длительного хранения отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината / С.А. Вековщина, С.В. Клейн, С.С. Ханхареев, Л.В. Макарова, Е.В. Мадеева, А.А. Болошинова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 15–20.

11. Нефтешламовые амбары как объекты накопленного вреда окружающей среде и источники риска для здоровья населения / И.В. Май, Е.В. Максимова, Р.М. Термулаева, Р.Х. Хамидов, Л.Э. Сардалова, И.И. Ирипханов // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 11. – С. 1283–1289

12. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2023 году: Государственный доклад. – Пермь: Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, 2023. – 112 с.

О результативности и эффективности в анализе управления рисками здоровью: бюджетный и макроэкономический подходы

О.И. Голева^{1,2}

¹ ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

² ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Россия

Рассматриваются методологические аспекты экономической оценки результативности и эффективности мероприятий, направленных на снижение рисков для здоровья населения. Особое внимание уделено различиям между бюджетным и макроэкономическим подходами к анализу, где бюджетные расходы/доходы и вклад в ВВП трактуются как неэквивалентные метрики. Исследуются показатели результативности (достижение целей) и эффективности (соотношение результатов и затрат) на уровнях государства, предприятий и домохозяйств. Отмечено противоречие между краткосрочными бюджетными интересами и долгосрочными макроэкономическими эффектами, а также необходимость применения комплексных методик оценки.

Ключевые слова: результативность, эффективность, управление рисками здоровью, бюджетный подход, макроэкономический анализ, отложенные эффекты.

О том, как проводить экономическую оценку эффективности проектов и мероприятий, сказано много: подходы, методики, основные показатели и т.д. Сам же термин «эффективность» трактуется по-разному. В ГОСТ Р ИСО 9000-2008 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» выделены как категория «эффективность» («связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами»), так и «результативность» («степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов»)¹.

Стоит отметить, что в некоторых случаях наблюдается смешение понятий эффективности и результативности, когда «эффективность» не предусматривает сопоставления эффектов (в том числе отложенных) с затраченными ресурсами и / или предусматривает сопоставление вложенных средств с натуральными показателями (в том числе в их стоимостной оценке) [1, 2].

Соподчиненность показателей результативности и эффективности по типам и уровням субъектов экономических отношений представлена далее в таблице.

Система показателей результативности и эффективности мероприятий по снижению рисков для здоровья работающего населения

Субъект экономических отношений	Показатель					
	Результативность в натуральном выражении		Результативность в денежном выражении		Экономическая эффективность, в денежном выражении	
	абс., шт. / дни / и пр. (эффект)	отн., %	абс., ден.ед. (эффект)	отн., %	абс., ден.ед. (эффект)	отн., %
Государство	Изменение продолжительности болезни; изменение количества случаев заболеваний; изменение количества смертельных случаев в результате заболеваний; изменение продолжительности жизни, и др.	Отношение изменения абсолютного показателя к сумме вложенных средств	Изменение ВВП (как отрицательное, так и положительное) в результате сокращения периода нетрудоспособности	Отношение изменения ВВП (как отрицательное, так и положительное) к сумме вложенных средств	Изменение денежных потоков по бюджетам бюджетной системы РФ и бюджетам внебюджетных фондов	Отношение изменения денежных потоков по бюджетам бюджетной системы РФ и бюджетам внебюджетных фондов к сумме вложенных средств
Предприятие / организация			Изменение добавленной стоимости производимого продукта	Отношение изменения добавленной стоимости производимого продукта к сумме вложенных средств	Изменение денежных потоков предприятия (экономика, дополнительные доходы)	Отношение изменения денежных потоков предприятия (экономика, дополнительных доходов) к сумме вложенных средств
Домохозяйство / человек			1. Для занятого населения (по трудовому договору) подход не применим. 2. для самозанятого населения подход применим аналогично предприятиям	Изменение доходов и расходов человека	Отношение изменения доходов и расходов человека к сумме вложенных средств	

Представленный в таблице подход основан на классической теории оценки эффективности инвестиций с адаптацией для целей оценки результативности и эффективности мероприятий, направленных на снижение рисков для жизни и здоро-

¹ ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» / утв. Приказом Ростехрегулирования от 18.12.2008 № 470-ст [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200068733> (дата обращения: 18.03.2025).

вья населения. Этот подход (классический), разграничивает показатели результативности и эффективности (даже если они выражены в стоимостных единицах) и дает возможность сопоставления однородных показателей по уровням участников экономических отношений. В предложенной системе представлены как абсолютные, так и относительные показатели.

Как правило, под эффективностью понимают относительный эффект процесса, операции, проекта, определяемые как отношение эффекта к затратам / расходам, обусловившим, обеспечившим его получение. Сопоставление эффектов и затрат на мероприятия направленные на снижение рисков для жизни и здоровья населения / человека осуществляется на основе классических подходов и показателей, адаптированных для различных субъектов экономических отношений.

«Сопоставление затрат и эффектов проводится классическим для оценки экономической эффективности путем:

– *абсолютные показатели эффективности* (как разница приведенных эффектов и вложений, NPV), в денежных единицах (где результат выше 0 говорит о наличии эффекта);

– *относительные показатели эффективности* (как отношение чистых приведенных эффектов в стоимостном выражении к вложенным средствам, P и PI), в процентах (где значение будет характеризовать количество денежных единиц на денежную единицу; экономически эффективными будут считаться мероприятия с показателем выше 0).

– «*срок окупаемости*» (PP или DPP) целесообразно рассчитывать только для мер и мероприятий, которые осуществляются продолжительное время и / или с регулярной периодичностью, в таком случае можно оценить период времени, когда чистые положительные эффекты превысят расходы на эти мероприятия» [3].

Отметим, что большинство исследований экономической эффективности инвестиций в здоровье направлены на оценку выгод для государства и работодателей. Современный инструментарий оценки экономической эффективности предполагает учет в качестве эффекта главным образом предотвращение потерь ВВП и не дает возможности для инициатора указанных мероприятий оценить влияние профилактических мероприятий на денежные потоки, доходы и т.д. Этот подход отражен в «Методологии расчета экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения»¹. Минусы такого подхода отмечены рядом авторов [4, 5].

Так, нередко сравнение и сопоставление вложенных средств и эффектов происходит в разных единицах измерения. Расходы государства на лечение и профилактику заболеваний изначально сформулированы в рублях «из бюджета», что позволяет оценивать прямое влияние [6], но сложности возникают с оценкой косвенных эффектов (недополученные налоговые поступления). В то же время уже предложены отдельные подходы к оценке потерь бюджетов бюджетной системы РФ [7].

Речь идет не только о рублях и натуральных единицах. Несмотря на то что рубли ВВП и рубли «из бюджета» являются стоимостными показателями и измеряются в денежных единицах, они не являются эквивалентными.

¹ Об утверждении Методологии расчета экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения: Приказ Минэкономразвития, Минздравсоцразвития, Минфина и Росстата от 10 апреля 2012 года № 192/323н/45н/113 [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902344829?marker=6500IL> (дата обращения: 18.03.2025).

С методологической позиции бюджетные показатели характеризуют прямые расходы и доходы государственной казны, учитывая: источники финансирования, статьи расходов, критерии эффективности (снижение нагрузки на бюджет, достижение социальных показателей). В то же время макроэкономические показатели, включая вклад в ВВП, отражают совокупную добавленную стоимость в экономике, влияние на производительность труда, долгосрочные эффекты для человеческого капитала.

Важно отметить противоречие, которое необходимо учитывать при выборе единиц измерения в экономической оценке: разнонаправленность интересов субъектов. Мероприятия, «выгодные» бюджету (например, сокращение расходов на лечение), могут негативно сказаться на ВВП за счет снижения оборота фармацевтического рынка и медицинских услуг.

Кроме того, бюджетные оценки часто ориентированы на краткосрочные результаты, тогда как макроэкономические эффекты проявляются в длительной перспективе. Макроэкономические показатели в большей степени могут отражать нематериальные выгоды (качество жизни, демографические аспекты), которые не находят прямого отражения в бюджетной отчетности.

В многоуровневой оценке результативности и эффективности важно отметить, что изменение показателей результативности и эффективности нельзя суммировать, несмотря на одни и те же единицы измерения (в том числе для одного субъекта экономических отношений).

В системе экономической оценки мероприятий по снижению рисков здоровью принципиальное значение имеет четкое разграничение бюджетных и макроэкономических показателей эффективности. Проведенный анализ демонстрирует, что «рубли из бюджета» и «рубли ВВП» представляют собой принципиально разные метрики, отражающие различные экономические процессы и интересы субъектов.

Для преодоления указанных ограничений целесообразно использовать три ключевых компонента в оценке:

- социальные эффекты,
- бюджетная эффективность,
- макроэкономический вклад.

Эти методологические различия имеют важные практические последствия:

- могут приводить к ошибочным управленческим решениям при ориентации только на один тип показателей,
- создают объективную основу для межведомственных противоречий,
- требуют применения комплексных оценочных методик.

Список литературы

1. Концевая А.В., Драпкина О.М. Экономика профилактики неинфекционных заболеваний // Профилактическая медицина. – 2018. – Т. 21, № 2–1. – С. 4–10. DOI: 10.17116/profmed20182124-10
2. Фролов М.Ю., Саласюк А.С., Рогов В.А. Анализ влияния на бюджет здравоохранения и потребителей использования препарата омега-3 кислот этиловых эфиров 90 при лечении пациентов с атерогенной дислипидемией // Кардиология. – 2021. – Т. 61, № 10. – С. 36–45. DOI: 10.18087/cardio.2021.10.n1722
3. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр

медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 1. – 580 с.

4. Дядик В.В., Дядик Н.В., Ключникова Е.М. Экономическая оценка ущерба здоровью населения от негативных экологических воздействий: обзор основных методологических подходов // Экология человека. – 2021. – № 2. – С. 57–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-2-57-64

5. Анализ стоимости болезни – проблемы и пути решения / В.В. Омеляновский, М.В. Авксентьева, Е.В. Деркач, Н.Д. Свешникова // Педиатрическая фармакология. – 2011. – Т. 8, № 3. – С. 6–12.

6. Деева Т.В. Влияние на бюджет Российской Федерации последствий коронавирусной инфекции // Экономика и социум: современные модели развития. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 247–256. DOI:10.18334/ecsoc.10.3.111153.

7. Голева О.И. Оценка налоговых потерь от смертности и заболеваемости населения: подходы к оценке (на примере Пермского края) // Пермский финансовый журнал. – 2016. – № 1 (14). – С. 51–59.

Факторы риска заболеваемости ОРВИ: роль погодно-климатических факторов и санитарно-эпидемиологического состояния территорий

М.В. Глухих, С.В. Клейн

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Заболеваемость острыми респираторными вирусными инфекциями (ОРВИ) остается значимой проблемой общественного здравоохранения, оказывая существенное влияние на экономику и социальную сферу. Целью данного исследования являлось выявление факторов риска заболеваемости ОРВИ среди погодно-климатических условий и показателей санитарно-эпидемиологического состояния территорий. В работе использованы данные официальной статистики Росстата и Роспотребнадзора, характеризующие заболеваемость ОРВИ, погодно-климатические условия и санитарно-эпидемиологическое состояние территорий. Проведен корреляционный анализ для выявления взаимосвязей между исследуемыми факторами. Установлена прямая связь заболеваемости ОРВИ с уровнем осадков и обратная связь с интенсивностью ультрафиолетового излучения и среднемесячной горизонтальной радиацией. Выявлены взаимосвязи между заболеваемостью ОРВИ с долей рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам труда, а также с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Полученные результаты подтверждают значимую роль факторов среды обитания в формировании заболеваемости ОРВИ и необходимость их учета при разработке профилактических мероприятий.

Ключевые слова: ОРВИ, заболеваемость, факторы риска, погодно-климатические факторы, санитарно-эпидемиологические факторы.

Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) представляют собой группу широко распространенных заболеваний, характеризующихся высокой контагиозностью и способностью вызывать эпидемии и пандемии, что обуславливает их значительное медико-социальное и экономическое бремя [1]. Несмотря на достигнутые успехи в области профилактики и лечения, проблема заболеваемости ОРВИ остается актуальной. Интенсивность эпидемического процесса ОРВИ подвержена влиянию множества факторов, включая климатические условия [2] и санитарно-эпидемиологическое состояние территорий [3]. Исследования показывают, что изменения климата и ухудшение экологической обстановки могут приводить к увеличению заболеваемости, в том числе респираторными инфекциями [4]. В связи с этим выявление и анализ факторов риска заболеваемости ОРВИ, связанных с погодно-климатическими условиями и санитарно-эпидемиологическим состоянием территорий, является важной задачей общественного здравоохранения.

Цель исследования – выявление взаимосвязей между погодно-климатическими и санитарно-эпидемиологическими факторами и заболеваемостью ОРВИ.

Материалы и методы. В работе использованы данные формы № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» по заболеваемости ОРВИ за период 2010–2019 гг., предоставленные Федеральной службой государственной статистики (Росстат) и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Санитарно-эпидемиологическое состояние территорий оценивалось на основе показателей, характеризующих качество атмосферного воздуха, водоснабжения, условия труда и другие факторы, согласно форме № 18 «Сведения о санитарном состоянии субъекта Российской Федерации». Для анализа взаимосвязей между заболеваемостью ОРВИ и исследуемыми факторами был применен корреляционный анализ с использованием программного пакета MS Excel 2010. Используемый методический подход применялся в предыдущих работах авторов [5, 6]. Статистическая значимость результатов оценивалась на уровне $p \leq 0,05$.

Результаты. Погодно-климатические факторы. Выполненный статистический анализ показал наличие прямой связи заболеваемости ОРВИ всего населения с таким погодно-климатическим показателем, как «Среднее количество осадков, мм» за год ($r = 0,27$; $p \leq 0,05$) и по месяцам – апрель – декабрь ($r = 0,08–0,26$; $p \leq 0,05$). Данный факт согласуется с данными литературы, указывающими на то, что повышенная влажность может способствовать выживаемости респираторных вирусов в окружающей среде, особенно в закрытых помещениях, способствуя их распространению [7]. Кроме того, установлена обратная связь заболеваемости ОРВИ с «Ультрафиолетовым излучением В (УФ-В 280–315 нм) при любых условиях неба, Вт/м²» за год ($r = -0,7$; $p \leq 0,05$) и по всем месяцам ($r = -0,57–(-)0,69$; $p \leq 0,05$), а также со «Среднемесячной горизонтальной радиацией при любых условиях неба» за год ($r = -0,66$; $p \leq 0,05$). Полученный результат может быть обусловлен дезинфицирующим эффектом ультрафиолетового излучения, способного инактивировать вирусы в воздухе и на поверхностях [8]. Закономерное снижение интенсивности солнечной радиации в зимний период создает благоприятные условия для увеличения заболеваемости ОРВИ.

Подтверждена выраженная отрицательная корреляция между заболеваемостью ОРВИ и средней дневной температурой воздуха за год ($r = -0,53$) и по месяцам (от $-0,38$ до $-0,58$). Эта обратная зависимость четко отражает сезонность забо-

леваемости ОРВИ, пик которой приходится на холодное время года. Низкие температуры способствуют увеличению времени выживания вирусов вне организма хозяина и повышают восприимчивость слизистых оболочек дыхательных путей к инфекции [9].

Наряду с общими тенденциями выявлены некоторые нюансы корреляций между заболеваемостью и показателями инфракрасного излучения. Например, несмотря на общую обратную корреляцию, в отдельные месяцы (например, май) связь заболеваемости ОРВИ и среднемесячной горизонтальной радиации ослабевает ($r = -0,29$), что требует дальнейшего изучения. Возможно, в периоды с высокой интенсивностью солнечного излучения активируются другие факторы, влияющие на заболеваемость, такие как изменение поведения населения (больше времени на открытом воздухе) или особенности циркулирующих штаммов вирусов.

Санитарно-эпидемиологическое состояние территорий. По результатам анализа причинно-следственных связей показателя заболеваемости ОРВИ всего населения с группой факторов, характеризующих санитарно-эпидемиологическое состояние территорий, установлены достоверные прямые связи со следующими показателями: «Удельный вес рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам условий труда» – как в целом ($r = 0,43$; $p \leq 0,05$), так и по отдельным факторам – микроклимат, АПФД, химический фактор, тяжесть трудового процесса, шум ($r = 0,1-0,46$; $p \leq 0,05$); «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тысяч тонн» – от всех источников, от стационарных источников ($r = 0,2-0,23$; $p \leq 0,05$). Установленные связи могут объясняться повышенным повреждением тканей и органов дыхательной системы в ходе влияния на них факторов производственной среды и качества атмосферного воздуха, вследствие чего входные ворота инфекции с аэрозольным механизмом передачи становятся более уязвимыми для адгезии инфекционного агента с его последующим внедрением, репликацией и, как итог, развитием симптомов заболевания.

Получена обратная зависимость показателя «Удельный вес населения в сельской местности, обеспеченного качественной питьевой водой, %» с заболеваемостью ОРВИ взрослого населения ($r = -0,2$; $p \leq 0,05$), детского населения ($r = -0,22$; $p \leq 0,05$). По результатам анализа данный фактор связан с уровнем обеспеченности качественной питьевой водой и в городских поселениях. Установлена зависимость показателя заболеваемости по причине ОРВИ с показателем «Доля проб, превышающих ПДК, на промышленных предприятиях (пыль и аэрозоли), %» ($r = 0,07$; $p \leq 0,05$), подтверждая влияние факторов производственной среды на развитие и течение инфекционного заболевания.

Выявлена положительная корреляция между заболеваемостью ОРВИ и выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух ($r = 0,23$), а также долей рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам труда ($r = 0,43$).

Особенно значима связь заболеваемости ОРВИ с удельным весом рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам по повышенному уровню шума, ультразвука, инфразвука ($r = 0,46$), а также с тяжестью трудового процесса ($r = 0,35$) и химическим фактором ($r = 0,3$). Загрязнение воздуха и неблагоприятные факторы производственной среды могут оказывать раздражающее и повреждающее воздействие на слизистые оболочки дыхательных путей, снижая их барьерную функцию и повышая восприимчивость к вирусной инфекции [10, 11].

Корреляции между заболеваемостью и долей проб, превышающих ПДК на промышленных предприятиях, особенно по пыли и аэрозолям ($r = 0,11$), подтверждают роль производственной среды в распространении респираторных инфекций. Пыль и аэрозоли, содержащие различные химические вещества, могут адсорбировать на своей поверхности вирусы и способствовать их переносу на значительные расстояния, увеличивая риск заражения [12]. Кроме того, раздражающее действие пыли и аэрозолей на слизистые оболочки дыхательных путей также повышает восприимчивость к инфекции. Хроническое воздействие шума и других неблагоприятных факторов может приводить к ослаблению иммунитета, увеличивая вероятность заболеть, что, в свою очередь, может привести к увеличению заболеваемости.

Полученные результаты подтверждают, что факторы окружающей среды и условия труда могут оказывать определенное влияние на заболеваемость ОРВИ. Учет этих факторов необходим при разработке эффективных профилактических мероприятий, направленных на снижение заболеваемости и укрепление здоровья населения.

Выводы. Проведенное исследование подтвердило значимую роль погодноклиматических факторов и санитарно-эпидемиологического состояния территорий в формировании заболеваемости ОРВИ. Выявленные корреляции демонстрируют влияние температуры, тепловой радиации Солнца, загрязнения окружающей среды, качества воды и условий труда на интенсивность заболеваемости. Полученные данные могут быть использованы для разработки адресных профилактических мероприятий, включая улучшение условий труда, снижение загрязнения окружающей среды и обеспечение населения качественной питьевой водой, а также оптимизацию режимов обеззараживания воздуха в помещениях в зимний период. Дальнейшие исследования необходимы для углубленного изучения механизмов влияния факторов окружающей среды и разработки эффективных стратегий профилактики. Перспективным направлением является создание прогностических моделей заболеваемости ОРВИ, учитывающих комплексное воздействие факторов среды обитания и позволяющих прогнозировать эпидемические подъемы заболеваемости.

Список литературы

1. Global burden of respiratory infections due to seasonal influenza in young children: a systematic review and meta-analysis / H. Nair, W.A. Brooks, M. Katz [et al.] // *Lancet*. – 2011. – Vol. 378 (9807). – P. 1917–1930. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)61051-9
2. Environmental predictors of seasonal influenza epidemics across temperate and tropical climates / J.D. Tamerius, J. Shaman, W.J. Alonso [et al.] // *PLoS pathogens*. – 2013. – Vol. 9 (3). – e1003194. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003194
3. Environmental health [Электронный ресурс] // World Health Organization. – URL: www.who.int/health-topics/environmental-health (дата обращения: 10.03.2025).
4. Sorensen C., Hess J. Treatment and Prevention of Heat-Related Illness // *The New England journal of medicine*. – 2022. – Vol. 387 (15). – P. 1404–1413. DOI: 10.1056/NEJMcsp2210623
5. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

6. Вариативность параметров эпидемического процесса COVID-19, обусловленная влиянием региональных социально-гигиенических факторов / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, В.Б. Алексеев [и др.] // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 510–518. DOI: 10.47470/0044-197X-2023-67-6-510-518
7. Weber T.P., Stilianakis N.I. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review // *The Journal of infection*. – 2008. – Vol. 57 (5). – P. 361–373. DOI: 10.1016/j.jinf.2008.08.013
8. Sensitivity of influenza virus to ultraviolet irradiation / M. Hessling, A.M. Gierke, B. Sicks [et al.] // *GMS hygiene and infection control*. – 2022. – Vol. 17. DOI: 10.3205/dgkh000423
9. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature / A.C. Lowen, S. Mubareka, J. Steel, P. Palese // *PLoS pathogens*. – 2007. – Vol. 3 (10). – P. 1470–1476. DOI: 10.1371/journal.ppat.0030151
10. The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence / H.M. Tran, F.J. Tsai, Y.L. Lee [et al.] // *The Science of the total environment*. – 2023. – Vol. 898. – P. 166340. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166340
11. The Occupational Burden of Nonmalignant Respiratory Diseases. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Statement / P.D. Blanc [et al.] // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. – 2019. – Vol. 199 (11). – P. 1312–1334. DOI: 10.1164/rccm.201904-0717ST
12. Flu virus hitches a ride with haze particles deep into the lung // *Nature*. – 2023. – Vol. 618 (7966). – P. 651. DOI: 10.1038/d41586-023-01898-x

Климатические изменения в субъективных оценках населения России

А.О. Барг¹, М.Д. Корнилицына²

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Россия

На основе вторичного анализа данных опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) и Фонда общественного мнения (ФОМ) за период с 2020 по 2025 г. рассматриваются субъективные оценки климатических изменений населением России. Исследуются степень осознания проблемы, представления о ее причинах и последствиях, уровень обеспокоенности и отношение к мерам по борьбе с изменениями климата. Выявляется динамика ключевых характеристик субъективных оценок климатических изменений и их дифференциация в зависимости от социально-демографических параметров.

Ключевые слова: изменение климата, глобальное потепление, общественное мнение, восприятие.

Восприятие климатических изменений населением представляет собой сложный социокультурный феномен, формирующийся под воздействием информационного окружения, региональных условий проживания и личного опыта [1].

Несмотря на наличие достоверных научных данных, которые подтверждают устойчивые тенденции глобального потепления [2], субъективные оценки демонстрируют значительную вариативность. Такие расхождения обусловлены как низким уровнем осведомленности о фактах, связанных с изменением климата, так и доминированием локальных социальных проблем над глобальными нарративами. В результате представления населения часто опосредованы исключительно повседневным опытом, что приводит к формированию поляризованных взглядов, недоверию к лицам, принимающим решения, и низкой оценке эффективности мер, направленных на минимизацию негативных последствий климатических изменений.

Данная работа ориентирована на рассмотрение субъективных оценок климатических изменений населением России на основе данных опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) и Фонда общественного мнения (ФОМ) за период с 2020 по 2025 г. и выявление ключевых аспектов социальных установок: 1) осознание проблемы; 2) представления о причинах и последствиях; 3) уровень обеспокоенности; 4) отношение к мерам по борьбе с изменением климата. Особенности восприятия характеризуются также в разрезе социально-демографических параметров населения.

Тема климатических изменений оказывается отнюдь не актуальной в построенном на оценках населения рейтинге повседневных проблем. Наиболее популярными в этом списке являются задачи, связанные с инфраструктурными решениями, например, «дорожные проблемы, пробки, низкое качество ремонта дорог» (24 % от опрошенных), «грязь, плохая уборка территорий, вывоз мусора» (12 %), в то время как климат отметили лишь 1 % респондентов наряду с жилищными проблемами, угрозами терактов и коррупцией, а экологические проблемы в целом обозначили 11 % [3]. Стоит пояснить, что вопрос был открытый, а следовательно, упоминания напрямую зависят от восприятия субъекта, в частности информационной повестки, опыта и памяти. Например, люди ранжируют климатические изменения среди других повседневных проблем на основе информированности, текущих социально-экономических и личных условий жизни [4].

Несмотря на то что факт климатических изменений признают 7 из 10 опрошенных [3], среди всех экологических проблем данная не определяется как наиболее значимая (выбрана 14 % респондентов в 2021 и 2024 гг. [3, 5]). В контексте глобального потепления изменения климата находят более четкое признание – так, факт теплой зимы поддерживают 80 % населения в текущем году, а в 2007 г. с тем, что зима становится все теплее, соглашались 96 % [6].

Анализ связи социально-демографических особенностей респондентов с осознанием проблемы изменения климата, проведенный на массиве данных ВЦИОМ (2023 г., $n = 1528$) [7], зафиксировал, что осознание проблемы изменения климата статистически связано только с полом. Мужчины в целом чаще выбирают данную проблему, по сравнению с женщинами ($OR = 1,473$; 95 % ДИ: 1,110–1,954). Однако среди выборки тех, кто отметил климатически изменения, женщины демонстрируют более высокую вовлеченность ($OR = 0,719$; 95 % ДИ: 0,565–0,915). Влияние других социально-демографических особенностей, в частности возраста, уровня

образования и материального положения, не является статистически значимым (гипотезы для возраста, образования и дохода проверены с помощью логистической регрессии). Недавние исследования подтверждают, что социально-демографические предикторы уступают по предсказательной возможности отношения к изменению климата таким характеристикам, как ценности, идеология и политическая ориентация [8].

Согласно результатам ВЦИОМ (2020) [9], чуть менее половины россиян (42 %) считают, что изменения климата не влияют на их повседневную жизнь, а доля тех, кто отмечает значительное влияние, составляет 18 %. Существуют различия восприятия в зависимости от места проживания. Так, жители сельской местности более остро ощущают влияние климатических изменений (26 % указывают на значительное влияние), в то время как в крупных городах доля таковых значительно ниже – 13–15 %. Опрошенные из малых городов также реже других категорий отмечают, что изменения климата совсем не затрагивают их жизни (36–44 %). Данные можно объяснить близостью населения малых городов и сельской местности к природе и зависимостью от условий окружающей среды, например, сельского хозяйства и земледелия, что связано с их средствами к существованию. В более широком контексте это означает, как социальные и управленческие структуры формируют ресурсы, доступные людям, которые сталкиваются с последствиями изменения климата [10].

В то же время при анализе восприятия населением последствий теплой зимы [6] выявляются и положительные эффекты от повышения температур (актуально для 22 % респондентов) для сельского хозяйства и увеличения урожайности (3 % ответов). Также опрошенные отмечали экономию на отоплении и более комфортные условия жизни в холодное время года. При этом отметим, что на негативные последствия глобального потепления указали вдвое больше – 48 % опрошенных (доминируют проблемы, связанные с ведением сельского хозяйства (20 %), и риск засухи (10 %)). Существенные опасения вызывают и возможные изменения в экосистемах, рост числа вредителей и увеличение риска различных заболеваний. Создаваемые в условиях климатических изменений вызовы особенно актуальны для коренного населения уязвимых регионов, например, Якутии [11], так как препятствуют проявлению закрепленной идентичности.

Большинство россиян (57 %) связывают изменения климата с деятельностью человека [3], а данные ВЦИОМ показывают, что их подавляющее число (84 %), причем наиболее остро проблему осознают молодые люди в возрасте 18–24 лет (93 %) [7]. Примечательно, что лишь 2 % опрошенных полагают, что человеческая деятельность не влияет на экосистему, а каждый двенадцатый (12 %) склонен считать, что существует лишь незначительное воздействие. Анализ связи между социально-демографическими характеристиками и оценкой влияния антропогенных факторов на окружающую среду выявил следующие закономерности: пол респондентов демонстрирует умеренную ассоциацию (V Крамера = 0,131; $p < 0,001$), уровень образования – слабую связь (V Крамера = 0,084; $p < 0,005$), возраст характеризуется незначительной положительной корреляцией (гамма = 0,088; $p < 0,005$), указывающей на усиление воздействия в сторону уменьшения возраста, то есть чем младше респондент, тем более вероятно он оценивает значение влияния человеческой деятельности на экологию. Эти данные отражают высокий уровень экологического сознания,

особенно у молодежи. Однако остаются группы, недооценивающие масштаб проблемы либо затрудняющиеся с оценкой.

Обратной стороной растущего экологического сознания является экологическая тревожность. Это проявление неблагополучия, вызванное состоянием окружающей среды, провоцирующее негативные социальные последствия [12]. По данным ФОМ [5], треть россиян (31 %) испытывают экологическую тревожность. При этом 14 % наблюдают экологическую тревожность у других, но сами остаются не затронутыми, тогда как 6 %, напротив, сталкиваются с ней исключительно на личном уровне. Практически половина участников опроса (47 %) не замечают проявлений этого феномена ни у себя, ни у других. Данные отражают, что для значительной части социума экологическая тревожность остается неочевидным переживанием, тогда как треть с ней борется.

Климатические изменения в восприятии контекста, связанного не с абстрактной экологической проблемой, а с проявлением субъективного опыта (аномально теплых зим), не усиливают уровень обеспокоенности – также треть респондентов (33 %) отмечают беспокойство, но большинство (62 %) не видят повода для тревоги [6]. Зафиксировано, что экологическая тревожность наиболее присуща женщинам, молодежи, населению со средним специальным образованием, людям с низким уровнем дохода и жителям малых городов и сёл.

Данные опросов демонстрируют интересный парадокс в области экологического поведения россиян: высокий уровень декларируемой готовности к участию в экологических мероприятиях сочетается с низким уровнем реальной вовлеченности, при этом население предпочитает пассивные формы участия. Так, практически каждый россиянин (94 %) готов участвовать в акциях, посвященных окружающей среде, например, в высадке деревьев [9]. Фиксируется и положительная динамика интереса к акции «Час Земли» – доля тех, кто впервые слышит о таком мероприятии, сокращается с 2013 г. к 2023 г. на 19 % (с 63 до 44 %), однако реальная вовлеченность остается невысокой – 25 % среди 70 % информированных [7]. При этом наблюдается диспропорция между декларируемой готовностью к участию в экологических инициативах и приоритетами населения. Согласно данным ВЦИОМ (2023), большинство респондентов считают важнейшим действием, сохраняющим окружающую среду, – не мусорить и убирать за собой (43 %), тогда как высадка деревьев воспринимается как значимое мероприятие лишь для 8 % опрошенных [7]. Существующее противоречие может объясняться тем, что люди склонны переоценивать свою готовность действовать, когда им задают дихотомические вопросы, а в реальности выбирают более пассивные формы участия [13]. Факт подтверждается также низкой популярностью волонтерства и субботников (2 %) среди предлагаемых мер по защите окружающей среды [7].

Следовательно, несмотря на рост осведомленности населения об экологических инициативах, фактическое участие остается на низком уровне, что может свидетельствовать либо о недостаточной мотивации граждан к практическим действиям, либо о скептическом отношении к подобным акциям [14].

Кроме того, данные ФОМ 2024 г. показывают, что население имеет размытое представление о механизмах решения климатических проблем. Существует тенденция к экстернализации ответственности за решение экологических проблем, что проявляется во внешней атрибуции при определении субъектов, имеющих влияние: на политических лидеров – 39 %, на население – 18 %, также оста-

ется большая доля затруднившихся с ответом – 24 % [3]. Относительно низкая поддержка «углеродного налога» (27 %) при значительно более высоком уровне одобрения перехода к новым видам энергетики (49 %) [3] демонстрирует, что население больше доверяет технологическим решениям проблемы, чем экономическим инструментам регулирования. Это также может быть связано с опасениями относительно социальных последствий введения дополнительных налогов.

Важно отметить, что, несмотря на скептическое отношение к некоторым международным инициативам (7 из 10 опрошенных рассматривают «углеродное регулирование» как экономическую меру давления ЕС) [9], большинство респондентов поддерживают международное сотрудничество в борьбе с изменениями климата – 68 % населения выступает за сотрудничество, из которых 51 % отмечает необходимость взаимодействия по данному вопросу и с недружественными странами [3], что свидетельствует об осознании глобальности проблем и принятии необходимости совместных усилий для их решения.

Резюмируя полученные результаты, можно констатировать, что в опыте населения реценты экологические кризисы, а не изменение климата как таковое, и уровень обеспокоенности данной проблемой, характерный для трети, не зависит от наличия прямого опыта взаимодействия с проявлениями особенностей климатических аномалий. Также выявлено, что различия осознания климатических изменений в некоторой степени зависят от гендера, с большей вовлеченностью женщин, имеются особенности восприятия, связанные с возрастом, – молодое поколение в большей степени признает антропогенный характер причин этих изменений. Хотя значительная часть россиян поддерживает меры по противодействию изменениям климата и готова к международному сотрудничеству, позиция не всегда реализуется в поведенческих практиках. При этом влияние климатических изменений ощущается преимущественно жителями малых городов и сельской местности. Что касается динамики характеристик субъективных оценок климатических изменений, следует отметить, что в общественном сознании представления о климатических изменениях как об угрозе стали более распространены, однако причины и последствия этих изменений понимаются населением поверхностно. Несмотря на рост осведомленности о проблеме, значительная часть населения продолжает недооценивать актуальность изменения климата в контексте личного опыта, что приводит к формированию поляризованных взглядов и низкой оценке эффективности принимаемых мер.

Таким образом, для повышения эффективности проводимых мероприятий по борьбе с климатическими изменениями и минимизации негативных эффектов для населения необходимо развивать просветительские инициативы, направленные не только на повышение осведомленности, но и на стимулирование практической деятельности (через внедрение доступных инструментов изменения поведенческих практик). Следует учитывать гендерные и возрастные особенности, усиливая вовлечение мужчин и представителей старшего поколения через адаптивные форматы коммуникации. При этом целесообразно пересмотреть адаптационные меры для малых городов и сельских территорий, где влияние изменений климата ощущается наиболее остро. Особенно важно укреплять связь между глобальными экологическими проблемами и локальными климатическими процессами, чтобы повысить значимость изменения климата в общественном сознании.

Список литературы

1. Beyond maladaptation: structural barriers to successful adaptation / A. Bertana, B. Clark, T.M. Benney, C. Quackenbush // *Environmental Sociology*. – 2022. – № 8 (4). – P. 448–458. DOI: 10.1080/23251042.2022.2068224
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год [Электронный ресурс] // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20240329/4/DOCK202344.pdf> (дата обращения: 18.04.2025).
3. Изменение климата [Электронный ресурс] // ФОМ. – 2024. – URL: <https://fom.ru/Obraz-zhizni/15033> (дата обращения: 21.04.2025).
4. Armarego-Marriott T. Expanding range and role change // *Nature Climate Change*. – 2023. – Vol. 418 (13). – P. 764–81. DOI: 10.1038/s41558-023-01675-8
5. Экология: общая ситуация и острые проблемы [Электронный ресурс] // ФОМ. – 2021. – URL: <https://fom.ru/Obraz-zhizni/14659> (дата обращения: 21.04.2025).
6. Теплая зима в России [Электронный ресурс] // ФОМ. – 2025. – URL: <https://fom.ru/Obraz-zhizni/15161> (дата обращения: 21.04.2025).
7. Откуда исходит угроза миру: аналитический обзор [Электронный ресурс] // ВЦИОМ. – 2023. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/otkuda-iskhodit-ugroza-miru-1> (дата обращения: 21.04.2025).
8. Meta-analyses of the determinants and outcomes of belief in climate change / M.J. Hornsey, E.A. Harris, P.G. Bain, K.S. Fielding // *Nature Climate Change*. – 2016. – Vol. 6. – P. 622–626. DOI: 10.1038/nclimate2943
9. Изменение климата и как с ним бороться: аналитический обзор [Электронный ресурс] // ВЦИОМ. – 2020. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/izmenenie-klimata-i-kak-s-nim-borotsya> (дата обращения: 21.04.2025).
10. Falzon D., Sen R. A call for a sociology of adaptation // *Sociological Forum*. – 2024. – Vol. 39. – P. 135–148. DOI: 10.1111/socf.12998
11. Свинобоев А.Н., Неустроева А.Б. Изменение климата и условий жизни на Севере в восприятии коренного населения // *Урбанистика*. – 2017. – № 4. – С. 28–39. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.4.24619
12. Касаткина Д.А., Нехорошева Е.В. Феноменологическое исследование переживаний горожан в связи с экологическими темами // *Сибирский психологический журнал*. – 2023. – № 89. – С. 134–151. DOI: 10.17223/17267080/89/8
13. Sheeran P. Intention–Behavior Relations: A Conceptual and Empirical Review // *European Review of Social Psychology*. – 2002. – Vol. 12 (1). – P. 1–36. DOI: 10.1080/14792772143000003
14. Лобанов М.М., Лобанова Е., Звезданович М. Климатический дискурс в России: от дихотомии климатического сознания к четырем формам климатической политики // *Мир России. Социология. Этнология*. – 2024. – № 3. – С. 161–149. DOI: 10.17323/1811-038X-2024-33-3-141-169

Анализ риска здоровью населения в задаче обоснования перечня приоритетных загрязняющих веществ для десяти новых городов-участников федерального проекта «Чистый воздух»

С.А. Вековшина, А.А. Клячин

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Расчет и оценка рисков для здоровья человека на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха на территориях отдельных городских поселений и городских округов, включенных в эксперимент по квотированию выбросов, проводится в целях определения приоритетных загрязняющих веществ, формирующих риски здоровью населения. Специалистами ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора выполнена оценка риска для 10 городов, расположенных в Иркутской области и Красноярском крае: Ангарск, Ачинск, Зима, Иркутск, Лесосибирск, Минусинск, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов. В результате проведенной оценки риска установлено, что на всех исследованных территориях эксперимента индивидуальный пожизненный канцерогенный риск не превышает «приемлемый» уровень. «Настораживающие» и / или «высокие» уровни риска здоровью формируются при остром и / или хроническом ингаляционном неканцерогенном воздействии десяти химических веществ: азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, дигидросульфид, меди оксид (в пересчете на медь), натрия гидроксид, никеля оксид, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, серы диоксид и хлор. Данные вещества предложено включить в перечень приоритетных загрязняющих веществ для 10 новых городов-участников федерального проекта «Чистый воздух».

Ключевые слова: анализ риска здоровью, приоритетные загрязняющие вещества, атмосферный воздух, сводные расчеты рассеивания, федеральный проект «Чистый воздух».

В целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в отдельных городских поселениях и городских округах Российской Федерации с 2019 г. проводится эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха [1].

С 1 сентября 2023 г. в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 07.07.2022 № 1852-р [2] (далее – Распоряжение Правительства РФ) к 12 городским округам, включенным в эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих веществ, в 2019 г. были добавлены еще 29 городов: Абакан, Астрахань, Барнаул, Иркутск, Махачкала, Ростов-на-Дону, Гусиноозерск, Селенгинск, Улан-Удэ, Кызыл, Черногорск, Петровск-Забайкальский, Ачинск, Лесосибирск, Минусинск, Усурийск, Комсомольск-на-Амуре, Чегдомын, Ангарск, Зима, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов, Кемерово, Курган, Искитим, Новочеркасск и Южно-Сахалинск.

Целью проведения эксперимента в 29 новых городах-участниках является снижение выбросов приоритетных (опасных) загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, в 2 раза по отношению к 2020 г. [2].

Согласно Распоряжению Правительства РФ для 29 новых городов-участников эксперимента до 15 июня 2024 г. выполняют сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха (1-й этап); до 15 декабря 2024 г. проводят расчет и оценку рисков для здоровья человека (2-й этап); до 15 марта 2025 г. утверждают перечни котируемых объектов, для которых устанавливаются квоты выбросов, и устанавливаются квоты выбросов (3-й этап); до 15 октября 2025 г. утверждают комплексные планы мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (4-й этап); по 31 декабря 2036 г. реализуют комплексные планы мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (5-й этап).

В соответствии со ст. 4 Федерального закона от 26.07.2019 № 195-ФЗ [1] федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, наделен полномочиями по осуществлению расчета и оценки риска для здоровья человека на территориях эксперимента; определению перечней приоритетных загрязняющих веществ; участию в формировании перечня котируемых объектов.

Исходя из основных понятий федерального закона от 26.07.2019 № 195-ФЗ [1], к приоритетным загрязняющим веществам относятся вещества, в отношении которых регистрируются превышения гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, а также вещества, формирующие риски для здоровья человека на территориях эксперимента.

Согласно письму Роспотребнадзора¹ ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора курирует 10 городов, расположенных в двух субъектах РФ (Иркутская область. Красноярский край): г. Ангарск (Иркутская область); г. Ачинск (Красноярский край); г. Зима (Иркутская область); г. Иркутск (Иркутская область); г. Лесосибирск (Красноярский край); г. Минусинск (Красноярский край); г. Свирск (Иркутская область); г. Усолье-Сибирское (Иркутская область); г. Черемхово (Иркутская область); г. Шелехов (Иркутская область).

Необходимость реализации распоряжения правительства РФ определила **цель исследования в 2024 г.** – оценить риск здоровью населения 10 новых городов – участников эксперимента по данным сводных расчетов рассеивания в целях определения перечней приоритетных загрязняющих веществ.

Материалы и методы. Для проведения оценки риска на территории 10 новых городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» (Ангарск, Зима, Иркутск, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов, Ачинск, Лесосибирск, Минусинск) были использованы базы данных источников выбросов и заключения о проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в исследуемых городских округах, утвержденные и переданные Минприроды России в официальном порядке.

¹ Письмо Роспотребнадзора от 09.01.2023 № 02/155-2023-27 «О реализации мероприятий Роспотребнадзора в рамках ФП «Чистый воздух»».

Сводные расчеты загрязнения атмосферы исследуемых территорий проводили с использованием программного комплекса УПРЗА «Эколог-город» 4.70, разработанного ООО «Фирма “Интеграл”» (г. Санкт-Петербург). Методической основой программного комплекса УПРЗА «Эколог-город» являются «Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утвержденные приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 (далее – МРР-2017), подлежащие применению с 1 января 2018 г.

Для расчетов долгопериодных средних (среднегодовых) концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе использовали файлы с метеорологическими и климатическими характеристиками атмосферы в районе расположения города, право на использование которых для модернизированного блока «Средние» было предоставлено ГГО им. А.И. Воейкова по специальному запросу.

Расчеты максимальных разовых и долгопериодных средних (среднегодовых) приземных концентраций загрязняющих веществ выполняли в расчетных точках, соответствующих геометрическим центрам жилых строений, зданий и сооружений.

Оценку риска здоровью населения выполняли в соответствии с положениями руководства Р 2.1.10.3968-23 [3] и методических рекомендаций МР 2.1.6.0320-23 [4]. Классификацию уровней риска осуществляли в соответствии с критериями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Классификация уровней риска (см. табл. 6.7 Р 2.1.10.3968-23 [3])

Уровень риска	Индивидуальный пожизненный риск	Коэффициент опасности развития неканцерогенных эффектов (HQ) для отдельных веществ	Индекс опасности развития неканцерогенных эффектов (HI/THI) для группы веществ с однонаправленным действием
Высокий	$> 10^{-3}$	> 3	> 6
Настораживающий	$1,1 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3}$	1,1–3	3,1–6
Допустимый (приемлемый)	$1,1 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$	Менее 1,0	1,1–3,0
Минимальный	$1,0 \cdot 10^{-6}$ и менее	0,1 и менее	1,0 и менее

По результатам оценки риска здоровью населения были рассчитаны величины риска, выраженные коэффициентами и индексами опасности при остром и хроническом неканцерогенном воздействии, индивидуальный канцерогенный риск при воздействии каждого отдельного канцерогена и суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью населения в каждой расчетной точке.

Риск здоровью населения, установленный по результатам сводных расчетов рассеивания загрязняющих веществ, отображали на векторных картах исследуемых городов с использованием ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1.

Для оценки численности населения, проживающего в условиях ингаляционного риска здоровью различного уровня, использовали данные Федеральной службы государственной статистики [5].

Результаты. Обобщение результатов оценки риска здоровью населения по данным сводных расчетов рассеивания выявило отсутствие недопустимых уровней канцерогенного риска на территориях 10 новых городов-участников федерального

проекта «Чистый воздух» (Ангарск, Зима, Иркутск, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов, Ачинск, Лесосибирск, Минусинск).

Определено, что «настораживающие» и / или «высокие» уровни риска здоровью, выраженные коэффициентами опасности развития неканцерогенных эффектов, формируются при остром и / или хроническом ингаляционном воздействии 10 химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух исследуемых городов. К ним относятся: азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, дигидросульфид, меди оксид (в пересчете на медь), натрия гидроксид, никеля оксид, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, серы диоксид и хлор (табл. 2).

Таблица 2

Загрязняющие вещества, выбросы которых формируют «настораживающие» и / или «высокие» уровни риска для здоровья населения 10 исследуемых городов

№ п/п	Наименование вещества	Исследуемые десять городов-участников федерального проекта «Чистый воздух»									
		Ангарск	Ачинск	Зима	Иркутск	Лесосибирск	Минусинск	Свирск	Усолье-Сибирское	Черемхово	Шелехов
1	Азота диоксид	■	■	■	■		■		■	■	
2	Бенз(а)пирен			■							
3	Бензол	■	■		■	■	■		■	■	
4	Дигидросульфид	■									
5	Меди оксид (в пересчете на медь)			■							
6	Натрия гидроксид										
7	Никеля оксид				■						
8	Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂									■	
9	Серы диоксид			■	■			■		■	■
10	Хлор							■			

Примечание: штриховкой отмечены вещества, которые формируют в городах неприемлемые уровни неканцерогенного риска при остром и / или хроническом ингаляционном воздействии.

Анализ показал, что два вещества (азота диоксид и бензол) формируют неприемлемые уровни ингаляционного неканцерогенного риска в 7 городах, серы диоксид – в 5 городах, остальные вещества (бенз(а)пирен, дигидросульфид, меди оксид, натрия гидроксид, никеля оксид, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, хлор) – только в одном городе из 10.

Зоны с высокими уровнями ($HI_{ac} > 3$) *острого* неканцерогенного риска возникновения болезней кроветворной системы, репродуктивной и иммунной систем, влияния на процессы развития, основной вклад в формирование которых вносят бензол и / или азота диоксид, выявлены на территории Ангарска, Ачинска, Иркутска, Усо́лья-Сибирского. Эти же вещества формируют превышения приемлемого (допустимого) уровня риска возникновения болезней кроветворной системы при *хроническом* неканцерогенном ингаляционном воздействии ($HI_{ch} > 3$) в Ангарске и

Иркутске. Наличие серы диоксида и / или азота диоксида в атмосферном воздухе приводит к возникновению недопустимого (неприемлемого) уровня *острого* и *хронического* неканцерогенного риска развития болезней органов дыхания в Иркутске, Зиме и Черемхово.

Выводы. Результаты оценки риска показали, что на 10 территориях эксперимента (Ангарск, Ачинск, Зима, Иркутск, Лесосибирск, Минусинск, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов) по данным сводных расчетов рассеивания:

– индивидуальный пожизненный канцерогенный риск при длительном воздействии веществ, обладающих канцерогенным потенциалом, не превышает «приемлемый» уровень на всех исследуемых территориях;

– «настораживающие» и / или «высокие» уровни риска здоровью формируются при остром и / или хроническом ингаляционном неканцерогенном воздействии десяти химических веществ: азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, дигидросульфид, меди оксид (в пересчете на медь), натрия гидроксид, никеля оксид, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, серы диоксид и хлор;

– основными веществами, формирующими риски в 7 городах из 10, являются азота диоксид и бензол; серы диоксид является приоритетным загрязняющим веществом для 5 городов; остальные вещества (бенз(а)пирен, дигидросульфид, меди оксид, натрия гидроксид, никеля оксид, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, хлор) – для одного города.

Проведенное исследование по анализу рисков для здоровья населения в условиях эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ является важным шагом в разработке научно обоснованных мер по снижению негативного влияния выбросов стационарных и передвижных источников на качество атмосферного воздуха и, как следствие, на здоровье населения.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки эффективных мероприятий по улучшению экологической ситуации и обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух», а также для оптимизации системы мониторинга состояния атмосферного воздуха в исследуемых городах.

Список литературы

1. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 23.07.2019 № 195-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907260064> (дата обращения: 10.04.2025).

2. Об утверждении перечня городских поселений и городских округов с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, дополнительно относящихся к территориям эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.07.2022 № 1852-р [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207080032> (дата обращения: 10.04.2025).

3. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. – 221 с.

4. МР 2.1.6.0320-23. Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня котируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. – 37 с.

5. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года (электронная версия) [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 10.10.2024).

Оценка экспозиции метеорологических факторов

А.А. Хасанова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Представлены подходы к оценке уровней экспозиции метеорологических факторов с учетом особенностей их влияния (интенсивности, продолжительности, повторяемости). Они включают в себя определение зоны воздействия изучаемых факторов и расчет уровней экспозиции для населения, проживающего на данной территории. При оценке экспозиции может быть учтено влияние как отдельных метеорологических показателей, так и показателей сочетанного (комплексного) воздействия нескольких факторов.

Ключевые слова: метеорологические факторы, оценка экспозиции, оценка риска для здоровья, здоровье населения

Влияние метеорологических факторов (метеофакторов) на здоровье населения является предметом большого числа исследований и упоминается в рамках Шестого оценочного доклада МГЭИК (IPCC), в Третьем оценочном докладе Росгидромета, в Докладах об особенностях климата на территории Российской Федерации, исследованиях ВОЗ, Докладе журнала Lancet Countdown о здоровье и изменении климата и др. [1–5].

Согласно принятым мировым сообществом целям устойчивого развития, метеофакторы и их изменения, в том числе в условиях происходящих климатических трансформаций, обуславливают весомую часть совокупного риска для жизни и здоровья населения [5–8]. Для эффективной адаптации утверждена Климатическая доктрина Российской Федерации, Национальные планы мероприятий по адаптации к изменениям климата, а также ежегодно разрабатываются отраслевые планы, в том числе в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия насе-

ления [6–9]. Многие мероприятия отраслевого плана предусматривают оценку риска для здоровья населения, формирующегося под воздействием метеорологических факторов. При ее проведении необходимо учитывать, что метеофакторы обладают рядом особенностей, включающих в себя выраженную пространственно-временную изменчивость, комплексность воздействия, дифференциацию пороговых значений для различных климатических зон и др., что должно быть учтено на этапе оценке экспозиции.

Цель исследования – предложить подходы к оценке уровней экспозиции метеорологических факторов с учетом интенсивности, продолжительности и повторяемости их воздействия.

Материалы и методы. В качестве методического базиса были использованы основные положения оценки риска для здоровья населения, изложенные в рамках МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска» и Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» [10–11].

Результаты. При оценке экспозиции метеорологических факторов осуществляется определение зоны воздействия изучаемых факторов и расчет уровней экспозиции для населения, проживающего на данной территории.

В качестве зоны воздействия принимается территория, на которой анализируемый метеофактор регистрируется на уровнях, способных вызывать нарушения состояния здоровья исследуемого контингента населения, обусловленные его влиянием. Она может быть определена по результатам натурных наблюдений за метеорологическими показателями и может быть уточнена на основе использования дополнительных методов исследования (например, материалов спутниковой съемки).

В рамках оценки экспозиции может быть учтено как влияние отдельных метеорологических показателей, так и показателей сочетанного (комплексного) воздействия нескольких климатических факторов, в том числе в виде биоклиматических показателей (индексов).

Для расчета уровней экспозиции используются следующие ее виды:

- величина показателя, характеризующего метеорологический фактор (в °С, мм рт. ст., % и др.), или биоклиматического индекса (в единицах индекса);
- вариации показателя, характеризующего метеофактор, или вариаций биоклиматического индекса (величин изменения), например, количество °С выше порога, определяемого как волна жары, или количество °С за пределами диапазона, характеризующего отсутствие температурного стресса, за каждый день / месяц;
- периода времени, во время которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней;
- повторяемости вариаций показателя, характеризующего метеорологический фактор, или вариаций биоклиматического индекса.

В качестве действующих уровней метеофактора используются уровни воздействия, при которых могут регистрироваться негативные эффекты для здоровья населения. Они находятся за границами установленного диапазона значений экспозиции, в пределах которого вероятность возникновения негативных ответов пренебрежимо мала. Эти диапазоны могут быть ограничены как с двух сторон,

так и с одной. Действующие уровни могут быть представлены в виде фиксированных значений (например, для перепадов атмосферного давления) или величин, рассчитанных для определенной территории за анализируемый период (например, для волн тепла и холода, определяемых как последовательное количество дней, во время которых среднесуточная температура находилась за пределами определенного процентиля всех значений температуры за изучаемый многолетний период) [11]. Они выбираются для отдельных видов нарушений состояния здоровья населения, установленных в качестве вероятных негативных ответов. Например, по данным анализа литературы установлено, что по критерию увеличения количества случаев смертей, обусловленных болезнями системы кровообращения (инфаркт миокарда и острый коронарный синдром), ассоциированных с влиянием суточных перепадов атмосферного давления, в качестве действующих уровней могут быть использованы перепады давления, превышающие 10 мбар (7,5 мм рт. ст.) [12]. Для индекса эффективной температуры (ЭТ, °С) по критерию отсутствия физиологического стресса в качестве действующих уровней могут быть использованы значения ниже +5 °С и выше +17 °С, по критерию наличия среднего уровня холодного стресса – ниже -13 °С, среднего уровня теплового стресса – выше +26 °С и др. [13]. Однако эти значения могут варьироваться в зависимости от территории и изменяться по мере поступления новых данных. Они могут быть установлены как по результатам анализа имеющейся информации о показателях, характеризующих связи между величиной экспозиции факторов и ассоциированными ответами, так и с применением адекватных методов их расчета.

Значения экспозиции метеорологических факторов характеризуются интенсивностью, продолжительностью и повторяемостью воздействия [1].

Вариации показателей и биоклиматических индексов рассчитываются как разность значений показателей / индексов и значения ближайшей границы диапазона их действия. Продолжительность воздействия экспозиции характеризует периоды времени, во время которых значения показателей метеофакторов регистрировались на уровне действующих значений. Повторяемость воздействия характеризует частоту периодов времени за определенный временной диапазон, например, количество дней за год, во время которых величина показателя или биоклиматического индекса находилась на уровне действующих значений.

Расчет экспозиции, представленной в виде величин показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс, осуществляется в соответствии с формулой (1):

$$E_s = A_{cp\ t}, \quad (1)$$

где E_s – уровень экспозиции, выраженной в виде величин показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматического индекса;

$A_{cp\ t}$ – величина показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс, осредненная за период времени t (месяц, год и др.).

Например, при расчете E_s для средней температуры атмосферного воздуха за определенный период времени (сутки, месяц, сезон и др.) может быть использовано фактическое значение данной температуры за анализируемый период времени.

Расчет экспозиции, представленной в виде вариаций показателя, характеризующего метеофактор, или вариации биоклиматического индекса, осуществляется в соответствии с формулой (2):

$$\Delta E_v = A_{fcp} - A_p, \quad (2)$$

где ΔE_v – уровень экспозиции, представленной в виде вариаций показателя, характеризующего метеорологический фактор, или вариаций биоклиматического индекса;

A_{fcp} – фактическая величина показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс;

A_p – величина, соответствующая значению ближайшей границы диапазона действующих уровней.

Например, при расчете ΔE_v для внутрисуточных перепадов атмосферного давления рассчитывается величина значения, на которую фактическое значение превышает значение ближайшей границы диапазона действующих уровней, в мм рт. ст.

Расчет экспозиции, представленной в виде временного периода, во время которого величина показателя, характеризующего фактор или биоклиматический индекс, находилась в диапазоне действующих уровней, осуществляется в соответствии с формулой (3):

$$E_t = T, \quad (3)$$

где E_t – уровень (продолжительность) экспозиции, представленной в виде периода времени, в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней, дней, месяцев, лет;

T – продолжительность периода, во время которого величина показателя или биоклиматического индекса (A) находилась в диапазонах действующих уровней (AN) ($AN_{\text{ниж}} < A > AN_{\text{верх}}$).

Например, при расчете E_t для волн тепла рассчитывается количество последовательных дней, во время которых температура атмосферного воздуха находилась выше порогового уровня, определяемого для данной территории как волна тепла.

Для биоклиматических индексов при расчете E_t в качестве величины экспозиции необходимо рассчитать количество дней / месяцев за промежуток времени, в течение которого значение индекса находилось в диапазоне действующих уровней, а также рассчитать величину отклонения фактического значения индекса от его границы.

Расчет экспозиции, представленной в виде повторяемости вариаций показателя или биоклиматического индекса, представляет собой суммарное число вариаций в течение определенных периодов времени и осуществляется в соответствии с формулой (4):

$$E_p = \sum_{k=1}^n K, \quad (4)$$

где E_p – уровень экспозиции, представленной в виде повторяемости вариаций показателя или биоклиматического индекса;

K – единичная вариация метеорологического показателя / индекса, ед.

Например, при расчете E_p для волн тепла за год рассчитывается суммарное количество дней в году, во время которых температура атмосферного воздуха находилась выше порогового уровня, определяемого для данной территории как волна тепла [4].

Расчет уровней экспозиции метеофакторов осуществляется на основе данных метеорологических наблюдений, проводимых на анализируемой территории. Если проводится оценка одного фактора, то расчет экспозиции осуществляется с использованием данных инструментальных измерений метеорологических величин (температура воздуха, скорость ветра, влажность воздуха и др.), а если выполняется оценка сочетанного влияния нескольких метеофакторов, и в качестве показателя используется биоклиматический индекс, то осуществляется расчет биоклиматических индексов на основе имеющихся метеорологических наблюдений.

На основе рассчитанных уровней экспозиции с использованием соответствующих показателей, характеризующих зависимость «экспозиция – эффект (ответ)», могут быть получены индивидуальные и популяционные уровни риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов.

Выводы. По результатам проведенного исследования предложены подходы к оценке уровней экспозиции метеорологических факторов с учетом особенностей их влияния (интенсивности, продолжительности, повторяемости). Они включают в себя определение зоны воздействия изучаемых факторов и расчет уровней экспозиции для населения, проживающего на данной территории. При оценке экспозиции может быть учтено влияние как отдельных метеорологических показателей, так и показателей сочетанного (комплексного) воздействия нескольких факторов.

Список литературы

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al. (eds.). – Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2022. – 3675 p. DOI: 10.1017/9781009325844
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. – СПб.: Научно-технологические публикации, 2022. – 676 с. <https://cc.voeikov-mgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf> (дата обращения: 09.04.2025).
3. Без сожалений: расширение масштабов деятельности по смягчению последствий изменения климата и его воздействия на здоровье людей в европейском регионе ВОЗ. Ключевые сообщения Рабочей группы по охране здоровья в условиях изменения климата / Всемирная организация здравоохранения, Европейское бюро. – Женева, 2021. – 15 с.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год [Электронный ресурс]. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2025. – 136 с. – URL: https://cc.voeikov-mgo.ru/images/dokumenty/2025/doklad_2024.pdf

mgo.ru/images/sobytiya/2025/04/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf (дата обращения: 09.04.2025).

5. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future / M. Romanello, A. McGushin, I. Hamilton, S Hartinger., M. Yglesias-González // *The Lancet*. – 2021. – Vol. 398 (1311). – P. 1619–1622.

6. Климатическая доктрина Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812 [Электронный ресурс] // Правительство России. – URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/49910> (дата обращения: 03.04.2025).

7. Методические подходы к количественной оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов, на примере волн тепла / П. З. Шур, Н. В. Зайцева, А. А. Хасанова [и др.] // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. – 2024. – Т. 32, № 8. – С. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-8-7-17

8. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года: Распоряжение Правительства РФ от 11.03.2023 № 559-п [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/DzVPGII7JgT7QYRoogphpW69KKQREGTB.pdf>

9. Исследование взаимосвязи между вариациями природно-климатических факторов и заболеваемостью населения на выбранных территориях Российской Федерации / С.Н. Носков, О.М. Ступишина, Г.Б. Еремин, Е.Г. Головина, Д.С. Исаев // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. – 2023. – Т. 31, № 5. – С. 7–14. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-5-7-14

10. Р 2.1.10.3968–23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. – 221 с.

11. МР 2.1.10.0057–12. Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.

12. Unhealthy Effects of Atmospheric Temperature and Pressure on the Occurrence of Myocardial Infarction and Coronary Deaths. A 10-Year Survey: The Lille-World Health Organization MONICA Project (Monitoring Trends and Determinants in Cardiovascular Disease) / S. Danet, F. Richard, M. Montaye, S. Beauchant, B. Lemaire, C. Graux, D. Cottel, N. Marécaux, P. Amouyel // *Circulation*. – 1999. – Vol. 100, № 1. – P. 101–107.

13. Руководство по практике метеорологического обслуживания населения. Второе издание [Электронный ресурс]. – Женева: Всемирная метеорологическая организация, 2000. – 211 с. – URL: https://digitallibrary.un.org/nanna/record/241081/files/wmo_834_ru.pdf (дата обращения: 08.04.2025).

Мониторинг качества атмосферного воздуха как инструмент оценки результативности мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ (на примере г. Красноярска)

С.Ю. Загороднов, И.В. Май

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

Загрязнение атмосферного воздуха крупных промышленных городов стало причиной запуска федерального проекта «Чистый воздух». Улучшение качества воздуха планируется за счет реализации комплексных мероприятий по снижению выбросов на промышленных предприятиях, объектах коммунальной и транспортной инфраструктуры. Результативность мероприятий оценивали по данным инструментальных измерений содержания химических веществ в атмосферном воздухе, выполненных в рамках программ социально-гигиенического мониторинга. Установлено, что г. Красноярске в период реализации федерального проекта «Чистый воздух» (2020–2024 гг.) регистрировалось снижение приземных концентраций по марганцу и его соединениям (в пересчете на марганец (IV) оксид), азота диоксиду, азота (II) оксиду, серы диоксиду, фтористым газообразным соединениям (в пересчете на фтор), бензолу, формальдегиду, никелю, бенз(а)пирену, взвешенным веществам. Снижение адекватно отражает реализацию воздухоохраных мероприятий на ряде промышленных предприятий и объектах энергетики.

При этом отмечено, что сохраняются факты превышения гигиенических нормативов по ряду примесей. Так, в 2024 г. по г. Красноярску превышения остаются по следующим веществам: азота диоксиду – до 2,14 ПДК_{мр}, азота (II) оксиду – до 1,65 ПДК_{мр}, взвешенным веществам – до 1,34 ПДК_{мр/сс}, углероду – до 1,43 ПДК_{сс}, бенз(а)пирену – до 40,00 ПДК_{сс}, формальдегиду – до 2,03 ПДК_{сс}, бензолу – до 1,32 ПДК_{ст}.

Данные мониторинга свидетельствуют об актуальности дальнейших мероприятий по улучшению санитарно-эпидемиологической ситуации в городе и продолжении наблюдения за динамикой качества воздуха в зонах жилой застройки.

Ключевые слова: мероприятия по снижению выбросов, атмосферный воздух, ПДК, приоритетные вещества, федеральный проект «Чистый воздух», мониторинг.

Развитие промышленного производства, наращивание объема выпускаемой продукции приводят к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [1, 2]. Как следствие, 41 российский город нуждается в снижении антропогенной нагрузки на атмосферу¹.

¹ Паспорт федерального проекта «Чистый воздух» [Электронный ресурс]. – URL: <https://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/%D0%A4%D0%9F-%D0%BD%D0%B0-13.04.2022.pdf> (дата обращения: 18.04.2025); Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2022 № 1852-р [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207080032> (дата обращения: 18.04.2025).

Участником федерального проекта «Чистый воздух» является один из крупнейших городов России, экономический и промышленный центр Восточной Сибири – г. Красноярск. Общий объем выбросов загрязняющих веществ в г. Красноярске составляет 140,76 тыс. т, в том числе опасных загрязняющих веществ – 70,96 тыс. т. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются: АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», Красноярская ТЭЦ-1, Красноярская ТЭЦ-2, Красноярская ТЭЦ-3, ООО «Красноярский цемент», ООО «Красноярская ТЭК», ООО «Красноярский жилищно-коммунальный комплекс» (9 котельных), АО «Енисейская территориальная генерирующая компания» ТГК-13», АО «Красноярский машиностроительный завод» (котельный цех). В общий перечень приоритетных загрязняющих веществ включены 15, в том числе бенз(а)пирен, фтористый водород и взвешенные частицы [3].

Комплексным планом мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ г. Красноярска предусмотрено 33 мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ: от транспорта, в том числе мероприятия по обновлению подвижного состава общественного транспорта, ремонта трамвайной и троллейбусной инфраструктуры, промышленных предприятий посредством внедрения новых технологических решений и современных пылегазовых очистных сооружений, направленных на сокращение выбросов, от предприятий теплоэнергетики и частного сектора (не газифицированного), предусмотрена реконструкция и модернизация систем газоочистки предприятий теплоэнергетики. К 2026 г. планируется снизить 25,4 тыс. т валовых выбросов, в том числе 11,5 тыс. т опасных веществ [4].

По данным Министерства природы Российской Федерации в период реализации проекта с 2019 по 2025 г. реализованы мероприятия, позволившие снизить выброс опасных загрязняющих веществ на 14,3 % от общего объема загрязнения атмосферы. На начало 2024 г. в перечень реализованных мероприятий основных участников входят: закрытие 35 малоэффективных угольных котельных мощностями Красноярских ТЭЦ, модернизация АО «Красноярская ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3», реализация мероприятий по экологической модернизации АО «РУСАЛ Красноярск» (замена электролизеров и создания системы сероочистки). Общее количество снижений составляет 6,8 тыс. т (13 % от общего по городу) [5].

Безусловно, снижение объемов выбросов, реализация технических, технологических, организационных мероприятий, предполагающих снижение валового выброса загрязняющих веществ, – важнейшие итоговые показатели проекта. Однако представляется, что объективными показателями эффективности и результативности воздухоохранной деятельности на территории являются концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, установленные прямыми инструментальными измерениями на постах экологического и / или социально-гигиенического мониторинга (СГМ), частота и интенсивность нарушения гигиенических нормативов и существенное улучшение качества среды обитания населения [6–13].

Цель исследования – оценка динамики изменений качества атмосферного воздуха в г. Красноярске в ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух» за 2020–2024 гг.

Материалы и методы. Для оценки динамики изменения качества атмосферного воздуха использовали данные социально-гигиенического мониторинга (СГМ) за 2020–2024 гг., полученные от Центра гигиены и эпидемиологии по Краснояр-

скому краю. В программы исследований входили вещества, которые в 2020 г. были определены как «приоритетные», что закреплено письмами Главного государственного санитарного врача Российской Федерации¹ [7].

Посты наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» на территории г. Красноярска расположены по следующим адресам (рисунок): № 140 (ул. Сопочная, 38); № 208 (пр. Ульяновский, 16); № 209 (ул. Северо-Енисейская, 44а); № 210 (ул. 78 Добровольческой бригады, 1).

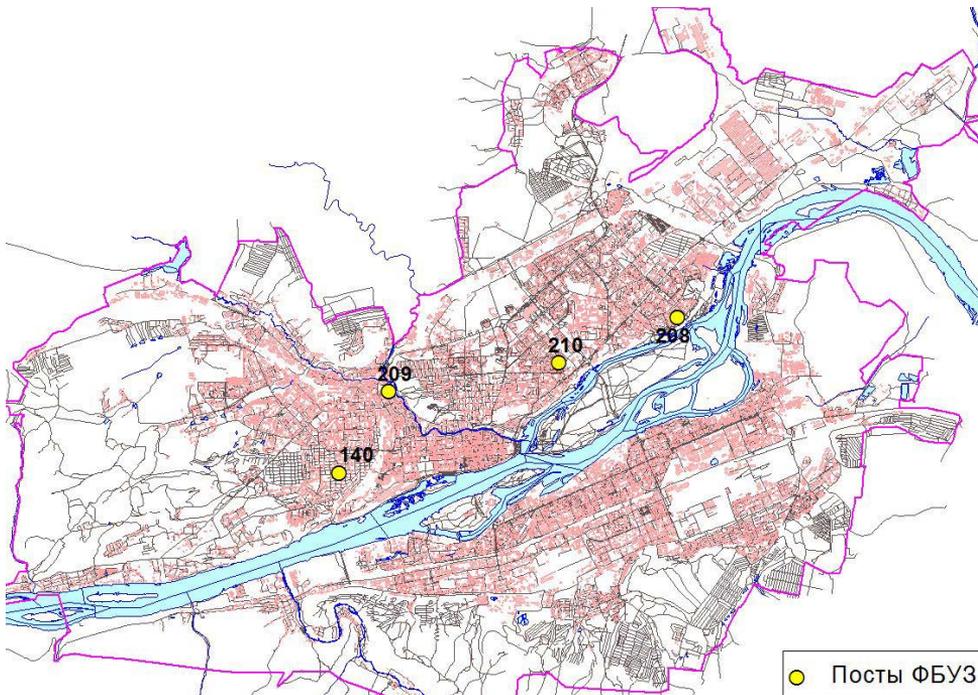


Рис. Расположение постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» на территории г. Красноярска

В целом приведенные результаты основаны на обработке более 34 тысяч измерений.

При сопоставлении с ПДК_{мр/сс/сг} ориентировались на гигиенические критерии, установленные СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Результаты. Динамика изменения максимальных из разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций приоритетных загрязняющих веществ в целом по городу представлена в табл. 1–3.

¹ Письмо № 02/25401-2020-23 от 11.12.2020 «Об определении приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента (г. Норильск, г. Липецк, г. Челябинск, г. Красноярск)».

Т а б л и ц а 1

Динамика максимальных из разовых концентраций примесей в целом по г. Красноярску, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.			Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	мг/м ³	доля ПДК _{мр}	доля проб выше ПДК _{мр} , %					
Марганец и его соединения	143	0,00044	–	0,00008	0,00012	0,00023	0,02	0,00	-47,27
Азота диоксид	301	0,51	0,561	1,618	0,95	0,428	2,14	0,78	-16,08
Азота (II) оксид	304	1,355	1,861	2,222	0,749	0,661	1,65	1,67	-51,22
Углерод	328	0,046	0,051	0,17	0,047	0,091	0,61	0,00	97,83
Серы диоксид	330	0,05	0,02	0,079	0,037	0,043	0,09	0,00	-14,00
Фтористые газообразные соединения	342	0,0189	0,0287	0,038	0,015	0,011	0,55	0,00	-41,80
Бензол	602	5,7	0,072	0,057	0,047	0,12	0,40	0,00	-97,89
Проп-2-ен-1-аль	1301	0,03	НПО	–	–	–	–	–	–
Формальдегид	1325	0,041	0,0149	0,045	0,023	0,026	0,52	0,00	-36,59
Взвешенные вещества	2902	0,645	1,016	1,043	0,942	0,672	1,34	0,78	4,19
Никель (никель металлический)	163	0,00074	–	–	–	0,0001	–	–	-86,62
Бенз(а)пирен	703	0,00005	0,00003	0,00005	0,00008	0,00004	–	–	-16,67

Анализ динамики изменения содержания максимальных из разовых концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) за 2020–2024 гг. показал:

– снижение приземных концентраций зафиксировано по марганцу и его соединениям (в пересчете на марганец (IV) оксид) до 47,27 %, азота диоксиду – до 16,08 %, азота (II) оксиду – до 51,22 %, серы диоксиду – до 14,00 %, фтористым газообразным соединениям (в пересчете на фтор) – до 41,80 %, бензолу – до 97,89 %, формальдегиду – до 36,59 %, никелю (никель металлический) – до 86,62 %, бенз(а)пирену – до 16,67 %;

– рост приземных концентраций зафиксирован по взвешенным веществам до 4,19 %, углероду – до 97,83 %.

Превышения гигиенических нормативов максимальных из разовых концентраций в 2024 г. в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) зарегистрированы по следующим веществам:

- азота диоксид – до 2,14 ПДК_{мр};
- азота (II) оксид – до 1,65 ПДК_{мр};
- взвешенные вещества – до 1,34 ПДК_{мр}.

Т а б л и ц а 2

Динамика максимальных из среднесуточных концентраций примесей в целом по г. Красноярску, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.			Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	мг/м ³	доля ПДК _{сс}	доля проб выше ПДК _{сс} , %					
Марганец и его соединения /в	143	0,00044	–	0,00008	0,00012	0,00023	0,23	0,00	-47,27
Никель (никель металлический)	163	0,00074	–	–	–	0,0001	0,10	0,00	-86,62
Азота диоксид	301	0,32675	0,4045	1,25375	0,3055	0,193	1,93	5,78	-40,93
Азота (II) оксид	304	0,64525	0,7655	1,48575	0,46175	0,4625	–	–	-28,32
Углерод	328	0,0265	0,04775	0,13175	0,03825	0,07125	1,43	1,33	168,87
Серы диоксид	330	0,01725	0,012	0,05425	0,017	0,021	0,42	0,00	21,74
Фтористые газообразные соединения	342	0,00955	0,01212	0,02325	0,0083	0,00522	0,37	0,00	-45,29
Бензол	602	2,54	0,03925	0,04325	0,034	0,04475	0,75	0,00	-98,24
Бенз(а)пирен	703	0,000048	0,000033	0,00005	0,000077	0,00004	40,0	16,00	-16,67
Проп-2-ен-1-аль	1301	0,011	НПО	–	–	–	–	–	–
Формальдегид	1325	0,02325	0,00373	0,0185	0,00825	0,02025	2,03	3,33	-12,90
Взвешенные вещества	2902	0,55075	0,5175	0,935	0,85	0,49625	3,31	9,78	-9,90

Анализ динамики изменения содержания максимальных из среднесуточных концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) за 2020–2024 гг. показал:

– снижение приземных концентраций зафиксировано по марганцу и его соединениям (в пересчете на марганца (IV) оксид) – до 47,27 %, никелю (никель металлический) – до 86,62 %, азота диоксиду – до 40,93 %, азота (II) оксиду – до 28,32 %, фтористым газообразным соединениям (в пересчете на фтор) – до 45,29 %, бензолу – до 98,24 %, формальдегиду – до 12,90 %, бенз(а)пирену – до 16,67 %, взвешенным веществам – до 9,90 %;

– зафиксирован рост приземных концентраций по углероду до 168,87 %, серы диоксиду – до 21,74 %.

Вместе с тем превышения гигиенических нормативов максимальных из среднесуточных концентраций в 2024 г. в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) зарегистрированы по следующим веществам:

- азота диоксид – до 1,93 ПДК_{сс};
- углерод – до 1,43 ПДК_{сс};
- бенз(а)пирен – до 40,0 ПДК_{сс};
- формальдегид – до 2,03 ПДК_{сс};
- взвешенные вещества – до 3,31 ПДК_{сс}.

Таблица 3

Динамика среднегодовых концентраций примесей в целом по г. Красноярску, 2020–2024 гг. (для веществ, у которых есть ПДК_{ср})

Приоритетное загрязняющее вещество		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	мг/м ³	доля ПДК _{ср} или ПДК _{сс}					
Марганец и его соединения /в пересчете на марганца (IV) оксид	143	0,00007	–	0,00003	0,00006	0,00004	0,81	-40,44
Никель (никель металлический)	163	0,00008	–	–	–	0,00001	0,19	-88,31
Азота диоксид	301	0,02943	0,0401	0,18379	0,04466	0,03751	0,94	27,45
Азота (II) оксид	304	0,03906	0,04424	0,17908	0,04012	0,05029	0,84	28,77
Углерод	328	0,00053	0,00073	0,00196	0,00064	0,003	0,12	464,90
Фтористые газообразные соединения	342	0,00071	0,00066	0,00135	0,00033	0,00013	0,03	-81,80
Бензол	602	0,06786	0,00497	0,00502	0,00327	0,00659	1,32	-90,29
Бенз(а)пирен	703	1,94E-06		2,07E-06	1,98E-06	1,16E-06	1,16	-40,23
Проп-2-ен-1-аль	1301	0,00005	НПО	–	–	–	–	–
Формальдегид	1325	0,00296	0,00019	0,00175	0,00071	0,00108	0,36	-63,47
Взвешенные вещества	2902	0,07829	0,06776	0,09101	0,09051	0,05057	0,67	-35,41
Серы диоксид	330*	0,00393	0,00351	0,00454	0,00317	0,00193	0,04	-51,07

Примечание: знаком «*» помечены вещества, у которых нет ПДК_{ср}, но есть ПДК_{сс}.

Анализ динамики изменения содержания среднегодовых концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) за 2020–2024 гг. показал, что:

- снижение приземных концентраций зафиксировано по марганцу и его соединениям (в пересчете на марганца (IV) оксид) до 40,44 %, никелю (никель металлический) – до 88,31 %, фтористым газообразным соединениям (в пересчете на фтор) – до 81,80 %, бензолу – до 90,29 %, бенз(а)пирену – до 40,23 %, формальдегиду – до 63,47 %, взвешенным веществам – до 35,41 %, серы диоксиду – до 51,07 %;

- рост приземных концентраций зафиксирован по азота диоксиду до 27,45 %, азота (II) оксиду – до 28,77 %, углероду – до 464,90 %.

Вместе с тем превышения гигиенических нормативов среднегодовых концентраций в 2024 г. в атмосферном воздухе г. Красноярска (в целом по городу) зарегистрированы по следующим веществам:

- бензолу – до 1,32 ПДК_{ср};
- бенз(а)пирену – до 1,16 ПДК_{ср}.

Выводы. Выполненные в рамках социально-гигиенического мониторинга инструментальные измерения позволили оценить динамику изменений концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Красноярска в ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух» за период 2020–2024 гг.

За исследованный период в г. Красноярске отмечено снижение загрязнения атмосферного воздуха: по марганцу и его соединениям; азота (II) оксиду, серы диок-

сиду, фтористым газообразным соединениям, бензолу, формальдегиду, никелю, бенз(а)пирену и взвешенным веществам. Ситуация отражает реализацию воздухоохраных мероприятий на ряде промышленных предприятий и объектах энергетики.

Вместе с тем сохраняется ситуация с нарушением гигиенических нормативов по ряду примесей: азота диоксида, азота (II) оксиду, взвешенным веществам, углероду, бенз(а)пирену, формальдегиду, бензолу.

Полученные в ходе анализа результаты изменений концентраций в атмосферном воздухе г. Красноярска являются промежуточными и дают предварительную оценку корректности реализованных мероприятий в части ориентации на приоритетные загрязняющие вещества.

Окончательный пул комплексных мероприятий по снижению выбросов на территории г. Красноярска, проводимых в рамках федерального проекта «Чистый воздух», запланированы на период 2025–2026 гг., что позволит в полной мере оценить их результативность по фактическому изменению концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Красноярска.

Данные мониторинга свидетельствуют об актуальности дальнейших мероприятий по улучшению санитарно-эпидемиологической ситуации в городе и продолжении наблюдения за динамикой качества воздуха в зонах жилой застройки.

Список литературы

1. Мариев О.С., Давидсон Н.Б., Емельянова О.С. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России // *Journal of Applied Economic Research*. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014
2. Акатьева Т.Г. Влияние ООО «Завод ЖБИ – 3» г. Тюмени на качество атмосферного воздуха // *АгроЭкоИнфо*. – 2020. – № 2 (40). – С. 12.
3. Экологическая обстановка и проблемы связанные с экологией в городе Красноярск / А.С. Свалова, Е.Ю. Гаврилюк, А.А. Крестьянинова [и др.] // *Экономика и предпринимательство*. – 2019. – № 11 (112). – С. 522–525.
4. Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Красноярске [Электронный ресурс]. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Kompleksnyy-plan-meropriyatiy-po-snizheniyu-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernyy-vozduh-v-g.-Kra-solt-cuiddgid/> (дата обращения: 18.04.2025).
5. Федеральный проект «Чистый воздух». Красноярск [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/clean-air/krasnoyarsk/> (дата обращения: 18.04.2025).
6. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» // *Анализ риска здоровью*. – 2019. – № 4. – С. 4–13. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.01
7. Зайцева Н.В., Май И.В. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» // *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 1. – С. 4–12. DOI: 10.21668/health.risk/2023.1.01
8. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development / G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva, I.V. May [et al.]. – Moscow – Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014. – 686 p.

9. Ревич Б.А., Харькова Т.Л., Кваша Е.А. Некоторые показатели здоровья жителей городов федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 2. – С. 16–27. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.02

10. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / С.В. Клейн, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 11. – С. 1196–1202. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202

11. Федеральный проект «Чистый воздух»: новый уровень жизни / О.А. Марцынковский, О.В. Двигина, А.А. Васькина, А.В. Романов // Стандарты и качество. – 2022. – № 3. – С. 93–95.

12. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

13. Федеральный проект «Чистый воздух» как инструмент решения экологических проблем / В.И. Добросоцкий, Р.Н. Шпакова, Г.Н. Войникова [и др.] // Обзор реализации национальных проектов в Российской Федерации: целеполагание и достижение – М.: ООО «Изд-во Магистр», 2022. – С. 25–53.

Оценка динамики изменения загрязнения воздуха г. Братска в ходе выполнения мероприятий комплексного плана Иркутской области

Е.В. Максимова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Активное развитие промышленного производства способствовало бурному загрязнению воздушной среды в г. Братске. Для улучшения качества атмосферного воздуха реализуется федеральный проект «Чистый воздух». Согласно Комплексному плану мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Братске планируется снижение совокупного объема выбросов, в том числе и опасных загрязняющих веществ, более чем на 20 %. В качестве критерия оценки реализации проекта использовались данные инструментальных измерений. Анализ динамики изменения содержания приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в рамках реализации ФП «Чистый воздух» за период 2020–2024 гг. в г. Братске показал снижение концентраций почти по всем веществам: азота диоксиду, хлору, бензолу, серы диоксиду, углероду, взвешенным веществам и фтористым газообразным соединениям, исключение

составляет бенз(а)пирен. Установлены превышения гигиенических нормативов в 2024 г. в г. Братске по бенз(а)пирену до 28,0 ПДК_{сс}, до 2,63 ПДК_{сг}, взвешенным веществам до 1,38 ПДК_{сс}, фтористым газообразным соединениям до 1,05 ПДК_{сс}. Этапная оценка снижения загрязнения воздуха приоритетными веществами выявила положительную динамику улучшения качества атмосферного воздуха, подтвердив значимость продолжения реализации мероприятий ФП «Чистый воздух», а также определила приоритетные задачи на предстоящие периоды по дальнейшему управлению его состоянием.

Ключевые слова: федеральный проект «Чистый воздух, приоритетные загрязняющие вещества, мероприятия по снижению выбросов, атмосферный воздух, гигиеническая оценка.

Развитие промышленных агломераций в Сибирском федеральном округе привело к загрязнению большинства населенных пунктов [1–6]. Так, в воздушный бассейн г. Братска ежегодно поступают десятки тысяч тонн [7, 8] вредных веществ, ряд которых обладают эффектами суммации и потенцирования. Вокруг города образовалась техногенная зона площадью несколько десятков квадратных километров, в которой установлено повреждение биогеоценоза [8].

В целях улучшения экологической обстановки и снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Братске реализуется федеральный проект «Чистый воздух». Достижение целевых показателей планируется за счет мероприятий по снижению выбросов от промышленных предприятий, объектов коммунальной и транспортной инфраструктуры.

Согласно Комплексному плану мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Братске [9] (далее – Комплексный план), к 2026 г. планируется снижение совокупного объема выбросов, в том числе и опасных загрязняющих веществ, более чем на 20 %. Под опасными загрязняющими веществами понимаются приоритетные загрязняющие вещества, характерные для данной территории. Комплексным планом запланировано снижение выбросов от транспортной инфраструктуры, объектов коммунальной инфраструктуры и промышленных предприятий. Основными загрязнителями воздуха г. Братска являются объекты теплоэнергетики, цветной и черной металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности и пр.

По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации [10] на начало 2025 г. снижено более 15 % выбросов опасных загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Основными реализованными мероприятиями по снижению выбросов являются перевод частных домовладений с угольного или печного отопления на газовое, приобретение экологического транспорта, повышение эффективности газоочистного оборудования промышленных предприятий.

Несомненно, снижение валового выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух путем реализации воздухоохраных мероприятий является неотъемлемой частью улучшения качества жизни населения. Однако необходим постоянный контроль приоритетных загрязняющих веществ для предотвращения неблагоприятных экологических и санитарно-гигиенических ситуаций [11–15].

Цель исследования – оценка динамики изменения содержания приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в г. Братске в ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух» за период 2020–2024 гг.

Материалы и методы. Исследование оценки снижения загрязнения воздуха приоритетными веществами в г. Братске – участнике федерального проекта «Чистый воздух» проводилось на основе анализа данных инструментальных измерений

постов социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в г. Братске за период с 2020 по 2024 г.

При оценке качества атмосферного воздуха приняты во внимание данные наблюдений на 2 постах г. Братска: № 462 (ул. Баркова, 43а) и № 465 (ул. Енисейская, 195). Расположение постов приведено на рис. 1.

На постах по полной программе проводили инструментальные измерения приоритетных химических примесей, согласно письму руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 23.11.2020 г. № 02/23971-2020-23 «Об определении приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента»¹: пост № 462 – азота (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, пыль неорганическая, содержащая 70–20 % SiO₂, серы диоксид, углерод, фториды неорганические плохо растворимые, фтористые газообразные соединения, хлор; пост № 462 – бенз(а)пирен, углерод. Всего за период с 2020 по 2024 г. на постах СГМ было отобрано 17,3 тыс. проб.

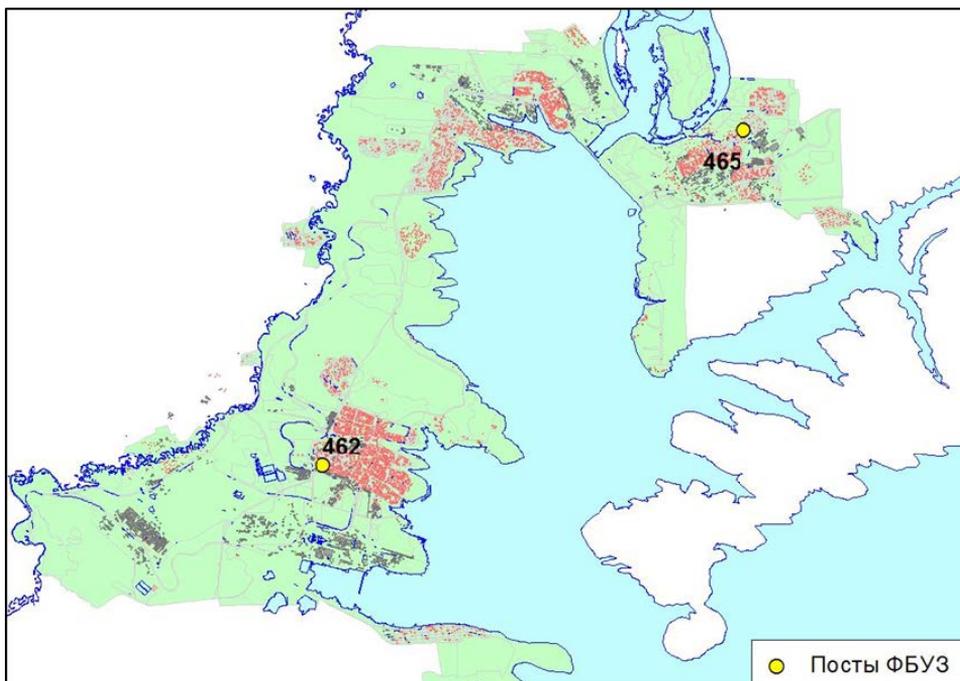


Рис. Расположение постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» на территории г. Братска

¹ Перечни приоритетных загрязняющих веществ для территорий г. Братск, г. Нижний Тагил, г. Череповец; письмо Роспотребнадзора от 23.11.2020 № 02/23971-2020-23; Перечни приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента (г. Норильск г. Липецк, г. Челябинск, г. Красноярск); письмо Роспотребнадзора от 11.12.2020 № 02/25401- 2020-23; Перечни приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента (г. Магнитогорск, г. Омск, г. Чита, г. Медногорск, г. Новокузнецк); письмо Роспотребнадзора от 21.12.2020 № 02/26092-2020-23.

По ряду веществ с 2021 г. прекращен мониторинг в силу отсутствия методов селективного количественного измерения (фториды неорганические плохо растворимых) и по причине наличия проб ниже предела обнаружения в 100 % случаев (пыли неорганические, содержащие двуокись кремния, в %: 70–20).

Результаты. Анализ динамики изменения содержания приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период 2020–2024 гг. в целом по г. Братску показал снижение максимальных разовых концентраций почти по всем веществам: азота диоксиду – на 100 %, хлору – на 100 %, бензолу – на 98,0 %, серы диоксиду – на 93,4 %, углероду – на 82,9 %, взвешенным веществам – на 78,6 % и фтористым газообразным соединениям – на 71,2 %. При этом было зафиксировано увеличение концентраций азота (II) оксида на 113,3 %. Стоит отметить, что в 2024 г. концентрации всех приоритетных веществ были в пределах гигиенических нормативов (табл. 1).

Таблица 1

Динамика максимальной из разовых концентраций примесей в целом по г. Братску, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество		Максимальная из разовых концентраций примеси, мг/м ³					Доля ПДК _{мр} в 2024 г.	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Азота (II) оксид	304	0,15	0,20	0,02	0,03	0,32	0,80	+113,3
Азота диоксид	301	0,27	0,09	0,07	0,06	нпо	–	-100,0
Бензол	602	1,00	2,40	0,50	2,40	0,02	0,07	-98,0
Взвешенные вещества	2902	1,40	0,48	нпо	0,25	0,3	0,60	-78,6
Пыль неорг., содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908	нпо	нпо	–	–	–	–	–
Серы диоксид	330	0,8	1,16	0,06	0,47	0,05	0,11	-93,4
Углерод	328	0,21	0,27	0,04	0,04	0,04	0,24	-79,5
Фториды неорг. плохо растворимые	344	0,08	–	–	–	–	–	–
Фтористые газообразные соединения	342	0,07	0,06	0,02	0,02	0,02	0,95	-71,2
Хлор	349	0,17	0,13	0,07	нпо	нпо	–	-100,0

В 2024 г., по сравнению с 2020 г., снизились среднесуточные концентрации азота диоксида на 100 %, хлора – на 100 %, серы диоксида – на 89,9 %, углерода – на 87,9 %, бензола – на 85,7 %, взвешенных веществ – на 68,2 %, фтористых газообразных соединений – на 62,5 %. Рост среднесуточных концентраций отмечен в отношении азота (II) оксида на 158,6 % и бенз(а)пирена на 52,2 %. В 2024 г. сохранялись превышения гигиенических нормативов по бенз(а)пирену до 28,0 ПДК_{сс} и взвешенным веществам до 1,38 ПДК_{сс}, также наблюдались концентрации фтористых газообразных соединений, близкие к предельно допустимым уровням до 1,05 ПДК_{сс} (табл. 2).

Таблица 2

Динамика максимальных из среднесуточных концентраций примесей
в целом по г. Братску, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество		Максимальная из среднесуточных концентраций примеси, мг/м ³					Доля ПДК _{сс} в 2024 г.	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Азота (II) оксид	304	0,06	0,07	0,01	0,01	0,15	–	+158,6
Азота диоксид	301	0,22	0,03	0,03	0,03	нпо	–	-100,0
Бенз(а)пирен	703	1.8E-05	1.2E-05	4.0E-06	2.0E-05	2.8E-05	28,0	+52,2
Бензол	602	0,14	0,60	0,27	0,95	0,02	0,25	-85,7
Взвешенные вещества	2902	0,65	0,40	0	0,20	0,21	1,38	-68,2
Пыль неорг., содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908	нпо	нпо	–	–	–	–	–
Серы диоксид	330	0,26	0,53	0,04	0,19	0,03	0,53	-89,9
Углерод	328	0,09	0,17	0,01	0,01	0,01	0,22	-87,9
Фториды неорг. плохо растворимые	344	0,05	–	–	–	–	–	–
Фтористые газообразные соединения	342	0,04	0,05	0,02	0,01	0,02	1,05	-62,5
Хлор	349	0,10	0,07	0,02	нпо	нпо	–	-100,0

За анализируемый период наблюдалась тенденция к снижению среднегодовых концентраций азота диоксида на 100 %, хлора – на 100 %, углерода – на 98,9 %, взвешенных веществ – на 90,9 %, серы диоксида – на 84,7 %, бензола – на 70,0 %, азота (II) оксида – на 60,4 %, фтористых газообразных соединений – на 26,4 %. Концентрации бенз(а)пирена увеличились по сравнению с предыдущими годами, темп прироста в 2024 г. составил 123,6 % относительно 2020 г. Также в 2024 г. по бенз(а)пирену отмечено превышение предельно допустимых концентраций в 2,63 раза (табл. 3).

Таблица 3

Динамика среднегодовых концентраций примесей в целом
по г. Братску, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество		Среднегодовая концентрация примеси, мг/м ³					Доля ПДК _{сг} в 2024 г.	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %
Наименование	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азота (II) оксид	304	0,0054	0,0043	0,0003	0,0002	0,0021	0,035	-60,4
Азота диоксид	301	0,025	0,001	0,0003	0,002	нпо	–	-100,0
Бенз(а)пирен	703	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	3.0E-06	2,63	+123,6
Бензол	602	0,015	0,031	0,008	0,018	0,004	0,74	-70,0
Взвешенные вещества	2902	0,19	0,04	нпо	0,04	0,02	0,22	-90,9

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пыль неорг., содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908	нпо	нпо	–	–	–	–	–
Серы диоксид	330	0,020	0,014	0,004	0,006	0,003	0,05	-84,7
Углерод	328	0,0156	0,0029	0,0001	0,0001	0,0002	0,01	-98,8
Фториды неорг. плохо растворимые	344	0,007	–	–	–	–	–	–
Фтористые газообразные соединения	342	0,004	0,003	0,004	0,004	0,003	0,56	-26,4
Хлор	349	0,010	0,006	0,001	нпо	нпо	–	-100,0

В целом по г. Братску наблюдается положительная динамика снижения концентраций приоритетных веществ. Исключение составляет повышение концентраций бенз(а)пирена в 2024 г. По данному показателю существует необходимость разработки дополнительных мер для снижения концентраций в дальнейшем.

Выводы. Оценка влияния снижения загрязнения воздуха приоритетными веществами в г. Братске за 2020–2024 гг. в целом по городу показала наличие тенденций к снижению концентраций по большинству общераспространенных примесей. В то же время уровень загрязнения атмосферного воздуха отдельными специфическими компонентами (бенз(а)пирен) сохраняется, что указывает на необходимость дополнительного времени для реализации эффектов от проводимых воздухоохраных мероприятий.

За исследованный период в г. Братске отмечено снижение:

– максимальных разовых концентраций по азота диоксиду, хлору, серы диоксиду, углероду, взвешенным веществам, фтористым газообразным соединениям (на 71,2–100 %);

– максимальных среднесуточных концентраций по азота диоксиду, хлору, серы диоксиду, углероду, взвешенным веществам, фтористым газообразным соединениям (на 62,5–100 %);

– среднегодовых концентраций по азота диоксиду, хлору, углероду, взвешенным веществам, серы диоксиду, азота (II) оксиду, фтористым газообразным соединениям (на 26,4–100 %).

Тенденция к росту концентраций ряда приоритетных загрязняющих веществ за период 2020–2024 гг. отмечена по:

– азота (II) оксиду по максимально разовым концентрациям на 113,3 %, по максимальным среднесуточным концентрациям на 158,6 %;

– бенз(а)пирену по максимальным среднесуточным концентрациям на 52,2 %, по среднегодовым концентрациям на 123,6 %.

В 2024 г. сохраняются превышения гигиенических нормативов по бенз(а)пирену (до 28,0 ПДК_{сс}, до 2,63 ПДК_{сг}), взвешенным веществам (до 1,38 ПДК_{сс}). В течение 2024 г. наблюдались концентрации фтористых газообразных соединений, близкие к предельно допустимым уровням (до 1,05 ПДК_{сс}).

Основными вкладчиками в загрязнение атмосферного воздуха в г. Братске, согласно данным сводной базы источников загрязнения атмосферного воздуха (2020), являются по бенз(а)пирену предприятия цветной и черной металлургии (ПАО «РУСАЛ Братск», ООО «ОУ БАУ Уголёк»), автономные источники теплоснабжения и автотранспорт на дорогах г. Братска; по азот (II) оксиду – предприятия энергетики, транспортные компании (Филиал ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6, ТЭЦ-7, Филиал ООО «Финтранс ГЛ» в г. Братске), автотранспорт на дорогах г. Братска.

Этапная гигиеническая оценка снижения загрязнения воздуха приоритетными веществами в г. Братске выявила положительную динамику улучшения качества атмосферного воздуха, подтвердив значимость продолжения реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух», а также определила приоритетные задачи на предстоящие периоды по дальнейшему управлению его состоянием.

Список литературы

1. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

2. Анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха городской среды (на примере г. Чита) / Л.А. Михайлова, Э.С. Томских, С.Э. Лапа [и др.] // Вестник Авиценны. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 228–236.

3. Власов В.А., Вологодина Я.В., Лебедева В.А. Загрязнение атмосферного воздуха как один из основных факторов риска для здоровья граждан в городе Красноярске // Аграрное и земельное право. – 2020. – № 7 (187). – С. 86–89.

4. Ефимова Н.В., Рукавишников В.С. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 9. – С. 998–1003.

5. Опыт обоснования и результаты мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска (в рамках федерального проекта «Чистый воздух») / И.В. Май, С.В. Клейн, С.Ю. Балашов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 45–52.

6. Тарновская Е.И., Ковчун А.А., Ковчун П.С. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных территорий // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции в рамках VI Всероссийского научно-общественного форума «Экологический форум-сайт», Саратов, 30–31 октября 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2024. – С. 26–30.

7. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2023 году: Государственный доклад. – Иркутск: ООО «Максима», 2024 г. – 308 с.

8. Город Братск – участник национального проекта «Экология» федерального проекта «Чистый воздух» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=424> (дата обращения: 16.04.2025).

9. Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Братске / утвержденный Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Д. Патрушевым от 04.07.2024 № ДП-П11-21017. – М., 2024. – 16 с.

10. Федеральный проект «Чистый воздух». Братск [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/clean-air/bratsk/> (дата обращения: 16.04.2025).

11. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development / G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva, I.V. May [et al.]. – Moscow, Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014. – 686 p.

12. Глебова Л.А., Бачина А. В., Симонова Т.В. Мониторинг атмосферного воздуха в городе Новокузнецке в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» // Актуальные вопросы гигиены и профилактики: сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 18–19 апреля 2024 года. – Омск: Омская гуманитарная академия, 2024. – С. 14–17.

13. Май И.В., Кокоулина А.А., Балашов С.Ю. К вопросу оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха для реализации федерального проекта «Чистый воздух» // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 11. – С. 931–936.

14. Мониторинг качества атмосферного воздуха в городах – участниках федерального проекта «Чистый воздух» Дальневосточного экономического района / В.Н. Федоров, А.А. Ковшов, Н.А. Тихонова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 6. – С. 510–518.

15. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 4. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.01

Динамика качества атмосферного воздуха г. Читы за период 2020–2024 гг. в ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух»

Е.В. Попова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Город Чита входит в список 12 городов с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, включенных в федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология». В результате исследования проанализирована динамика концентраций на посту социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Забайкальском крае» в г. Чите за период 2020–2024 гг. На конец 2024 г. общегородскими priori-

тетами, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов, являются азота (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, дигидросульфид, серы диоксид, углерода оксид, формальдегид.

Ключевые слова: атмосферный воздух, посты мониторинга, федеральный проект «Чистый воздух», город участник, приоритетные вещества.

Чита – административный центр Забайкальского края и Читинского района. Численность населения на 1 января 2024 г. – более 333,1 тыс. человек. Отнесен к приоритетным территориям, на которых реализуется федеральный проект «Чистый воздух», как город с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха [1].

Чита находится в зоне очень высокого потенциала загрязнения атмосферы, здесь часто создаются условия для накопления вредных веществ в атмосфере. Чаше всего повышенные концентрации загрязняющих веществ в атмосфере отмечаются в холодное время года [3]. Это обусловлено использованием угля в качестве топлива объектов теплоэнергетики и региональными климатическими и географическими особенностями, прежде всего продолжительной холодной зимой и расположением города в Читино-Ингодинской котловине [2–5].

Основными вкладчиками в загрязнение атмосферного воздуха в г. Чите, согласно данным сводной базы источников загрязнения атмосферного воздуха (2020), являются источники Публичного акционерного общества «ТГК-14» (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2), ОАО «Читинский машзавод», ОАО «Силикатный завод», ОАО «Читинский молочный комбинат», ЗАО «Читинские ключи», ОАО «МИР» и пр. Значительная часть индивидуальной жилой застройки применяет автономные источники теплоснабжения, в качестве топлива для них используются уголь (90 %) и дрова (10 %) [6].

Основной задачей федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» является снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух через реализацию комплексных планов мероприятий предприятий, региональных и муниципальных властей [7]. В качестве критерия эффективности и результативности мероприятий рассматривали показатели содержания вредных примесей в атмосфере города по данным социально-гигиенического мониторинга (СГМ), который ведет ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Забайкальском крае».

Материалы и методы. Анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха выполняли по данным инструментальных измерений в рамках СГМ в г. Чите за период 2021–2024 гг. Оценивали динамику концентраций 11 приоритетных примесей (азота (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, дигидросульфид, пыль неорганическая, содержащая 70–20 % SiO₂, серы диоксид, углерод, углерода оксид, формальдегид), которые утверждены согласно письму руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 21.12.2020 № 02/26092-2020-23 «Об определении приоритетных загрязняющих для территорий эксперимента».

Результаты. Основные результаты динамики концентраций приведены в табл. 1.

Установлено, что в течение 2020–2024 гг. на территории г. Читы наблюдается снижение взвешенных веществ на 61,73 % и углерода оксид на 38,55 % по максимальным из разовых концентраций, по остальным веществам наблюдается увеличение концентраций.

Основные результаты динамики концентраций приведены в табл. 2–3.

Таблица 1

Динамика максимальной из разовых концентраций примесей на посту наблюдения г. Читы, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество	Максимальная из разовых концентраций примеси								Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2021 г. ¹ , %
	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.				
Наименование		мг/м ³	доля ПДК _{мр}	доля проб выше ПДК, %						
Азота (II) оксид	304	0,08	0,43	4,75	0,81	1,7	4,25	6,0	+2025,0	+295,4
Азота диоксид	301	0,18	0,35	1,01	0,80	1,33	6,65	9,33	+638,9	+280,0
Бензол	602	–	0,12	0,10	0,44	0,21	0,69	0	–	+75,0
Взвешенные вещества	2902	0,81	0,29	3,44	3,41	0,31	0,61	0	–61,73	+6,90
Дигидросульфид	333	0,01	0,03	0,07	0,09	0,28	34,8	34,0	+2700,0	+833,3
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908	–	–	–	–	0,24	0,8	0	–	–
Серы диоксид	330	0,20	0,25	3,54	0,94	1,14	2,28	0,67	+470,0	+356
Углерод	328	–	0,03	0,12	0,13	0,13	0,88	0	–	+333,3
Углерода оксид	337	8,95	4,58	12,95	5,10	5,5	1,10	0,67	–38,55	+20,09
Формальдегид	1325	–	0,03	0,03	0,08	0,03	0,64	0	–	0

Таблица 2

Динамика максимальных из среднесуточных концентраций примесей на посту наблюдения г. Читы, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество	Максимальная из среднесуточных концентрация примеси								Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2021 г. ² , %
	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.				
Наименование		мг/м ³	доля ПДК _{сс}	доля проб выше ПДК, %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Азота (II) оксид	304	0,02	0,25	2,94	0,53	0,47	–	–	+2250,0	+88,0
Азота диоксид	301	0,11	0,30	0,63	0,55	0,68	6,83	10,67	+518,2	+126,7
Бенз(а)пирен	703	0,00002	0,00005	0,0001	0,0001	0,00006	58,9	65,3	+200,0	+20,0
Бензол	602	–	0,03	0,05	0,15	0,11	1,87	9,33	–	+266,7
Взвешенные вещества	2902	0,55	0,15	1,87	1,67	–	–	–	–	–

¹ Проведен сравнительный анализ темпа прироста к 2021 г., это связано с тем, что задачи по перечню веществ были поставлены после получения письма руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека №02/26092-2020-23 от 21.12.2020 «Об определении приоритетных загрязняющих для территорий эксперимента»

² Там же.

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дигидросульфид	333	0,01	0,02	0,06	0,07	0,10	–	–	+1328,0	+400,0
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908	–	–	–	–	0,08	0,76	0	–	–
Серы диоксид	330	0,06	0,09	1,98	0,43	0,29	5,70	25,3	+383,3	+222,2
Углерод	328	–	0,01	0,03	0,03	0,04	0,79	–	–	+471,4
Углерода оксид	337	7,95	2,66	5,66	4,30	3,91	1,30	12	-50,9	+46,99
Формальдегид	1325	–	0,02	0,02	0,04	0,02	1,50	9,33	–	+5,26

Таблица 3

Динамика среднегодовых концентраций примесей на посту наблюдения г. Читы, 2020–2024 гг.

Приоритетное загрязняющее вещество	Среднегодовая концентрация примеси						Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2020 г., %	Темп прироста концентрации в 2024 г. к 2021 г. ¹ , %	
	Код	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.			
Наименование		мг/м ³	ПДК _{гр} или ПДК _{сс}						
Азота (II) оксид	304	0,001	0,10	0,24	0,11	0,09	1,55	+9123,0	-10,0
Азота диоксид	301	0,05	0,09	0,22	0,18	0,06	1,54	+20,94	-33,3
Бенз(а)пирен	703	0	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	5,91	–	0
Бензол	602	–	0,009	0,02	0,03	0,02	3,44	–	+122,2
Взвешенные вещества	2902	0,08	0,01	0,23	0,36	0,06	0,75	-28,62	+500,0
Дигидросульфид	333	0,0008	0,008	0,02	0,02	0,009	4,43	+1065,8	+12,5
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: 70–20	2908*	–	–	–	–	0,005	0,05	–	–
Серы диоксид	330*	0,008	0,007	0,37	0,05	0,038	0,76	+406,9	+442,9
Углерод	328	–	0,0001	0,001	0,003	0,001	0,04	–	+900,0
Углерода оксид	337	1,91	0,41	1,21	0,73	0,68	0,23	-64,55	+65,85
Формальдегид	1325	–	0,004	0,004	0,01	0,004	1,22	–	0

Примечание: знаком «*» помечены вещества, у которых нет ПДК_{гр}, но есть ПДК_{сс}.

Установлено, что за период 2020–2024 гг. на территории г. Читы наблюдается снижение среднесуточных и среднегодовых концентраций углерода оксид на 50,9 и 64,55 % соответственно, по остальным веществам наблюдается увеличение концентраций, а также наблюдается снижение среднегодовых концентраций взвешенных веществ на 28,6 %.

Выводы. Оценка влияния динамики и уровня загрязнения воздуха приоритетными веществами в Чите как городе – участнике федерального проекта «Чистый воздух» показала:

1. За исследованный период в г. Чите отмечено снижение:

¹ Проведен сравнительный анализ темпа прироста к 2021 г., это связано с тем, что задачи по перечню веществ были поставлены после получения письма руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека №02/26092-2020-23 от 21.12.2020 «Об определении приоритетных загрязняющих для территорий эксперимента».

– взвешенных веществ (максимальных разовых концентраций на 61,7 %, среднегодовых концентраций – на 28,6 %);

– углерода оксида (максимальных разовых концентраций – на 38,5 %, среднесуточных концентраций – на 50,9 % среднегодовых концентраций – на 64,6 %);

2. Тенденция к росту концентраций ряда приоритетных загрязняющих веществ за период 2020–2024 гг. отмечена по:

– азота (II) оксиду (максимальные разовые концентрации – на 2025 %, среднесуточные концентрации – на 2250 %, среднегодовые концентрации – на 9123 %);

– азота диоксиду (максимальные разовые концентрации – на 638,9 %, среднесуточные концентрации – на 518,2 %, среднегодовые концентрации – на 20,9 %);

– дигидросульфиду (максимальные разовые концентрации – на 2700 %, среднесуточные концентрации – на 1328 %, среднегодовые концентрации – на 1065,8 %);

– серы диоксиду (максимальные разовые концентрации – на 470 %, среднесуточные концентрации – на 383,3 %, среднегодовые концентрации – на 406,9 %);

– бенз(а)пирену (среднесуточные концентрации – на 200 %).

3. Превышения гигиенических нормативов в 2024 г. зарегистрированы по следующим веществам:

– азота (II) оксиду – до 1,55 ПДК_{сг}, до 4,25 ПДК_{мр}.

– азота диоксиду – до 1,54 ПДК_{сг}, до 6,83 ПДК_{сс}, до 6,65 ПДК_{мр}.

– бенз(а)пирену – до 5,91 ПДК_{сг}.

– бензолу – до 3,44 ПДК_{сг}, до 1,87 ПДК_{сс}.

– дигидросульфиду – до 4,43 ПДК_{сг}, до 34,8 ПДК_{мр}.

– серы диоксиду – до 5,70 ПДК_{сс}, до 2,28 ПДК_{мр}.

– углерода оксиду – до 1,30 ПДК_{сс}, до 1,10 ПДК_{мр}.

– формальдегиду – до 1,22 ПДК_{сг}, до 1,50 ПДК_{сс}.

Выводы. За период 2020–2024 гг. оценка влияния снижения загрязнения воздуха приоритетными веществами в г. Чите по данным инструментального мониторинга на посту СГМ показала наличие тенденций к снижению концентраций ряда общераспространенных примесей. В то же время уровень загрязнения атмосферного воздуха отдельными компонентами сохраняется или имеет тенденцию к увеличению, что указывает на необходимость дополнительного времени для реализации эффектов от проводимых воздухоохраных мероприятий и их актуализацию.

На конец 2024 г. общегородскими приоритетами, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов, являются азота (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, дигидросульфид, серы диоксид, углерода оксид, формальдегид. Установлено, что стабильной динамики концентраций приоритетных веществ по г. Чите не наблюдается.

Необходимо продолжение работ по гигиенической оценке изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха Читы до достижения целевых показателей федерального проекта «Чистый воздух».

Список литературы

1. Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам

[Электронный ресурс] // Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/72150168/> (дата обращения: 22.04.2025).

2. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 4–13.

3. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2018 год. Ежегодник. – ФГБУ ГГО, Росгидромет. – СПб., 2019. – 250 с.

4. Анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха городской среды (на примере г. Чита) / Л.А. Михайлова, Э.С. Томских, С.Э. Лапа [и др.] // Вестник Авиценны. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 228–236.

5. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 4. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.01.

6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Забайкальском крае в 2017 году: Государственный доклад. – Чита, 2018. – 10 с.

7. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

Раздел II

Факторы риска для здоровья детей и подростков: оценка и пути снижения

Напряженность гуморального иммунитета к вакциноуправляемым инфекциям в условиях воздействия современного образовательного процесса и факторов среды обитания

С.Л. Валина, О.Ю. Устинова, И.Е. Штина,
О.А. Маклакова, В.Г. Макарова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Для установления этиопатогенетических факторов и закономерностей нарушений развития гуморального иммунитета к вакциноуправляемым инфекциям в условиях воздействия образовательного процесса и факторов среды обитания были обследованы общеобразовательные учреждения (МАОУ) с различной направленностью образовательных программ и 184 школьника. Проанализированы расписание уроков, результаты хронометража времени работы с электронными средствами обучения (ЭСО), продуктовый набор школьника, взаимодействие детей с электронными устройствами в досуговой и учебной деятельности, уровень физической активности, вакцинальный анамнез, содержание в крови химических соединений, обладающих иммунотоксическим действием, и уровни IgG к дифтерии, коклюшу, кори.

Результаты показали, что у учащихся МАОУ, реализующих углубленные образовательные программы, в условиях недостаточной продолжительности перемен, увеличения учебной нагрузки и продолжительности использования ЭСО, дисбаланса структуры продуктового набора, высокой цифровой и низкой физической активности, контаминации крови никелем, хромом, марганцем, толуолом, бензолом установлено снижение в 1,2–1,7 раза уровня IgG к дифтерии и коклюшу относительно показателей в типовых МАОУ. Определены основные детерминанты негативного влияния и вклады в вероятность снижения напряженности гуморального иммунитета к дифтерии и коклюшу ($R^2=0,13-0,96$; вклад: 10–55 %). Установленные особенности развития риск-ассоциированных нарушений поствакцинального иммунитета к дифтерии и коклюшу (нарушение регуляции Т-клеточного и дисфункция гуморального иммунитета, снижение фагоцитарной активности, выраженность свободнорадикального окисления и несостоятельность антиоксидантной защиты, развитие стресса, нарушение липидного обмена) и перечень маркерных лабораторных показателей являются научным основанием для разработки гигиенических мероприятий и повышения результативности вакцинации.

Ключевые слова: поствакцинальный иммунитет к дифтерии, коклюшу, кори, образовательный процесс, питание, образ жизни, химические факторы, этиопатогенетические особенности, маркерные лабораторные показатели.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529, одним из приоритетных направлений научно-технологического развития является «...превентивная и персонализированная медицина, обеспечение здорового долголетия». Инфекционные заболевания неизменно остаются одной из основных причин высокой смертности людей, несмотря на массовую вакцинацию, признанную во всем мире стратегической инвестицией в охрану здоровья человека и нации с очевидным социальным и экономическим эффектом [1, 2]. Отмечающийся в по-

следнее время рост заболеваемости «возвращающимися» инфекциями вызвал новый интерес к проблеме устойчивости специфического иммунитета против инфекций, сформированного при вакцинации [3].

Кроме недостаточного охвата вакцинацией, рыночных провалов систем здравоохранения, конфликтов, миграции населения и внутренних причин снижения иммунологической активности населения, связанных с особенностями индивидуума, указываются такие значимые факторы, как особенности питания, образа жизни, качество среды обитания [4–8].

Принимая во внимание представление о современной школьной среде как динамической многокомпонентной системе, содержащей ряд образовательных, социальных, психологических, химических факторов [9], а также высокую чувствительность иммунной системы к внешним воздействиям, решение проблемы устойчивости поствакцинального иммунитета у детей школьного возраста должно базироваться на комплексном изучении влияния актуальных факторов риска с учетом концепции многоуровневой регуляции гомеостаза.

Цель исследования – установить этиопатогенетические факторы и закономерности нарушений гуморального иммунитета к вакциноуправляемым инфекциям в условиях воздействия современного образовательного процесса и факторов среды обитания

Материалы и методы. Объектами исследования являлись муниципальные автономные общеобразовательные учреждения (МАОУ) с различной направленностью образовательных программ и 184 учащихся начальной, основной школы и старших классов, полноценно и своевременно вакцинированных / ревакцинированных против кори, коклюша и дифтерии. Группу наблюдения составил 101 школьник (средний возраст $11,33 \pm 2,9$ года), обучающийся в МАОУ, реализующих общеобразовательные программы с организацией углубленного изучения отдельных учебных предметов (МАОУ УИП). В группу сравнения включили 83 ребенка и подростка (средний возраст $11,87 \pm 3,4$ года), посещающих МАОУ «Средняя общеобразовательная школа», осуществляющих образовательную деятельность по стандартным образовательным программам общего образования (МАОУ СОШ).

Изучение особенностей организации образовательной деятельности в исследуемых МАОУ осуществлено с использованием данных анализа фактического расписания уроков и результатов хронометража времени работы с электронными средствами обучения (ЭСО) в школе¹. Анализ продуктового набора среднесуточного рациона школьника выполнен на основании данных дневников питания за одну неделю². Для изучения некоторых аспектов образа жизни (взаимодействие детей с электронными устройствами в досуговой и учебной деятельности, уровень физической активности) использованы данные авторской анкеты. Сведения о сроках введения вакцин получены методом выкопировки данных из медицинской документации (форма № 026/у-2000; форма № 156/у-93). Лабораторная диагностика, выпол-

¹ СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». Введены в действие с 01.01.2021 г.; СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Введены в действие с 01.03.2021 г.

² СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения». Введены в действие с 01.01.2021 г.

ненная стандартными унифицированными методами, включала химико-аналитическое исследование крови на содержание никеля, хрома, марганца, цинка, бензола, толуола; оценку окислительно-антиоксидантного статуса, состояния адаптивного (клеточного и гуморального) и врожденного иммунитета, липидного обмена, уровня отдельных компонентов стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем. Определение уровней иммуноглобулинов класса G к дифтерийному анатоксину, возбудителю коклюша (*Bordetella pertussis*) и кори в сыворотке крови выполнено методом иммуноферментного анализа, интерпретация результатов проведена согласно прилагаемым нормативам к используемым тест-системам.

Для статистической обработки полученной информации использована программа Statistica 10 и пакет статистических функций Microsoft Excel, 2010. Рассчитано отношение шансов (*OR*) с 95%-ным доверительным интервалом. Вероятность наступления эффекта при воздействии фактора оценивали с помощью логистической регрессии. Расчет вклада факторов риска в вероятность развития нарушений гуморального иммунитета к вакциноуправляемым инфекциям производили с использованием формулы:

$$P = \prod_{i=1}^M (1 - p_i),$$

где M – количество действующих факторов; p_i – вероятность развития нарушений поствакцинального иммунитета при воздействии i -го фактора.

Результаты. Сравнительная оценка организации образовательной деятельности показала, что в МАОУ УИП нарушения санитарных требований были более значительные. Так, продолжительность перерывов между уроками была меньше норматива в 1,1 раза, аналогичного показателя в МАОУ СОШ – в 1,2 раза ($8,81 \pm 2,12$ против $10,31 \pm 3,09$ мин, $p = 0,045$). При анализе недельной учебной нагрузки установлено, что среднее значение в МАОУ УИП ($36,0 \pm 2,8$ ч) в 1,2 раза превышало показатель в МАОУ СОШ ($30,7 \pm 1,1$ ч, $p = 0,045$). Длительность использования персонального компьютера (ПК) и интерактивной доски (ИД) на уроке в МАОУ УИП была в 1,5–1,7 раза выше показателя в МАОУ СОШ ($32,6 \pm 9,3$ против $21,2 \pm 6,7$ мин и $21,9 \pm 7,1$ против $12,8 \pm 3,7$ мин соответственно, $p = 0,004–0,012$); суммарно в течение учебного дня – в 1,3–1,5 раза ($41,6 \pm 11,2$ против $31,7 \pm 10,1$ мин и $29,2 \pm 9,9$ против $19,7 \pm 6,9$ мин соответственно, $p \leq 0,0001–0,004$).

В ходе оценки основного продуктового набора установлено, что школьники, обучающиеся в МАОУ УИП, потребляют мясо, рыбу, яйца, молоко, кисломолочные продукты на 28,6–89,7 % меньше относительно нормативных требований СанПиН 2.3/2.4.3590-20. При сравнении с аналогичными показателями в МАОУ СОШ снижение потребления в МАОУ УИП составило 13,1–48,3 % (кисломолочные продукты – $66,7 \pm 27,4$ против $76,8 \pm 31,4$ г/сут; мясо – $49,4 \pm 24,4$ против $60,7 \pm 28,7$ г/сут; яйцо – $6,5 \pm 3,3$ против $8,1 \pm 4,4$ г/сут; рыба – $12,4 \pm 9,5$ против $15,9 \pm 8,6$ г/сут; молоко – $29,6 \pm 17,4$ против $57,3 \pm 23,0$ мл/сут, $p \leq 0,0001–0,023$). В то же время среди учащихся МАОУ УИП курица оказалась высокопотребляемым продуктом, различия с рекомендуемой нормой питания достигли 26,8 %, с показателем в МАОУ СОШ – 49,8 % ($36,4 \pm 28,0$ против $24,3 \pm 12,7$ г/сут, $p < 0,001$).

Результаты анкетирования показали, что среди обучающихся в МАОУ УИП в 1,6 раза больше школьников, контактирующих в досуговой и учебной деятельности с 3 девайсами и более (35,2 против 21,9 %, $p = 0,048$) и в 3,4 раза – имеющих опыт применения электронных устройств в возрасте 6 лет и младше (43,2 против 12,6 %, $p < 0,001$).

На более низкую физическую активность учащихся МАОУ УИП указывает снижение относительно аналогичных показателей в МАОУ СОШ продолжительности и периодичности занятий физкультурой и спортом – в 2,1–2,4 раза ($179,4 \pm 21,6$ против $385,2 \pm 50,4$ мин/нед. и $2,12 \pm 0,18$ против $5,06 \pm 0,50$ раз/нед., $p < 0,001$), продолжительности интенсивных пеших прогулок – в 1,8 раза ($3,08 \pm 0,84$ против $5,70 \pm 1,16$ ч/нед., $p < 0,001$).

Установлено, что у обучающихся в МАОУ УИП уровни содержания в крови химических соединений, обладающих иммунотоксическим действием, в 1,2–2,6 раза превышали показатели у школьников МАОУ СОШ (никель – $0,0058 \pm 0,0008$ против $0,0049 \pm 0,0004$ мкг/см³, цинк – $4,712 \pm 0,175$ против $3,987 \pm 0,103$ мкг/см³, марганец – $0,016 \pm 0,001$ против $0,012 \pm 0,001$ мкг/см³, хром – $0,0053 \pm 0,0007$ против $0,0020 \pm 0,0004$ мкг/см³, бензол – $0,0006 \pm 0,0001$ против $0,00041 \pm 0,0001$ мкг/см³, толуол – $0,0015 \pm 0,0002$ против $0,0010 \pm 0,00011$ мкг/см³). При этом концентрации хрома и никеля в крови обследованных учащихся МАОУ УИП были выше фоновых уровней в 1,1–1,3 раза.

Результаты сравнительной оценки напряженности иммунитета к инфекциям, управляемым средствами специфической профилактики, свидетельствуют о снижении в условиях сочетанного воздействия химических факторов, учебного процесса, питания и низкой физической активности среднегруппового уровня IgG к дифтерийному анатоксину в 1,2 раза ($0,61 \pm 0,33$ против $0,72 \pm 0,35$ МЕд/мл в МАОУ СОШ, $p = 0,031$), к возбудителю коклюша – в 1,7 раза ($14,34 \pm 3,5$ против $24,07 \pm 9,53$ усл. ед. соответственно, $p < 0,001$). Уровень противокклюшных антител ниже протективного установлен у 35,3 % учащихся группы наблюдения, что в 2,1 раза больше, чем в группе сравнения (16,7 %, $p = 0,005$; $OR = 2,67$; $DI = 1,35–5,52$; $p = 0,007$). При сравнении среднегрупповых показателей уровня антител к возбудителю кори и доли лиц с протективным уровнем среди учащихся группы наблюдения и группы сравнения ($0,66 \pm 0,88$ против $0,55 \pm 0,91$ МЕ/мл и 57,4 против 46,9 %) статистически значимых различий не установлено ($p = 0,409–0,156$).

В результате построения однофакторных регрессионных моделей зависимости уровней IgG к вакциноуправляемым инфекциям от ненормативных уровней факторов образовательного процесса, питания, образа жизни, контаминации биосред химическими соединениями установлено, что повышение вероятности снижения уровня напряженности гуморального иммунитета к дифтерийному анатоксину связано с низким потреблением кисломолочных продуктов и рыбы ($0,33 \leq R^2 \leq 0,72$; $p < 0,001$), увеличением в рационе курицы ($R^2 = 0,86$; $p < 0,001$), содержанием в крови металлов (хром, марганец, никель) ($0,13 \leq R^2 \leq 0,78$; $p < 0,001$). Провоцирующими факторами понижения уровня IgG к возбудителю коклюша является укорочение продолжительности перемен ($R^2 = 0,17$; $p < 0,001$), пеших прогулок ($R^2 = 0,57$; $p < 0,001$), снижение потребления кисломолочных продуктов, мяса, рыбы, яиц ($0,34 \leq R^2 \leq 0,96$; $p < 0,001$), раннее использование электронных устройств ($R^2 = 0,42$; $p < 0,001$), увеличение концентрации марганца в крови ($R^2 = 0,19$; $p < 0,001$).

Изолированный вклад в вероятность снижения напряженности гуморального иммунитета к дифтерии составляет: несбалансированного питания (низкое потребление кисломолочных продуктов и рыбы, высокое – курицы) – 18–55 %, повышения контаминации крови никелем, марганцем, хромом – 10–36 %; к коклюшу: укорочения перемен – 19 %, пеших прогулок – 40 %, раннего использования электронных устройств – 13 %, повышения контаминации крови марганцем – 24 %. Суммарный вклад при сочетанном воздействии актуальных факторов в развитие нарушений поствакцинального иммунитета к дифтерии исчисляется на уровне 72 %, к коклюшу – 77 %.

В ходе обоснования перечня негативных лабораторных эффектов у школьников в условиях воздействия особенностей образовательного процесса и факторов среды обитания проведено сопоставление биохимических и иммунологических показателей крови и установлена связь их с актуальными факторами риска методом математического моделирования.

Так, для обследованных учащихся МАОУ УИП характерно в 1,2 раза более высокое содержание малонового диальдегида плазмы (2,8 (2,2; 3,5) против 2,4 (2,1; 3,0) мкмоль/см³, $p = 0,029$), имеющее связь с высоким потреблением курицы ($R^2 = 0,25$; $p < 0,001$), содержанием хрома в крови ($R^2 = 0,10$; $p = 0,012$). Более низкое значение антиоксидантной активности плазмы (34,08 (29,7; 38,5) против 36,0 (30,1; 39,3) %, $p = 0,033$), связанное с недостаточным присутствием в рационе мяса ($R^2 = 0,25$; $p < 0,001$), указывает на снижение антиокислительной защиты.

О снижении функциональных резервов коры надпочечников и ослаблении стресс-лимитирующей системы свидетельствует уменьшение выработки кортизола (238,7 (185,6; 329,7) против 272,6 (190,7; 429,4) МЕ/см³, $p = 0,045$), обусловленное высокой контаминацией марганцем, хромом ($R^2 = 0,10$ – $0,36$; $p < 0,001$), дисбалансом потребления мяса и птицы ($R^2 = 0,05$ – $0,11$; $p < 0,001$), и снижение медианы содержания в крови магния (0,85 (0,8; 0,9) против 0,90 (0,9; 1,0) ммоль/дм³; $p = 0,002$), имеющее связь с высоким потреблением курицы ($R^2 = 0,75$; $p < 0,001$) и содержанием никеля в крови ($R^2 = 0,21$; $p < 0,001$).

Адаптивный иммунный ответ у школьников группы наблюдения характеризуется более высоким относительным содержанием CD3+ (71,0 (66,0; 75,0) против 66,0 (62,0; 70,0) %, $p = 0,029$), CD3+CD4+-лимфоцитов (38,4 (33,1; 42,0) против 36,5 (31,0; 40,3) %, $p = 0,035$) и снижением относительно показателя в группе сравнения уровня CD3+CD8+-лимфоцитов (24,0 (21,0; 28,0) против 26,0 (22,0; 32,0) %, $p = 0,0006$), связанным с недостаточной продолжительностью перемен между уроками ($R^2 = 0,10$; $p < 0,001$), избыточным присутствием курицы в рационе ($R^2 = 0,10$ – $0,46$; $p \leq 0,001$ – $0,017$), содержанием хрома, марганца, никеля в крови ($R^2 = 0,14$ – $0,94$; $p < 0,001$).

Увеличение в 1,4 раза уровня цитокина IL-6 (1,69 (1,33; 2,07) против 1,21 (1,03; 1,49) пг/мл, $p = 0,037$) обусловлено высоким уровнем потребления курицы ($R^2 = 0,10$; $p = 0,008$) и повышением концентрации марганца и никеля в биосредах ($R^2 = 0,04$ – $0,85$; $p \leq 0,001$ – $0,048$).

Для обследованных учащихся группы наблюдения свойственно в 1,2 раза более низкое содержание IgG (10,4 (9,31; 12,72) против 12,3 (10,80; 14,65) г/дм³, $p = 0,037$), имеющее связь с недостаточным потреблением кисломолочных продуктов и яиц ($R^2 = 0,010$ – $0,13$; $p \leq 0,001$ – $0,003$).

На недостаточную активность системы неспецифической защиты у детей, обучающихся в МАОУ УИП, указывает более низкая медиана фагоцитарного числа

(ФЧ) (0,95 (0,76; 1,21) против 1,07 (0,86; 1,27) усл. ед.; $p = 0,024$), связанная с недостаточным потреблением мяса, яиц и избыточным присутствием курицы в рационе ($R^2 = 0,38-0,42$; $p \leq 0,001$).

Следует также отметить у этих школьников более высокий уровень липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) (2,17 (1,82; 2,57) против 1,99 (1,61; 2,51) ммоль/дм³, $p = 0,012$), обусловленный ранним возрастом использования электронных устройств ($R^2 = 0,23$; $p < 0,001$) и повышенной контаминацией крови хромом, марганцем, никелем ($R^2 = 0,22-0,58$; $p < 0,001$), а также в 1,6 раза более низкую медиану уровня серотонина (162,8 (129,9; 212,3) против 257,6 (95,4; 271,1) нг/мл, $p = 0,045$), имеющую связь с увеличением содержания хрома в крови ($R^2 = 0,25$; $p < 0,001$).

Результаты последовательного моделирования позволили установить перечень маркерных лабораторных показателей риск-ассоциированных нарушений гуморального иммунитета к дифтерийному анатоксину: ↓CD3+CD8+-лимфоциты, отн. ($R^2 = 0,36$; $p < 0,001$), ↓IgG ($R^2 = 0,35$; $p < 0,001$), ↓магний ($R^2 = 0,94$; $p < 0,001$), ↑CD3+CD4+-лимфоциты, отн. ($R^2 = 0,44$; $p < 0,001$), ↑IL-6 ($R^2 = 0,10$; $p = 0,049$), ↑холестерин ЛПНП ($R^2 = 0,35$; $p < 0,001$); к возбудителю коклюша: ↓CD3+CD8+-лимфоциты, отн. ($R^2 = 0,21$; $p < 0,001$), ↓IgG ($R^2 = 0,23$; $p < 0,001$), ↓ФЧ ($R^2 = 0,39$; $p < 0,001$).

Таким образом, в условиях значительных нарушений гигиенических требований к продолжительности перемен и ЭСО, к объему недельной учебной нагрузки, дисбаланса структуры продуктового набора, снижения в 1,8–2,4 раза физической и повышения в 1,6–3,4 раза цифровой активности, а также в 1,2–2,6 раза – контаминации крови никелем, хромом, цинком, марганцем, толуолом, бензолом, у учащихся МАОУ УИП в 1,2–1,7 раза ниже напряженность гуморального иммунитета к дифтерийному анатоксину и возбудителю коклюша. Установлены основные детерминанты негативного влияния на развитие поствакцинального иммунитета к дифтерии и коклюшу: продолжительность перемен ($R^2 = 0,17$; вклад 19 %); уровень потребления рыбы, курицы, яиц, мяса, кисломолочных продуктов ($R^2 = 0,33-0,96$; вклад 18–55 %); возраст начала цифровой активности и продолжительность пеших прогулок ($R^2 = 0,42-0,57$; вклад 13–40 %); содержание в крови марганца, никеля, хрома ($R^2 = 0,13-0,78$; вклад 10–36 %). Для школьников в условиях сочетанного воздействия химических факторов среды обитания, учебного процесса, образа жизни, питания характерно нарушение регуляции Т-клеточного и дисфункция гуморального иммунитета, снижение фагоцитарной активности, дисбаланс систем перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты, развитие стресса, нарушение липидного обмена, связанных со структурой питания ($R^2 = 0,10-0,75$; $p \leq 0,001-0,017$), цифровой активностью ($R^2 = 0,23-0,61$; $p < 0,001$), контаминацией биосред химическими веществами ($R^2 = 0,10-0,94$; $p \leq 0,001-0,048$). Установленные закономерности и перечень маркерных лабораторных показателей развития у школьников риск-ассоциированных нарушений поствакцинального иммунитета к дифтерии (снижение CD3+CD8+-лимфоцитов, IgG, магния, повышение CD3+CD4+-лимфоцитов, интерлейкина-6, ЛПНП), коклюшу (снижение CD3+CD8+-лимфоцитов, IgG, фагоцитарного числа) являются научным основанием для разработки гигиенических мероприятий в отношении образовательного процесса и качества

среды обитания, методов прогнозирования иммунологической эффективности вакцинопрофилактики, индивидуализации и повышения результативности вакцинации.

Список литературы

1. Басова А.В., Комкова Г.Н. Механизмы обязательной вакцинации: проблемы и способы решения // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 2023. – Т. 67, № 4. – С. 320–328. DOI: 10.47470/0044-197X-2023-67-4-320-328
2. О повышении эффективности вакцинации против вирусных и бактериальных патогенов посредством дотаций микронутриентов / И.Ю. Торшин, О.А. Громова, В.А. Максимов, А.Г. Чучалин // *Пульмонология*. – 2023. – Т. 33 (1). – С. 65–75. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-2356
3. Su S.B., Chang H.L., Chen A.K. Current Status of Mumps Virus Infection: Epidemiology, Pathogenesis, and Vaccine // *Int J Environ Res Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 5. – P. 1686. DOI: 10.3390/ijerph17051686
4. Харсеева Г.Г., Тюкавкина С.Ю. Основы вакцинологии. Оценка поствакцинального иммунитета (материал для подготовки лекции) // *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. – 2020. – Т. 9, № 3 (34). – С. 106–118. DOI: 10.33029/2305-3496-2020-9-3-106-118
5. Пивоварова О.А., Кураева В.М. Международные аспекты антивакцинаторства: последствия для общественного здравоохранения (обзор литературы) // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 2022. – Т. 66 (6). – С. 542–548. DOI: 10.47470/0044-197X-2022-66-6-542-548
6. Concentrations of tetanus and diphtheria antibodies in vaccinated Greenlandic children aged 7-12 years exposed to marine pollutants, a cross sectional study / C.A.G. Timmermann, H.S. Pedersen, P. Weihe, P. Bjerregaard, F. Nielsen, C. Heilmann [et al.] // *Environ Res*. – 2022. – Vol. 203. – P. 111712. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111712
7. Долгих О.В., Никоношина Н.А. Риск формирования дисбаланса популяционного состава лимфоцитов и специфической сенсибилизации у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном в Арктической зоне России // *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 4. – С. 68–75. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.06
8. Болдырева Ю.В., Губин Д.Г. Влияние физической активности на состояние иммунной системы организма // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2023. – Т. 23 (4). – С. 23–30. DOI: 10.14529/hsm230403
9. Александрова И.Э. Гигиеническая оптимизация учебного процесса в школе в условиях использования электронных средств обучения // *Анализ риска здоровью*. – 2020. – № 2. – С. 47–54. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.05

Особенности развития респираторной патологии у детей с персистирующей герпетической инфекцией в условиях аэрогенного воздействия химических веществ

О.А. Маклакова, С.Л. Валина, О.Ю. Устинова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В последние десятилетия сохраняется рост заболеваемости детей болезнями органов дыхания, особенно на территориях промышленных городов. Изучены особенности развития респираторной патологии у детей с персистирующей герпетической инфекцией в условиях аэрогенного воздействия химических веществ.

Проведено клиническое обследование 496 детей в возрасте 5–17 лет, проживающих на территории промышленного центра (группа наблюдения) и на территории относительного санитарно-гигиенического благополучия (группа сравнения). У детей, проживающих в условиях аэрогенного воздействия техногенных химических веществ, регистрируется в 29,7–66,1 % случаев повышенное содержание бензола, п-, м-ксилола, марганца, хрома и цинка в крови относительно фоновых уровней. В группе наблюдения 2/3 детей имели маркеры вируса Эпштейна – Барр, цитомегаловируса, 48,2 % – вируса простого герпеса 1, 2-го типов. У более половины экспонированных детей с герпетической инфекцией встречаются аллергические заболевания слизистой носа и хроническая лимфопролиферативная патология носоглотки, сопровождающиеся в 1/3 случаев выраженными нарушениями носового дыхания. Риск развития хронической лимфопролиферативной патологии носоглотки выше в 1,3 раза в группе наблюдения. У детей, проживающих в условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами, в 39,8 % случаев формируется внутрисистемная коморбидность заболеваний органов дыхания, риск которой выше в 1,5 раза. В условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами риск развития сопутствующей патологии (заболеваний щитовидной железы, расстройства вегетативной нервной системы) у детей с персистирующей герпетической инфекцией возрастает в 1,6 раза.

Ключевые слова: дети, респираторная патология, персистирующая герпетическая инфекция, техногенные химические вещества.

В настоящее время заболеваемость детей болезнями органов дыхания сохраняет лидирующие позиции и остается достаточно высокой [1, 2]. Согласно данным официальной статистики в 2023 г. впервые выявленная патология органов дыхания, составила 120378,4 случая на 100 тыс. детского населения [3].

По данным Всемирной организации здравоохранения рост заболеваемости респираторной, сердечно-сосудистой патологией взрослого и детского населения обусловлен загрязнением атмосферного воздуха, особенно на территориях промышленных центров [4]. В крупных городах развитая транспортная инфраструктура, деятельность промышленных предприятий приводят к интенсивному загрязнению атмосферного воздуха смесью химических веществ, в том числе взвешенными веществами, ароматическими углеводородами, формальдегидом, металлами и дру-

гими соединениями, что способствует развитию респираторной патологии дыхательной системы, имеющей чаще рецидивирующее течение [5–8].

Аэрогенное воздействие химических веществ на органы дыхания приводит к развитию местного хронического воспаления в слизистой оболочке, формированию иммуноаллергических и дистрофических процессов, при этом происходит снижение активности местных механизмов противоинфекционной резистентности верхних дыхательных путей [9–11].

Известно, что инфицированность герпесвирусами происходит уже в детском возрасте [12–13]. Длительная бессимптомная циркуляция и персистенции герпесвирусов в организме человека в дальнейшем приводит к нарушению функционирования иммунной системы, формированию хронического воспаления, что содействует микст-инфицированию, рецидивированию хронической респираторной патологии, развитию неблагоприятных исходов [14–16].

В исследованиях последних лет показано, что антропогенное загрязнение атмосферного воздуха не только приводит к нарушению адаптивных систем организма, но и способствует распространению инфекционной патологии, развитию осложнений и хронизации соматических болезней [17–18].

Таким образом, в настоящее время остается актуальным изучение развития болезней органов дыхания у детей с персистирующей герпетической инфекцией в условиях аэрогенного воздействия техногенных химических факторов, что позволит повысить эффективность проводимых профилактических и лечебно-диагностических мероприятий.

Цель исследования – изучить особенности развития респираторной патологии у детей с персистирующей герпетической инфекцией в условиях аэрогенного воздействия химических веществ.

Материалы и методы. Проведено клиническое обследование 496 детей в возрасте 5–17 лет. Из них 268 детей, проживающих на территории промышленного центра Пермского края (49,2 % мальчиков и 50,8 % девочек; средний возраст $10,82 \pm 0,46$ года), составили группу наблюдения; 228 детей, проживающих на территории относительного санитарно-гигиенического благополучия (51,3 % мальчиков и 48,7 % девочек; средний возраст $10,96 \pm 0,46$ года) – группу сравнения. Группы были сопоставимы по половозрастному составу ($p = 0,641–0,672$). По результатам натурных исследований атмосферного воздуха, проводимых ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», на территории наблюдения установлено присутствие в атмосферном воздухе и воздухе помещений ароматических углеводородов (бензол, ксилолы), металлов (хром, цинк) ниже референтных концентраций при хроническом ингаляционном воздействии ($RfC_{хр.}$), при этом концентрации формальдегида были выше в 1,7 раза, содержание марганца – в 4,8 раза $RfC_{хр.}$ ($p < 0,05$). Установлено, что на территории наблюдения среднеарифметические концентрации формальдегида, металлов (марганца, хрома, цинка) в атмосферном воздухе были выше в 1,5–3,9 раза, чем на территории сравнения ($p < 0,05$).

Медико-биологические исследования детей проводились после получения письменного добровольного информированного согласия у законных представителей несовершеннолетних в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации (с изменениями и дополнениями 2008 г.) и Национальным стандартом РФ ГОСТ-Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая прак-

тика» (ICH E6 GCP) и были одобрены этическим комитетом ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» (протокол № 2, 2016 г.).

Клиническое обследование включало медико-социальное анкетирование, осмотр врачами-специалистами (педиатр, аллерголог, оториноларинголог) с анализом медицинской карты ребенка для образовательных учреждений (форма № 026/у-2000); функциональные исследования (риноманометрия, спирография); лабораторную диагностику (общеклинический и биохимический анализы крови; иммунологическое исследование, в том числе иммуноферментный анализ крови для определения содержания титров IgG к вирусу простого герпеса 1, 2-го типов, цитомегаловирусу, НА-антигенам вируса Эпштейна – Барр и полимеразная цепная реакция мазков буккального эпителия для выявления ДНК простого герпеса 6-го типа, цитомегаловируса, вируса Эпштейна – Барр), химико-аналитическое исследование крови. Функциональная и лабораторная диагностика выполнены по стандартным методикам, отклонения соответствующих показателей оценивались по возрастным физиологическим нормативам. Химическо-аналитическое определение в биосредах (крови) формальдегида осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в соответствии с МУК 4.1.2111-06, ароматических углеводородов (бензола, ксилолов) – методом газовой хроматографии в соответствии с МУК 4.1.765-99, металлов (марганца, хрома, цинка) – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в соответствии с МУК 4.1.3230-14. Концентрации химических веществ в крови детей оценивали относительно региональных фоновых уровней содержания исследуемых соединений в крови детского населения, проживающего на экологически благополучных территориях Пермского края.

Анализ полученной информации выполнен общепринятыми методами с использованием прикладной программы Statistica 6.0 и с помощью специально разработанных программных продуктов, сопряженных с приложениями MS-Office. Проведен расчет относительного риска (*RR*), отношения шансов (*OR*) и их 95%-ных доверительных интервалов (*CI*), достоверность нижней границ которых превышала 1,0. Для установления причинно-следственных зависимостей между воздействием техногенных химических факторов, герпетической инфекции и развитием заболеваний у детей выполнено математическое моделирование с помощью однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера (*F*), коэффициенту детерминации (R^2) и *t*-критерию Стьюдента при уровне статистической значимости $p \leq 0,05$ [19].

Результаты. По результатам химико-аналитического исследования биосред установлено, что у детей, проживающих в условиях аэрогенного воздействия техногенных химических веществ, выявлено наличие в крови бензола ($0,0013 \pm 0,00009$ мг/дм³) и *p*-, *m*-ксилола ($0,0034 \pm 0,0002$ мг/дм³), уровни которых в 1,2–1,6 раза превышали показатели детей группы сравнения ($p = 0,217–0,0008$). Повышенное содержание этих ароматических углеводородов встречалось у 60,4–66,1 % детей группы наблюдения, что до 1,6 раза было выше данных сравниваемой группы ($p = 0,004–0,0001$). Средняя концентрация формальдегида в крови практически у всех детей (94,7–95,8 %) значимо превышала фоновые уровни ($p < 0,05$) и была выше в 1,3 раза в группе наблюдения ($p = 0,0007$). Среднее содержание марганца, хрома и цинка в крови у обследованных детей находилось в пределах фоновых уровней; при этом в группе наблюдения пробы крови с повышенным содержанием металлов встречались в 1,4–2,1 раза чаще ($p = 0,083–0,001$).

Исследование маркеров герпесвирусов в мазках из ротоглотки выявило практически у каждого третьего обследованного ребенка наличие вируса герпеса 6-го типа, у каждого четвертого – вируса Эпштейна – Барр, в единичных случаях встречался цитомегаловирус ($p = 0,422-0,87$). При этом у детей группы наблюдения среднее содержание копий ДНК EBV было в 3,3 раза выше (3600 [870; 14700] копий ДНК EBV / 10^5 клеток против 1100 [530; 6600] копий ДНК EBV / 10^5 клеток в группе сравнения, $p = 0,367$). По данным иммуноферментного анализа 3/4 детей в группе наблюдения и 2/3 детей в группе сравнения имели IgG-антитела к антигенам CMV и ядерному антигену NAEBV ($p = 0,242-0,321$), а IgG-антитела к антигенам HSV1,2 регистрировались у каждого второго ребенка в группе наблюдения (48,2 %), что было в 1,2 раза чаще данных сравниваемой группы (40,7 %, $p = 0,321$). Среднее содержание HSV1,2 IgG в сыворотке крови было в 1,5 раза выше также у детей группы наблюдения (0,74 [0,42; 5,14] усл. ед. против 0,49 [0,25; 5,26] усл. ед. в группе сравнения, $p = 0,003$), а уровень антител к антигенам CMV и ядерному антигену NAEBV не имел значимых различий между сравниваемыми группами ($p = 0,255-0,373$).

Результаты клинического обследования показали, что заболевания органов дыхания встречались чаще у детей группы наблюдения (76,8 против 69,3 % случаев в группе сравнения; $p = 0,06$), среди которых наиболее распространенной патологией были воспалительные заболевания слизистой носовой полости. Аллергический ринит (J30.0, J30.3), поллиноз (J30.1) диагностировались у 53,4 %, хронический ринит (J31.0) – у 24,8 % детей группы наблюдения, что было в 1,2 раза чаще данных сравниваемой группы (46,2 и 19,6 % соответственно; $p = 0,173-0,239$). Установлена достоверная причинно-следственная связь вероятности развития патологии слизистой носа при повышенном содержании в крови марганца и цинка ($R^2 = 0,12-0,35$; $20,21 \leq F \leq 155,21$; $p = 0,0001$), хронического ринита с уровнем маркера простого герпеса 1, 2-го типов ($R^2 = 0,12$; $F = 19,36$; $p = 0,00019$).

Хроническая лимфопролиферативная патология носоглотки (J31.0, J35.1, J35.2, J35.3) в 1,3 раза чаще регистрировалась у детей группы наблюдения (58,25 против 44,94 % в группе сравнения; $p = 0,012$), при этом гипертрофия небных миндалин (40,3 %) и аденоиды (41,7 %) встречались у них с одинаковой частотой, превышая в 1,7–2,4 раза показатели группы сравнения (23,4 и 17,7 % соответственно, $p = 0,001-0,0001$). У детей, проживающих в условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами, установлена достоверная причинно-следственная связь вероятности развития хронических заболеваний лимфоидной ткани в носоглотке при повышенном содержании в крови бензола, п-, м-ксилолов, формальдегида и металлов ($R^2 = 0,18-0,81$; $43,66 \leq F \leq 1224,58$; $p = 0,0001$). Кроме того, выявлена причинно-следственная связь наличия хронических лимфопролиферативных заболеваний с уровнем маркеров простого герпеса 1, 2-го типов и вируса Эпштейна – Барр ($R^2 = 0,11-0,64$; $21,87 \leq F \leq 263,10$; $p = 0,0001-0,00002$). Относительный риск развития хронической лимфопролиферативной патологии был в 1,3 раза выше у детей группы наблюдения ($RR = 1,29$; $CI = 1,05-1,59$).

Хроническая патология нижних дыхательных путей (бронхиальная астма, аллергический и рецидивирующий бронхит) регистрировалась в 1,5 раза чаще в группе наблюдения (11,6 против 7,6 % в группе сравнения, $p = 0,198$). Установлена достоверная причинно-следственная связь вероятности развития рецидивирующего

бронхита с повышенным содержанием марганца и хрома в крови ($R^2 = 0,21-0,52$; $34,85 \leq F \leq 119,06$; $p = 0,0001$).

Внутрисистемная коморбидность заболеваний органов дыхания встречалась в 1,5 раза чаще у детей в группе наблюдения (39,8 против 25,9 % в группе сравнения; $p = 0,006$). Сочетание хронических ринитов и хронической лимфопролиферативной патологии выявлено у 25,2 % детей группы наблюдения, что было в 1,4 раза чаще данных сравниваемой группы (18,3 %; $p = 0,116$). Одновременно заболевания верхних и нижних дыхательных путей также отмечались в 1,5 раза чаще в группе наблюдения (10,2 %; 6,9 % – в группе сравнения; $p = 0,281$). Заболевания нижних дыхательных путей (рецидивирующий бронхит, бронхиальная астма) сопровождалась хронической патологией лимфоидного кольца носоглотки у 4,4 % детей группы наблюдения и одного ребенка в группе сравнения (0,6 %; $p = 0,028$). Установлено, что риск возникновения внутрисистемной коморбидности у детей, проживающих в условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами, выше в 1,5 раза ($RR = 1,53$; $CI = 1,12-2,09$).

Среди сопутствующей патологии у детей с заболеваниями органов дыхания в группе наблюдения в 1,4 раза чаще регистрировались болезни щитовидной железы (48,5 против 35,4 % в группе сравнения; $p = 0,012$), в 1,6 раза – расстройства вегетативной нервной системы (44,2 против 27,8 % соответственно; $p = 0,001$), функциональная кардиопатия (29,1 против 18,3 % соответственно; $p = 0,019$). Установлена достоверная причинно-следственная связь вероятности развития тиреоидной патологии, вегетативной дистонии, функциональной патологии сердца при повышенном содержании в крови бензола, п-, м-ксилолов, формальдегида, марганца и цинка ($R^2 = 0,16-0,76$; $58,17 \leq F \leq 901,49$; $p = 0,0001$). Выявлена причинно-следственная связь наличия фокальных изменений щитовидной железы с уровнем маркера вируса Эпштейна – Барр ($R^2 = 0,13$; $F = 24,67$; $p = 0,00002$), вегетативных дисфункций с уровнем маркера простого герпеса 1, 2-го типов ($R^2 = 0,50$; $F = 152,12$; $p = 0,0001$). Относительный риск развития заболеваний щитовидной железы в группе наблюдения составил 1,4 ($RR = 1,37$; $CI = 1,06-1,76$), расстройства вегетативной нервной системы – 1,6 ($RR = 1,59$; $CI = 1,18-2,13$).

По данным проведенной передней активной риноманометрии выявлено, что практически каждый второй обследованный ребенок имел нарушение носового дыхания, при этом среднegrupповые значения суммарного объемного потока и суммарного сопротивления в точке фиксированного давления 150 Па не имели значимых различий между сравниваемыми группами ($p = 0,265-0,283$). Отмечено, что легкие обструктивные нарушения носового дыхания встречались в 3,2 раза чаще у детей в группе наблюдения (15,15 против 4,76 % в группе сравнения; $p = 0,002$), а выраженная носовая обструкция – в 1,8 раза значимо чаще в группе наблюдения (26,78 и 15,15 % соответственно; $p = 0,014$). Получено наличие достоверной причинно-следственной связи развития нарушения носового дыхания при увеличении концентрации бензола, п-, м-ксилола и хрома в крови ($R^2 = 0,181-0,383$; $32,915 \leq F \leq 182,303$; $p = 0,0001$). Вероятность развития выраженного нарушения носового дыхания у детей группы наблюдения была выше в 2,0 раза, чем в группе сравнения ($OR = 2,049$; $DI = 1,141-3,680$).

Исследования иммунологического статуса детей выявили активацию абсолютного фагоцитоза в исследуемых группах ($2,23 \pm 0,1410^9/\text{дм}^3$ в группе наблюдения и $2,24 \pm 0,1710^9/\text{дм}^3$ в группе сравнения; $p = 0,939$), при этом повышенный уро-

вень абсолютного фагоцитоза встречался в 1,2 раза чаще в группе наблюдения (56,1 против 47,9 % в группе сравнения; $p = 0,108$). Получено наличие зависимости между вероятностью увеличения абсолютного фагоцитоза в крови и повышенной концентрацией бензола, формальдегида и марганца в крови ($R^2 = 0,111-0,548$; $34,565 \leq F \leq 415,382$; $p = 0,0001$). Содержание сывороточного иммуноглобулина М у детей группы наблюдения составило $1,22 \pm 0,045$ г/дм³ и было ниже физиологической нормы ($p = 0,072$) и уровня группы сравнения ($1,29 \pm 0,055$ г/дм³, $p = 0,038$). Оценка данных фенотипирования лимфоцитов показала, что у детей группы наблюдения абсолютное и относительное содержание CD4⁺-клеток, соотношение CD4⁺/CD8⁺ были значимо выше показателей группы сравнения ($p = 0,028-0,0001$), однако находились в пределах физиологического уровня. У 15,4 % детей группы наблюдения регистрировалось повышенное содержание IL-4 (группе сравнения в 2 % случаев, $p = 0,012$). Установлено наличие зависимости между вероятностью увеличения содержания IL-4 в крови и повышенной концентрацией бензола в крови ($R^2 = 0,871$; $F = 1491,79$; $p = 0,0001$) и уровнем в мазке из ротоглотки ДНК HHV6, в крови HSV1,2 IgG, EBV-NA IgG ($R^2 = 0,409-0,774$; $91,801 \leq F \leq 1046,72$; $p = 0,0001$). Уровень общей сенсибилизации (общий иммуноглобулин Е) у детей группы наблюдения находился в пределах физиологического норматива и был ниже в 1,43 раза показателя группы сравнения ($p = 0,067$).

Выводы. Таким образом, у 2/3 детей, проживающих в условиях аэрогенного воздействия техногенных химических веществ, на фоне контаминации биосред формальдегидом регистрируется повышенное содержание в крови бензола, п-, м-ксилола, у каждого второго ребенка – марганца, хрома, и в 29,7 % случаев – цинка относительного фонового уровня. Инфицированность вирусом Эпштейна – Барр, цитомегаловирусом в группе наблюдения имели до 77,6 % детей, практически у каждого второго ребенка определялись антитела к вирусу простого герпеса 1, 2-го типов. В условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами болезни органов дыхания встречались у 3/4 детей и были представлены в 53,4–58,2 % случаев воспалительными заболеваниями слизистой носа и хронической лимфопролиферативной патологией носоглотки, связанными с повышенным содержанием в крови ароматических углеводородов, формальдегида, металлов и уровнем маркеров простого герпеса 1, 2-го типов и вируса Эпштейна – Барр. У 26,8 % экспонированных детей болезни дыхательной системы сопровождались выраженной носовой обструкцией, в 56,1 % случаев – активацией абсолютного фагоцитоза, обусловленных повышенным содержанием в крови ароматических углеводородов, формальдегида, марганца и хрома. Отмечено, что относительный риск развития хронической лимфопролиферативной патологии у детей группы наблюдения выше в 1,3 раза. При этом у 39,8 % экспонированных детей формируется внутрисистемная коморбидность заболеваний органов дыхания, сопряженных с герпетической инфекцией, а риск возникновения сочетанной респираторной патологии у детей, проживающих в условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами, выше в 1,5 раза. Практически у каждого второго ребенка группы наблюдения с заболеваниями органов дыхания, сопряженных с герпетической инфекцией, регистрируются болезни щитовидной железы, у 44,2 % – вегетативная дистония, у 29,1 % – функциональная патология сердца, при этом риск развития заболеваний щитовидной железы, расстройства вегетативной нервной системы выше до 1,6 раза в условиях аэрогенного загрязнения техногенными химическими факторами.

Список литературы

1. Основные тенденции заболеваемости среди детского населения / А.А. Антонова, Г.А. Яманова, В.Ф. Боговденнова, Д.Н. Умарова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1. – С. 6–9.
2. Аношкина Е.В., Гаммель И.В., Кононова С.В. Динамика заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения страны // Медицинский альманах. – 2018. – № 3. – С. 120–123.
3. Заболеваемость детского населения России (0–14 лет) в 2023 году с диагнозом, установленным впервые в жизни: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2023. – 156 с.
4. Информационный бюллетень ВОЗ. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека. 24 октября 2024 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 09.04.2025).
5. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье населения (обзор литературы) / З.Б. Бактыбаева, Р.А. Сулейманов, Т.К. Валеев, Н.Р. Рахматуллин // Медицина труда и экология человека. – 2018. – № 4. – С. 12–25.
6. Чанчаева Е.А., Гвоздарева О.В., Гвоздарев А.Ю. Состояние атмосферного воздуха и здоровье детей в условиях возрастающей транспортной и теплоэнергетической нагрузки // Экология человека. – 2019. – № 11. – С. 12–19.
7. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха и состояния здоровья детского населения на территориях с развитой нефтяной отраслью / З.Б. Бактыбаева, Р.А. Сулейманов, А.А. Кулагин, Р.Х. Гиниятуллин, Т.К. Валеев // Гигиена и санитария. – 2019. – № 9. – С. 949–955.
8. Кадникова Е.П. Оценка состояния здоровья детей, проживающих в условиях воздействия токсической нагрузки в городах с развитой цветной металлургией Свердловской области // Здоровье населения и среда обитания. – 2022. – № 9. – С. 67–76. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-9-67-76
9. Намазбаева З.И., Базелюк Л.Т., Ешмагамбетова А.Б. Оценка дыхательной системы подростков, проживающих на урбанизированных территориях // Гигиена и санитария. – 2018. – № 3. – С. 230–233.
10. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Колпаков Ф.А. О роли загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами в патогенезе хронических заболеваний легких // Пульмонология. – 2017. – № 27 (3). – С. 404–409. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-3-404-409
11. Выявление цитогенетических нарушений в эпителиоцитах слизистой оболочки полости рта у детей и подростков, проживающих в районах с различной степенью химического загрязнения окружающей среды / В.Г. Маймулов, П.Г. Ромашов, Т.С. Черныкина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2011. – № 5. – С. 36–39.
12. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Блох А.И. Распространенность антител к вирусу Эпштейна – Барр в разных возрастных группах населения Европы и Азии: систематический обзор и метаанализ // Здравоохранение Российской Федерации. – 2021. – Т. 65 (3). – С. 276–286. DOI: 10.47470/0044-197X-2021-65-3-276-286

13. Значение герпесвирусов в этиологии ряда инфекционных и соматических заболеваний детей / Т.Н. Рыбалкина, Н.В. Каражас, П.А. Савинков [и др.] // *Детские инфекции*. – 2017. – № 3. – С. 10–19.
14. Сизова Е.Н., Федоровская Н.С. Оценка распространенности Эпштейна – Барр вирусной инфекции на современном этапе (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*. – 2024. – Т. 103, № 3. – С. 242–245. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-3-242-245
15. Нестерова И.В., Халтурина Е.О. Моно- и микст-герпетические инфекции: ассоциированность с клиническими синдромами иммунодефицита // *Вестник РУДН. Серия: Медицина*. – 2018. – Т. 22, № 2. – С. 226–234.
16. Герпесвирусные инфекции у детей с рецидивирующими респираторными заболеваниями / М.Ю. Лысенкова, Н.В. Каражас, Е.В. Мелехина [и др.] // *Детские инфекции*. – 2018. – № 2. – С. 17–20.
17. Савилов Е.Д., Ильина С.В. Особенности инфекционной патологии детского населения в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. – 2012. – Т. 62, № 1. – С. 58–63.
18. Популяционные аспекты эпидемиологии герпесвирусных инфекций в крупном промышленном городе / Т.А. Аглымова, И.М. Хаертынова, Р.Т. Нугманов, О.Ю. Князева // *Практическая медицина*. – 2017. – № 4. – С. 56–62.
19. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины. – М.: Медиа Сфера, 1998. – 352 с.

Анализ многолетней динамики уровня заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата у детей в возрасте 0–14 лет в Пермском крае

С.В. Редько, И.Е. Штина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

По данным официальной статистики в России заболеваемость детей болезнями глаза и его придаточного аппарата составляет 5–6 % от общей заболеваемости детского населения, не имея тенденции к снижению. В Пермском крае заболеваемость детей в возрасте 0–14 лет миопией имеет устойчивую тенденцию к росту. Проведена оценка и актуализация информации относительно многолетней динамики детской заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата в Пермском крае. Выполнен анализ многолетней детской заболеваемости в Пермском крае по классу и группам болезней глаза и его придаточного аппарата за период 2009–2023 гг. Осуществлены корреляционный и регрессионный анализы для установления связи между годом исследования и частотой случаев. В ходе статистического анализа информации использованы корреляционный коэффициент Спирмена, коэффициент

регрессии, стандартная ошибка, коэффициента Стьюдента, коэффициент детерминации. Статистически значимыми считали различия при уровне $p \leq 0,05$.

Выявлена обратная связь умеренной силы «болезни глаза и его придаточного аппарата – год» ($r = -0,73$; $p < 0,003$), прямая сильная связь «миопия – год» ($r = 0,94$; $p < 0,001$), слабая прямая связь «болезни мышц глаза, аккомодации и рефракции – год» ($r = 0,46$; $p < 0,008$), слабая обратная связь «астигматизм – год» ($r = -0,56$; $p < 0,003$). Установлено, что ожидается снижение прогнозируемой заболеваемости класса болезней глаза и его придаточного аппарата на 1,14 случая на 1000 детей в возрасте 0–14 лет в год и увеличение прогнозируемой заболеваемости миопией на 1,25 случая в год.

Ключевые слова: динамика детской заболеваемости, болезни глаза и его придаточного аппарата, миопия.

Состояние здоровья подрастающего поколения – один из наиболее значимых факторов благополучия общества и государства. Неудовлетворительные показатели состояния здоровья детей являются актуальной проблемой современности. Неуклонное снижение числа практически здоровых детей, возрастающее количество детей, страдающих хронической патологией, рассматриваются многими исследователями как одна из серьезных проблем России.

Особое внимание, уделяемое оценке заболеваемости и динамике ее формирования, является обоснованным и объясняется установленной зависимостью ее уровня от воздействия различных внешнесредовых, гигиенических, социальных и других факторов среды обитания [1]. В ходе современного образовательного процесса у значительной части детей (68 %) возникают множественные нарушения функционального состояния органов и систем, 17 % детей приобретают хронические заболевания, и только один ребенок из трех остается здоровым [2].

В последние годы отмечается рост уровня распространенности нарушений зрения и патологии зрительного анализатора в детском возрасте. По данным официальной статистики, в Российской Федерации заболеваемость болезнями глаза и его придаточного аппарата у детей в возрасте от 0 до 14 лет составляет 5–6 % от общей заболеваемости детского населения, не имея тенденции к снижению за последние годы (119,1–124,9 на 1000 детского населения в 2022–2023 гг.), в структуре которой ведущее место занимают миопия, а также болезни мышц глаза, аккомодации и рефракции [3–5]. Вместе с тем миопия, в том числе в детском возрасте, является одной из самых распространенных причин потери зрения [6].

Оценка динамики показателей заболеваемости позволяет выявлять проблемные ситуации и критические точки для привлечения внимания специалистов в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия и общественного здоровья и здравоохранения с целью последующей разработки эффективных организационных, медико-профилактических и управленческих мероприятий.

Цель исследования – оценка и актуализация информации относительно многолетней динамики заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата у детей в возрасте от 0 до 14 лет, проживающих в Пермском крае.

Материалы и методы. В рамках поставленной цели подготовлен план работы, объектом исследования явилась информация о многолетней детской заболеваемости в Пермском крае по классу болезней глаза и его придаточного аппарата (Н00–Н59), включающего группу болезней мышц глаза, нарушения содружествен-

ного движения глаз, аккомодации и рефракции; астигматизм и миопию, в том числе с диагнозом, установленным впервые в жизни. При проведении исследования использованы статистические сборники Федеральной службы государственной статистики РФ и Пермского края; ФГБУ «ЦНИИ организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России, материалы Государственного доклада по Пермскому краю «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае». В ходе ретроспективного анализа, подбора и оценки данных применены общелогические методы научного познания – синтез, аналогия, обобщение и сравнение [7].

Статистическая обработка материалов проведена с применением функций статистического приложения Jamovi 1.6.23.0. Выполнены корреляционный и регрессионный анализы. Параметры корреляции представлены коэффициентом Спирмена (r) и уровнем значимости (p). Параметры линейной регрессионной модели для константы и предиктора (год) представлены в таблице в виде значения коэффициента регрессии, стандартной ошибки, коэффициента Стьюдента, коэффициента детерминации (R^2), отражающего связь между параметрами модели и уровнем значимости (p). Статистически значимыми считали различия при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты. В ходе анализа официальных статистических материалов впервые выявленной заболеваемости детей в возрасте от 0 до 14 лет в Пермском крае за период 2019–2022 гг. установлено, что доля болезней глаза и его придаточного аппарата в структуре детской заболеваемости по всем нозологиям составляет 2,3–3,2 %, при этом распространенность этих болезней – 51,4 на 1000 детского населения, что несколько превышает среднероссийский показатель в 44,0 ‰ [8–11]. Одновременно в период 2009–2023 гг. в Пермском крае наблюдается стабилизация динамики в показателях детской заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата – 144,4–135,9 ‰. Вместе с тем заболеваемость миопией имеет устойчивый тренд к росту 37,5–57,6 ‰ [12, 13].

Для оценки динамики и прогнозирования уровня общей заболеваемости по классу «болезни глаза и его придаточного аппарата» и его подгрупп методом линейной регрессии предварительно выполнен корреляционный анализ. Установлена обратная связь умеренной силы «болезни глаза и его придаточного аппарата – год» ($r = -0,73$; $p < 0,003$), прямая сильная связь «миопия – год» ($r = 0,94$; $p < 0,001$), слабая прямая связь «болезни мышц глаза, аккомодации и рефракции – год» ($r = 0,46$; $p < 0,008$), слабая обратная связь «астигматизм – год» ($r = -0,56$; $p < 0,003$).

Результаты математического моделирования представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Параметры линейной регрессионной модели «год – вероятность ответа (болезни глаза и его придаточного аппарата)»

Фактор	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Коэффициент Стьюдента	Коэффициент детерминации	p
Константа	2434	808	3,01	-	< 0,001
Год	-1,14	0,4	-2,84	0,38	< 0,001

Таблица 2

Параметры линейной регрессионной модели «год – вероятность ответа (миопия)»

Фактор	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Коэффициент Стьюдента	Коэффициент детерминации	<i>p</i>
Константа	-2480	294	-8,43	-	< 0,001
Год	1,25	0,15	8,58	0,85	< 0,001

Таблица 3

Параметры линейной регрессионной модели «год – вероятность ответа (астигматизм)»

Фактор	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Коэффициент Стьюдента	Коэффициент детерминации	<i>p</i>
Константа	247	87,9	2,81	-	< 0,001
Год	-0,12	0,04	-2,67	0,35	< 0,002

Таким образом, на основании расчета значения коэффициента регрессии линейных уравнений ожидается снижение прогнозируемой детской заболеваемости по классу болезней глаза и его придаточного аппарата на 1,14 случая на 1000 детей в возрасте 0–14 лет в год и увеличение прогнозируемой детской заболеваемости миопией на 1,25 случая в год при одновременном незначительном снижении случаев астигматизма ($p < 0,002$). Дополнительный анализ детской заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата показал, что прогнозируемое снижение обусловлено в том числе отрицательной динамикой заболеваемости инфекционно-воспалительной этиологии (конъюнктивит) ($r = -0,79$; $p < 0,001$).

Прогрессированию миопии в детском возрасте способствует развитие компьютеризации, модификация программ обучения, постоянно возрастающая нагрузка на близком расстоянии и чрезмерное зрительное напряжение [14]. С полученными результатами согласуются данные группы исследователей, установивших статистически значимое влияние высокой недельной образовательной нагрузки, нерационального использования электронных средств обучения в школе, количества используемых электронных устройств на развитие нарушений рефракции и аккомодации, в том числе миопии [15]. Подобная негативная тенденция отражает проявление глобальной социально-гигиенической проблемы, связанной с последующим ограничением трудоспособности в зрелом возрасте и снижением качества жизни.

Выводы. Динамика уровней заболеваемости характеризует не только эффективность реализации медико-профилактических мероприятий, но и свидетельствует о необходимости разработки и поддержания их реализации на должном уровне. Распространенность и высокая социальная значимость нарушений зрения у детей свидетельствует о наличии социально-гигиенических проблем в организации воспитания и обучения детей и определяет необходимость поиска эффективных путей их профилактики.

Список литературы

1. Мировая статистика здравоохранения – 2013: пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 2014. – 167 с.

2. Здоровье детей Санкт-Петербурга / В.И. Орел, В.М. Середа, А.В. Ким, Л.Л. Шарафутдинова [и др.] // Педиатр. – 2017. – № 8 (1). – С. 112–119.
3. Здоровоохранение в России. 2021: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2021. – 171 с.
4. Общая заболеваемость детского населения России (0–14 лет) в 2023 году: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2023. – 156 с.
5. Распространенность миопии у школьников некоторых регионов России / О.В. Проскурина, Е.Ю. Маркова, В.В. Бржеский, Е.Л. Ефимова, М.Н. Ефимова [и др.] // Офтальмология. – 2018. – № 15 (3). – С. 348–353.
6. Зеленцов Р.Н., Унгурияну Т.Н., Поскотинова Л.В. Возрастные аспекты заболеваемости миопией на европейском севере России // Экология человека. – 2022. – № 1. – С. 19–26.
7. Лебедев С.А. Методология научного познания. – М.: Проспект, 2017.
8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2021 году: Государственный доклад. – Пермь: Управление Роспотребнадзора по Пермскому краю, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2022. – 240 с.
9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2023 году: Государственный доклад. – Пермь: Управление Роспотребнадзора по Пермскому краю, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2024. – 261 с.
10. Здоровоохранение в России. 2021: статистический сборник. – М.: Росстат, 2021. – 171 с.
11. Здоровоохранение в России. 2023: статистический сборник. – М.: Росстат, 2023. – 179 с.
12. Общая заболеваемость детского населения России (0–14 лет) в 2023 году: статистические материалы. – М.: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2023. – 156 с.
13. Заболеваемость детей в возрасте 0–14 лет по основным классам болезней в 2000–2023 гг. по Пермскому краю. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.clipr.cc/M4D0k> (дата обращения: 04.04.2025).
14. Емельянова И.Н., Орел В.И., Бржеский В.В. Социально-гигиенические факторы прогрессирования миопии у школьников современного мегаполиса // Медицина и организация здравоохранения. – 2021. – № 6 (4). – С. 51–59.
15. Особенности и риск формирования миопии у учащихся средних общеобразовательных школ с различными образовательными программами / И.Е. Штина, С.Л. Валина, О.Ю. Устинова [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 80–87.

Количественная оценка вкладов алиментарных факторов в нарушение концентрации билирубина общего в крови детей школьного возраста

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Согласно современным научным данным, билирубин обладает рядом как негативных, так и позитивных функций в организме человека. Помимо функции по удалению активных форм кислорода, билирубин обладает мощным иммунодепрессивным свойством, связанным с долгосрочными патофизиологическими последствиями. Оценка вкладов алиментарных факторов на концентрацию билирубина общего позволит выделить приоритетные пищевые компоненты, оказывающие как позитивное, так и негативное влияние, тем самым уменьшить риск развития сопутствующих заболеваний и увеличить ожидаемую продолжительность жизни населения. С целью параметризации вкладов пищевых факторов проведен анкетный опрос обучающихся 1–11-х классов, в рамках которого получена информация о суточном питании опрошенных. Наравне с анкетированием проведен медицинский осмотр школьников с отбором лабораторных проб. Использование математического моделирования с применением нейронных сетей позволило установить скрытые закономерности между исследуемыми факторами и развитием нарушений билирубина общего. Полученная нейросетевая модель обладает высокой степенью достоверности прогноза. Результаты нейросетевого моделирования показали снижение вероятности увеличения уровня билирубина при повышении доли витаминов В₁₂ и В₉ в рационе питания. Микроэлементами, оказывающим одно из наибольших негативных влияний, являются хром и марганец. Полученные данные могут быть использованы в качестве дополнительного источника информации для профилактики распространения алиментарно-зависимых патологий пищеварительной системы.

Ключевые слова: питание, нейросетевое моделирование, пищеварительная система, билирубин, вклады.

Сложность разработки профилактических мер, направленных на снижение распространенности алиментарно-зависимых заболеваний среди детей и подростков может заключаться в гетерогенности причин нозологии. Не представляется возможным разработать общую программу, направленную на гарантированное снижение распространенности нарушений среди всего населения, включающую совокупность таких параметров, как индивидуальные поведенческие особенности организма, рацион, двигательная активность и различные социально-экономические особенности семей. Все больше приобретают популярность методы, позволяющие персонализированно, с учетом вышеобозначенных параметров индивида, определить необходимые условия, дающие возможность достоверно снизить вероятность развития нозологии на индивидуальном уровне. Однако данные методы требуют применение актуальных математических подходов с использованием искусственного интеллекта и нейронных сетей.

Билирубин, являющийся ключевым продуктом катаболизма гема, играет важную роль в физиологии и патологии детского возраста. Гипербилирубинемия, особенно в неонатальном периоде, может приводить к развитию ядерной желтухи и необратимому поражению центральной нервной системы [1, 2]. В связи с этим изучение факторов, влияющих на концентрацию билирубина в крови, включая нутритивный статус и характер питания, представляет значительный научный и клинический интерес.

Цель исследования – анализ вкладов алиментарных факторов на развитие нарушений уровня билирубина общего у детей школьного возраста с выделением приоритетных факторов в различных исследуемых группах.

Материалы и методы. В качестве источника информации выступают данные анкетирования детей в возрасте 7–18 лет. В рамках анкетирования респондентам предлагалось заполнить «Карты питания», которые отражают особенности индивидуального употребления отдельных видов продуктов и способа их приготовления, осредненные за длительный период.

Функциональность индивидуальной карты питания была отработана на студентах Пермского государственного национального исследовательского университета.

Всего в исследовании за период 2021–2024 гг. было опрошено с заполнением карт 1930 детей из различных регионов Российской Федерации. Параллельно с заполнением карты питания все респонденты прошли углубленное медицинское исследование, включающее врачебный осмотр и лабораторное исследование крови.

Расчет поступления макро- и микронутриентов с пищей проводился в соответствии с уровнями содержания пищевых компонентов, полученных из информационно-аналитической системы «Химический состав и пищевых продуктов питания, используемых в Российской Федерации», разработанной ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», и справочника «Химический состав и калорийность российских пищевых продуктов» под редакцией академика РАН, проф. В.А. Тутельяна.

Суточное количество поступающих с пищей элементов рассчитывается по формуле (1):

$$x = \frac{mt}{7} \cdot 0.01 \cdot v_i \cdot c_i, \quad (1)$$

где x – количество поступающего вещества с пищей, г/мг/мкг; m – вес потребляемого продукта питания, г; t – количество дней в неделю потребления продукта питания; v_i – содержание в 100 г продукта питания микро-, макроэлемента, г/мг/мкг; c_i – коэффициент изменения содержания вещества в зависимости от способа приготовления пищи.

Моделированием причинно-следственных связей между поступлением макро-, микронутриентов в организм и нарушением лабораторным показателей было выдвинуто предположение о множественном и нелинейном характере искомых зависимостей, в связи с чем актуальным является использование нейронных сетей в качестве инструмента для моделирования причин. Построение моделей искусст-

венных нейронных сетей проводилось с использованием библиотеки neuralnet в программном продукте R-Studio.

Качество полученной нейросетевой модели оценивалось с использованием ROC-анализа, благодаря которому был построен график отношения между чувствительностью и специфичностью при различных пороговых значениях. Чувствительность оценивает способность модели правильно распознавать случаи наличия заболевания, специфичность показывает способность модели правильно определять отсутствие заболевания.

Количественная оценка прогнозирования построенных нейросетевых моделей проводилась с использованием показателя AUC.

Оценка параметров модели, отражающая зависимость «фактор – вероятность ответа» проводится методом построения множественной логистической регрессионной модели (2):

$$p_j = \frac{1}{1 + e^{-(b_{0j} + \sum_i b_{ij}x_i)}}, \quad (2)$$

где p_j – вероятность возникновения заболевания из j -й нозологической группы; x_i – вероятность отклонения i -го лабораторного показателя от нормы; b_0 , b_i – параметры математической модели.

Результаты. Моделирование причинно-следственных связей, основанное на построении модели искусственных нейронных сетей, позволило формализовать множественное влияние комплекса поступающих макро-, микроэлементов на изменение билирубина общего, выступающего в качестве маркера алиментарно-зависимого заболевания.

Наличие моделей множественного влияния поступления компонентов пищи в организм позволило определить зависимые биохимические показатели как маркеры негативных эффектов, определяющих дополнительные вероятности возникновения нарушений билирубина. Оптимальная модель обладает внешним слоем нейронов (41, 30, 10) и выходным слоем вероятности повышения билирубина общего. Проведенный ROC-анализ позволил установить значение AUC, равное 0,83, что свидетельствует о высокой степени достоверности полученной математической модели (рисунок).

Анализ среднестатистического рациона школьников показал отсутствие негативного влияния на повышения уровня билирубина в крови, вероятность которого составило $0,241 \cdot 10^{-10}$. В таблице представлено распределение вероятностей повышения уровня билирубина в крови в зависимости от поступающих с пищей макро-, микроэлементов.

Установлено положительное действие на стабилизацию антиоксидантной активности плазмы крови фолиевой кислоты (витамин B₉). Защитное действие фолиевой кислоты на организм человека от окислительного стресса подтверждается исследованием P. Du, S. Zhang, S. Li et al [3]. Установлено, что коэффициент эластичности для фолиевой кислоты составляет 13 %.

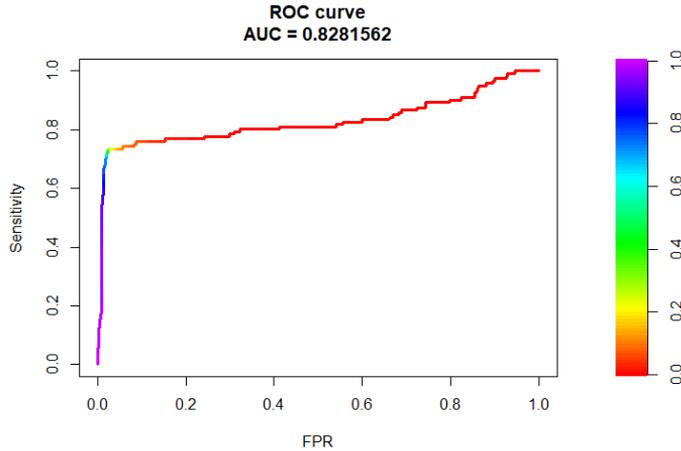


Рис. Результаты ROC-анализа нейросетевой модели повышения билирубина у школьников

Изменение вероятности развития повышения уровня билирубина общего в крови школьников, ассоциированное с повышенным поступлением микро-, макроэлементов на 1 %

Фактор	Коэффициент эластичности, %
МДС	16,4
Mn	11,7
Cr	8,9
Co	5,4
Mg	5,1
Углеводы	5,0
Калорийность	4,8
Ca	2,1
Витамин E	0,1
Среднее значение	0,0
B ₁	-0,7
Пищевые волокна	-1,6
Белки животного происхождения	-1,6
Витамин D	-1,9
P	-3,1
Na	-3,3
Аскорбиновая кислота	-3,4
Fe	-3,6
B ₂	-4,0
I	-4,1
Холестерин	-4,1
Se	-4,3
K	-4,6
Белки	-5,8
Жиры	-6,4
Витамин B ₉	-14,5
Витамин B ₁₂	-27,2

Кроме того, обращает на себя внимание негативное влияние хрома на показатели антиоксидантной активности (коэффициент эластичности 5,1 %). Дуализм хрома, позитивно влияющего на показатели глюкозы и негативно на состояние окислительного стресса, отмечается в ряде научных исследованиях [4, 5].

Выводы. В результате обработки нейросетевой модели установлены наиболее приоритетные пищевые компоненты, оказывающие влияние на изменение вероятности нарушения концентрации билирубина общего в крови. Обработка результатов моделирования позволила установить, что наиболее оптимальными пищевыми факторами является употребление продуктов, богатых витаминами В₉ и В₁₂. Наибольший негативный вклад оказывает повышенное употребление моно-, дисахаридов, марганца и хрома. Полученные результаты математического моделирования могут быть использованы как методические рекомендации для разработки региональных мероприятий, направленных на снижение распространенности нарушений уровня билирубина в крови и, как следствие, на снижение общей заболеваемости и увеличение ожидаемой продолжительности жизни.

Список литературы

1. The physiology of bilirubin: health and disease equilibrium / L. Vitek, TD.Jr. Hinds, D.E. Stec, C. Tiribelli // *Trends Mol Med.* – 2023. – Vol. 29 (4). – P. 315–328. DOI: 10.1016/j.molmed.2023.01.007.
2. Transcutaneous bilirubinometry versus total serum bilirubin measurement for newborns / C.I. Okwundu, A. Olowoyeye, O.A. Uthman, J. Smith, C.S. Wiysonge, V.K. Bhutani, M. Fiander, K.S. Gautham // *Cochrane Database Syst Rev.* – 2023. – Vol. 5 (5). – CD012660. DOI: 10.1002/14651858.CD012660.pub2
3. Du P. [et al.]. Folic acid protects melanocytes from oxidative stress via activation of Nrf2 and inhibition of HMGB1 // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* – 2021. – Vol. 2021, №. 1. – P. 1608586. DOI: 10.1155/2021/1608586
4. Synergistic chromium (VI) reduction and phenol oxidative degradation by FeS₂/Fe₀ and persulfate / W. Yang [et al.] // *Chemosphere.* – 2021. – Vol. 281. – P. 130957. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130957
5. Menadione sodium bisulfite alleviated chromium effects on wheat by regulating oxidative defense, chromium speciation, and ion homeostasis / S.H. Askari [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2021. – Vol. 28. – P. 36205–36225. DOI: 10.1007/s11356-021-13221-0.

Половые особенности показателей школьной тревожности теста Филлипса

И.Е. Штина^{1,2}, Л.В. Ошева¹, С.Л. Валина¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера», г. Пермь, Россия

Повышенная школьная тревожность оказывает негативное влияние на состояние учащихся в целом. Понимание половых особенностей школьной тревожности будет способствовать своевременной организации профилактических мероприятий, направленных на психологическое и соматическое благополучие учащихся.

Для изучения половых особенностей показателей школьной тревожности теста Филлипса обследовано 148 детей в возрасте 7–14 лет, в том числе 72 девочки и 76 мальчиков в возрасте 11 (10; 12) и 12 (10; 13) лет соответственно. Всем детям выполнен тест школьной тревожности Филлипса на базе компьютерного комплекса «НС-Психотест».

Установлено, что доминирующими факторами школьной тревожности у учащихся обоих полов (у 46,6–54,7 %) были страх ситуаций проверки знаний, страх самовыражения и страх в отношениях с учителями. У мальчиков относительно девочек в 2,4 раза чаще регистрировали повышенное значение фактора фрустрации потребности в достижении успеха, в 1,4–3,0 раза реже – высокое значение факторов страха самовыражения, страха ситуации проверки знаний и низкой физиологической сопротивляемости стрессу.

Распространенность факторов школьной тревожности, частота встречаемости с учетом пола указывает на целесообразность изучения данной проблемы у учащихся.

Ключевые слова: школьники, половые различия, школьная тревожность Филлипса, образовательная организация.

Учебная деятельность для ребенка представляет собой совокупность стрессогенных факторов, способствующих возрастанию школьной тревожности, поэтому создание и поддержание условий для душевного, физического и социального благополучия является одним из основных ориентиров для образовательных учреждений [1–3]. Школьная тревожность – одна из форм проявления эмоционального неблагополучия ребенка. Повышенная школьная тревожность оказывает негативное влияние на адаптивность, развитие познавательных процессов, показатели состояния здоровья и способствует формированию психологического дискомфорта [1, 4]. Вопрос учета половой дифференциации в образовательном процессе приобретает все большую популярность и востребованность в условиях современной школы [5–7]. Интенсивность переживания тревоги, уровень и условия возникновения тревожности у мальчиков и девочек различны из-за ряда факторов, таких как отличия в темпах созревания головного мозга, в проявлении эмоциональной, когнитивной, поведенческой сфер, в определении доминантных особенностей [5, 8, 9]. Понимание половых особенностей школьной тревожности будет способствовать своевременной организации и проведению профилактиче-

ских мероприятий, направленных на формирование эмоционального комфорта, психологическое и соматическое благополучие учащихся [2, 4, 10].

Цель исследования – изучение половых особенностей показателей школьной тревожности теста Филлипса.

Материалы и методы. Всего обследовано 148 детей в возрасте 7–14 лет. Доля девочек составила 48,6 % ($n = 72$), мальчиков 51,4 % ($n = 76$), $p = 0,743$. Медианное значение возраста 11 (10; 12) и 12 (10; 13) лет соответственно ($p = 0,176$). Все дети были условно здоровы на момент тестирования, не имели признаков нарушения психологического состояния.

Тест школьной тревожности Филлипса выполнен на базе компьютерного комплекса для психофизиологического тестирования «НС-Психотест» («Нейрософт», Россия). В результате теста определены такие факторы тревожности, как общая тревожность в школе, переживание социального стресса, фрустрация потребности в достижении успеха, страх самовыражения, страх ситуации проверки знаний, страх не соответствовать ожиданиям окружающих, низкая физиологическая сопротивляемость стрессу, проблемы и страхи в отношениях с учителями с итоговой оценкой общей тревожности. Исследование проведено в условиях типичного рабочего дня, применен произвольный способ формирования выборки. Статистическую обработку результатов выполняли с применением функций статистического приложения Jamovi. Осуществлено сравнение медианных значений возраста, фактора школьной тревожности, долей (критерий хи-квадрат Пирсона) повышенных значений фактора школьной тревожности. Статистически значимыми считали результаты при $p \leq 0,05$.

Результаты. При сравнительной оценке повышенное и высокое значение фактора общей тревожности в школе регистрировали в 1,4 раза чаще у девочек относительно мальчиков (25 против 18,4 %; $p = 0,033$) при большем значении медианы фактора (9 (6; 11) против 7 (3; 11) баллов соответственно; $p = 0,01$), что может быть обусловлено большей осознанностью девочками восприятия роли школьника, чувствительностью и эмоциональной ранимостью, а также опережением в физиологическом и психологическом развитии [6, 8, 9].

Повышенное значение фактора переживания социального стресса регистрировали с приблизительно равной частотой у лиц обоих полов (16 и 17 %; $p = 0,709$) при равнозначном значении медианы (у мальчиков 3 (2; 5) и у девочек – 4 (2; 5) балла; $p = 0,969$).

Повышенный уровень фактора фрустрации потребности в достижении успеха в 2,4 раза чаще регистрировали у мальчиков относительно девочек (23,7 против 9,7 %; $p = 0,023$) при равном значении медиан фактора (4 (3; 6) балла для обоих полов, $p = 0,259$). Согласно литературным данным, мальчики испытывают более сильные переживания в случае неудачи в учебной деятельности, неправильном ответе, неверном выполнении заданий, сопровождающиеся состоянием тревоги, беспоконья, ригидности при встрече с трудностями в школьной жизни [8, 11].

Фактор страха самовыражения у девочек был выше как по частоте повышенных и высоких значений в 1,4 раза (59,7 против 43,4 %; $p = 0,047$), так и по значению медианы (3 (2; 4) против 2 (1; 4) балла; $p = 0,039$). По данным ранее опубликованных работ страх самовыражения у девочек обусловлен эмоциональными комплексами, тогда как мальчикам свойственна самостоятельность, уверенность в себе и желание продемонстрировать свои возможности окружающим [8].

Повышенное значение фактора страха не соответствовать ожиданиям окружающих выявляли у 44,7 % мальчиков и 34,7 % девочек ($p = 0,214$) при равном значении медианы фактора (2 (1; 3) балла; $p = 0,477$).

Низкую физиологическую сопротивляемость стрессу в 3,0 раза чаще регистрировали у девочек (23,6 против 7,9 %; $p = 0,008$) при одновременно большем значении медианы фактора (1 (0; 1) против 0,5 (0; 1) баллов; $p = 0,008$), что может быть обусловлено особенностями функционирования вегетативной нервной и эндокринной систем, регулирующих физиологическое обеспечение стрессоустойчивости [8, 9].

Повышенное значение фактора проблем и страхов в отношениях с учителями имело тенденцию к более частой регистрации у девочек (54,2 против 39,5 %; $p = 0,073$) при статистически значимо более высокой медиане (4 (3; 5) против 3 (2; 4) баллов; $p = 0,016$), что объясняется большей эмоциональной ранимостью, стремлением понравится учителю [8, 11].

Медианное значение общей тревожности имело тенденцию к более высокому значению у девочек (20 (15; 28) против 18 (12; 27) баллов; $p = 0,063$), при этом высокие значения регистрировали в сопоставимой частотой у лиц обоих полов (39 и 39,5 % соответственно; $p = 0,42$). Полученные результаты подтверждают ранее проведенные исследования, свидетельствуют, что больше трети школьников испытывают школьную тревожность, что сопровождается общим негативным эмоциональным фоном отношений со взрослыми в школе, снижающим успешность обучения [12].

Выводы. В ходе проведенного анализа установлено, что доминирующими факторами школьной тревожности у мальчиков были такие факторы как: страх не соответствовать ожиданиям окружающих (44,7 %), страх ситуации проверки знаний (44,7 %), страх самовыражения (43,4 %); у девочек – страх ситуации проверки знаний (65,3 %), страх самовыражения (59,7 %), проблемы и страхи в отношениях с учителями (54,2 %). Полученные результаты указывают на наличие половых особенностей факторов школьной тревожности, что необходимо учитывать при организации образовательного процесса.

Список литературы

1. Находкин В.В., Кривошапкина Ю.Г. Исследование уровня школьной тревожности и способы ее коррекции // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2020. – Т. 9, № 3 (32). – С. 350–352. – DOI: 10.26140/anip-2020-0903-0082
2. Ожогова Е.Г., Намсинк Е.В. Динамика и факторы возникновения тревожности у современных младших школьников // Проблемы современного педагогического образования. – 2018. – № 61–4. – С. 314–317.
3. Степанова В.А. Школьная тревожность как проблема подрастающего поколения // Научный альманах. – 2020. – № 7–1 (69). – С. 88–90.
4. Ширванова Ф.В., Каримова Д.Н. Особенности проявления школьной тревожности // Санкт-Петербургский образовательный вестник. – 2019. – № 1 (29). – С. 74–79.
5. Баурова Ю.В. Гендерный подход в обучении // Народное образование. – 2010. – № 7 (1400). – С. 2117–220.
6. Емельянова Е.А., Голованова И.А., Лобакова К.В. Проявление тревожности у школьников при переходе в основную школу [Электронный ресурс] // Мир

науки. Педагогика и психология. – 2022. – Т. 10, № 4. – URL: <http://mir-nauki.com/PDF/34PSMN422.pdf> (дата обращения: 18.04.2025).

7. Коротаева А.И., Кузьмин М.Ю. Особенности социально-психологической адаптации школьников с разной гендерной идентичностью // Педагогический ИМИДЖ. – 2020. – Т. 14, № 4 (49). – С. 729–742. DOI: 10.32343/2409-5052-2020-14-4-729-742

8. Дудина Е.Н., Бакиров Э.П. Психолого-педагогические особенности разделного обучения мальчиков и девочек в общеобразовательной школе // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2017. – № 9 (186). – С. 156–160. DOI: 10.23951/1609-624X-2017-9-156-160

9. Косых Ю.Ф., Соколова Н.В. Гендерные особенности проявления тревожности у подростков и пути ее коррекции в условиях школьного образования // Молодежный инновационный вестник. – 2018. – Т. 7, № S3. – С. 53–54.

10. Лебедева Е.И. Современные предикторы школьной тревожности младших школьников // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. – 2020. – № 2. – С. 347–359.

11. Шахматова П.В. Особенности проявления тревожности в младшем школьном возрасте в группах по гендерному признаку [Электронный ресурс]. – URL: <http://old.ext.spb.ru/2011-03-29-09-03-14/76-psychological/4530-2014-01-30-05-59-31.html> (дата обращения: 18.04.2025).

12. Соболева Л.Г., Новак Н.Г., Шаршакова Т.М. Оценка уровня тревожности детей школьного возраста г. Гомеля // Проблемы здоровья и экологии. – 2013. – № 4 (38). – С. 123–128.

Оценка особенностей иммунорегуляции у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции алюминием

А.С. Ширинкина¹, О.В. Долгих^{1,2}, Е.А. Мухачева¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

Изучены особенности иммунологических показателей детского населения в условиях избыточной контаминации биологических сред металлами (на примере алюминия). По результатам проведенных иммунологических исследований выявлено наличие изменений со стороны показателей иммунной системы, которые проявляются в дисбалансе показателей клеточного звена иммунитета. Так, происходит снижение фагоцитарной активности, активация проапоптотических кластеров клеточной дифференцировки – регуляторных Т-клеточных кластеров CD127-, рецептора клеточной смерти CD95+ ($p < 0,05$) – как по отношению

к референтным значениям, так и по отношению к группе сравнения, отмечается также гиперпродукция онкопротеина КЭА и специфического IgG к алюминию.

Ключевые слова: алюминий, детское население, специфическая сенсibilизация к алюминию, клеточные кластеры.

Алюминий относится к иммунотоксичным элементам, он кумулируется и подавляет функцию макрофагов, Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов. При этом он вызывает не только супрессию клеточных реакций, но и митогенный эффект лимфоцитов [1]. В то же время соединения алюминия способствуют обострению целого ряда аутоиммунных заболеваний, а также проникают при контактном воздействии через кожу и оказывают системное воздействие на иммунную систему [2]. У детей избыток алюминия вызывает повышенную возбудимость, нарушения моторных реакций, головные боли. Гиперактивность, повышенная возбудимость, агрессивность подростков, нарушения памяти и трудности в учебе могут быть результатом даже небольшого повышения концентрации ионов алюминия в организме [3].

Воздействие химических факторов может привести к нарушениям защитной функции иммунной системы, прежде всего иммунорегуляторных процессов в организме человека, на уровне нарушений которых возможно установление начальных механизмов возникновения патологий, приводящих к развитию серьезных заболеваний. В настоящее время существенно возросло число химических факторов внешней среды, стимулирующих аллергическую сенсibilизацию. В результате наблюдается как увеличение распространенности аллергических заболеваний, так и утяжеление их клинического течения. Это, в свою очередь, приводит к снижению качества жизни и превращает сенсibilизацию населения в значимую медико-социальную проблему [4].

Цель исследования – обоснование ряда показателей клеточной регуляции и специфической чувствительности у детей в качестве потенциальных маркеров эффекта избыточной контаминации биологических сред алюминием.

Материалы и методы. Выполнено химико-аналитическое и иммунологическое диагностическое обследование 111 детей в возрасте от 7 до 11 лет – 50 мальчиков, 61 девочка, постоянно проживающих в зоне аэрогенной экспозиции алюминием. Группу контроля составили 45 детей в возрасте 7–11 лет – 25 мальчиков, 20 девочек, которые проживают на «условно чистой» территории.

Содержание иммуноглобулина класса G специфического к алюминию определяли в аллергосорбентном тесте с ферментной меткой. Идентифицировали специфические реагены с использованием конъюгированных с пероксидазой антител. Исследование биосред на содержание алюминия в биосредах выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Определение в сыворотке крови иммуноглобулинов классов A, G, M проводили при помощи метода радиальной иммунодиффузии (по Манчини).

Исследование фагоцитарной активности клеток осуществляли с использованием формализированных эритроцитов барана в качестве объектов фагоцитоза.

Фенотипирование CD-лимфоцитов проводили на проточном цитометре FACSCalibur фирмы Becton Dickinson с использованием универсальной программы CellQuest.Pro. Определение популяций и субпопуляций лимфоцитов (CD95+, CD16+CD56+, CD127-) производили методом мембранной иммуофлюоресценции с использованием панели меченых моноклональных антител к мембранным

CD-рецепторам (Becton Dickinson, USA), при этом регистрировали суммарно не менее 10 000 событий.

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы математической статистики с помощью программы Microsoft® Office Excel 2003 и пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Статистический анализ данных проводился методами описательной статистики и сравнения выборок (с использованием *t* критерия Стьюдента и *U* Манна – Уитни). Характер статистического распределения по выборкам устанавливали по критерию согласия – χ^2 . Качественные данные представлены в виде абсолютных или относительных (%) частот, количественные признаки – как $M \pm m$ (среднее арифметическое \pm ошибка среднего). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты. Установлено, что обследованный детский контингент проживает в условиях аэрогенной экспозиции алюминием, которая соответствовала уровню референтной концентрации ($Rfc = 0,005 \text{ мг/м}^3$). Однако анализ биосред показал, что у детей группы наблюдения достоверно повышено содержание алюминия в крови по отношению к данным группы сравнения в 4 раза и в 3,1 раза в моче ($p < 0,05$) (табл. 1). Установлено, что в группе наблюдения концентрация специфических IgG-антител в крови к алюминию выше в 3 раза относительно данных группы сравнения.

Таблица 1

Сравнительная оценка содержания алюминия в биосредах

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения, (n = 111), $M \pm m$	Группа сравнения, (n = 45), $M \pm m$
Алюминий [кровь], мг/дм ³	0,0065 \pm 0,0035	0,054 \pm 0,018*	0,014 \pm 0,008
Алюминий [моча], мг/дм ³	0,006	0,031 \pm 0,005*	0,010 \pm 0,009
IgG спец. к алюминию, усл. ед.	0–0,1	0,269 \pm 0,049*	0,091 \pm 0,039

Примечание: * – разница достоверна относительно группы сравнения ($p < 0,05$).

Клинико-лабораторные исследования состояния здоровья детского населения школьного возраста подтверждают наличие нарушений со стороны иммунной системы (табл. 2). Сравнительный анализ с показателями физиологической нормы и группы сравнения показал, что в группе наблюдения прослеживаются достоверные изменения врожденного клеточного иммунитета – достоверное снижение на 10 % фагоцитарного индекса по отношению к показателям группы сравнения ($p < 0,05$).

В то же время использование методического приема оценки отношения шансов изменения иммунологических тестов при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах позволило установить достоверное ($p < 0,05$) снижение относительного фагоцитоза, фагоцитарного числа и фагоцитарного индекса при увеличении концентрации алюминия в моче ($R^2 = 0,74$ при $p < 0,05$).

Установлены разнонаправленные изменения содержания сывороточных иммуноглобулинов классов G, A и M относительно данных группы сравнения с существенным снижением антител всех анализируемых классов в 1,5, 1,2 и 1,3 раза соответственно. При этом наибольший дефицит наблюдается по показателю IgG ($p < 0,05$).

Т а б л и ц а 2

Иммунологические показатели детей школьного возраста, экспонированных алюминием

Показатель	Референтный интервал	Группа наблюдения, (n = 111), M ± m	Группа сравнения, (n = 25), M ± m
Абсолютный фагоцитоз, 10 ⁹ /дм ³	0,964–2,988	1,249 ± 0,048*	1,401 ± 0,056
Фагоцитарное число, усл. ед.	0,8–1,2	0,639 ± 0,027*	0,79 ± 0,052
Фагоцитарный индекс, усл. ед.	1,985 ± 0,089	1,787 ± 0,053*	1,961 ± 0,067
IgG, г/дм ³	10–18	10,331 ± 0,318*	15,281 ± 1,049
IgA, г/дм ³	1,1–3,0	1,484 ± 0,082*	1,793 ± 0,073
IgM, г/дм ³	1,1–2,5	1,383 ± 0,054*	1,803 ± 0,082
CD127-лимфоциты, отн., %	0,8–1,2	2,992 ± 0,419*	1,747 ± 0,361
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0,12–0,59	0,15 ± 0,031*	0,288 ± 0,062
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, отн., %	5–27	6,619 ± 1,142*	11,417 ± 1,569
CD3 ⁺ CD95 ⁺ -лимфоциты, отн., %	19–29	29,1 ± 4,88*	15,667 ± 3,711
КЭА, нг/см ³	0–2,9	1,507 ± 0,164*	0,971 ± 0,196

Примечание: * – разница достоверна относительно группы сравнения ($p < 0,05$).

Анализ отношения шансов изменения показателей гуморального иммунитета при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах позволил установить достоверное ($p < 0,05$) повышение концентрации IgG спец. к алюминию при увеличении концентрации алюминия в крови ($R^2 = 0,57$ при $p < 0,05$).

Сравнительный анализ показателей CD-иммунограммы относительно нормы позволил установить достоверное повышение содержания Т-регуляторных лимфоцитов CD127⁻отн., отвечающих за супрессию иммунного ответа, а также достоверное снижение киллерных клеток CD16⁺56⁺-лимфоцитов.

При этом в группе наблюдения прослеживается достоверный рост активационного маркера CD95⁺ и снижение абсолютных и относительных киллерных клеток CD16⁺56⁺ относительно данных группы сравнения ($p < 0,05$).

Использование методического приема оценки отношения шансов изменения иммунологических тестов при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах позволило установить достоверное ($p < 0,05$) повышение кластеров CD95⁺, CD127⁻ при увеличении концентрации алюминия в моче ($R^2 = 0,41$ при $p < 0,05$).

Зафиксирован достоверный рост уровня КЭА относительно показателей группы сравнения более чем в 1,5 раза ($p < 0,05$).

Выводы. Таким образом, у детей школьного возраста, проживающих в зоне аэрогенной экспозиции соединениями алюминия, были выявлены: нарушения клеточного звена иммунитета, выражающиеся в снижении фагоцитарной активности клеток по критерию абсолютного фагоцитоза, фагоцитарного числа и фагоцитарного индекса; дефицит общих иммуноглобулинов основных классов; повышение уровня КЭА, а также активация регуляторных Т-клеточных кластеров CD127⁻; повышение содержания рецептора клеточной смерти CD95⁺; дефицит содержания киллерных клеток CD16⁺, на фоне специфической сенсибилизации организма к алюминию (IgG), что характеризует дисбаланс иммунорегуляторных процессов, ассоциированный с избыточной биоконтаминацией алюминием.

Список литературы

1. Сынзыныс Б.И., Шарецкий А.Н., Харламова О.В. Иммунотоксичность хлористого алюминия // Гигиена и санитария. – 2004. – № 4. – С. 70.
2. Литовская А.В., Егорова И.В. Состояние иммунной системы работающих в условиях влияния биологического, химического и физического факторов // Медицина труда и пром. экология. – 2000. – № 2. – С. 80–83.
3. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы / И.В. Шугалей, А.В. Гарабаджиу, М.А. Илюшин, А.М. Судариков // Экологическая химия. – 2012. – Т. 21, № 3. – С. 168–172.
4. Буяк М.А. Эколого-физиологическая характеристика среды и ее влияние на формирование региональных норм важнейших показателей гомеостаза у пришлого населения Ямало-Ненецкого автономного округа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Надым, 2005. – 138 с.

Раздел III

Развитие риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического контроля

Структура и динамика нарушений обязательных требований технических регламентов к качеству и безопасности пищевой продукции в Российской Федерации (2019–2023 гг.)

Н.В. Никифорова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Представлены данные анализа статистической формы № 8 Роспотребнадзора «Сведения об осуществлении федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов Таможенного союза» за 2019–2023 гг. Установлены величины нарушений, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие в отношении соблюдения требований технических регламентов по пищевой продукции (наибольшая частота нарушений в среднем – 0,713 на одну проверку установлена в отношении общего технического регламента о безопасности пищевой продукции); частота нарушений ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» составила 0,201 нарушения на одну проверку. Среди специальных технических регламентов наибольшая частота нарушений на одно контрольное (надзорное) мероприятие (в среднем 0,088–0,156 нарушения) приходится на технические регламенты о безопасности мяса и мясной продукции, молока и молочной продукции, рыбы и рыбной продукции. Достоверных различий между долей нарушений требований к продукции и к процессам, предъявляемым анализируемыми техническими регламентами, не установлено. Наиболее высокие уровни отклонений показателей продукции от требований технических регламентов установлены в отношении молочной, рыбной и мясной продукции. В структуре нарушений требований специальных технических регламентов для мясной и молочной продукции преобладают отклонения от нормативов по органолептическим показателям / показателям идентификации продукции и физико-химическим показателям; для рыбы и рыбной продукции по физико-химическим и микробиологическим показателям.

Ключевые слова: технические регламенты, пищевая продукция, нарушение требований, контрольные (надзорные) мероприятия, качество и безопасность.

Качество и безопасность пищевой продукции является одной из важных частей национальной безопасности, так как обеспечивает устойчивое производство основных продуктов питания и способствует сохранению и укреплению состояния здоровья населения [1–4]. Ввиду того, что контрольные (надзорные) мероприятия охватывают небольшую долю товаров на рынке, что обусловлено ограниченностью ресурсов на проведение проверок, в Российской Федерации продолжает развиваться система риск-ориентированного контроля (надзора) в том числе за качеством и безопасностью пищевой продукции [5, 6].

Актуальность приобретает анализ результатов государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов пищевой продукции с целью выделения приоритетных видов нарушений обязательных требований, предъявляемых к продукции. Полученные данные могут быть использованы для задач дальнейшего планирования контрольных (надзорных) мероприятий за соблюдением требований технических регламентов.

Цель исследования – анализ структуры, динамики нарушений в области качества и безопасности пищевой продукции по результатам контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

Материалы и методы. Выполнен анализ формы 8 «Сведения об осуществлении государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов Таможенного союза» по всей Российской Федерации за 2019–2023 гг. (табл. 1, 2). Рассчитаны средние значения доли нарушений требований технических регламентов, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие (КНМ) (суммарно плановые и внеплановые); доли нарушений в отношении требований к продукции и к процессам на одно КНМ и результат административного расследования (суммарно); доли проб продукции, не соответствующих требованиям технических регламентов (ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции», ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»). Рассчитаны темпы прироста показателей в 2023 г. относительно 2019 г. Для оценки достоверности различий между показателями использован критерий Манна – Уитни (значимость различий при уровне $p \leq 0,05$).

Результаты. По результатам анализа установлено, что наибольшая доля нарушений на одну проверку приходилась на ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и составила в среднем за 5-летний период – 0,713 нарушения на одно контрольное (надзорное) мероприятие (суммарно как плановое, так и внеплановое), ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» – 0,201 нарушения на одно контрольное (надзорное) мероприятие и ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» – 0,156 нарушения на одно контрольное (надзорное) мероприятие, нарушения по результатам контроля (надзора) за соблюдением требований других технических регламентов составляли в среднем менее 0,15 нарушения на одно контрольное (надзорное) мероприятие (см. табл. 1).

В динамике с 2019 г. снижается доля нарушений, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие за соблюдением требований технических регламентов в отношении качества и безопасности пищевой продукции, темп убыли показателей до 76,7 % (табл. 1).

Таблица 1

Доля нарушений, приходящееся на одно контрольное (надзорное) мероприятие за соблюдением требований технических регламентов

Наименование технического регламента	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее значение 2019–2023 гг.	Темп прироста 2023 г. к 2019 г., %
ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»	0,953	0,851	0,731	0,447	0,584	0,713	-38,7
ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»	0,295	0,312	0,172	0,089	0,135	0,201	-54,2
ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»	0,319	0,251	0,102	0,032	0,074	0,156	-76,7
ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»	0,218	0,225	0,135	0,057	0,097	0,146	-55,6
ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»	0,136	0,146	0,075	0,024	0,061	0,088	-55,3

В среднем доля нарушений требований к продукции, предъявляемых техническими регламентами по безопасности мясной, молочной и рыбной продукции, превышала долю нарушений требований к процессам в 1,7–2,0 раза, но не имела достоверных различий ($p > 0,05$). Доля нарушений, предъявляемых к продукции и процессам в общем регламенте по безопасности пищевой продукции (ТР ТС 021/2011), практически не различалась ($p > 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

Доля нарушений технических регламентов в отношении требований к продукции и к процессам, приходящаяся на одно КНМ и результат административного расследования (суммарно), среднее значение за 2019–2023 гг.

Наименование технического регламента	Среднее значение, 2019–2023 гг.		Достоверность различий p
	Доля нарушений требований к продукции	Доля нарушений требований к процессам	
ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»	0,35	0,39	$> 0,05$
ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»	0,10	0,06	$> 0,05$
ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»	0,10	0,06	$> 0,05$
ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»	0,06	0,03	$> 0,05$

Наибольшее количество проб, не соответствующих требованиям технических регламентов, выявлено в категориях «молоко и молочная продукция» – 4,95 % проб, на втором месте «рыба и рыбная продукция» – 4,49 % проб, «мясо и мясная продукция» – 3,82 % проб. В динамике с 2019 г. наблюдается снижение доли проб продукции, не соответствующей обязательным требованиям (табл. 3).

Таблица 3

Доля проб продукции, не соответствующих требованиям технических регламентов, за 2019–2023 гг., %

Требования к продукции	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее значение, 2019–2023 гг.	Темп прироста 2023 г. к 2019 г., %
ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»	6,38	4,92	5,15	4,35	3,97	4,95	-37,70
ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»	5,36	4,81	3,78	2,67	4,49	4,22	-16,15
ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»	4,43	3,64	3,71	3,52	3,79	3,82	-14,34

Наибольшая частота несоответствий мяса и мясной продукции, молока и молочной продукции, рыбы и рыбной продукции была установлена в отношении требований ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»: доля

проб, не соответствующих требованиям, в среднем составила – 8,35; 5,91 и 6,72 % соответственно.

Для мяса и мясной продукции, молока и молочной продукции наиболее часто нарушения обязательных требований ТР ТС 034/2013 и ТР ТС 033/2013 регистрировали по органолептическим показателям – 3,91 и 5,76 % проб соответственно и физико-химическим показателям – 4,18 и 4,71 % проб соответственно. Для рыбы и рыбной продукции приоритетными нарушениями требований ТР ЕАЭС 040/2016 явились отклонения нормативов по физико-химическим показателям – в среднем 5,32 % исследованных проб и по микробиологическим показателям – 4,74 % проб (табл. 4).

Таблица 4

Доля проб продукции, не соответствующих требованиям технических регламентов, в разрезе исследуемых показателей за 2019–2023 гг., %

Требования к продукции	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее значение, 2019–2023 гг.	Темп прироста, 2023 г. к 2019 г., %
<i>ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»</i>							
Маркировка ТР ТС 022/2011	12,79	8,95	9,78	4,97	5,27	8,35	-58,78
Физико-химические показатели	3,59	5,29	5,47	2,10	4,45	4,18	23,77
Идентификации, в том числе по органолептическим показателям	4,05	2,99	4,16	3,39	4,95	3,91	21,99
Микробиологические показатели	4,51	3,42	3,40	3,56	3,74	3,73	-17,20
Санитарно-гигиенические показатели	0,36	1,02	0,33	0,64	0,41	0,55	12,80
<i>ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»</i>							
Маркировка ТР ТС 022/2011	7,79	6,96	6,82	4,29	3,68	5,91	-52,71
Идентификации, в том числе по органолептическим показателям	7,00	5,63	6,72	4,66	4,77	5,76	-31,84
Физико-химические показатели	5,38	4,88	5,35	4,12	3,82	4,71	-28,88
Микробиологические показатели	5,11	3,84	3,86	3,48	3,12	3,88	-38,87
Санитарно-гигиенические показатели	1,64	1,09	1,44	1,06	1,09	1,26	-33,77
<i>ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»</i>							
Маркировка ТР ТС 022/2011	9,95	9,55	6,02	2,27	5,83	6,72	-41,37
Физико-химические показатели	7,53	4,69	5,03	2,15	7,20	5,32	-4,40
Микробиологические показатели	5,77	5,60	4,29	3,16	4,88	4,74	-15,54
Идентификации, в том числе по органолептическим показателям	3,52	4,21	1,63	2,41	3,99	3,15	13,40
Санитарно-гигиенические показатели	0,72	1,39	0,44	1,35	1,20	1,02	67,10
Паразитологические, в том числе энтомологические показатели	0,92	0,46	0,37	0,44	0,42	0,52	-54,55

В динамике за 5-летний период во всех изучаемых категориях продукции отмечено снижение доли проб, не соответствующих требованиям технических регламентов, за исключением роста доли проб мяса и мясной продукции, не соответствующих требованиям ТР ТС 034/2013 по физико-химическим и органолептическим показателям, темпы прироста показателей – 23,77 и 21,99 % соответственно (табл. 4).

Для рыбы и рыбной продукции отмечен прирост несоответствий требованиям ТР ЕАЭС 040/2016 по органолептическим показателям на 13,40 % и санитарно-гигиеническим показателям на 67,1 % (табл. 4).

Выводы. Анализ результатов контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов пищевой продукции показал, что наибольшая выявляемость нарушений требований технических регламентов в среднем – 0,713 нарушения на одну проверку приходится на общий Технический регламент ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» – 0,201 нарушения на одно КНМ.

Среди специальных технических регламентов наибольшая частота нарушений на одно КМН (в среднем 0,088–0,156 нарушения) отмечена в отношении безопасности мяса и мясной продукции, молока и молочной продукции, рыбы и рыбной продукции.

В динамике за 5-летний период наблюдается благоприятная тенденция по снижению доли нарушений требований технических регламентов, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие (темпы убыли показателей до 76,7 %).

Достоверных различий между долей нарушений требований к продукции и к процессам, предъявляемыми анализируемыми техническими регламентами, не установлено.

Наиболее высокие уровни отклонений показателей продукции от требований технических регламентов установлены в отношении молочной, рыбной и мясной продукции – в среднем 3,82–4,95 % проб, не отвечающих требованиям специальных технических регламентов. Высокий процент нарушений по вышеуказанным видам продукции зафиксирован также в отношении требований ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (в среднем 5,91–8,32 % исследованных проб).

В структуре нарушений требований специальных технических регламентов для мясной и молочной продукции преобладают отклонения от нормативов по органолептическим показателям/показателям идентификации продукции (3,91–5,76 % проб) и физико-химическим показателям – (4,18–4,71 % проб). Для рыбы и рыбной продукции приоритетными показателями являются физико-химические и микробиологические – доля проб, не соответствующих обязательным требованиям, – в среднем 4,74–5,32 %.

В динамике за 5-летний период наблюдается прирост доли проб мяса и мясной продукции, не соответствующих установленным требованиям по физико-химическим и органолептическим показателям (темпы прироста показателей 21,99–23,77 %), для рыбы и рыбной продукции – по органолептическим – на 13,40 % и санитарно-гигиеническим показателям – на 67,1 %.

Полученные данные могут быть использованы для задач дальнейшего планирования контрольных (надзорных) мероприятий за соблюдением требований технических регламентов.

Список литературы

1. Тутельян В.А. Здоровое питание для общественного здоровья // Общественное здоровье. – 2021. – № 1. – С. 56–64. DOI: 10.21045/2782-16762021-1-1-56-64
2. Динер Ю.А., Юрк Н.А. Реализация основных мер в области обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации // Продовольственная политика и безопасность. – 2022. – № 9 (4). – С. 403–416. DOI: 10.18334/ppib.9.4.1 16320

3. Воронцова Е.А., Воронцов А.Л. Качество и безопасность пищевых товаров как составляющая продовольственной и национальной безопасности страны // Образование. Наука. Научные кадры. – 2021. – № 4. – С. 81–84.

4. Санникова И.Н., Приходько Е.А. О некоторых аспектах оценки продовольственной безопасности // ЭКО. – 2022. – № 9 (579). – С. 149–165.

5. Зайцева Н.В., Май И.В. Риск-ориентированный надзор как стратегический инструмент повышения уровня безопасности пищевой продукции на потребительском рынке России // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99 (12). – С. 1398–1406.

6. О методическом обеспечении риск-ориентированного надзора за безопасностью потребительской продукции на едином экономическом пространстве Евразийского экономического союза / И.В. Гаевский, Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.Т. Карымбаева, С.И. Сычик, Е.В. Федоренко // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 1. – С. 4–16.

Сравнительный анализ структуры нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей на федеральном и региональном уровне

Э.В. Седусова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью человека»,
г. Пермь, Россия

Представлены результаты структурного анализа нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в Пермском крае в 2024 г. Установлено, что основной объем нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей (52,3 %) приходился на нарушения требований иных нормативных правовых актов РФ; 15,8 % – нарушения статей Закона «О защите прав потребителей»; 31,9 % – нарушения требований технических регламентов, что соответствует общей структуре нарушений в Российской Федерации (87,8 %; 8,8 %; 3,4 % соответственно).

В 2024 г. в Пермском крае, как и в Российской Федерации, основная доля нарушений требований в области защиты прав потребителей была выявлена на объектах розничной торговли (в Пермском крае – 91,1 %; в Российской Федерации – 95,4 %). При этом лидерами по числу нарушений на одно контрольное (надзорное) мероприятие стали объекты, оказывающие платные юридические, жилищно-коммунальные, туристические и медицинские услуги (от 3 до 13 нарушений на одно контрольное (надзорное) мероприятие).

Проведенный анализ подчеркивает важность исследования структуры нарушений требований иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей, поскольку они занимают более половины всех нарушений в области защиты прав потребителей. Представляется важным сосредоточить усилия Роспотребнадзора в части профилактической работы на объектах розничной торговли, на которые приходится большее число на-

рушений. Актуальна разработка индикаторов риска в отношении сферы услуг с целью увеличения доли внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий, поскольку сфера услуг является лидером по числу нарушений на одно контрольное (надзорное) мероприятие.

Ключевые слова: нарушение требований, защита прав потребителей, виды деятельности, контрольные (надзорные) мероприятия, обязательные требования.

В современных условиях реализации мер экономического характера по обеспечению финансовой стабильности и увеличения объема потребительских услуг возрастает риск возникновения различных нарушений обязательных требований [1].

Законодательство Российской Федерации содержит внушительный перечень нормативных правовых актов, содержащих обязательные требования, направленные на защиту прав потребителей [2].

Соблюдение обязательных требований в области защиты прав потребителей обеспечивается эффективным надзором.

В соответствии с Положением о федеральном государственном контроле (надзоре) в области защиты прав потребителей¹ с 1 июля 2021 г. федеральный государственный контроль (надзор) в области защиты прав потребителей осуществляется без проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий, а Постановлением Правительства РФ от 10.03.2022 № 336² возможность проведения внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий поставлена в четкую зависимость от непосредственной угрозы причинения вреда жизни и тяжкого вреда здоровью граждан и от фактов причинения вреда жизни и тяжкого вреда здоровью граждан, а также в случаях выявления индикаторов риска нарушения обязательных требований при условии обязательного согласования с органами прокуратуры проведения соответствующего контрольного (надзорного) мероприятия [3].

В условиях действия моратория на проведение основной части контрольных (надзорных) мероприятий возросла необходимость совершенствования механизмов контроля (надзора) в области защиты прав потребителей [4, 5]. Проведение анализа структуры нарушений позволит выявить наиболее рисковые для потребителей сферы услуг, повысить результативность и эффективность контрольных (надзорных) и профилактических мероприятий и соответственно улучшить безопасность и качество товаров и услуг.

Цель исследования – выполнить анализ структуры нарушений обязательных требований в сфере защиты прав потребителей в Пермском крае и Российской Федерации в 2024 г.

Материалы и методы. Для анализа нарушения обязательных требований в сфере защиты прав потребителей использовали данные формы ведомственной статистической отчетности «Сведения о результатах осуществления федерального государственного надзора территориальными органами Роспотребнадзора» (форма 1, таблица раздела 3) по Российской Федерации и Пермскому краю за 2024 г. Исполь-

¹ Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области защиты прав потребителей: Постановление Правительства РФ от 25.06.2021 № 1005 [Электронный ресурс] // КосультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388725/ (дата обращения: 13.04.2025).

² Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля: Постановление Правительства РФ от 10.03.2022 № 336 [Электронный ресурс] // КосультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411233/ (дата обращения: 13.04.2025).

зовали данные о количестве проведенных контрольных (надзорных) мероприятий по видам деятельности и количестве выявленных нарушений в сфере защиты прав потребителей, включая нарушения закона «О защите прав потребителей», иных нормативных правовых актов РФ и требований технических регламентов.

Результаты. В 2024 г. в Пермском крае общее число проведенных контрольных (надзорных) мероприятий в области защиты прав потребителей составило 1941. В ходе контрольных (надзорных) мероприятий было выявлено 3089 нарушений. Большая часть контрольных (надзорных) мероприятий (как в Пермском крае в частности, так и в Российской Федерации в целом) была проведена на объектах розничной торговли. Установлено, что на объекты розничной торговли приходится основная доля нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей (в Пермском крае проведено 89,3 % от всех контрольных (надзорных) мероприятий и выявлено 91,1 % всех нарушений; в Российской Федерации – 95,0 и 95,4 % соответственно).

В 2024 г. в Пермском крае основной объем нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей (52,3 %) приходился на нарушения обязательных требований иных нормативных правовых актов РФ, что соответствует структуре нарушений, выявленных в Российской Федерации. По сравнению с Пермским краем, в Российской Федерации в структуре нарушений требований доля нарушений технических регламентов в 3,3 раза больше, чем доля нарушений иных нормативных правовых актов. При этом в формах статистической отчетности отсутствует детальная структура нарушений иных нормативных правовых актов.

Доля нарушения требований технических регламентов и подлежащих применению до вступления в силу технических регламентов (ТР) требований к объектам технического регулирования (31,9 %) в 2 раза больше, чем доля нарушений статей Закона «О защите прав потребителей» (15,8 %).

Общая структура нарушений в области защиты прав потребителей в Пермском крае характерна для розничной торговли (54,8; 10,6; 34,7 %). Для сферы услуг характерна иная структура нарушений требований: доля нарушений закона «О защите прав потребителей» превалирует над нарушениями требований иных нормативных правовых актов РФ и составляет 70,1 %. При этом доля нарушений обязательных требований иных нормативных правовых актов РФ для сферы услуг составляет 26,3 %.

Более 50 % всех нарушений в области защиты прав потребителей при оказании услуг розничной торговли (54,8 %) и услуг общественного питания (70,8 %) относятся к нарушениям иных нормативно-правовых актов РФ.

Нарушения обязательных требования закона «О защите прав потребителей» чаще выявляются при оказании следующих видов услуг: гостиничные услуги, услуги связи, платные юридические услуги, бытовое обслуживание, транспортные услуги, деятельность на финансовом рынке, деятельность платежных агентов, долевого строительство жилья, жилищно-коммунальные услуги, образовательные услуги, медицинские услуги (61,2–100,0 % нарушений Закона «О защите прав потребителей» относительно всех нарушений в сфере защиты прав потребителей в данной сфере).

В 2024 г. в Пермском крае, как и в целом в Российской Федерации, основная доля нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей была выявлена на объектах, осуществляющих розничную торговлю (2815 наруше-

ний – 91,1 %) (в Российской Федерации – 230 284 нарушения, что составляет 95,4 %). Наименьшее число нарушений в области защиты прав потребителей в Пермском крае зарегистрировано в сфере деятельности платежных агентов, образовательных услуг (0,1 %), в Российской Федерации – в сфере услуг автостоянок; деятельность платежных агентов, риелторская деятельность (менее 0,1 %).

В 2024 г. структура нарушений Закона «О защите прав потребителей» в Пермском крае, как и Российской Федерации, аналогична общей структуре нарушений в сфере защиты прав потребителей: 60,7 % были зарегистрированы в сфере розничной торговли (в Российской Федерации – 87,4 %). Доля нарушения Закона «О защите прав потребителей» в сферах услуги в Пермском крае составляет 39,3 %, что в 3 раза больше, чем в Российской Федерации (12,6 % от общего объема нарушений Закона «О защите прав потребителей») (рисунок).



Рис. Структура нарушений обязательных требований Закона «О защите прав потребителей» в Пермском крае и Российской Федерации в 2024 г. по отдельным видам деятельности, %

В Пермском крае, как и в Российской Федерации, структура нарушений иных нормативно-правовых актов и нарушений требований технических регламентов тоже аналогична общей структуре нарушений в области защиты прав потребителей: 95,5 % нарушений иных нормативно-правовых актов РФ и 99,0 % нарушений требований технических регламентов были зафиксированы в сфере розничной торговли (в Российской Федерации – 97,8 и 99,6 % соответственно).

В 2024 г. в Пермском крае, как и в Российской Федерации, наибольший объем нарушений закона «О защите прав потребителей» выявлен по ст. 8–10 (информация о товаре, работе, услуге и лицах, их предоставляющих) (в Пермском крае – 72,0 %, в Российской Федерации – 45,1 %). Наименьший объем нарушений Закона «О защите прав потребителей» в Пермском крае зарегистрирован по ст. 4 (качество товара, работы, услуги) – 2,9 %, что в 9,4 раза меньше по сравнению с российским значением (табл. 1).

Таблица 1

Структура нарушений обязательных требований Закона «О защите прав потребителей» в Пермском крае (ПК) и Российской Федерации (РФ) в 2024 г. по отдельным видам деятельности, %

Вид деятельности	Ст. 4		Ст. 5, 6		Ст. 7		Ст. 8–10		Ст. 16		Иное	
	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ
ВСЕГО	2,9	27,2	4,7	1,5	9,4	7,1	72,0	45,1	8,6	7,2	1,6	8,0
Розничная торговля	3,4	29,4	7,7	1,7	14,8	7,9	70,0	44,8	0,3	4,6	2,7	8,3
продовольственными товарами	0,0	36,7	7,7	1,8	0,0	6,5	88,7	42,8	0,0	2,1	3,5	7,7
Общественное питание	2,1	6,3	0,0	0,2	1,0	4,0	75,0	64,5	21,4	18,8	0,0	1,0
Бытовое обслуживание населения	0,0	14,2	0,0	0,1	0,0	0,5	85,7	44,9	0,0	27,9	0,0	6,6
Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,5	66,7	57,9	33,3	9,0	0,0	1,4
Услуги автостоянок		10,5	0,0	0,0		0,0	0,0	52,6		10,5		15,8
Гостиничные услуги		8,6	0,0	0,3		0,9	0,0	73,8		13,0		2,2
Туристские услуги	4,8	12,9	0,0	0,0	3,2	1,7	92,1	34,5	0,0	25,0	0,0	7,8
Транспортные услуги		12,1	0,0	0,0		1,1	0,0	23,8		19,8		10,8
Услуги связи	0,0	24,5	0,0	1,4	0,0	0,0	100,0	35,1	0,0	24,7	0,0	9,2
Деятельность на финансовом рынке	0,0	2,9	0,0	0,2	0,0	1,3	100,0	49,1	0,0	38,2	0,0	5,0
Деятельность платежных агентов	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,5	30,8	40,5	61,5	0,0	0,0
Долевое строительство жилья	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	10,3	0,0	53,4	0,0	2,6
Жилищно-коммунальные услуги		19,2	0,0	0,0		0,6	0,0	46,3		18,6		7,9
Образовательные услуги	12,5	8,5	0,0	0,0	0,0	1,5	87,5	33,6	0,0	37,4	0,0	11,7
Медицинские услуги	0,0	10,0	0,0	0,3	0,0	0,9	100,0	66,2	0,0	16,8	0,0	3,6
Риелторская деятельность	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	20,0	33,3	46,7	0,0	26,7
Культурно-развлекательные мероприятия		21,8	0,0	0,0		1,3	0,0	39,1		22,7		9,3
Платные юридические услуги	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	39,0	33,3	36,8	0,0	4,4
Прочие виды деятельности	0,0	11,7	0,0	0,8	0,0	3,5	50,0	33,1	50,0	35,3	0,0	9,8

В 2024 г. в Пермском крае лидирующие позиции по нарушениям ст. 8–10 Закона «О защите прав потребителей» занимают следующие сферы деятельности: услуги связи, деятельность на финансовом рынке, долевое строительство жилья, медицинские услуги (100 %). В Пермском крае отсутствуют нарушения по ст. 8–10 Закона в сферах услуги автостоянок, гостиничные услуги, транспортные услуги, жилищно-коммунальные услуги, культурно-развлекательные мероприятия. Однако в Российской Федерации в данных сферах деятельности нарушения ст. 8–10 Закона «О защите прав потребителей» вносят значительный вклад в структуру нарушений и составляют от 23,8 % (в сфере транспортных услуг) до 73,8 % (в сфере гостиничных услуг).

В Пермском крае, как и в Российской Федерации, наибольшее количество нарушений по ст. 7 Закона «О защите прав потребителей» зафиксировано в розничной торговле (9,4 и 7,1 % соответственно). В иных сферах деятельности соответ-

вующие нарушения практически не фиксировались как в Пермском крае, так и в Российской Федерации.

В Пермском крае, как и в Российской Федерации, максимальное число нарушений ст. 16 Закона «О защите прав потребителей» выявлено в деятельности платежных агентов (40,5 и 61,5 % соответственно), минимальное – в розничной торговле (0,3 и 4,6 %). В Пермском крае нарушения данной статьи были выявлены еще в сфере общественного питания, технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств, риелторской деятельности, платных юридических услуг. Однако в Российской Федерации в данных сферах деятельности нарушения ст. 16 Закона «О защите прав потребителей» вносят значительный вклад в структуру нарушений и составляют от 10,5 % (в сфере услуг автостоянок) до 53,4 % (в сфере долевого строительства жилья).

Показатель, характеризующий соотношение абсолютного числа выявленных нарушений в области защиты прав потребителей, к количеству контрольных (надзорных) мероприятий, в 2024 г. составил 1,6, что в целом соответствует российскому значению (1,8) (табл. 2).

Таблица 2

Частота нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в Пермском крае (ПК) и Российской Федерации (РФ) в 2024 г. по отдельным видам деятельности (на одно контрольное (надзорное) мероприятие)

Вид деятельности	Частота всех нарушений в области ЗПП		Частота нарушений Закона «О ЗПП»		Частота нарушений иных НПА РФ		Частота нарушений ТР	
	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ	ПК	РФ
ВСЕГО	1,6	1,8	0,3	0,4	0,8	1,3	0,5	0,1
Розничная торговля	1,6	1,8	0,2	0,4	0,9	1,3	0,6	0,1
продовольственными товарами	2,0	1,6	0,2	0,3	1,0	1,1	0,8	0,1
Сфера услуг	1,3	1,7	0,9	1,1	0,3	0,6	0,0	0,0
Общественное питание	0,7	1,6	0,2	1,0	0,5	0,6	0,0	0,0
Бытовое обслуживание населения	2,0	1,8	2,0	1,4	0,0	0,4	0,0	0,0
Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств		2,0		1,3		0,7		0,0
Услуги автостоянок	0,0	0,6	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0
Гостиничные услуги	0,8	1,3	0,5	0,8	0,3	0,5	0,0	0,0
Туристские услуги	3,0	1,8		1,1		0,7		0,0
Транспортные услуги		2,2	3,0	1,6	0,0	0,6	0,0	0,0
Услуги связи	2,0	1,6	1,3	1,1	0,7	0,5	0,0	0,0
Деятельность на финансовом рынке		1,9		1,5		0,5		0,0
Деятельность платежных агентов		5,0		4,3		0,7		0,0
Долевое строительство жилья		1,5		1,0		0,4		0,0
Жилищно-коммунальные услуги	4,0	0,9	4,0	0,7	0,0	0,2	0,0	0,0
Образовательные услуги	1,0	1,9	1,0	1,1	0,0	0,8	0,0	0,0
Медицинские услуги	3,0	2,5	3,0	1,2	0,0	1,4	0,0	0,0
Риелторская деятельность		0,5		0,3		0,2		0,0
Культурно-развлекательные мероприятия	2,3	1,0	2,0	0,8	0,3	0,2	0,0	0,0
Платные юридические услуги	13,0	1,8	8,0	1,5	0,0	0,2	5,0	0,1
Прочие виды деятельности	2,6	1,1	1,8	0,8	0,6	0,3	0,2	0,0

Примечание: ЗПП – защита прав потребителей, Закон «О ЗПП» – Закон «О защите прав потребителей», НПА – нормативные правовые акты.

В 2024 г. в Пермском крае, как и в Российской Федерации, самая высокая вероятность несоблюдения требований в сфере защиты прав потребителей выявлена в платных юридических услугах (13,0 – в Пермском крае; 5,0 – в Российской Федерации).

В 2024 г. в Пермском крае, как и в Российской Федерации, наибольшая частота нарушений требований приходится на нарушения иных нормативных правовых актов РФ, например, для розничной торговли – 0,9 нарушения на одну проверку в Пермском крае и 1,3 – в Российской Федерации.

В Пермском крае самая большая частота нарушений требований закона «О защите прав потребителей» установлена при осуществлении платных юридических услуг ($p = 8,0$, что в 5,3 раза больше, чем в Российской Федерации). При этом в Российской Федерации большая частота нарушений требований Закона «О защите прав потребителей» установлена для деятельности платежных агентов ($p = 4,3$), в Пермском крае не проводились контрольные (надзорные) мероприятия в отношении данного вида деятельности в рамках защиты прав потребителей.

В 2024 г. в Пермском крае и в Российской Федерации наибольшая частота нарушений требований Закона «О защите прав потребителей» установлена по ст. 8–10 (информация о товаре, работе, услуге и лицах, их предоставляющих): в Пермском крае – в сфере платных юридических услуг ($p = 4,0$, что в 6,7 раза больше, чем в Российской Федерации); в Российской Федерации – в сфере деятельности платежных агентов ($p = 1,3$).

В 2024 г. в Пермском крае и в Российской Федерации наибольшая частота нарушений требований Закона «О защите прав потребителей» установлена по ст. 16 (недействительность условий договора, ущемляющих права потребителей): в Пермском крае – в сфере платных юридических услуг ($p = 4,0$, что в 8 раз больше, чем в Российской Федерации); в Российской Федерации – в сфере деятельности платежных агентов ($p = 2,7$).

Выводы. Анализ нарушений требований в области защиты прав потребителей показал, что в 2024 г. структура нарушений в Пермском крае отличается от российской структуры. Однако основной объем нарушений обязательных требований в сфере защиты прав потребителей в Пермском крае и Российской Федерации приходился на нарушения обязательных требований иных нормативных правовых актов РФ: в Пермском крае значение показателя составило 52,3 %, в Российской Федерации – 87,8 %. При этом в формах статистической отчетности отсутствует детальная структура нарушений иных нормативных правовых актов.

Доля нарушений Закона «О защите прав потребителей» и технических регламентов в Пермском крае составила 15,8 и 31,9 %, что в 1,8 и 9,4 раза больше, чем в Российской Федерации.

В 2024 г. в Пермском крае, как и в целом в Российской Федерации, основная доля нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей была выявлена на объектах, осуществляющих **розничную торговлю** (в Пермском крае – 91,1 %; в Российской Федерации – 95,4 %). Выявление наибольшего числа нарушений в сфере розничной торговли обусловлено наибольшим количеством

проведенных контрольных (надзорных) мероприятий в данной сфере (в Пермском крае – 89,3 % от всех КНМ; в Российской Федерации – 91,1 %).

В 2024 г. в Пермском крае, как и в Российской Федерации, самая высокая вероятность несоблюдения требований в сфере защиты прав потребителей выявлена в сфере **платных юридических услуг** (13,0 – в Пермском крае; 5,0 – в Российской Федерации). Это обусловлено низким количеством проведенных контрольных (надзорных) мероприятий в сфере услуг. Для сферы розничной торговли показатель составляет 1,6 в Пермском крае, 1,8 – в Российской Федерации.

Таким образом, в целях предотвращения нарушений требований в области защиты прав потребителей представляется важным сосредоточить усилия Роспотребнадзора в части профилактической работы на объектах розничной торговли, на которые приходится большее число нарушений. Кроме того, актуальна разработка индикаторов риска в отношении сферы услуг с целью увеличения доли внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий.

Для снижения нарушений требований в области защиты прав потребителей важно исследовать структуру нарушений требований иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей. Для этого следует детализировать формы статистической отчетности.

Актуальным является оценка динамического анализа нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в Пермском крае и Российской Федерации.

Список литературы

1. Хавзиев А.А. Виды нарушений прав потребителей // Власть Закона. – 2023. – № 4 (56). – С. 343–353.
2. Панкратова А.С. Правовое регулирование отношений в области защиты прав потребителей в рамках российского законодательства и зарубежных стран // Эпомен. – 2018. – № 16. – С. 105–112.
3. Защита прав потребителей в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад.– М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 392 с.
4. Джамбулатов С.И. Государственный надзор в области защиты прав потребителей // Пробелы в российском законодательстве. – 2017. – № 5. – С. 61–64.
5. Абдулбеков М.А. Федеральный государственный контроль (надзор) в сфере защиты прав потребителей // Вестник научной мысли. – 2022. – № 7. – С. 73–78.

Методические подходы к определению стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров для задач категорирования объектов надзора

Д.А. Кирьянов, Л.А. Ситчихина,
С.В. Бабина, М.Ю. Цинкер

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью человека»,
г. Пермь, Россия

Обоснована необходимость актуализации подхода к расчету численности потребителей непродовольственных товаров, изложенном в методических рекомендациях «Расчет показателей, характеризующих численность населения под воздействием факторов риска причинения вреда здоровью человека объектами санитарно-эпидемиологического надзора». Описана методика расчета стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров с учетом существующих ограничений правового поля. Даны рекомендации по использованию предложенного подхода.

Ключевые слова: контрольно-надзорная деятельность, Роспотребнадзор, ЕИАС Роспотребнадзора, категорирование объектов надзора, численность потребителей непродовольственных товаров.

С 2014 г. в деятельности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека применяется модель риск-ориентированной контрольно-надзорной деятельности, которая способствует улучшению санитарно-эпидемиологического благополучия в РФ, а также снижению надзорной нагрузки на социально ответственные предприятия [1, 2], что позволяет службе максимально эффективно использовать свои ресурсы [3, 4].

В рамках цифровизации деятельности Роспотребнадзора в 2022 г. была введена в эксплуатацию Единая информационно-аналитическая система Роспотребнадзора (далее – ЕИАС Роспотребнадзора), в которой в полном соответствии с законодательством заложена нормативная и справочная информация [5]. Система включает критерии отнесения производственных объектов надзора к определенной категории риска (в соответствии с «Правилами отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности») [6]¹ и показатели, необходимые для расчета численности населения под воздействием.

Численность населения под воздействием является важным показателем, характеризующим масштаб влияния объекта надзора, вносит значительный вклад

¹ О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 17.08.2016 № 806 [Электронный ресурс] // Гарант. – <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 12.04.2025).

в уровень потенциального риска причинения вреда здоровью [1, 7] и рассчитывается на основании методических рекомендаций «Расчет показателей, характеризующих численность населения под воздействием факторов риска причинения вреда здоровью человека объектами санитарно-эпидемиологического надзора», утвержденных приказом Роспотребнадзора от 07.10.2015 № 1025 (далее – МР).

Однако, несмотря на достигнутый уровень экономической эффективности контрольно-надзорной деятельности, в методической базе можно наблюдать применение показателей, которые не учитывают текущий уровень социально-экономического положения в стране и требуют корректировки.

Цель исследования – актуализация методических подходов к определению стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров.

На сегодняшний день согласно п. 7.4.1 и 7.4.2 МР численность потребителей непродовольственных товаров, используемая при категорировании объектов надзора, рассчитывается с учетом стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров:

$$N = \frac{W}{12 \cdot W_{\text{кнт}}}, \quad (1)$$

где N – численность потребителей; W – объем производимой (-ых) или реализуемой (-ых) продукции (товаров) за год, руб.; $W_{\text{кнт}}$ – стоимость потребительской корзины непродовольственных товаров, руб. в мес.

Величина стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров, заложенная в алгоритм модуля «Ведение федерального реестра хозяйствующих субъектов» ЕИАС Роспотребнадзора, сформирована по данным Росстата за 2013 г. и составляет 2050 руб./мес., что не учитывает текущий уровень социально-экономического положения в стране. В связи с этим возникает необходимость пересмотра ее значения.

До 2021 г. в соответствии с п. 7 правил исчисления величины прожиточного минимума на душу населения и по основным социально-демографическим группам населения в целом по Российской Федерации, утвержденных постановлением правительства № 56 «Об утверждении Правил исчисления величины прожиточного минимума на душу населения и по основным социально-демографическим группам населения в целом по Российской Федерации» от 29.01.2013 (далее – ПП № 56), стоимость непродовольственных товаров и стоимость услуг были определены в размере 50 % от стоимости продуктов питания.

Однако, в связи с тем, что с 9 июня 2021 г. было отменено ПП № 56, определение стоимости корзины непродовольственных товаров и услуг оказалось вне правового поля.

В связи с этим в качестве основного показателя, который должен лежать в расчетах стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров ($W_{\text{кнт}}$), целесообразно использовать величину прожиточного минимума, которая с 2021 г. определяется согласно Федеральному закону от 24.10.1997 № 134-ФЗ «О прожиточном минимуме в Российской Федерации». Так, для расчета стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров ($W_{\text{кнт}}$) необходимо знать структуру величины прожиточного минимума, а именно, какую долю в нем составляют продовольственные и непродовольственные товары и услуги.

До 2021 г., согласно ПП № 56, стоимость потребительской корзины непродовольственных товаров входила в состав величины прожиточного минимума:

$$ПМ = C_{п} + C_{н} + C_{у} + C_{р}, \quad (2)$$

где ПМ – величина прожиточного минимума;

$C_{п}$ – стоимость продуктов питания;

$C_{н}$ – стоимость непродовольственных товаров;

$C_{у}$ – стоимость услуг;

$C_{р}$ – расходы по обязательным платежам и сборам;

$C_{п}$, $C_{н}$, $C_{у}$ – в сумме формируют потребительскую корзину.

Однако в связи с изменением в 2021 г. методики расчета величины прожиточного минимума данные, характеризующие структуру этого показателя, обрывочны. Так, последние сведения о структуре прожиточного минимума приведены в сборнике Росстата «Московская область в цифрах» за IV квартал 2019 г.¹, в информационном письме Росстата по Тамбовской области «Величина прожиточного минимума за IV квартал 2020 года»², в информационном сообщении Росстата по Ростовской области за IV квартал 2019 г. «О величине прожиточного минимума»³, а также в информационном сообщении Росстата по Республике Коми «Величина прожиточного минимума за IV квартал 2019 г.»⁴.

Согласно данным, приведенным в сборниках и информационных сообщениях, отмечается, что для регионов РФ характерны некоторые различия в структуре прожиточного минимума между отдельными возрастными группами населения. Вместе с тем процентное соотношение, в целом соответствует общей структуре величины прожиточного минимума по РФ за IV квартал 2020 г., приведенной в бюллетене Росстата «Социально-экономические индикаторы бедности в 2013–2020 гг.»⁵ (рисунок).

Различия между возрастными группами населения по структуре величины прожиточного минимума наблюдаются только в части наличия расходов по обязательным платежам и сборам у трудоспособного населения. По остальным показателям расхождения незначительны. Так, доля непродовольственных товаров для рас-

¹ Московская область в цифрах [Электронный ресурс]. – URL: <https://77.rosstat.gov.ru/folder/66241> (дата обращения: 12.04.2025).

² Информационное письмо Росстата по Тамбовской области [Электронный ресурс]. – URL: https://68.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/YNxigAMF/vel_proj_4kv_2020.pdf (дата обращения: 12.04.2025).

³ Информационное сообщение Росстата по Ростовской области [Электронный ресурс]. – URL: [https://61.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D0%9E%20%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D1%83%D0%BC%D0%B0\(8\)_312364.htm](https://61.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D0%9E%20%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D1%83%D0%BC%D0%B0(8)_312364.htm) (дата обращения: 12.04.2025).

⁴ Информационное сообщение Росстата по Республике Коми [Электронный ресурс]. – URL: <https://11.rosstat.gov.ru/news/document/76391> (дата обращения: 12.04.2025).

⁵ Социально-экономические индикаторы бедности в 2013–2020 гг.: Бюллетень Росстата [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13293> (дата обращения: 12.04.2025).

смаатриваемых групп населения колеблется от 22,2 до 25,0 %. В среднем на душу населения значение этого показателя составляет 23,3 %. Кроме того, при проведении структурного анализа было отмечено, что доля непродовольственных товаров и услуг составляет порядка 50 % от стоимости продовольственных товаров.

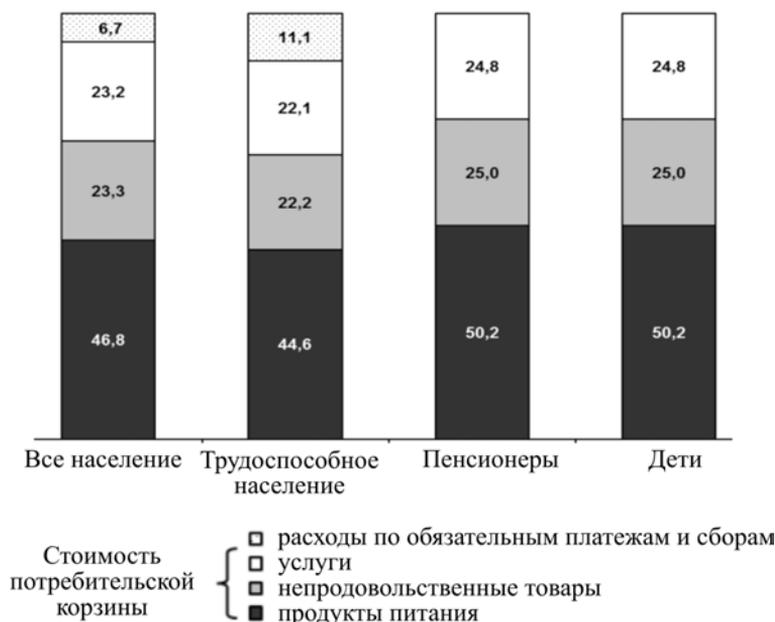


Рис. Структура величины прожиточного минимума в целом по РФ за IV квартал 2020 г.

Таким образом, для реализации методики по категорированию объектов надзора при расчете численности потребителей непродовольственных товаров предлагается воспользоваться следующим алгоритмом:

1. С учетом структуры величины прожиточного минимума, приведенной на рисунке, стоимость продуктов питания рассчитывается путем умножения величины прожиточного минимума (ПМ) на среднероссийское значение стоимости продуктов питания ($C_{п, \%}$) для соответствующей возрастной группы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Соотношение стоимости продуктов питания $C_{п, \%}$

Все население	Трудоспособное население	Старше трудоспособного возраста	Детское население
46,8	44,6	50,2	50,2

2. Стоимость потребительской корзины непродовольственных товаров ($W_{кнт}$) рассчитывается по формуле:

$$W_{кнт} = ПМ_{год} \cdot \frac{C_{п, \%}}{100 \%} \cdot 0,5. \tag{3}$$

В табл. 2 представлены значения стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров в период 2021–2024 гг. для РФ, рассчитанные при помощи формулы (3). Аналогично были получены значения $W_{\text{кнт}}$ для всех регионов РФ за указанный период.

Таблица 2

Значения стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров (руб./мес.) для РФ с 2021 г. по 2024 г.

Год	Все население	Трудоспособное население	Старше трудоспособного возраста	Детское население
2021	2727	2833	2516	2837
2022	3257	3383	3004	3389
2023	3364	3494	3103	3500
2024	3616	3756	3336	3762

Стоит отметить, что при расчете численности потребителей непродовольственных товаров необходимо учитывать год, в который проводится расчет категории риска хозяйствующего субъекта, его видов деятельности и непосредственно производственных объектов, и брать в расчет соответствующее значение величины прожиточного минимума.

На основании пробных расчетов численности потребителей непродовольственных товаров и услуг с последующей оценкой изменений в результатах категорирования хозяйствующих субъектов и их производственных объектов показано, что для всех регионов Российской Федерации целесообразно использовать величину среднероссийского прожиточного минимума, а также вносить корректировки в существующее значение стоимости потребительской корзины непродовольственных товаров с учетом индексов инфляции.

Список литературы

1. 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.
2. Елагин А.Г., Кирюхин В.В. Формирование новой контрольно-надзорной модели обеспечения безопасности // Административное право и процесс. – 2019. – № 8. – С. 61–64.
3. К оценке результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора, направленной на сохранение здоровья работающих / Д.А. Кирьянов, М.Ю. Цинкер, М.Р. Камалдинов, В.М. Чигвинцев // Медицина труда и промышленная экология. – 2021. – Т. 61, № 12. – С. 807–814. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-12-807-814
4. К оценке в регионах эффективности контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора по критериям предотвращенных экономических потерь от смертности и заболеваемости населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания / Д.А. Кирьянов, М.Ю. Цинкер, О.А. Историк [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 3. – С. 12–20. DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.02. – EDN ZIANWL.

5. Дистанционный контроль соблюдения требований санитарного законодательства: цели, задачи, перспективы внедрения / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 10. – С. 1024–1034. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1024-1034

6. Андреева Е.Е. Научно-методические основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения мегаполиса на базе модели риск-ориентированного надзора: дис. ... д-ра мед. наук. – Пермь, 2017. – 332 с.

7. Зайцева Н.В., Май И.В., Костарев В.Г. Методические и правовые аспекты развития системы риск-ориентированного надзора // Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее: материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей, Москва, 17–18 ноября 2017 года. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2017. – Т. 1. – С. 88–90.

К вопросу выбора оптимальных химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

А.А. Клячин, С.В. Клейн

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Контроль уровня загрязнения атмосферного воздуха является одним из ключевых элементов обеспечения безопасной среды обитания и охраны здоровья населения на популяционном уровне. Приведены критерии оценки и порядок выбора химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Предложенные критерии и методические подходы имеют особое значение для совершенствования системы социально-гигиенического мониторинга, оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и риска для здоровья населения, а также для обоснования управленческих решений, направленных на достижение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха. В ходе исследования выполнен анализ действующих нормативных и методических документов, устанавливающих требования к химико-аналитическим методам контроля содержания химических веществ в атмосферном воздухе. Отдельно рассмотрены вопросы, касающиеся пределов обнаружения, параметров избирательности (селективности), показателей точности и воспроизводимости результатов измерений. Использование предложенных критериев и порядка позволит повысить достоверность данных социально-гигиенического мониторинга, санитарно-эпидемиологического надзора и результатов оценки рисков здоровью населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух, методы определения химических соединений, социально-гигиенический мониторинг, гигиенические нормативы, оценка риска здоровью населения.

Атмосферный воздух, являясь жизненно важным для здоровья человека компонентом среды обитания, подвержен значительному химическому загрязнению в условиях урбанизации и индустриализации. Обеспечение безопасности атмосферного воздуха, отвечающего гигиеническим нормативам по предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ¹, решает ключевую задачу – предотвращение негативного ингаляционного воздействия на здоровье населения [1].

В условиях роста антропогенной нагрузки особую актуальность приобретает совершенствование научно обоснованных подходов к оценке качества атмосферного воздуха, соответствующих современным гигиеническим стандартам и критериям риска здоровью человека [2–4].

Отсутствие в настоящее время единых критериев и порядка выбора методов химико-аналитического контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе создает неопределенности в методологическом обеспечении социально-гигиенического мониторинга.

Выбор химико-аналитических методов контроля, обладающих достаточной чувствительностью, точностью и селективностью для достоверного определения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на уровнях, сопоставимых с гигиеническими нормативами и / или пороговыми уровнями опасности развития канцерогенных и / или неканцерогенных эффектов для здоровья, является важной задачей [5, 6].

Цель исследования – определение порядка и критериев отбора, оптимальных химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для решения задачи повышения достоверности данных социально-гигиенического мониторинга, используемых для оценки рисков здоровью населения.

Материалы и методы. В ходе исследования проведена систематизация и анализ действующих нормативно-методических документов, регламентирующих требования к методам контроля загрязняющих веществ в атмосферном воздухе; использованы данные научных публикаций, специализированных справочных и руководящих изданий.

Результаты. В соответствии с задачами социально-гигиенического мониторинга используемые методики определения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе должны отвечать необходимым требованиям по чувствительности, избирательности, точности и другим критериям, которые унифицированы и включены в государственные стандарты: ГОСТ Р 8.563-2009² и ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002³, определяющие требования к методикам измерений, точности (пра-

¹ СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 28.04.2025).

² ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200077909> (дата обращения: 28.04.2025).

³ ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029975> (дата обращения: 28.04.2025).

вильности и прецизионности) методов и результатов измерений, РМГ 61-2010¹ и МИ 2881-2004², конкретизирующие показатели точности химического анализа и процедуры проверки результатов, и пр.

В качестве критериев, на соответствие которым оценивают методики, чаще всего используют:

1. Предел обнаружения вещества.
2. Избирательность методики.
3. Степень поглощения вредного вещества из воздуха фильтром или поглотителями (жидкими или твердыми).
4. Погрешность в измерении объема отобранной пробы.
5. Максимальная суммарная погрешность методики.
6. Требования к используемым реагентам и препаратам.
7. Требования к аппаратуре и приборам, используемым при химико-аналитическом контроле.

Химико-аналитические методы контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе оптимально выбирать, реализуя поэтапный порядок анализа методик, описанный далее.

На *первом этапе* анализа определяют, какими ограничениями характеризуется метод исследования (измерения) в отношении минимальной концентрации, которую он позволяет обнаружить. Необходимо использовать метод, позволяющий обнаружить наиболее низкую концентрацию химического вещества в атмосферном воздухе.

Обычно учитывают два ключевых параметра чувствительности: предел обнаружения (далее – ПО) и предел количественного определения (далее – ПКО). ПО представляет собой минимальную концентрацию вещества, которая может быть статистически достоверно идентифицирована данным методом, хотя количественная оценка на этом уровне может быть недостаточно точной. ПКО характеризует минимальную концентрацию вещества, которая может быть количественно определена с заданными показателями точности и воспроизводимости, что обеспечивает получение метрологически значимых результатов. Различие между этими параметрами имеет принципиальное значение: если ПО указывает на возможность обнаружения вещества, то ПКО гарантирует достоверность его количественного измерения в соответствии с установленными критериями качества аналитических данных. Величина ПКО обычно значительно (в 2–4 раза) превышает ПО. Нижний предел количественного определения (далее – НПКО) указывают во всех отечественных методиках, используемых в мониторинговых исследованиях.

В соответствии с действующими в РФ требованиями методы анализа должны обеспечить избирательное измерение концентрации вредного вещества в присутствии сопутствующих компонентов в воздухе рабочей зоны на уровне, меньшем или

¹ РМГ 61-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки [Электронный ресурс]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=296029> (дата обращения: 28.04.2025)

² МИ 2881-2004. Методики количественного химического анализа. Процедуры проверки приемлемости результатов анализа [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=OTN&n=6630#UM8NKkUktyUO5hmu> (дата обращения: 28.04.2025).

равном 0,5 предельно допустимой концентрации (ПДК)¹, в атмосферном воздухе – в количестве, меньшем или равном 0,8 ПДК этого вещества².

На данном этапе оценивают, соответствует ли НПКО методики необходимой точности измерения вещества, которая зависит от целей мониторинга. Поскольку полученные данные о концентрациях химических веществ в атмосферном воздухе впоследствии используются для оценки риска здоровью населения, при анализе результатов необходимо учитывать не только соответствие гигиеническим нормативам, но и сопоставлять их с референтными концентрациями острого (*ARfC*) и хронического (*RfC*) воздействия. Особое значение имеет сравнение с *RfC*, поскольку данный критерий в большинстве случаев устанавливает более жесткие нормативные значения, чем традиционные ПДК, что обусловлено необходимостью учета долгосрочных эффектов воздействия на здоровье.

Если предполагается использование получаемых данных для оценки риска здоровью, то НПКО должно быть на уровне 1/2 референтной концентрации при хроническом ингаляционном воздействии (*RfC*).

Методы, не соответствующие указанным требованиям по чувствительности, рассматриваются как недостаточные для эффективного контроля содержания веществ в атмосферном воздухе. Данные критерии в первую очередь основаны на необходимости обеспечения достаточного запаса чувствительности для достоверного выявления превышений нормативных показателей и проведения превентивной оценки потенциальных рисков.

В частности для решения вышеуказанной задачи специалистами отдела химико-аналитических методов исследования ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» [5] разработана методика количественного определения 19 приоритетных элементов, представленных в таблице, методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МУК 4.1.3481-17³). Важной особенностью данной методики является возможность достоверно определять концентрации металлов и металлоидов на уровне референтных концентраций при хроническом ингаляционном воздействии (*RfC*)⁴, что существенно расширяет ее возможности, по сравнению с менее чувствительными методами, и позволяет использовать результаты исследований для оценки ингаляционного риска здоровью населения (таблица).

¹ Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566385039> (дата обращения: 28.04.2025).

² ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006389> (дата обращения: 28.04.2025).

³ МУК 4.1.3481-17. Определение химических соединений и элементов в биологических средах, молочной продукции и объектах окружающей среды [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/551087084> (дата обращения: 28.04.2025).

⁴ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=OTN&n=40578#13NOKkUqkmwcrP7H2> (дата обращения: 28.04.2025).

Перечень определяемых в соответствии с МУК 4.1.3481-17 элементов, гигиенические нормативы и диапазоны измерений в атмосферном воздухе [5]

№ п/п	Наименование определяемого элемента	ПДК _{сгс} , мг/м ³	RfC, мг/м ³	Диапазон измерений в воздухе, мг/м ³	Показатель точности методики (границы относительной погрешности при $p = 0,95$), $\pm \delta_{\text{п}}$, %
1	Алюминий	0,01	0,005	0,00005–0,1	18,0
2	Ванадий	0,002	0,0001	0,000001–0,02	20,62
3	Вольфрам	0,15	-	0,000001–1,5	19,32
4	Железо	0,04	-	0,00017–0,04	18,68
5	Кадмий	0,0003	0,00002	0,000001–0,003	18,0
6	Кобальт	0,0004	0,000006	0,000001–0,004	20,1
7	Литий	0,005 (ОБУВ)	-	0,000001–0,05	21,58
8	Магний	0,05	-	0,000035–4,0	18,34
9	Марганец	0,001	0,00005	0,000005–0,1	24,85
10	Медь	0,002	0,00002	0,00002–0,03	24,0
11	Мышьяк	0,0003	0,000015	0,000002–0,003	18,5
12	Никель	0,001	0,000014	0,00001–0,02	24,17
13	Свинец	0,0003	0,00015	0,000002–0,01	24,91
14	Селен	0,00005	0,02	0,000002–0,001	24,96
15	Стронций	0,015 (ОБУВ)	-	0,000005–0,15	24,46
16	Таллий	0,0004	-	0,000001–0,004	18,05
17	Титан	0,5 (ОБУВ)	-	0,00001–5,0	24,28
18	Хром	0,0015	0,0001	0,00001–0,015	21,0
19	Цинк	0,05	0,0009	0,00005–0,03	25,0

Выполнению указанных требований во многом способствует широкое внедрение физико-химических методов анализа, обеспечивающих высокую чувствительность определения, избирательность, а также высокую точность и объективную регистрацию результатов анализа. Оптимально выбирать методы, НПКО которых по крайней мере в 10 раз превышает измеряемые концентрации. Если же чувствительность метода недостаточно высока, можно использовать методы концентрирования пробы.

На *втором этапе* проводят оценку точности и воспроизводимости измерений, которые должны соответствовать следующим критериям: относительная погрешность определения не должна превышать ≤ 20 –30 %, а стандартное отклонение при воспроизводимости – находиться в пределах ≤ 15 –25 % для диапазона концентраций вблизи предельно допустимых значений. Эти показатели могут быть верифицированы либо через участие в межлабораторных сравнительных испытаниях, что позволяет получить экспериментально подтвержденные данные о характеристиках метода, либо посредством анализа сведений, содержащихся в нормативной документации, регламентирующей применение конкретной методики. Метрологическая обоснованность получаемых данных в этом диапазоне концентраций позволяет минимизировать ошибки при оценке соответствия нормативным требованиям и снижает неопределенность при интерпретации результатов мониторинга.

На *третьем этапе* оценивают селективность (специфичность) метода как важнейшего критерия, характеризующего способность достоверно определять загрязняющее вещество (химическое соединение) в присутствии сопутствующих

веществ. В задачах анализа атмосферного воздуха метод должен обладать достаточной избирательностью для количественного определения необходимого вещества на фоне сложного комплекса сопутствующих компонентов, включая другие газообразные соединения, аэрозольные частицы различного происхождения, а также быть устойчивым к вариациям таких параметров окружающей среды, как относительная влажность, температура и пр. Особое значение данный параметр приобретает при мониторинге следовых (низких) концентраций веществ, где даже незначительные матричные эффекты могут существенно исказить результаты анализа. Валидация селективности проводится путем тестирования метода на модельных смесях, содержащих как целевое химическое вещество, так и потенциальные сопутствующие компоненты в концентрациях, характерных для реальных условий отбора проб, что позволяет количественно оценить степень влияния мешающих факторов и подтвердить адекватность методики для решения поставленных аналитических задач.

На *четвертом этапе* в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.016-79, ГОСТ Р 8.563-2009, ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002, РМГ 61-2010, МИ 2881-2004 проводят анализ степени поглощения вредного вещества из воздуха фильтром или поглотителями (жидкими или твердыми), которая должна быть не менее 95 % при допустимой погрешности в измерении объема отобранной пробы на уровне $\pm 5\%$. Также учитывают максимальную суммарную погрешность методики определения вредного вещества, которая не должна превышать $\pm 25\%$.

Пятый этап предлагаемого порядка выбора метода исследования (измерения) предполагает оценку используемых реагентов и препаратов, а также аппаратуры и приборов, применяемых при химико-аналитическом контроле. Обязательным условием является использование реактивов квалификации (х.ч. – химически чистый) или (ч.д.а. – чистый для анализа), соответствующих ГОСТ, с запретом на применение просроченных препаратов. Аналитическое оборудование подлежит регулярной поверке и тарировке в установленном порядке.

Применение данного порядка в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» обуславливает необходимость соблюдения следующих требований и процедур: методики должны быть аттестованы в соответствии с действующими нормативно-методическими документами; испытательно-лабораторные центры, осуществляющие выполнение количественного химического анализа, должны пройти обязательную процедуру аккредитации в соответствии с требованиями Федерального закона № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» и соответствовать критериям компетентности, установленным ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019. Необходимым условием является соответствие используемых методов контроля действующим нормативным документам (МУК, РД, ГОСТ Р, ИСО и пр.). Только методы, удовлетворяющие всем указанным требованиям, допускаются к применению для получения официальных данных мониторинга, что гарантирует сопоставимость и достоверность результатов при оценке качества атмосферного воздуха на территории Российской Федерации.

Завершающим этапом анализа методики является ее практическая апробация, проводимая после выбора оптимального метода и поверки используемого оборудования. Данный этап включает комплексную валидацию метода в реальных условиях эксплуатации, предусматривающую серию контрольных измерений

стандартных образцов с известными концентрациями химического соединения и последующее сравнение полученных результатов с аттестованными значениями. В процессе валидации оцениваются ключевые метрологические характеристики, такие как сходимость результатов при параллельных определениях (прецизионность), степень соответствия измеренных значений действительным (правильность), а также стабильность работы методики в течение установленного временного интервала.

При комплексном учете рассмотренных критериев отбора химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, включая метрологические характеристики метода, актуальность мониторинга целевого вещества и анализ экономической эффективности, порядок выбора и оценки химико-аналитической методики приобретает формализованный и научно обоснованный характер.

Выводы. Предложенный порядок и критерии для сопоставительной оценки чувствительности аналитических методов, в частности, нижний предел количественного определения химических веществ в атмосферном воздухе относительно гигиенических нормативов и параметров риска здоровью населения, позволяют систематизировать подходы к обеспечению достоверности измерений. Предлагаемый порядок устраняет существующую неопределенность в области гигиенического контроля, предлагая унифицированные принципы оценки соответствия аналитических возможностей методов требованиям социально-гигиенического мониторинга.

Применение данного порядка в практике социально-гигиенического мониторинга, санитарно-эпидемиологических исследований и оценки риска здоровью позволит не только стандартизировать процедуру анализа и контроля содержания вредных веществ в атмосферном воздухе, но и минимизировать вероятность недооценки потенциальной опасности для здоровья населения. Реализация предлагаемого порядка отбора оптимальных химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе создает основу для совершенствования системы социально-гигиенического мониторинга и принятия обоснованных управленческих решений в сфере охраны здоровья населения.

Список литературы

1. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 2. – 468 с.

2. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов / Н.В. Зайцева, И.Г. Жданова-Заплесвичко, М.А. Землянова [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – № 1 (334). – С. 4–15.

3. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с риск-ориентированным надзором /

Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 4. – С. 4–16.

4. Health risk analysis in the strategy of state social and economical development / G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva, I.V. May [et al.]. – Moscow, Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2014. – 686 p.

5. Современное методическое обеспечение контроля атмосферного воздуха / Т.С. Уланова, Т.Д. Карнажицкая, Е.В. Стенно, Г.А. Вейхман // Анализ риска здоровью – 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 2022. – Т. 1. – С. 61–66.

6. Воронова А.В. Расчет долгопериодной экспозиции при оценке риска по данным мониторинга атмосферного воздуха // Анализ риска здоровью – 2023. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2023: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 2023. – С. 90–96.

Раздел IV

Научно-методические основы и практика оценки рисков при воздействии факторов трудового процесса

Оценка риска развития сердечно-сосудистой патологии и эффективности методов ее коррекции у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, на примере титаномагниевого предприятия

А.А. Воробьева, О.Ю. Горбушина,
Т.А. Пономарева, И.В. Лешкова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Несмотря на государственные мероприятия, направленные на профилактику хронических неинфекционных заболеваний у работающего населения, распространенность сердечно-сосудистой патологии остается на высоком уровне.

Оценен риск развития сердечно-сосудистой патологии (в частности, артериальной гипертензии) у работников титаномагниевого предприятия, подвергающихся сочетанному воздействию производственных факторов, и эффективность применения медико-профилактических методов ее коррекции.

В ходе проведенного углубленного обследования 160 работников титаномагниевого предприятия, контактирующих с комплексом производственных факторов, относящихся к классу условий труда 3.1–3.3, и 48 сотрудников предприятия без контакта с вредными производственными факторами были выявлены группы с учетом имеющейся степени риска развития артериальной гипертензии. Для данных категорий работников была реализована медико-профилактическая программа, направленная на снижение риска развития артериальной гипертензии. Оценка влияния применяемой программы проводилась у работников, имеющих средний риск формирования артериальной гипертензии.

Градации групп риска определялась степенью выявленных изменений липидного обмена, антиоксидантной защиты, вегетативной регуляции и эндотелиальной дисфункции. Применение медико-профилактической технологии у работников среднего риска развития артериальной гипертензии улучшило показатели антиоксидантной защиты и липидного обмена, нормализовало эндотелиальную функцию (повышение вазодилатации плечевой артерии, коэффициента чувствительности эндотелия к напряжению сдвига), стимулировало ответ вегетативной нервной системы (изменение типа вегетативной реактивности).

Апробированная медико-профилактическая технология положительно влияет на основные доклинические проявления нарушений сердечно-сосудистой системы у работников титаномагниевого предприятия.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая патология, титаномагниевое производство, медико-профилактические технологии, работники, вредные производственные факторы.

Государственная политика РФ ориентирована на национальные программы, направленные на развитие человеческого потенциала. Развитие производственно обусловленных и хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ) у работающего населения уменьшает эффективность труда, снижая темпы экономического

роста предприятия [1]. Одной из важных проблем является потеря квалифицированного персонала ведущих отраслей промышленности в связи с отстранением от работ по медицинским противопоказаниям. Среди ХНИЗ на рабочем месте преимущественной причиной смертности остаются заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС), а в их структуре наиболее распространенной является артериальная гипертензия (АГ) [2–4].

Сердечно-сосудистая заболеваемость также остается на высоком уровне среди работников металлургической промышленности. Специфика металлургического дела заключается в сложности технологического цикла и масштабности объемов производимой продукции в сравнении с другими промышленными отраслями [5]. Появление новых высокотехнологичных производственных процессов не исключает негативного воздействия производственных факторов (химического, физического (вибрация, шум, физическая перегрузка, микроклимат)) на здоровье сотрудников [6]. В титаномагниевого производстве в качестве сырья используют редкоземельные элементы (РЗЭ). Исследований, посвященных изучению влияния РЗЭ на организм работника, имеется ограниченное количество, а их вклад в развитие сердечно-сосудистой патологии изучен недостаточно. Выполненные нами ранее исследования показали, что сочетанное воздействие факторов титаномагниевого производства способствует формированию болезней системы кровообращения и дыхательной системы, сопровождающихся высокой степенью внутрисистемной и межсистемной коморбидности у работников трудоспособного возраста, увеличивает их распространенность у стажированных работников, формируя ранние кардиоваскулярные осложнения [7, 8]. Распространенность АГ у работников титаномагниевого производства определялась в 33,3 % случаев ($p < 0,05$; RR 1,99; 95 % CI 1,01–3,93; $EF = 47$ %; степень профессиональной обусловленности средняя). С учетом невозможности полного устранения неблагоприятного влияния производственных факторов на работника, требуется поиск новых технологий минимизации риска его здоровью [9–12]. Для реализации этой цели на металлургических предприятиях применяется комплекс профилактических мер в виде корпоративных программ, ориентированных на пропаганду здорового образа жизни и устранения факторов риска развития производственно обусловленных заболеваний [13–19].

Цель исследования – оценить риск развития сердечно-сосудистой патологии (артериальной гипертензии в частности) у работников титаномагниевого предприятия, подвергающихся сочетанному воздействию производственных факторов, и эффективность применения медико-профилактических методов ее коррекции.

Материалы и методы. В группу наблюдения было включено 160 работников титаномагниевого предприятия, контактирующих с вредными производственными факторами. Средний возраст составил $47,3 \pm 7,1$ года, средний стаж – $16,8 \pm 5,6$ года. Группа сравнения была представлена 48 работниками предприятия, не имеющими контакта с вредными производственными факторами (средний возраст $50,2 \pm 11,1$ года, средний стаж – $13,6 \pm 9,3$ года). Группы были сопоставимы по полу, возрасту и стажу.

Производственные факторы, оказывающие негативное воздействие на работников предприятия, были представлены: химическими веществами (редкоземельные металлы (РЗМ) (лантаноиды), хлор и его соединения) и физическими факторами (шум, вибрация, физическая нагрузка (тяжесть и напряженность тру-

да)). Согласно картам специальной оценки условий труда, класс условий труда по представленным производственным факторам соответствовал 3.1–3.3 (вредный).

Для оценки состояния ССС и установления риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), в частности артериальной гипертензии, данным работникам проведено углубленное обследование. По результатам обследования у 60 работников предприятия, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, был установлен риск развития АГ и выполнена градация по группам риска: группа низкого риска (4 человека), группа среднего риска (46 человек), группа высокого и очень высокого риска (10 человек).

Программа профилактических мероприятий включала методы, воздействующие на диагностированные доклинические нарушения в лабораторных и функциональных показателях (табл. 1). Выбранные методы коррекции полученных изменений со стороны ССС были применены с учетом их иммунокорригирующих, антиоксидантных, вазодилатационных и адаптогенных механизмов действия, улучшающих микроциркуляцию и стабилизирующих вегетативный статус.

Таблица 1

Программа профилактики производственно обусловленной АГ, модифицированной производственными факторами у работников титаномагниевого производства

Блок общих мероприятий	Блок медикаментозных мероприятий	Блок физиотерапевтических процедур
<ul style="list-style-type: none"> • Консультация терапевта (кардиолога по показаниям), выявление факторов риска ХНИЗ, в частности ССЗ. • Выдача рекомендаций по здоровому образу жизни: <ul style="list-style-type: none"> - отказ от курения; - режим труда и отдыха с организацией полноценного сна не менее 8 ч, перед ночной сменой – не менее 10 ч; - аэробная физическая нагрузка (пешие прогулки 40 мин в день); - диета с ограничением до 2300–2800 ккал в сутки, гипохолестериновая диета; - самоконтроль АД утром. • Беседа о необходимости выполнения рекомендаций 	<ul style="list-style-type: none"> • Пикамилон (никотиноил гамма-аминомасляная кислота, код АТХ: N06BX) по 1 табл. (50 мг) 2 раза в день. • Цитофлавин (инозин + никотинамид + рибофлавин + янтарная кислота, код АТХ: N07XX) по 2 табл. 2 раза в день за 30 мин до еды. • Кудесан (убидекаренон, код АТХ: C01EB09) 24 капс. один раз в день во время приема пищи, предварительно растворив в 1/2 стакана кипяченой воды или напитка 	<ul style="list-style-type: none"> • Биоуправляемая аэроионо-терапия (10 индивидуальных ежедневных процедур). • Надсосудистое лазерное облучение крови (10 ежедневных процедур). • Транскраниальная магнитотерапия (10 ежедневных процедур)

Объем профилактических мероприятий определялся для каждой группы риска. В группе низкого риска для профилактики превенции АГ использовались немедикаментозные методы (см. табл. 1). Для работников группы среднего риска применялся комплекс немедикаментозных и медикаментозных методов, включающих прием лекарственных препаратов и физиотерапевтических процедур. Работники группы высокого и очень высокого риска наряду с предложенной программой принимали гипотензивную терапию, статины по показаниям в соответствии с клиническими рекомендациями [20].

Оптимальной для реализации технологии и оценки ее эффективности была определена группа работников среднего риска превенции АГ (средний возраст работников – $46,6 \pm 8,9$ года, средний стаж – $13 \pm 5,5$ года). Срок реализации программы составил 30 дней. По окончании реализации была проведена оценка промежуточных результатов эффективности применения медико-профилактической программы. Оценка проводилась по результатам лабораторных общеклинических, биохимических и иммунологических исследований, а также функциональных методов исследования. Было выполнено эхокардиографическое исследование параметров сердца (ЭхоКГ, Vivid iq, GE Vingmed Ultrasound AS), ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий (УЗДГ БЦА) (аппарат Fukuda denshi VS-1500 VaSera). Проводилась оценка эндотелийзависимой вазодилатации (ЭЗВД) плечевой артерии (Vivid q, GE Vingmed Ultrasound AS) и вариабельности ритма сердца («Поли-Спектр-8/EX», «Нейрософт», Россия).

Для статистического анализа использовался пакет Statistica 10.0 и программы, разработанные ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Нормальное статистическое распределение представлялось в виде среднего значения и стандартного отклонения, с применением критерия Стьюдента. В случаях ненормального распределения статистические данные указаны в виде медианы (*Me*) и интерквартильного размаха (25-й и 75-й квартили) с использованием критерия Манна – Уитни. Статистически значимые различия принимались при $p < 0,05$. Для количественных переменных применялся критерий Вилкоксона и Мак-Немара для бинарных качественных переменных. Проверка статистических гипотез относительно параметров моделей проводилась с использованием критерия хи-квадрата Пирсона, коэффициента Крамера и коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Оценка связи производственных факторов с изменениями в организме работников проводилась с помощью определения «отношения шансов» (*OR*), «относительного риска» (*RR*) и этиологической доли ответов, обусловленной воздействием фактора профессионального риска (*EF*). Статистически достоверной зависимостью считалась при величине доверительного интервала $CI > 1$.

Результаты. Выбранной категории работников титаномагниевого предприятия обследования проводились до начала реализации программы и после ее окончания с целью оценки эффективности ее применения. До реализации программы профилактики у работников исследуемой группы (группы среднего риска) были выявлены лабораторные признаки эндотелиальной дисфункции (среднее значение VEGF > 256 МЕ/мл) и оксидативного стресса в виде нарушения антиоксидантной защиты (снижение АОА у 52,6 %, повышение уровня МДА у 36,8 % работников по отношению к группе сравнения), являющиеся ранними предикторами патологии ССС (табл. 2). Нарушение липидного обмена в виде снижения уровня ЛПВП наблюдалось у 52,6 % работников, повышение уровня ЛПНП – у 21,1 %, ЛПОНП – у 26,3 %, общего холестерина – у 63,2 %. У 5,3 % работников было установлено нарушение углеводного обмена в виде гипергликемии (по отношению к физиологической норме). На фоне проведенных мероприятий у всех обследуемых зарегистрировано нормальное содержание глюкозы.

Таблица 2

Сравнительный анализ биохимических показателей у работников титаномагниевого производства на фоне реализации медико-профилактической программы

Показатель	Группа наблюдения до лечения	Группа наблюдения после лечения	<i>p</i>
Антиоксидантная активность плазмы	35 (25; 38)	34 (31; 41)	0,77
Малоновый диальдегид плазмы, мкмоль/см ³	2 (2; 3)	2 (2; 3)	0,59
Глюкоза, ммоль/ дм ³	4 (4; 5)	5 (4; 6)	0,11
Мочевая кислота, мкмоль/дм ³	321 (296; 381)	344 (227; 380)	1
Триглицериды, ммоль/дм ³	1 (1; 2)	1 (1; 3)	0,71
Холестерин ЛПВП, ммоль/дм ³	1 (1; 2)	1 (1; 1)	0,04*
Холестерин ЛПНП, ммоль/дм ³	3 (2; 4)	3 (1; 4)	0,35
Холестерин ЛПОНП, ммоль/дм ³	1 (0; 1)	1 (0; 1)	0,71
Холестерин общий, ммоль/дм ³	5 (5; 6)	5 (3; 6)	0,29

Примечание: * – достоверность различий.

Сравнительный анализ и оценка особенностей изменения иммунологических показателей в динамике у обследуемых работников позволили установить не достигшее уровня значимости снижение в сыворотке крови среднегруппового уровня общего IgE с 61 до 51 МЕ/мл, а также повышение экспрессии специфического IgG к лантаноидам в 1,33 раза. Это указывает на снижение степени общей сенсibilизации и одновременно на вероятность выхода из депо РЗЭ как результат детоксикационного эффекта с образованием нейтрализующих антител. В динамике установлено достоверное повышение экспрессии основных фенотипов Т-лимфоцитов (CD3+ и CD4+), а также снижение экспрессии дополнительных фенотипов – киллерных клеток CD16+CD56+ ($p < 0,001$), участвующих в противовирусной защите, что указывает на оптимизацию функционирования кластеров клеточной дифференцировки (табл. 3).

Таблица 3

Анализ иммунологических показателей у работников титаномагниевого предприятия

Показатель	Группа наблюдения до лечения	Группа наблюдения после лечения	<i>p</i>
Annexin V-FITC+7AAD позит.клетки, %	14 (11; 15)	16 (9; 20)	0,53
CD16+56+-лимфоциты, отн., %	13 (9; 18)	5 (5; 6)	0,02*
CD3+CD4+-лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	1 (1; 1)	1 (1; 1)	0,02*
CD3+CD4+-лимфоциты, отн. %	41 (38; 44)	52 (52; 55)	0,01*
CD304(NRP1)-лимфоциты, отн.,	1 (1; 2)	2 (2; 3)	0,04*
CD4+/CD8+,	1 (1; 2)	2 (2; 2)	0,04*
TNFR, %	12 (9; 14)	5 (4; 6)	0,02*
p53, %	10 (8; 16)	3 (2; 5)	0,01*

Примечание: * – достоверность различий до и после проведения медико-профилактической программы.

Достоверно снизилась, не достигнув диапазона нормы, избыточная экспрессия маркеров апоптоза, как мембранных (TNFR) – в 2,4 раза, так и транскрипционных (p53) – в 3,3 раза, и одновременно фосфатидилсериновых 7AAD-негативных – в 3,1 раза ($p < 0,001$), что свидетельствует о нормализации функционирования системы контроллинга за клеточной гибелью. Значение иммунорегуляторного индекса, ассоциированного с уровнем иммунорезистентности, было статистически значимо повышено.

Проведенный анализ риска позволил определить вклад производственного фактора в выявленные нарушения здоровья. Установлено: апоптоз клеток и сенсбилизация организма работников имеют очень высокую долю производственного фактора (OR 7,4; 95 % CI 2,1–26,6; $RR = 4$; 95 % CI 1,5–10,6; $EF = 75$ %; степень профессиональной обусловленности очень высокая). Однако синтез иммуноактивных клеток (CD16+CD56+), индуцируемых апоптозом, имеет среднюю степень производственной обусловленности (OR 2,1; 95 % CI 0,8–24,2; RR 2; 95 % CI 0,2–20,8; $EF = 50$ %) без доказанной достоверности. Выявлена негативная тенденция к снижению ЛПВП (RR 1,8; 95 % CI 0,7–4,7 – средняя степень производственной обусловленности).

По данным ЭхоКГ-исследования установлено, что основные показатели, характеризующие морфофункциональные особенности сердечной деятельности, находились в пределах нормальных значений. Однако у 20 и 26,7 % обследованных наблюдалось увеличение толщины задней стенки левого желудочка (ЗСЛЖ) и межжелудочковой перегородки (МЖП) соответственно, у 20 и 33,3 % работников – увеличение полости левого (ЛЖ) и правого желудочка (ПЖ). Увеличение полости ЛП установлено у 13,3 %.

Оценка характеристик миокарда показала, что в обследованной группе у 53,3 % медиана митрального атриовентрикулярного кольца (МРК) находится выше референтного значения и составляет 0,54 (0,53–0,59). Увеличение МРК трикуспидального атриовентрикулярного кольца выявлено у 20 % обследованных, при этом медиана не превышала референтного значения. Зарегистрировано увеличение у 33,3 % обследуемых значения IVRT трикуспидального атриовентрикулярного кольца до 76,5 (67,75–90) мс, а у 40 % – снижение отношения Em/Am трикуспидального атриовентрикулярного кольца.

По данным УЗ-исследования БЦА медиана толщины КИМ в обследованной группе составила 0,61 (0,58–0,71) мм. Однако у 66,7 % обследованных значение толщины КИМ превышало 75-й перцентиль для данного возраста и пола, согласно критериям I. Simova [21]. Атеросклеротические бляшки экстракраниальных сегментов БЦА были выявлены у 33,3 % работников. Признаки начального атеросклероза (локальные увеличения толщины КИМ) наблюдались у 5,6 % обследованных.

Проведение эндотелийзависимой вазодилатационной пробы показало, что до реализации программы у 64,3 % обследованных выявлялись признаки эндотелиальной дисфункции (прирост диаметра менее 10 %), тогда как после проведения программы – только у 28,6 % ($p = 0,059$) (табл. 4).

Показатели относительного прироста диаметра плечевой артерии до реализации программы фиксировались ниже референсных значений – 7,7 (6,8–11,1) %, после лечения – находились в нормальном диапазоне (более 10 %) и составили

16,1 (7,9–20,7) ($p = 0,084$). Установлена статистически значимая динамика коэффициента чувствительности к напряжению сдвига – 0,040 (0,029–0,10) усл. ед. до лечения, против 0,10 (0,059–0,36) усл. ед. после лечения ($p = 0,014$).

Т а б л и ц а 4

Динамика результатов исследования ЭЗВД у обследованных работников титаномагниевого производства, %, $Me (Q_1-Q_3)$

Диаметр плечевой артерии	Группа наблюдения до лечения	Группа наблюдения после лечения	p
Прирост диаметра < 10	64,3	28,6	0,059
Относительный прирост диаметра плечевой артерии, %	7,7 (6,8–11,1)	16,1 (7,9–20,7)	0,084
Коэффициент чувствительности плечевой артерии, усл. ед.	0,040 (0,029–0,10)	0,10 (0,059–0,36)	0,014

Примечание: p – достоверность различий между группами до и после лечения (критерий Вилкоксона для количественных переменных и Мак-Немара для бинамиальных качественных переменных).

Согласно данным вариационной пульсометрии, у обследованных работников исходно преобладал гиперсимпатико-тонический тип вегетативной реактивности (50 %), а после проведенной программы – нормальный тип вегетативной реактивности (64,3 %).

Среднегрупповые значения показателей спектрального анализа не имели статистически значимых изменений на фоне применения программы ($p = 0,206–1,000$). Получено преобладание очень низкочастотных волн (VLF, %) в общей мощности спектра до и после лечения (35,80 (28; 53,75) и 41,60 (28,65; 50,10), $p = 0,985$). При сравнении по мощности спектра исходно до реализации программы зарегистрирована умеренная мощность спектра (33,3 %), а после – условная норма (42,9 %). Как до начала применения программы, так и после – у работников преобладал 3-й класс ритмограммы (38,9 и 50 %, $p = 0,788$). Исходно коэффициент LF/HF был распределен равномерно между высоким и низким показателями (по 44,4 %), доля лиц с нормальными значениями LF/HF была в 4 раза ниже и составила 11,1 %. После проведенного профилактического лечения коэффициент вагосимпатического баланса соответствовал высоким показателям (50 %).

Проведение ортостатической пробы выявило преобладание сниженной реактивности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в 50 % случаев.

По результатам исследования жесткости артериальной стенки значение САVI в обследованной группе составило 7,3 (7,1–7,5), при этом у 28,6 % абсолютное значение САVI превышало расчетный норматив. Значение AI в обследованной группе составило 0,96 (0,86–1,06), при этом у 50 % абсолютное значение AI превышало расчетный норматив. Таким образом, до 50 % работников обследованной группы имело повышенные значения артериальной жесткости.

В ходе исследований установлено, что основными производственными факторами, негативно воздействующими на организм работников предприятия титаномагниевого профиля, являются шум, вибрация, тяжесть и напряженность труда, а также химические вещества (РЗЭ (лантаноиды), хлор, гидрохлорид и их

соединения), присутствующие в воздухе рабочей зоны; физические факторы (шум, вибрация); тяжесть и напряженность трудового процесса; профессиональный стресс.

Используемые в медико-профилактической программе методы воздействуют на компенсаторные механизмы в организме работников, повышая антиоксидантную защиту (повышение АОА, снижение МДА), улучшая и нормализуя липидный (нормализация показателей дислипидемии: ЛПНП и ЛПОНП, общего холестерина) и углеводный обмен (уровень гликемии соответствует физиологической норме), улучшая метаболические процессы.

Апробируемая медико-профилактическая программа профилактики ССЗ у работников титаномагниевого предприятия, контактирующих с РЗЭ, оказывает детоксикационный эффект, уменьшая сенсibilизацию организма (снижение эозинофилов, повышение уровня специфического IgG к лантаноидам, повышение CD3+ и CD4+, снижение CD16+CD56+, $p < 0,001$). Достоверное снижение избыточной экспрессии маркеров апоптоза (TNFR в 2,4 раза, p53 – в 3,3 раза и 7AAD-негативных – в 3,1 раза, $p < 0,001$) свидетельствует о нормализации функционирования системы контроллинга за клеточной гибелью.

Эндотелийзависимая вазодилатационная проба показала, что на фоне реализации медико-профилактической технологии в 2,2 раза уменьшилось количество пациентов с недостаточной вазодилатацией в ответ на компрессионную пробу и в 2,1 раза увеличился относительный прирост диаметра плечевой артерии. В 2,5 раза увеличился коэффициент чувствительности эндотелия к напряжению сдвига. Полученные изменения указывают на улучшение эндотелиальной функции на фоне применяемой технологии.

Изменения типов вегетативной реактивности на фоне реализации медико-профилактического блока технологии с гипертонико-тонического на нормальный тип свидетельствует о стимуляционном ответе вегетативной нервной системы на используемые в программе лекарственные препараты.

До начала применения технологии коэффициент LF/HF у обследуемых был распределен равномерно между высоким и низким показателями (по 44,4 %), а доля лиц с нормальными значениями LF/HF была в 4 раза ниже (11,1 %). После проведенного медико-профилактического лечения коэффициент вагосимпатического баланса соответствовал высоким показателям (50 %).

Установлена статистически значимая динамика коэффициента чувствительности плечевой артерии к напряжению сдвига – 0,040 (0,029–0,10) усл. ед. до начала реализации программы против 0,10 (0,59–0,36) усл. ед. после реализации ($p = 0,014$). В результате проведенного лечения в 2,2 раза уменьшилось количество пациентов с недостаточной вазодилатацией в ответ на компрессионную пробу и в 2,1 раза увеличился относительный прирост диаметра плечевой артерии. В 2,5 раза увеличился коэффициент чувствительности эндотелия к напряжению сдвига. Указанные изменения свидетельствуют об улучшении эндотелиальной функции на фоне реализации программы.

Выводы. Таким образом, использованные медико-профилактические методы коррекции ранних доклинических лабораторных и функциональных изменений ССС у работников титаномагниевого предприятия, имеющих риск развития АГ, оказывают благоприятное влияние. Однако полученные данные требуют дальнейших углубленных лонгитюдных исследований, направленных на изучение отдален-

ных результатов эффективности применяемых методов профилактики на развитие заболеваемости с временной утратой трудоспособности, осложнений АГ у работников, контактирующих с вредными производственными факторами, а также у работников без данных факторов.

Список литературы

1. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации: национальное руководство / О.М. Драпкина, А.В. Концевая, А.М. Калинина [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 3235. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3235.
2. WHO/ILO. Almost 2 Million People Die from Work-Related Causes Each Year [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.who.int/news/item/16-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year> (дата обращения: 12.02.2025).
3. WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury, 2000-2016: Global Monitoring Report [Электронный ресурс]. – Geneva: WHO, 2021. – URL: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240034945> (дата обращения: 12.02.2025).
4. Экономический ущерб факторов риска, обусловленный их вкладом в заболеваемость и смертность от основных хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации в 2016 году / А.В. Концевая, Д.К. Муканеева, А.О. Мырзаматова, Ю.А. Баланова, М.Б. Худяков, О.М. Драпкина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 2396. DOI: 10.15829/1728-8800-2020-1-2396
5. Лазич Ю.В., Попова И.Н. Тенденции и проблемы развития металлургической отрасли России // BENEFICIUM. – 2020. – № 2 (35). – С. 16–24. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2020.2(35).16-24
6. Pandalai S.P., Schulte P.A., Miller D.B. Conceptual heuristic models of the interrelationships between obesity and the occupational environment // Scand. J. Work. Environ. Health. – 2013. – Vol. 39 (3). – P. 221–232. DOI: 10.5271/sjweh.3363
7. Власова Е.М., Алексеев В.Б., Шляпников Д.М. Нарушения здоровья у рабочих титаномагниевого производства // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 50–53.
8. Особенности артериальной гипертензии у работников титаномагниевого производства / А.Е. Носов, А.С. Байдина, Ю.А. Ивашова, Е.М. Власова, В.Б. Алексеев // Гигиена и санитария. – 2017. – № 1. – С. 62–65.
9. Бабанов С.А., Барасва Р.А., Будащ Д.С. Поражения сердечно-сосудистой системы в практике профпатолога // Медицинский альманах. – 2016. – № 4. – С. 106–111.
10. Давыдова Е.В., Дзюба Ю.М. Особенности распространения факторов риска хронических неинфекционных заболеваний у работников вредных производств в зависимости от уровня производственной вибрации [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – URL: <https://science.education.ru/ru/article/view?id=31300> (дата обращения: 12.02.2025)
11. Влияние производственного шума на развитие артериальной гипертензии у работников металлургических производств / М.И. Тиунова, Е.М. Власова,

А.Е. Носов, О.Ю. Устинова // Мед. труда и пром. экол. – 2020. – Т. 60 (4). DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-4-264-2677

12. Факторы формирования здоровья работающего населения / А.Ш. Галиеева, Г.Б. Идрисова, Е.Г. Степанов, Т.К. Ларионова, А.Ш. Валиев // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – Т. 68 (2). – С. 3. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-2-3

13. Толстова Е.Г., Иванова О.И. Здоровьесберегающие технологии как часть системы менеджмента производственной безопасности и здоровья // Научный аспект. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 880–885.

14. Профилактика профессионально обусловленных заболеваний и управление факторами риска их возникновения / А.В. Зеленко, О.К. Синякова, Е.А. Семушкина, Е.С. Щербинская // Медицинский журнал. – 2018. – № 1. – С. 131–134.

15. Опыт внедрения корпоративных программ укрепления здоровья на рабочем месте в Российской Федерации: результаты опроса работодателей на платформе «АТРИЯ» / А.А. Анциферова, А.В. Концевая, М.Б. Худяков, П.В. Ипатов, О.М. Драпкина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 3266. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3266

16. Хорева О.Б., Тарасенко Е.А., Иванова Е.С. Корпоративные программы по укреплению здоровья на рабочем месте как часть корпоративной культуры в представлениях работников российских предприятий // Организационная психология. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 76–97.

17. Кошарная Г.Б., Данилова Е.А., Маракаева К.М. Корпоративная система управления здоровьем сотрудников // Siberian Socium. – 2020. – Т. 4:2. – № 12. – С. 76-89. DOI: 10.21684/2587-8484-2020-4-2-76-89

18. Рыбаков И.А. Укрепление здоровья работающих: оценка эффективности корпоративных модельных программ [Электронный ресурс] // Мотивация и оплата труда. – 2020. – № 2. – С. 116–121. URL: <https://grebennikon.ru/article-3lbu.html> (дата обращения: 12.02.2025).

19. Health ambassadors in the workplace: a health promotion intervention mobilizing middle managers and RE-AIM evaluation of outcomes / K.L. Greenberg, M. Donchin, E. Leiter, D.R. Zwas // BMC Public Health. – 2021. – Vol. 21, № 1. – P. 1585. DOI: 10.1186/s12889-021-11609-8

20. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 25 (3). – С. 3786. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-3-3786

21. Simova I. Intima-media thickness: appropriate evaluation and proper measurement [Электронный ресурс] // E-journal of Cardiology Practice. 2015. – Vol. 13, № 21. – URL: <https://www.escardio.org/Journals/E-Journal-of-CardiologyPractice/Volume-13/Intima-media-thickness-Appropriate-evaluation-and-proper-measurement-described> (дата обращения: 12.02.2025).

Распространенность алиментарно-зависимых факторов развития хронических неинфекционных заболеваний у работников, подвергающихся воздействию производственного шума

В.Ф. Спирин^{1,2}, Т.А. Новикова¹, Н.Е. Комлева^{1,2},
В.Н. Долич¹, С.И. Мазилев¹

¹Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Саратов, Россия
²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского»,
г. Саратов, Россия

В основе развития большинства хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ) лежат алиментарно-зависимые факторы риска, являющиеся прямым следствием нездорового питания. Проведена оценка фактического питания, алиментарно-зависимых и метаболических факторов развития ХНИЗ у работников металлообрабатывающего производства, подверженных воздействию производственного шума.

В рамках поперечного исследования обследованы 206 работников металлообрабатывающего производства (возраст $41,04 \pm 1,04$ года; стаж $18,0 \pm 13,5$ года). Фактическое питание изучали с помощью анкетно-опросного метода 24-часового воспроизведения питания. Физикальные и клиничко-лабораторные исследования, оценка распространенности хронических неинфекционных заболеваний выполнены в результате углубленного медицинского осмотра.

В суточном рационе участников исследования выявлены недостаточный уровень энергетической обеспеченности, низкие уровни потребления макро- и микронутриентов (кроме витамина В₃, железа и фосфора), избыточное потребление добавленных сахаров, поваренной соли. Выявлена высокая распространенность избыточной массы тела (38,8 %), ожирения (26,12 %), артериальной гипертензии (84 % в структуре болезней системы кровообращения), гиперхолестеринемии (53,19 %), гипергликемии (23,4 %). Установлено, что в группе лиц с нарушением слуха статистически значимо превалирует распространенность избыточной массы тела ($\chi^2 = 10,853$; $p < 0,005$), глюкозы сыворотки крови ($p = 0,005$), гипертонической болезни ($\chi^2 = 14,588$; $p < 0,001$), поражений сосудов головного мозга ($\chi^2 = 4,52$; $p < 0,034$).

В развитии хронических неинфекционных заболеваний у работников металлообрабатывающего производства определенная роль принадлежит метаболическим факторам, являющимся прямым следствием несбалансированного питания. При разработке мер профилактики хронических неинфекционных заболеваний следует учитывать, что воздействие алиментарно-зависимых факторов может усиливаться в условиях хронического производственного шума.

Ключевые слова: работники металлообрабатывающего производства, нарушение слуха, фактическое питание, хронические неинфекционные заболевания.

Хронические неинфекционные заболевания (ХНИЗ), являющиеся ведущими причинами утраты трудоспособности, инвалидности и смертности населения, представляют собой глобальную проблему, наносящую экономический ущерб большинству стран мира. С целью решения данной проблемы ВОЗ формулирует глобальную задачу сокращения случаев преждевременной смерти от ХНИЗ на одну треть на период до 2030 г. [1].

С позиции профилактики ХНИЗ, как на популяционном, так и индивидуальном уровне, первостепенное значение имеет минимизация распространенности управляемых (модифицируемых) факторов, влияющих на развитие нарушений здоровья трудоспособного населения. В качестве ведущих управляемых факторов, кроме поведенческих, выделяют метаболические, к которым относятся повышенное артериальное давление, избыточная масса тела и ожирение, повышенный уровень глюкозы крови, гиперхолестеринемия.

В настоящее время имеются убедительные доказательства влияния алиментарно-зависимых факторов на развитие ХНИЗ, таких как сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, ожирение, цереброваскулярные, онкологические болезни, являющиеся ведущими причинами смерти и инвалидности населения во всем мире [2, 3].

Несмотря на общий рост благосостояния населения, широкого и доступного ассортимента продуктов питания во все сезоны года, по разным причинам (социальным, региональным, экономическим и др.) сохраняется проблема несбалансированного питания трудоспособного населения, связанная с высоким потреблением быстрых углеводов и животных жиров, поваренной соли, дефицитом клетчатки, белка, а также низким потреблением витаминов и микро- и макроэлементов [4, 5].

Несоблюдение принципов здорового питания способно привести к нарушению липидного обмена, повышению артериального давления, уровня глюкозы в сыворотке крови [6]. При оценке качества питания также необходимо учитывать поступление пищевых волокон, которым в последнее время отводится особое значение в состоянии сердечно-сосудистой системы (ССЗ) [7, 8], тесно связанной с функционированием других органов и систем, включая слуховой анализатор. Удовлетворение физиологической потребности в макро- и микронутриентах играет большую роль в формировании и развитии алиментарно-зависимых заболеваний и служит предметом многочисленных исследований.

Учитывая изложенное, изучение алиментарных факторов представляется актуальным при разработке мер профилактики ХНИЗ работников различных отраслей экономики с учетом специфики фактического питания и условий трудовой деятельности, в том числе хронического воздействия шума.

Цель исследования – оценка фактического питания, алиментарно-зависимых и метаболических факторов развития ХНИЗ у работников металлообрабатывающего производства, подверженных воздействию производственного шума.

Материалы и методы. На базе клиники общей и профессиональной патологии Саратовского МНЦ гигиены в ходе поперечного исследования изучено фактическое питание и состояние здоровья работников металлообрабатывающего производства. В исследование были включены 206 работников (мужчин) шумовых профессий основных производственных цехов (средний возраст $41,04 \pm 1,04$ года; стаж работы $18,0 \pm 13,5$ года). На основании результатов оториноларингологических ис-

следований все обследованные были разделены на две группы: 1-я ($n = 88$) – работники с нарушением слуховой чувствительности (на высоких частотах от 30 до 55 Гц); 2-я ($n = 118$) – без нарушения слуха. Критерии исключения: акустические травмы, способные быть причиной снижения слуха, наследственные и другие заболевания органа слуха, установленные в детском возрасте.

Сбор информации о фактическом питании осуществляли с помощью анкетно-опросного метода 24-часового воспроизведения питания на основе анамнестических данных. Оценка результатов опроса проведена с помощью сертифицированного программного комплекса «Оптимальное питание, версия MyD 5.0». Оценивался количественный и качественный состав суточного рациона работников. Потребление основных макро- и микронутриентов оценивалось в соответствии с нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [9, 10].

Проанализированы соматометрические показатели – рост (Р), масса тела (МТ), индекс массы тела (ИМТ); клинико-лабораторные показатели – общий холестерин (ОХ), триглицериды (ТГ), липопротеиды низкой плотности (ХС ЛПНП), липопротеиды высокой плотности (ХС ЛПВН), глюкоза сыворотки крови (Гл); распространенность ХНИЗ с использованием общепринятых методов [11]. Нарушение слуха оценивалось по стандартному графику аудиограммы [12].

Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Применяли U -критерий Манна – Уитни и критерий Пирсона. Статистически значимыми считались различия данных при $p < 0,05$.

Результаты. По результатам проведенных гигиенических исследований установлено, что все обследованные трудились в условиях воздействия производственного шума, при этом эквивалентные уровни звука составляли 96–107 дБА, по спектральному составу преобладал высокочастотный шум.

При оценке фактического питания установлено, что среди участников исследования преобладало 3-разовое питание. В качестве перекусов преимущественно потребляются промышленные кондитерские изделия (печенье, конфеты, газированные напитки). В суточном рационе у 92 % участников исследования ежедневно присутствовало мясо и промышленные мясные изделия, зерновые – у 81 %, хлебобулочные изделия – у 90 %, овощи – у 30 %, фрукты – у 34, яйца – у 50 %, промышленные кондитерские изделия и сладкие напитки – у 92 %. Употребление морской рыбы и других морепродуктов у 90 % опрошенных составляло в среднем 1–2 раза в месяц. Частота потребления бобовых (у 95 % участников исследования) и орехов (у 90 % участников исследования) в среднем составляла 3–4 раза в месяц. Потребление овощей и фруктов в основном приходилось на летний и осенний периоды года.

Суммарный энергетический баланс суточного рациона был ниже нормы физиологической потребности для мужчин в возрасте от 18 до 65 лет и старше с учетом физической активности (3400–3800 ккал/сут) и норм энергетической ценности суточного набора продуктов (2500 ккал/сут) [9] и не обеспечивал физиологические потребности организма в энергии и пищевых веществах. В суточном рационе работников также выявлено недостаточное потребление клетчатки: в 1,7 раза меньше нормы. Изучено содержание макронутриентов в рационе работников (табл. 1).

Таблица 1

Содержание макронутриентов в суточном рационе работников металлообрабатывающего производства, $Me [Q_1; Q_3]$

Макронутриенты	Норма физиологической потребности	Группа лиц с нарушением слуха, $n = 88$	Группа лиц без нарушения слуха, $n = 118$	p
Белки, г	102–114	65 [55; 79,9]	68,7 [53,8; 91]	0,385
Жиры, г	113–127	78,05 [58; 97]	67,6 [52; 90,6]	0,268
Насыщенные жиры, г	< 30	22,3 [15,7; 29,9]	18,65 [13; 26]	0,219
Углеводы	493–551	219 [163; 282]	188 [128; 244]	0,043*
Клетчатка, г	Не менее 19	11,35 [9; 15]	11 [7,3; 15]	0,354
Добавленный сахар, г	Не более 40	68,5 [49; 111]	61 [41,1; 86,8]	0,212

Примечание: p – статистическая значимость различий для U -критерия Манна – Уитни.

В суточном рационе всех участников исследования выявлены низкие уровни содержания основных, необходимых для поддержания нормального функционирования организма человека витаминов (кроме витамина В), а также макро- и микроэлементов (кроме железа и фосфора), суточное потребление которых превышало физиологическую норму (табл. 2).

Таблица 2

Средний уровень основных витаминов, макро- и микроэлементов в суточном рационе работников, $Me [Q_1; Q_3]$

Витамины, макро- и микроэлементы	Группа с нарушением слуха, $Me [Q_1; Q_3]$	Группа без нарушения слуха, $Me [Q_1; Q_3]$	Уровень значимости p	Норма физиологической потребности
Витамин А, мг	0,42* [0,28; 0,65]	0,365* [0,14; 0,5]	0,066	0,9
Витамин В ₁ , мг	0,8* [0,68; 1]	0,61* [0,44; 0,9]	0,034	1,5
Витамин В ₂ , мг	0,8* [0,6; 1,11]	0,8* [0,54; 1,08]	0,396	1,8
Витамин В ₃ , мг	19,75 [13,9; 24,9]	20 [14,1; 26,9]	0,919	20
Витамин В ₆ , мг	1,22* [0,8; 1,6]	1,08* [0,7; 1,5]	0,350	2
Витамин В ₁₂ , мкг	2,035* [1,05; 4,6]	1,83* [0,87; 4,2]	0,566	3
Витамин С, мг	27,45* [17; 48]	39,2* [15,2; 66]	0,510	100
Витамин D, мкг	0,87* [0,25; 2]	0,69* [0,16; 1,8]	0,354	15
Витамин Е, мг	8,105* [6,19; 15,1]	7,56* [5,3; 11]	0,295	10
Натрий, мг	3463,5** [2902; 4247]	3366,5** [2218; 4851]	0,642	1300
Кальций, мг	406,5* [355; 603]	419,0* [302; 606]	0,734	1000
Железо, мг	21,45** [17,2; 27,1]	18,0** [13,5; 25]	0,051	10
Калий, мг	2042,5* [1643; 2701]	2098* [1598; 2925]	1,000	3500
Магний, мг	272 [199; 328]	236,5 [153; 299]	0,175	420
Фосфор, мг	1054,5 [790; 1194]	926,5 [718; 1243]	0,467	700
Цинк, мг	6 [4,79; 8,2]	6 [4; 8,4]	0,774	12
Селен, мкг	15,25* [6; 26]	13,15* [5,2; 23]	0,577	70
Йод, мкг	40* [27; 56]	42* [23; 62]	0,894	150

Примечание: здесь и в табл. 3: * – ниже нормы физиологической потребности для мужчин, ** – выше нормы физиологической потребности для мужчин.

Изучена распространенность отклонений макро- и микронутриентов в рационе работников с учетом нарушения слуха (табл. 3).

Таблица 3

Распространенность отклонений содержания макро- и микронутриентов в суточном рационе работников, %

Макронутриенты, микронутриенты	Группа лиц с нарушением слуха	Группа лиц без нарушения слуха	Критерий Пирсона	
			χ^2	<i>p</i>
Недостаток белка	61,1	55,7	0,404	0,525
Избыток белка	0,0	6,8	3,844	
Недостаток жиров	40,7	50,0	1,153	0,283
Избыток жиров	3,7	12,5	3,113	0,078
Избыток насыщенных жиров	25,9	22,7	0,188	0,665
Недостаток углеводов	75,9	94,3	10,227	0,002*
Недостаток клетчатки	88,9	89,8	0,028	0,868
Избыток добавленного сахара	79,6	76,1	0,234	0,629
Недостаток витамина А	40,7	50,0	1,153	0,283
Недостаток витаминов группы В	44,4	53,4	1,076	0,300
Недостаток витамина С	46,3	43,2	0,132	0,717
Недостаток витамина D	100,0	100,0	0	1
Недостаток витамина Е	38,9	50,0	1,664	0,198
Избыток натрия	96,3	93,2	0,611	0,435
Недостаток кальция	100,0	93,2	3,844	0,050*
Недостаток железа	5,6	22,7	7,27	0,008*
Недостаток калия	88,9	90,9	0,154	0,696
Недостаток магния	88,9	86,4	0,193	0,661
Недостаток цинка	96,3	87,5	3,113	0,078
Недостаток селена	96,3	97,7	0,25	0,617
Недостаток йода	94,4	96,6	0,381	0,538

Таким образом, проведенные исследования позволили установить значительный дефицит содержания в суточном рационе основных компонентов (белки, жиры, клетчатка), обеспечивающих энергетическую составляющую в организме, и избыток добавленных сахаров, насыщенных жиров, поваренной соли. Также установлен низкий уровень поступления витаминов (кроме В₃), при этом максимальный дефицит выявлен для витаминов А и С.

При оценке индивидуального пищевого статуса отдельных групп населения особое внимание уделяется соматометрическим (антропометрическим) характеристикам [9, 13] как основным компонентам и факторам, определяющим потребности организма в энергии и необходимых пищевых веществах. Базовыми показателями определения физического статуса являются рост, масса тела и оценка избыточной массы тела (или ожирения), осуществляемая по расчетному индексу (ИМТ), при сравнении значения с оценочной шкалой, принятой в Российской Федерации при оценке ожирения [14].

В настоящее время ИМТ и принадлежность человека к определенному соматотипу предлагается рассматривать в качестве маркера повышенной вероятности развития болезней различных нозологических форм, в том числе при формировании таких алиментарно-зависимых заболеваний, как алиментарно-конституциональное

ожирение, сердечно-сосудистые заболевания атеросклеротического генеза, сахарный диабет 2-го типа, остеопороз, болезни органов пищеварения и др. [15].

Установлено, что среднегрупповое значение ИМТ у обследованных составило $26,69 \pm 0,48$ кг/м², что свидетельствует об избыточной массе тела. У 3 % обследованных ИМТ был ниже 18,5 кг/м² (дефицит массы тела). У 26,12 % – значение превысило 30 кг/м², что указывает на ожирение, при этом 20,72 % имели ожирение I степени, 4,6 % – II и 0,8 % – III.

Установлено, что частота встречаемости ИМТ, соответствующего норме, преобладает среди работников без нарушения слуха, в то время как распространенность избыточной массы тела и ожирения превалирует в группе участников исследования с наличием слуховых нарушений ($\chi^2 = 10,853$; $p = 0,005$).

В научной литературе имеется достаточно большое количество работ, подтверждающих связь избыточного веса и ожирения с потерей слуха, причиной которого может явиться сопутствующее ожирению нарушение липидного и углеводного обменов [16]. Так, в процессе индивидуально-контролируемого исследования авторами было показано, что масса тела, ИМТ, уровни ОХ и ТГ статистически значимо выше у лиц с нейросенсорной тугоухостью по сравнению с данными контрольной группы ($p < 0,05$) при одинаковых уровнях липопротеидов низкой плотности. Вероятность развития НСТ у них в 2,2 раза превышала аналогичный показатель в группе сравнения [17].

Результаты анализа показателей липидного и углеводного обменов у обследованных работников позволили выявить превышение референсных значений общего холестерина у 53,19 %, ХС ЛПНП – у 46,81 %, коэффициента атерогенности – у 46,81 %, глюкозы – у 23,40 %. При этом в группе лиц с нарушением слуха относительное количество с повышенным уровнем ОХ и ХС ЛПНП превысило аналогичные данные у лиц без нарушений слуха: в 1,16 и в 1,08 раза соответственно. Однако в группе без нарушения слуха превалировала доля лиц с превышением триглицеридов (в 1,5 раза) и глюкозы (в 1,6 раза) (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная оценка метаболических факторов риска ХНИЗ в зависимости от наличия нарушения слуха

Показатель повышенного риска	Группа лиц с нарушением слуха, %	Группа без нарушения слуха, %	Критерий Пирсона	
			χ^2	p
Общий холестерин > 5,7 ммоль/л	53,19	45,83	0,344	0,558
Триглицериды > 1,7 ммоль/л	19,15	29,17	0,913	0,340
ХС ЛПНП > 3,0 ммоль/л	36,17	33,33	0,056	0,813
ХС ЛПВП > 1,3 ммоль/л	19,15	20,83	0,028	0,866
Глюкоза > 6,1 ммоль/л	23,40	37,50	1,560	0,212

Известно, что гиперлипидемия способствует атеросклеротическим поражениям сосудистой стенки и изменениям реологических параметров крови, вследствие чего возможно возникновение ишемических сосудистых нарушений на разных уровнях слухового анализатора [17]. Определенную роль также могут играть сосудистые нарушения, связанные с алиментарно-конституциональным ожирением [8].

Общая заболеваемость ХНИЗ составила 1032 %. В группе работников с нарушением слуха данный показатель превысил аналогичный в группе без нарушений слуха: в 2,17 раза. В структуре общей заболеваемости ХНИЗ работников первое ранговое место занимали болезни системы кровообращения, в основном представленные гипертензивной (гипертонической) болезнью с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности, атеросклеротической сердечно-сосудистой болезнью, варикозным расширением вен нижних конечностей.

На третьем месте (после болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани) находились болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, среди которых в основном было диагностировано ожирение. Болезни уха и сосцевидного отростка занимали четвертое ранговое место и были представлены кондуктивной потерей слуха двусторонней и кондуктивной потерей слуха односторонней с нормальным слухом на противоположном ухе (табл. 5).

Таблица 5

Распространенность хронических неинфекционных заболеваний среди работников металлообрабатывающего производства

Ранговое место	Класс по МКБ-10	Распространенность, ‰			Критерий Пирсона	
		все обследованные	группа с нарушением слуха	группа без нарушений слуха	χ^2	p
1	IX. Болезни системы кровообращения	264,46	448,98	138,89	14,413	< 0,001
2	XIII. Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	206,61	306,12	138,89	4,975	0,026
3	IV. Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	190,08	183,67	194,44	0,022	0,883
4	VII. Болезни глаза и его придаточного аппарата	148,76	204,08	111,11	1,99	0,159
5	VIII. Болезни уха и сосцевидного отростка	107,44	265,31	0	21,40	< 0,001

Установлено, что наиболее высокий вклад в структуру болезней системы кровообращения среди работников металлообрабатывающего производства вносит гипертоническая болезнь (84 %), на втором месте ишемия сосудов головного мозга (15 %). Также отмечаются единичные случаи ишемической болезни сердца (ИБС) (0,5 %) и атеросклероза (0,5 %). Выявлена связь наличия снижения слуха с распространенностью гипертонической болезни и ишемии сосудов головного мозга (табл. 6).

Длительная экспозиция шума может способствовать формированию эндотелиальной дисфункции, лежащей в основе болезни системы кровообращения [6]. В научной литературе отмечается и то, что болезни системы кровообращения сами по себе являются фактором риска функциональных нарушений других систем, в том числе органа слуха, что, очевидно, связано с нарушением микроциркуляторного кровообращения органа слуха при сердечно-сосудистой патологии [18].

Таблица 6

Распространенность болезней системы кровообращения среди работников металлообрабатывающего производства с учетом нарушений слуха, %

Нозология по МКБ-10	Код по МКБ-10	Распространенность		Критерий Пирсона	
		группа с нарушением слуха	группа без нарушений слуха	χ^2	p
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности	I 11.9	387,76	97,22	14,588	< 0,001
Атеросклеротическая сердечно-сосудистая болезнь	I 25.0	20,41	0,00	1,482	0,224
Перенесенный в прошлом инфаркт миокарда	I 25.2	20,41	0,00	1,482	0,224
Другие уточненные поражения сосудов мозга	I 67.8	61,22	0,00	4,52	0,034

Результаты проведенного исследования позволили выявить определенную специфику развития ХНИЗ у работников металлообрабатывающего предприятия, имеющих дисбаланс в содержании биологически важных компонентов в рационах в сочетании с нарушением слуха. У лиц с нарушением слуха статистически значимо чаще диагностировали гипертоническую болезнь и поражения сосудов головного мозга. Дефицит в рационе работников основных витаминов в сочетании с высоким уровнем потребления соли и добавленных сахаров создает условия для формирования кардиоваскулярной патологии и развития нарушения функции слухового аппарата, что согласуется с результатами исследований других авторов [19, 20].

Учитывая важную роль в регуляции метаболических процессов цинка, селена, марганца, йода, калия, железа, кальция, можно полагать, что выявленный дефицит их в рационах может оказывать неблагоприятное влияние на поддержание оптимального гомеостаза в организме и создавать условия, приводящие к поражению органа слуха у работников [13, 21].

Низкий уровень потребления клетчатки может негативно влиять на метаболические процессы, участвующие в процессах формирования кардиоваскулярных заболеваний, что согласуется с работами, показавшими особое значение пищевых волокон в состоянии сердечно-сосудистой системы, тесно связанной с функционированием других органов и систем, включая слуховой анализатор [22]. Следует отметить, что среди участников исследования с наличием слуховых нарушений значительно чаще встречаются ожирение, гипертоническая болезнь и поражения сосудов головного мозга, что согласуется с мнением отечественных и зарубежных ученых, указывающих на связь тугоухости с частотой встречаемости кардиоваскулярных заболеваний [13, 23]. При этом важно подчеркнуть, что хроническое воздействие производственного шума на уровне даже верхней границы допустимой величины может вызывать увеличение артериального давления на 30 мм рт. ст. [24]. Поэтому длительная экспозиция шума, способствуя формированию эндотелиальной дисфункции, может отражаться на обеспечении питания органов слуха.

С другой стороны, допускается и обратный механизм патогенетической связи между нарушением слуха и заболеваниями сердечно-сосудистой системы [17, 18], когда первичным звеном причинно-следственной связи могут выступать именно кардиометаболические заболевания, в то время как поражение слуха происходит вследствие развития нарушений липидного профиля, атеросклеротической деформации сосудистой стенки и изменений реологических свойств крови, что может проявляться в виде ишемического поражения слухового анализатора [16].

Выводы. Результаты исследования позволяют заключить, что в первичной профилактике ХНИЗ, в частности кардиоваскулярных заболеваний и нарушений слуха, у работников металлообрабатывающего производства, подвергающегося воздействию производственного шума, важная роль должна принадлежать минимизации алиментарно-зависимых метаболических факторов риска, обусловленных нарушением здорового питания.

Список литературы

1. Heads of State commit to Noncommunicable Disease Global Compact to save 50 million lives by 2030 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.who.int/news/item/21-09-2022-heads-of-state-commit-to-noncommunicable-disease-global-compact-to-save-50-million-lives-by-2030> (дата обращения: 12.03.2025).
2. Hearing Function and Nutritional Status in Aviation Pilots from Spain Exposed to High Acoustic Damage / C. Morais-Moreno, A.M. Montero-Bravo, A.M. Puga [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, № 20. – P. 4321.
3. Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования. Методические рекомендации / О.М. Драпкина, Н.С. Карамнова, А.В. Концевая А.В [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 273–334.
4. Характер питания взрослого населения по данным эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ / Н.С. Карамнова, С.А. Шальнова, А.Д. Деев [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 61–66.
5. Spankovich C., Le Prell C.G. Healthy diets, healthy hearing: National Health and Nutrition Examination Survey, 1999–2002 // *Int J Audiol*. – 2013. – Vol. 52, № 6. – P. 369–376.
6. Мельникова Ю.С., Макарова Т.П. Эндотелиальная дисфункция как центральное звено патогенеза хронических болезней // *Казанский медицинский журнал*. – 2015. – Т. 96, № 4. – С. 659–665.
7. Associations between dietary fiber intake and cardiovascular risk factors: An umbrella review of meta-analyses of randomized controlled trials / L. Fu, G. Zhang, S. Qian [et al.] // *Front Nutr*. – 2022. – Vol. 9, № 7. – P. 23–99.
8. Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / Y. Xie, L. Gou, M. Peng [et al.] // *Clin Nutr*. – 2021. – Vol. 40, № 4. – P. 1800–1810.
9. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: Методические рекомендации [Электронный ресурс]. – 2021. – 57 с. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (дата обращения: 12.03.2025).

10. Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания [Электронный ресурс]. – ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», 2016. – 36 с. – URL: <http://web.ion.ru/files/> (дата обращения: 12.03.2025).
11. Руководство по анализу основных статистических показателей состояния здоровья населения и деятельности медицинских организаций [Электронный ресурс]. – М.: РИО ЦНИИОИ, 2015. – 53 с. – URL: <https://miac.medkirov.ru/site/LSPA904> (дата обращения: 12.03.2025).
12. Клинические рекомендации. Нейросенсорная тугоухость у взрослых. Минздравом РФ (22.03.2023) [Электронный ресурс]. – 2023. – 30 с. – URL: https://cg.minzdrav.gov.ru/recomend/518_3 (дата обращения: 12.03.2025).
13. Индексы липидного обмена как маркеры риска развития сенсоневральной тугоухости / А.М. Канева, С.Г. Бойко, Н.Н. Потолицына [и др.] // Российская оториноларингология. – 2017. – Т. 2, № 87. – С. 49–54.
14. Междисциплинарные клинические рекомендации. Лечение ожирения и коморбидных заболеваний. / И.И. Дедов, М.В. Шестакова, Г.А. Мельниченко [и др.] // Ожирение и метаболизм. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 5–99.
15. Никитюк Д.Б. Антропнутрициология: развитие идей основоположников нового научного направления // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 82–88.
16. Lipid profiles and obesity as potential risk factors of sudden sensorineural hearing loss / J. Lee, D. Kim, H. Lee [et al.] // PLoS One. – 2015. – Vol. 10, № 4. – P. 9.
17. Попов М.Н. Влияние сосудистого фактора на развитие профессиональной нейросенсорной тугоухости // Российская оториноларингология. – 2014. – Т. 1, № 68. – С. 182–183.
18. Mondelli M.F.C.G., Lopes A.C. Relação entre a hipertensão arterial e a deficiência auditiva // International Archives of Otorhinolaryngology. – 2009. – Vol. 13, № 1. – P. 63–68.
19. Karli R., Gül A., Uğur B. Effect of vitamin B12 deficiency on otoacoustic emissions // Acta Otorhinolaryngol Ital. – 2013. – Vol. 33, № 4. – P. 243–247.
20. Low serum folate levels: A risk factor for sudden sensorineural hearing loss? / G. Cadoni, S. Agostino, S. Scipione [et al.] // Acta Otolaryngol. – 2004. – Vol. 124, № 5. – P. 608–611.
21. Antioxidant vitamins and magnesium and the risk of hearing loss in the US general population / Y.H. Choi, J.M. Miller, K.L. Tucker [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2014. – Vol. 99, № 1. – P. 148–155.
22. Role of dietary fibres in cardiometabolic diseases / C.C. Dahm, F. Langmann, A.Ø. Nannsen [et al.] // Curr Opin Clin Nutr Metab Care. – 2024. – Vol. 27, № 4. – P. 355–360.
23. Биомаркеры производственно обусловленной эндотелиальной дисфункции у работников рудообогатительных производств в условиях длительной экспозиции шума / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 56–62.
24. de Souza T.C.F., Périssé A.R.S., Moura, M. Noise exposure and hypertension: investigation of a silent relationship // BMC Public Health. – 2015. – Vol. 15, № 328. – P. 9.

Когнитивный скрининг машинистов горных выемочных машин с различным стажем работы на предприятии по производству калийных удобрений как индикатор диагностики ранних проявлений патологии центральной нервной системы

М.А. Савинков, А.Е. Носов, А.А. Щербаков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

Изучена динамика показателей когнитивных функций у работников предприятия по производству калийных удобрений в зависимости от стажа работы с вредными производственными факторами – как одного из ранних проявлений повреждающего действия вредных производственных факторов на центральную нервную систему. Проведена оценка состояния когнитивных функций у 36 машинистов горных выемочных машин (далее – машинистов ГВМ), подверженных воздействию вредных факторов производственной среды (сульфид, дигидросульфид, производственный шум, вибрация общая и локальная, охлаждающий микроклимат, тяжесть трудового процесса). Выявлено, что у машинистов ГВМ, продолжительное время осуществляющих трудовую деятельность в условиях воздействия комплекса негативных производственных факторов (химический, шумовой, вибрационный), время реакции чтения, называния, среднее время сложной сенсомоторной реакции, степень рассеивания времени реакции были в 1,2–1,4 раза выше, показатели когнитивной гибкости, внимания в 1,2 ниже, чем у лиц, работающих в допустимых условиях труда. Использование когнитивного скрининга операторов ГВМ позволяет диагностировать когнитивную дисфункцию на раннем (додементном) этапе, выявить лиц с ее минимальными проявлениями для последующего углубленного обследования, проведения профилактических мероприятий и решения вопросов экспертизы.

Ключевые слова: калийная промышленность, подземный стаж, когнитивные функции, машинисты горно-выемочных машин, когнитивный дефицит, психологическое тестирование, вредные условия труда.

Одной из актуальных проблем современной медицины являются расстройства со стороны центральной нервной системы, значительную часть которых занимают когнитивные нарушения. Показано, что по мере старения частота встречаемости когнитивных нарушений прогрессивно увеличивается и достигает 20 % у людей в возрасте 60–69 лет [1]. У людей в трудоспособном возрасте возникают субклинические (додементные) когнитивные нарушения, проявляющиеся, как правило, нарушением памяти, снижением концентрации внимания, более выраженным утомлением после рабочей смены [2, 3]. Работа во вредных условиях труда, по данным Г.В. Тимашевой и соавт., является фактором риска развития когнитивных нарушений [4]. Развивающаяся в результате воздействия вредных факторов гипоперфузия головного мозга приводит к поражению вещества мозга и способствует формированию нарушений высших корковых функций, что может вызывать суще-

ственные изменения психоэмоционального статуса, поведения человека и приводить к формированию хронического стресса. В ряде исследований показано, что при вибрационной патологии у работников выявляются невротоподобные состояния с психоэмоциональными нарушениями тревожного характера, патологические изменения в психическом статусе. Частым вариантом расстройств является ухудшение общего самочувствия, рост уровня тревожности, напряженности, появление психофизиологического дискомфорта [5]. У рабочих «шумовых» профессий наблюдается синдром раздражительной слабости, характеризующийся утомляемостью, эмоциональной неустойчивостью, понижением внимания, памяти. Отмечается, что у работающих в условиях хронического воздействия шума выявляются такие личностные характеристики, как высокий уровень тревожности, эмоциональная нестабильность, интровертированность, повышается риск развития нервно-психических нарушений [6, 7]. По данным Г.В. Куренковой и соавт., вредные факторы подземных условий труда приводят к нарушениям в работе центральной нервной системы, изменениям эмоционально-волевой сферы, профессиональному стрессу [8].

Российская Федерация является одним из крупнейших мировых производителей удобрений. Калийные соли в России добываются в основном шахтным способом с использованием горных выемочных машин, на машинистов которых действует ряд вредных факторов производственной среды (химических, шума, вибрации), которые могут рассматриваться как факторы риска развития нарушений со стороны центральной нервной системы, в том числе когнитивных. Это приобретает особое значение, так как увеличение скорости и сложности технологических процессов выдвигает повышенные требования к точности и правильности действий работников, скорости принятия ими решений при выполнении производственных операций, поскольку допущенная ошибка может привести к возникновению аварийной ситуации, в том числе с угрозой для жизни людей [9].

Цель исследования – оценка особенностей динамики когнитивных функций у машинистов ГВМ предприятия по производству калийных удобрений в зависимости от длительности работы в контакте с вредными факторами производственной среды для последующей разработки ранних критериев диагностики функциональных нарушений головного мозга.

Материалы и методы. Группу наблюдения составили 36 машинистов горных выемочных машин, группу сравнения – 31 представитель административного аппарата предприятия по производству калийных удобрений. Группы представлены работниками мужского пола (возраст 31–64 года), работающими на предприятии более года. Обе группы по стажевой характеристике были разделены на подгруппы: I – стаж менее 8 лет; II – стаж 8 лет и более. Все подгруппы сопоставимы по среднему возрасту и стажу ($p > 0,05$). По результатам специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) установлено, что на всех рабочих местах представителей группы наблюдения условия труда оценены как «вредные» с классом вредности 3.3. Выполнение технологических операций сопровождается воздействием следующих вредных производственных факторов: сильвинит, дигидросульфид, производственный шум, общая и локальная вибрация, охлаждающий микроклимат, отсутствие естественного освещения. В группе сравнения условия труда соответствовали классу 2.

Программа исследования включала анализ условий труда по результатам СОУТ, оценку состояния когнитивных функций работников по результатам психологического тестирования, выполненного с использованием системы для компьютеризированной психологической диагностики Vienna Testsystem (производитель SCHUNFRIED GmbH, Австрия), компьютерного комплекса «НС-Психотест» («Нейрософт», Россия, зав.номер 0384UX). Исследование включало оценку когнитивной гибкости, индивидуальной скорости обработки информации при помощи теста STROOP (оценивались показатели: интерференционная склонность при чтении, интерференционная склонность при артикуляции, детальные результаты – базовая линия/интерференционные условия медианы времени реакции чтения, артикуляции), скорости сенсомоторной реакции – реакционного теста (RT-теста), умственных операций классификации и анализа при помощи теста «Исключение понятий», уровня внимания – теста «Числовой квадрат»¹.

Накопление, обработку и анализ накопленной информации проводили с использованием пакета статистического анализа IBM SPSS Statistics 22. Данные групп в таблицах представлены в виде медианы (*Me*) и 25–75-го перцентиля. Сравнение количественных показателей проводили по критерию Манна – Уитни. Различия считались достоверными при $p < 0,05^2$. Качественные признаки оценивались с помощью критерия Фишера.

Для анализа характера зависимости когнитивных нарушений от длительности производственного стажа в группах наблюдения и сравнения проводился расчет относительного риска и его 95%-ного доверительного интервала (результаты представлены в виде – *RR* (95 % *CI*)).

Настоящее исследование выполнено в соответствии с правилами ICHGCP, с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации (редакция 2008 г.), Национальным стандартом РФ ГОСТ-Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP). Все работники были информированы о цели проведения исследования, было получено добровольное информированное согласие.

Результаты. При проведении теста STROOP оценка интерференционной склонности при чтении и артикуляции не выявила достоверных различий между группами наблюдения и сравнения I и II. В группе наблюдения I и сравнения I значения показателей «Детальные результаты – базовая линия медианы времени реакции чтения, (с)» и «Детальные результаты – базовая линия медианы времени реакции при артикуляции (с)» также не имели достоверных различий, однако в группе наблюдения II они были достоверно выше, чем в группе сравнения II: 0,86 (0,76; 0,91) с против 0,70 (0,67; 0,79) с ($p = 0,02$) и 0,79 (0,68; 0,85) с против 0,62 (0,57; 0,76) с ($p = 0,02$) соответственно. Данные различия в стажевых группах II сохранялись при добавлении интерференционного условия: 1,00 (0,87; 1,12) с против 0,84 (0,78; 0,92) с, ($p = 0,04$) и 0,89 (0,78; 1,05) с против 0,74 (0,72; 0,83) с, ($p = 0,05$) (табл. 1).

¹ Шапарь В.Б., Тимченко А.В., Швыдченко В.Н. Ш23 Практическая психология. Инструментарий [Электронный ресурс]. – Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2002. – 688 с. – URL: https://www.phantastike.com/practic_psychology/practical_psychology/html/ (дата обращения: 15.03.2025).

² Гланц С. Медико-биологическая статистика [Электронный ресурс]. – М.: Практика, 1998. – 462 с. – URL: <https://medstatistic.ru/articles/glanz.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).

Таблица 1

Результаты теста STROOP у обследованных работников, *Me* (25; 75)

Данные теста STROOP	Группа наблюдения I, <i>n</i> = 16	Группа наблюдения II, <i>n</i> = 19	Группа сравнения I, <i>n</i> = 23	Группа сравнения II, <i>n</i> = 9	<i>p</i> ¹	<i>p</i> ²
Интерференционная склонность при чтении, с	0,153 (0,093; 0,265)	0,146 (0,067; 0,224)	0,138 (0,077; 0,255)	0,122 (0,09; 0,15)	0,59	0,75
Интерференционная склонность при артикуляции, с	0,094 (0,071; 0,168)	0,137 (0,063; 0,197)	0,091 (0,042; 0,126)	0,13 (0,086; 0,178)	0,53	0,98
Детальные результаты- базовая линия медианы времени реакции чтения, с	0,824 (0,758; 0,884)	0,863 (0,761; 0,917)	0,78 (0,739; 0,861)	0,704 (0,676; 0,798)	0,44	0,02
Детальные результаты- базовая линия медианы времени реакции при артикуляции, с	0,741 (0,701; 0,797)	0,796 (0,683; 0,854)	0,716 (0,668; 0,777)	0,621 (0,574; 0,766)	0,35	0,02
Неверные результаты чтения 1, усл. ед.	0,5 (0; 1,5)	1 (0; 2)	1 (0; 2)	1 (1; 2)	0,80	0,61
Неверные результаты артикуляции 1, усл. ед.	1 (0; 2)	0 (0; 3)	0 (0; 1)	0 (0; 2)	0,32	0,83
Детальные результаты-интерференционные условия медианы времени реакции – чтение, с	0,982 (0,92; 1,056)	1,002 (0,878; 1,121)	0,907 (0,866; 1,042)	0,84 (0,787; 0,921)	0,17	0,05
Детальные результаты-интерференционные условия медианы времени реакции при артикуляции, с	0,823 (0,798; 0,889)	0,899 (0,78; 1,055)	0,785 (0,728; 0,938)	0,749 (0,729; 0,833)	0,11	0,05
Неверные результаты чтения 2, усл. ед.	2 (0; 3)	1 (0; 3)	1 (1; 2)	1 (0; 2)	0,42	0,75
Неверные результаты артикуляции 2, усл. ед.	1 (0; 4)	1 (0; 4)	0 (0; 1)	1 (0; 2)	0,38	0,64

При оценке результатов RT-теста было выявлено статистически значимое удлинение среднего времени реакции у работников группы наблюдения II относительно группы сравнения II: 494 (435; 567) мс против 427 (411; 435) мс ($p = 0,02$). Степень рассеивания моторного времени у работников группы наблюдения II в 1,4 раза достоверно превосходила аналогичный показатель у работников группы сравнения II (62 (47; 78) против 42 (40; 57), $p = 0,04$) (табл. 2).

Оценка способностей к классификации и анализу у всех возрастных категорий работников выявила достоверные межгрупповые различия в части меньшего количества правильных ответов в группе наблюдения по сравнению с данными группы сравнения (13,5 (12; 15) против 15 (13; 16), $p = 0,03$). Доля лиц, продемонстрировавших низкий уровень когнитивной гибкости, в группе наблюдения была близка к достоверному уровню и была в 3 раза выше, чем в группе сравнения (19,4 и 6,5 %, $p = 0,09$) (табл. 3).

Таблица 2

Результаты RT-теста у обследованных работников, *Me* (25; 75)

Данные RT-теста	Группа наблюдения I, <i>n</i> = 16	Группа наблюдения II, <i>n</i> = 19	Группа сравнения I, <i>n</i> = 23	Группа сравнения II, <i>n</i> = 9	<i>p</i> ¹	<i>p</i> ²
Среднее время реакции, мс	424 (390; 506,5)	494 (435; 567)	475 (440; 510)	427 (411; 435)	0,15	0,02
Среднее моторное время, мс	179 (152; 215)	194 (139; 237)	182 (158; 216)	185 (147; 235)	0,56	0,94
Степень рассеивания, Время реакции, мс	50 (40,5; 62,5)	62 (47; 78)	61 (49; 66)	42 (40; 57)	0,11	0,04
Степень рассеивания, моторное время, мс	17,5 (16; 21)	23 (17; 32)	25 (19; 31)	19 (15; 25)	0,04	0,32

Таблица 3

Сравнительный анализ данных теста «Исключение понятий» у всех обследованных работников

Данные теста «Исключение понятий»	Группа наблюдения, <i>n</i> = 36	Группа сравнения, <i>n</i> = 31	Достоверность межгрупповых различий, <i>p</i> < 0,05
Количество правильных ответов, шт.	13,5 (12; 15)	15 (13; 16)	0,03
<i>Частота встречаемости уровней когнитивной гибкости, %</i>			
Низкий уровень когнитивной гибкости 1–3 балла	19,4	6,5	0,09
Средний уровень когнитивной гибкости 4–7 балла	61,1	61,3	0,20
Высокий уровень когнитивной гибкости 8–9 баллов	19,5	32,3	0,11

Относительный риск формирования низкой когнитивной гибкости в группе наблюдения был в 3,01 раза выше, чем в группе сравнения (19,4 и 6,5 %, *RR* = 3,01; 95 % *CI* = 0,67–13,46).

Анализ данных теста «Исключение понятий» у работников группы наблюдения I и группы сравнения I показал близкие значения количества правильных ответов, не имевшие достоверных различий. У работников группы наблюдения II наблюдалась тенденция к уменьшению количества правильных ответов, которое было в 1,2 раза меньше, чем в группе сравнения II (13 (12; 15) и 15 (14; 16), *p* = 0,10) (табл. 4).

Оценка внимания в тесте «Числовой квадрат» у всех возрастных категорий работников выявила достоверно меньшее количество правильных ответов в группе наблюдения (11 (7; 13) и 13 (10; 14), *p* = 0,004) при достоверно большем количестве ошибок (8,5 (6; 11,5) и 6 (4; 7), *p* = 0,003), низкий уровень распределения и переключения внимания имели 22,2 % обследованных в группе наблюдения, в группе сравнения такие работники отсутствовали (табл. 5).

В группе исследования I статистически значимых межгрупповых различий не было установлено (*p* = 0,15–0,43). Сравнительный анализ данных теста в стажевой группе II показал у работников группы наблюдения II достоверно меньшее количество правильных ответов (10 (5; 12) и 12,5 (11; 14), *p* = 0,03), чем в группе сравнения II, при этом испытуемые в группе наблюдения II совершали большее количество ошибок (9 (7; 13) и 4 (4,5; 5), *p* = 0,002) (табл. 6).

Таблица 4

Сравнительный анализ данных теста «Исключение понятий» у работников с различным стажем работы

Данные теста «Исключение понятий»	Группа наблюдения I, n = 15	Группа наблюдения II, n = 21	Группа сравнения I, n = 23	Группа сравнения II, n = 8	p^1	p^2
Количество правильных ответов, шт.	14 (12; 15)	13 (12; 15)	14 (13; 15,5)	15 (14; 16)	0,16	0,10
<i>Частота встречаемости уровней когнитивной гибкости, %</i>						
Низкий уровень когнитивной гибкости 1–3 балла	20	19,1	8,7	0,0	0,23	0,25
Средний уровень когнитивной гибкости 4–7 балла	60	61,9	60,9	62,5	0,26	0,33
Высокий уровень когнитивной гибкости 8–9 баллов	20	19,1	30,4	37,5	0,24	0,21

Примечание: p^1 – достоверность различий группы наблюдения I и группы сравнения I; p^2 – достоверность различий группы наблюдения II и группы сравнения II.

Таблица 5

Сравнительный анализ данных теста «Числовой квадрат» у всех обследованных работников

Данные теста «Числовой квадрат»	Группа наблюдения, n = 36	Группа сравнения, n = 31	Достоверность межгрупповых различий, $p < 0,05$
Количество правильных ответов, шт.	11 (6; 13)	13 (11; 14)	0,004
Количество ошибок, шт.	8,5 (6; 11,5)	6 (4; 7)	0,003
<i>Частота встречаемости различных уровней внимания, %</i>			
Низкий уровень внимания (от 0 до 5 правильных ответов)	22,2	0	0,005

Таблица 6

Сравнительный анализ данных теста «Числовой квадрат» у работников с различным стажем работы

Данные теста «Числовой квадрат»	Группа наблюдения I, n = 15	Группа наблюдения II, n = 21	Группа сравнения I, n = 23	Группа сравнения II, n = 8	p^1	p^2
Количество правильных ответов, шт.	11 (6; 13)	10 (5; 12)	13 (11; 13)	12,5 (11; 14)	0,15	0,03
Количество ошибок, шт.	8 (5; 10)	9 (7; 13)	6 (4; 9)	4 (4; 5,5)	0,43	0,002
<i>Частота встречаемости различных уровней внимания, %</i>						
Низкая точность воспроизведения чисел (от 0 до 5)	13,3	28,6	0	0	0,15	0,11

Примечание: p^1 – достоверность различий группы наблюдения I и группы сравнения I; p^2 – достоверность различий группы наблюдения II и группы сравнения II.

Когнитивные нарушения могут развиваться в ходе естественного старения организма, а также при воздействии различных производственных факторов (химических, шума, вибрации и т.д.). По данным Н.К. Вознесенского и соавт., у подземных рабочих наблюдались изменения психовегетативного статуса [10]. По данным Г.В. Куренковой и соавт., вредные факторы подземных условий труда приводят к нарушениям в работе центральной нервной системы, профессиональному стрессу. Для достижения необходимой точности исследования когнитивных функций О.И. Шевченко с соавт. рекомендуют применение одновременно нескольких наиболее информативных диагностических психологических тестов, специфичных для поражения определенных структур головного мозга [11]. Результаты проведенного исследования показали, что у машинистов ГВМ, продолжительное время осуществляющих трудовую деятельность в условиях воздействия комплекса вредных производственных факторов (химический, шумовой, вибрационный), время реакции чтения, названия, среднее время сложной сенсомоторной реакции, степень рассеивания времени реакции в 1,2–1,4 раза выше, показатели когнитивной гибкости, внимания в 1,2 ниже, частота регистрации низких значений внимания составляет до 28 % обследованных при отсутствии таковых в группе лиц, работающих в допустимых условиях труда. Использованная для когнитивного скрининга батарея психологических тестов (тест STROOP, RT-тест, тесты «Исключение понятий», «Числовой квадрат») показала их доступность, воспроизводимость и объективность результатов на ранних этапах развития когнитивной дисфункции, что позволяет использовать ее для выявления лиц с минимальными отклонениями когнитивных функций с целью последующего углубленного обследования и проведения профилактических мероприятий.

Выводы:

1. У машинистов ГВМ, осуществляющих трудовую деятельность в условиях воздействия комплекса негативных производственных факторов (химические, производственный шум, вибрация), установлена достоверная зависимость нарушений когнитивных функций от продолжительности производственного стажа во вредных условиях труда. Показатели скорости сложной сенсомоторной реакции, когнитивной гибкости (синтетической и аналитической деятельности), объем внимания у операторов ГВМ со стажем работы более 8 лет в 1,2–1,4 раза ниже, чем у лиц, работающих в допустимых условиях труда.

2. Когнитивный скрининг с использованием батареи психологических тестов позволяет диагностировать дисфункцию центральной нервной системы на раннем этапе ее развития, выявить лиц с ее минимальными проявлениями для последующего проведения профилактических мероприятий и решения вопросов экспертизы.

Список литературы

1. Совершенствование когнитивной реабилитации лиц пожилого и старческого возраста / С.С. Меметов, Ю.И. Захарченко, А.А. Волков, В.В. Ким, Р.В. Поликарпов, А.С. Меметова // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2023. – № 4. – С. 600–604. DOI: 10.32687/0869-866X-2023-314-600-604

2. Влияние возраста, коморбидных сердечно-сосудистых и эмоциональных факторов на лёгкое когнитивное снижение в среднем, пожилом и старческом возрасте / Н.Н. Яхно, Н.Н. Коберская, В.В. Захаров, Д.А. Гришина, А.Б. Локшина, Э.А. Мхитарян [и др.] // Неврологический журнал. – 2018. – Т. 23 (6). – С. 309–315. DOI: 10.18821/1560-9545-2018-23-6-309-315

3. «Предумеренные» (субъективные и лёгкие) когнитивные расстройства / Н.Н. Яхно, Н.Н. Коберская, В.В. Захаров, Д.А. Гришина, А.Б. Локшина, Э.А. Мхитарян [и др.] // Неврологический журнал. – 2017. – Т. 22 (4). – С. 198–204. DOI: 10.18821/1560-9545-2017-22-4-198-204

4. Оценка биологического возраста у работников, занятых во вредных условиях труда / Г.В. Тимашева, В.Т. Ахметшина, Э.Ф. Репина, А.С. Хафизова // Медицина труда и экология человека. – 2017. – № 4. – С. 52–58.

5. Тревожно-депрессивная симптоматика у больных в клинике профессиональных заболеваний / Е.В. Жовнерчук, И.В. Бухтияров, Д.Е. Хатин, А.В. Московенко, В.В. Сериков, А.А. Закревская // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60 (2). – С. 74–80. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-2-74-80

6. Moderators of noise-induced cognitive change in healthy adults / В.А. Wright, E.R. Peters, U. Ettinger, E. Kuipers, V. Kumari // Noise Health. – 2016. – Vol. 18 (82). – P. 117–132.

7. Relationship Between Noise Annoyance and Cognitive Performance in Automotive Workers Exposed to Chronic Noise / I. Alimohammadi, F.A. Kanrash, J. Abolghasemi, S. Vosoughi, K. Rahmani, M.H. Chalak // J УОЕН. – 2019. – Vol. 41 (4). – P. 375–385. DOI: 10.7888/juoeh.41.375

8. Куренкова Г.В., Лемешевская Е.П. Гигиеническая характеристика условий труда в подземных сооружениях и их влияние на здоровье работников // Байкальский медицинский журнал. – 2015. – Т. 136 (5). – С. 98–105. DOI: 10.57256/2949-0715-2015-5

9. Оценка сочетанного влияния факторов малой интенсивности производственной среды и трудового процесса на работоспособность и ошибочность действий операторов высокотехнологичных энергетических комплексов / Н.Л. Вишневская, Л.В. Плахова, П. Поledняк, А. Бернатик // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 183–190. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.2.9

10. Вознесенский Н.К., Парамонова С.В., Сединин А.Л. Психовегетативный статус подземных горнорабочих // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59 (9). – С. 589–590. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-589-590

11. Методы психологического тестирования в диагностике ранних проявлений профессиональной нейроинтоксикации / О.И. Шевченко, О.Л. Лахман, Е.В. Катаманова, В.А. Мешерягин // Сибирский медицинский журнал. – 2012. – № 6. – С. 79–83.

Сравнительная характеристика условий труда работников горнодобывающей и металлургической промышленности

Т.А. Пономарева, М.Д. Пономарев

ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Более 50 % работников предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности осуществляют трудовую деятельность во вредных и опасных условиях труда, которые являются факторами риска профессиональных и производственно обусловленных заболеваний, приводят к росту общей заболеваемости, в том числе со стойкой утратой трудоспособности. Для работников, занятых на прямом производстве, итоговый класс условий труда характеризуется как 3-й – «вредный» со степенью вредности 3.

Выполнена сравнительная оценка факторов производственной среды и трудового процесса у работников горнодобывающей и металлургической промышленности. Проведен анализ данных специальной оценки условий труда (СОУТ) и производственного контроля рабочих мест на предприятиях горнодобывающей (машинист горно-выемочных машин – ГВМ) и металлургической промышленности (хлораторщик, электролизник, аппаратчик перегонки) за 2020–2024 гг.

Результаты анализа показали, что машинисты ГВМ подвергаются воздействию химического и физических факторов производственной среды и трудового процесса (пыль, в том числе мелкодисперсные фракции, шум, инфразвук, вибрация общая и локальная, тяжесть и напряженность труда). Вредными производственными факторами на предприятиях металлургической отрасли являются: химические (в том числе хлор, гидрохлорид, диоксид серы, магний, лантаноиды) и физические факторы (производственный шум, микроклимат и тяжесть труда).

Таким образом, каждое предприятие имеет свои особенности, однако класс условий труда оценивается как 3.3, что может способствовать формированию производственно обусловленной патологии, и данный факт следует учитывать при проведении диагностических мероприятий, направленных на раннее выявление производственно обусловленных заболеваний и коморбидных состояний.

Ключевые слова: производственные факторы, горнодобывающая промышленность, металлургическая промышленность.

По данным Федеральной службы государственной статистики в Пермском крае 48,7 % работников заняты на работах с вредными условиями труда, а удельный вес работающих в условиях, не отвечающих гигиеническим нормам, составляет 38,9 %. Неудовлетворительные и опасные условия труда являются фактором риска развития производственно обусловленных заболеваний, способствуют росту общей заболеваемости, в том числе со стойкой утратой трудоспособности. В отдельных видах экономической деятельности (химическое производство, производство кокса и нефтепродуктов, добыча полезных ископаемых, деревообрабатывающее и металлургическое производство) этот показатель превышает 50 %.

Под сочетанным действием производственных факторов на организм работника понимают действие неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических, биологических, а также физические перегрузки).

Металлургическая отрасль занимает второе место (после нефтегазовой промышленности) по вкладу в развитие российской экономики, обеспечивая 18,5 % общего объема промышленного производства России и около 10 % рабочих мест. В частности, непосредственно на металлургических предприятиях занято 1300 тыс. человек.

Металлургические предприятия считаются опасными производственными объектами. По данным Росстата порядка 30,4 % работников, занятых в металлургическом производстве, трудятся в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам. В металлургическом производстве применяется свыше 100 различных технологических процессов и операций, более 40 видов связующих материалов.

Добыча полезных ископаемых обеспечивает 14,54 % общего объема промышленного производства России, непосредственно на предприятиях по добыче полезных ископаемых занято около 1000 тыс. человек. Вредные условия труда, характерные для отрасли, создают потенциальный риск для здоровья работающих.

Длительные наблюдения показывают, что, несмотря на модернизацию производственных процессов, внедрение новых видов техники, условия труда на рабочих местах машинистов горных выемочных машин остаются тяжелыми и характеризуются запыленностью, повышенным уровнем производственного шума и вибрации, неблагоприятным микроклиматом, а также психоэмоциональными нагрузками. Кроме этого необходимо учитывать, что выполнение профессиональных обязанностей машинистами горных выемочных машин осуществляется в условиях постоянного отсутствия солнечного света и ограниченности рабочего пространства. Труд работников в подземных условиях является цикличным и сложным по своему технологическому содержанию из-за большого разнообразия работ с разной степенью их механизации, различным удельным весом производственных операций в общем бюджете времени смены. Все это требует от работника переключения с одной производственной операции на другую, с одного рабочего приема на другой с образованием множества различных по длительности перерывов (пауз), исключающих однообразие и монотонность в работе.

Самыми крупными калийными бассейнами в мире являются Верхнекамский (в России) и Саскачеванский (в Канаде), на их долю приходится 82,2 % учтенных мировых запасов хлористого калия. В настоящее время в мире около 80 % объемов хлористого калия добывают шахтным способом, включающем в себя отбойку руды буровзрывным методом и комбайнами. Кроме этого, существует метод подземного растворения водой соляных залежей и выпаривание минерального сырья из воды соляных озер и Мертвого моря.

В Пермском крае разработка калийных месторождений производится шахтным способом. Существуют две основных категории шахтовых комбайнов – проходческие и добычные. Специалист, обслуживающий и работающий на подземных машинах, которые разрушают горную массу (породу) режущим органом и отгружают ее на конвейер или в специальную машину, – машинист горных выемочных машин (ГВМ) [1].

Труд работников, занятых на шахтных подземных работах, согласно классификации горных работ по степени тяжести и времени необходимого отдыха, относится к категориям работ от «легких» до «очень тяжелых». Работа шахтера сочетает в себе физическую нагрузку в условиях многофакторного неблагоприятного воздействия, а специфика подземного производства связана с хроническим эмоциональным стрессом. Помимо функции управления, машинисты комбайнов осуществляют кон-

троль над качеством выполняемой работы, состоянием кровли выработки, мощностью обрабатываемых пластов и т. д. Вся эта информация воспринимается на слух и визуально [2].

При выполнении работ на машиниста ГВМ воздействуют химический и физические факторы производственной среды и трудового процесса (шум, инфразвук, вибрация общая, вибрация локальная, тяжесть и напряженность труда) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Общая оценка условий труда машинистов ГВМ горнодобывающих предприятий согласно Р 2.2.2006-05

Рабочее место	Фактор производственной среды и трудового процесса, класс условий труда							
	химический	шум	инфразвук	вибрация общая	вибрация локальная	тяжесть трудового процесса	напряженность трудового процесса	итоговый класс
Машинист ГВМ 5-го разряда (сменный)	3.2	3.2	2	2	-	2	2	3.3
Машинист ГВМ 6-го разряда (сменный)	3.3	3.2	2	2	-	2	2	3.3

Согласно результатам СОУТ, работа машиниста ГВМ является вредной по следующим показателям: химический фактор – класс условий труда 3,2–3.3; шум – класс условий труда 3,2. При анализе условий труда по фактору «шум» по результатам производственного контроля выявлено, что машинисты ГВМ в процессе трудовой деятельности подвергаются воздействию производственного шума, превышающего ПДУ (80 дБА) на 3,4–6,5 дБ. Эквивалентные уровни звука при предельно допустимом уровне (ПДУ) 80 дБА составляют от 83 до 88,4 дБА (соответствуют классу 3.2). Время воздействия производственного шума варьируется от 65 до 80 % рабочего дня.

Уровни запыленности воздуха на рабочих местах машинистов ГВМ значительно превышают предельно допустимую концентрацию аэрозоля. Наибольшее значение в формировании среднесменных концентраций на рабочих местах машинистов комбайнов имеет основной технологический процесс – бурение горного массива, на выполнение которого приходится 37,5–48,8 % рабочего времени. Концентрация сильвинита в воздухе рабочей зоны колеблется от $65,9 \pm 7,3$ до $268,6 \pm 13,8$ мг/м³, что превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 11,4–12,3 раза. При анализе дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны: на обследованных рабочих местах в общей массе взвешенных частиц преобладают частицы РМ₁₀ (более 85 %).

Естественное освещение на рабочем месте машиниста ГВМ отсутствует. Показатели микроклимата в теплый и холодный период соответствуют допустимым параметрам. Одновременно воздействие локальной и общей вибрации на организм работающих не превышает предельно допустимых уровней.

Уровни тяжести и напряженности трудового процесса тоже соответствуют предельно допустимым значениям. Во время управления комбайном и самоходным

вагоном, при проведении дополнительных работ по настройке и контролю вентиляции, а также бурению дегазационных шпуров на работников воздействует тяжесть трудового процесса. Тяжесть трудового процесса представлена региональной и общей физической динамической нагрузкой, перемещением груза, нахождением в позе стоя. Напряженность трудового процесса формируется за счет значимости ошибок в алгоритме выполнения работ, степени риска для собственной жизни и ответственности за безопасность других лиц, а также наличие сменных работ, что обеспечивает напряженность трудового процесса. Но и тяжесть, и напряженность трудового процесса находятся в пределах гигиенических нормативов (см. табл. 1).

В целом итоговый класс условий труда машинистов ГВМ оценивается как 3-й – «вредный» со степенью вредности 3 (класс условий труда 3.3).

Основными вредными производственными факторами, воздействующими на работников металлургических предприятий (на примере титаномагниевого производства), являются: химические факторы (используемые в качестве реагентов хлор, гидрохлорид, диоксид серы, магний, лантаноиды); физические факторы (производственный шум, микроклимат); тяжесть труда; психофизиологические факторы (сменный график труда с ночными сменами) [3]. В целом на рабочих местах хлораторщика, электролизника и аппаратчика перегонки класс условий соответствует 3.3 (табл. 2).

Таблица 2

Общая оценка условий труда работников титаномагниевого производства, согласно Р 2.2.2006-05

Профессия	Класс (подкласс) условий труда													итоговый класс (подкласс) условий труда	
	химический	биологический	аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	шум	инфразвук	ультразвук воздушный	вибрация общая	вибрация локальная	неионизирующие излучения	ионизирующие излучения	микроклимат	световая среда	тяжесть трудового процесса		напряженность трудового процесса
Хлораторщик	3.2	-	-	3.1	-	-	-	-	-	-	2	3.1	3.1	-	3.3
Электролизник расплавленных солей (на наладке)	3.2	-	-	2	-	-	-	-	3.1	-	3.2	2	3.1	-	3.3
Аппаратчик перегонки	3.2	-	-	3.2	-	-	2	2	-	3.1	-	-	3.1	-	3.3

На рабочих местах хлораторщика содержание гидрохлорида в воздухе рабочей зоны превышает гигиенический норматив и достигает $9,0 \pm 2,3$ мг/м³, при ПДК 5,0 мг/м³, а уровень хлора – $6,0 \pm 1,5$ мг/м³ при ПДК 1,0 мг/м³ (превышение на 0,5 мг/м³). Комбинация веществ (хлор и гидрохлорид) также превышает ПДК и составляет до 7,8 (класс условий труда – 3.2)

Уровень производственного шума на рабочем месте хлораторщика достигает 81 дБА, что выше ПДУ 80 дБА (класс условий труда – 3.1).

По данным СОУТ, освещенность рабочих поверхностей рабочих мест хлораторщика также не соответствует гигиеническому нормативу (200 Лк) и составляет от 35 до 150 Лк (класс условий труда – 3.1).

От 60 до 75 % рабочей смены хлораторщик находится в положении «стоя», что соответствует 1-й степени вредности (класс условий труда – 3.1) тяжести трудового процесса.

В целом итоговый класс условий труда хлораторщика оценивается как 3-й – «вредный» со степенью вредности 3 (класс условий труда 3.3).

Концентрация гидрохлорида на рабочих местах электролизника расплавленных солей титаномагниевого производства составляет порядка $2,0 \pm 0,5$ мг/м³ (при ПДК 5,0 мг/м³), а хлора – $1,0 \pm 0,25$ мг/м³ (при ПДК 1,0 мг/м³; превышение на 0,25 мг/м³); класс условий труда – 3.1. Комбинация данных веществ (хлор и гидрохлорид) достигает 1,4 (класс условий труда – 3.1). Уровень шума на рабочих местах этих специалистов составляет от 63 до 80 дБА при ПДУ 80 дБА. В теплый период года ТНС-индекс на рабочих местах электролизника расплавленных солей достигает 24,0 (при ПДУ 19,5–23,9); класс условий труда – 3.2, а тяжесть трудового процесса, характеризующаяся рабочей позой «стоя», отнесена к классу условий труда 3.1.

В целом итоговый класс условий труда электролизника расплавленных солей титаномагниевого производства оценивается как 3-й – «вредный» со степенью вредности 3 (класс условий труда 3.3).

На рабочем месте аппаратчика перегонки титаномагниевого производства уровень шума превышает ПДУ на 6,2 дБА (86,2 дБА, класс условий труда 3.2).

Концентрация химических веществ, воздействующих на данных работников, по уровню концентрации хлора соответствует классу условий труда 3.2 и составляет $3,00 \pm 0,75$ мг/м³. Концентрация гидрохлорида (водород хлорид; хлоргидрат) превышает ПДК в 2 раза и равняется $10,0 \pm 2,5$ мг/м³ (класс условий труда 3.1), а комбинация веществ (хлор+; гидрохлорид (водород хлорид; хлоргидрат)) превышает ПДК в 5 раз и составляет 5 (класс условий труда 3.2).

По тяжести трудового процесса класс условий труда аппаратчика перегонки титаномагниевого производства оценивается как 3.1 за счет рабочей позы «стоя» в течение 70 % рабочего места.

Уровень максимальной потенциальной эффективной дозы излучения (средневзвешенной) на рабочем месте аппаратчика перегонки превышает ПДУ на 1,13 мЗв/год (6,13 мЗв/год, класс условий труда 3.1, уровень вибрации общей и локальной соответствует ПДУ (2-й класс условий труда – допустимый).

Таким образом, условия труда основных работников предприятий металлургической и горнодобывающей промышленности характеризуются сочетанным воздействием на организм химического (-их) и физического (-их) факторов. Итоговый класс условий труда на обоих предприятиях оценивается как 3-й – «вредный» со степенью вредности 3 (класс условий труда 3.3).

Работники металлургического предприятия (титаномагниевого производства) подвергаются сочетанному воздействию вредных производственных факторов: химического и физического (ионизирующее излучение, шум, тяжесть трудового процесса), психоэмоционального. На работников горнодобывающей промышленности при выполнении работ воздействуют факторы производственной среды и трудового процесса: химический, физический (шум, инфразвук, вибрация общая, вибрация локальная, тяжесть и напряженность труда).

Таким образом, каждое предприятие имеет свои особенности, однако класс условий труда оценивается преимущественно как 3.3, что может способствовать формированию производственно обусловленной патологии, и данный факт следует учитывать при проведении диагностических мероприятий, направленных на раннее выявление производственно обусловленных заболеваний, а также коморбидных состояний.

Список литературы

1. Оптимальный режим труда для работников калийных рудников / Д.М. Шляпников, Е.М. Власова, П.З. Шур, В.Б. Алексеев, В.Г. Костарев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 5–2 (16). – С. 813–817.
2. Нарушения здоровья работников, связанные с факторами риска условий труда в горнодобывающей промышленности арктической зоны (аналитический обзор) / Д.В. Горяев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур, С.В. Редько, В.А. Фокин // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 1. – С. 184–193.
3. Власова Е.М., Алексеев В.Б., Шляпников Д.М. Нарушения здоровья у рабочих титаномагниевого производства // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94 (2). – С. 50–53.

Загрязнение воздуха рабочей зоны как фактор риска для здоровья горнорабочих

В.А. Фокин¹, А.Г. Фадеев²

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, г. Красноярск, Россия

Работники отрасли цветной металлургии подвергаются комплексному воздействию химических веществ в воздухе рабочей зоны, что повышает риск развития профессиональных патологий, особенно заболеваний респираторной системы. Проведен систематический анализ научных публикаций для оценки влияния химических загрязнителей на здоровье горнорабочих.

У подземных горнорабочих преобладает респираторная патология (пневмокониозы, острые и хронические бронхиты). В структуре заболеваемости ведущее место занимают бронхиты. Технологические процессы (бурение, взрывные работы, дробление руды) сопровождаются интенсивным пылевыделением. В воздухе рабочей зоны идентифицированы канцерогены (формальдегид, бенз(а)пирен, Ni, Pb, Cd) и вещества с однонаправленным действием на отдельные органы и системы – дыхательная система: SO₂, Ni, NO_x, акролеин;

формальдегид, Cd, взвешенные частицы; нервная система: Mn, Pb, Se; кроветворение: Ni, Pb, CO; сердечно-сосудистая система: CO, Se.

Труд в подземных выработках сопряжен с экспозицией химических факторов, повышающих риск профессиональных респираторных заболеваний, онкопатологии, поражений нервной, иммунной, сердечно-сосудистой и кроветворной систем. Профилактические мероприятия, направленные на минимизацию воздействия химического фактора на работников требуют учета связи нозологий с экспозицией химическими веществами.

Ключевые слова: химические вещества, профессиональный риск, воздух рабочей зоны.

Цветная металлургия представляет собой стратегически значимую отрасль российской промышленности, демонстрирующую устойчивое развитие [1]. Технологический процесс на предприятиях данного сектора включает последовательные этапы: добычу рудного сырья, его обогащение, металлургическую переработку, финишные операции и последующую логистику продукции. Особого внимания заслуживает начальная стадия производственного цикла – добыча сырья, которая характеризуется формированием специфического комплекса профессиональных вредностей, создающих существенные риски для здоровья работников.

Результаты специальной оценки условий труда свидетельствуют, что на 75 % рабочих мест в горнодобывающем сегменте цветной металлургии фиксируются систематические превышения установленных гигиенических нормативов по ключевым производственным факторам [2]. Многочисленные научные исследования подтверждают наличие в воздушной среде рабочих зон сложного комплекса химических загрязнителей, среди которых особую опасность представляют аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД) [3–8]. Данное обстоятельство обуславливает повышенную вероятность развития профессиональных заболеваний с явным преобладанием патологий респираторной системы [3–8].

Цель исследования – оценка информации о влиянии химических компонентов воздушной среды рабочей зоны на здоровье работников горнодобывающего сектора металлургической промышленности.

Материалы и методы. Настоящее исследование основано на комплексном анализе данных, извлеченных из авторитетных научных публикаций, представленных в электронных библиотеках Elibrary и CyberLeninka, а также в специализированных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, MEDLINE и RSCI. Основное внимание уделено изучению современных аспектов условий труда и профессиональной заболеваемости среди работников подземных горнодобывающих предприятий. Для обеспечения релевантности поисковых результатов использовались следующие ключевые дескрипторы: «предприятия цветной металлургии», «условия труда», «профессиональная и профессионально обусловленная заболеваемость». Критерии отбора научных публикаций включали наличие достоверных данных о корреляции между химическими факторами производственной среды и показателями заболеваемости, а также экспертную оценку значимости исследований. Этическое одобрение для данного аналитического исследования не требовалось.

Результаты. В ходе анализа выявлен комплекс вредных производственных факторов, воздействующих на подземных горнорабочих, таких как ингаляционное поступление аэрозолей фиброгенного действия, промышленной пыли и химических соединений, интенсивный производственный шум, повышенные уровни вибрации, а также значительная физическая и психоэмоциональная нагрузка [3, 4, 9, 10]. Согласно действующей классификации условий труда (Руководство Р 2.2.3969-23),

рабочая среда для подземных горнорабочих (проходчики, взрывники, машинисты буровых установок) соответствует классу 3.2–3.4, что свидетельствует об априорном риске от среднего до чрезвычайно высокого уровня [11–13].

Технологические процессы горнодобывающего производства сопровождаются образованием высокодисперсной пыли, более 80 % частиц которой имеют размер менее 1 мкм, что при регулярном превышении ПДК приводит к развитию фиброгенных эффектов (пневмокониоз, хронические пылевые бронхиты) [14], а также оказывает токсическое, раздражающее и сенсибилизирующее воздействие [15]. Структура профессиональной патологии органов дыхания характеризуется преобладанием острых и хронических бронхитов, что подтверждается как отечественными, так и международными исследованиями [16–21]. Особую опасность представляют процессы переработки сульфидных медно-никелевых руд, при которых регистрируются повышенные концентрации диоксида серы, металлического никеля, его гидроаэрозолей и соединений свинца [22]. На участках термической обработки в 50 % случаев отмечается превышение ПДК по силикатсодержащей пыли, при этом концентрации каолинового шамота могут достигать 150,0 мг/м³ при установленной норме 8,0 мг/м³ [23].

Современные исследования свидетельствуют о существенной канцерогенной нагрузке на работников медно-никелевого производства, что обуславливает необходимость мониторинга онкологической заболеваемости.

Эпидемиологические данные демонстрируют наиболее высокие показатели индивидуального канцерогенного риска в отношении злокачественных новообразований ободочной кишки ($< 7 \cdot 10^{-3}$) и желудка ($< 5 \cdot 10^{-3}$). Среди горнорабочих зафиксированы повышенные значения риска развития рака легких ($< 1 \cdot 10^{-3}$) и злокачественных поражений толстой кишки ($< 1 \cdot 10^{-3}$) [24]. Параллельно отмечается нейротоксическое действие тяжелых металлов, таких как цинк, кадмий, мышьяк, сурьма, медь, свинец, проявляющееся в увеличении времени слухомоторных и зрительно-моторных реакций, а также снижении подвижности нервных процессов в аналитических системах [25–26].

Многофакторный анализ профессиональной патологии в медно-никелевой промышленности выявляет полиморфную клиническую картину. Помимо доминирующих заболеваний респираторной системы, регистрируется значительная распространенность дерматологической патологии (контактные дерматиты, онихомикозы, себорея, псориаз). Наибольшая частота кожных поражений наблюдается среди работников карбонильной переработки никеля, статистически значимо превышая показатели у других профессиональных групп ($p < 0,02$) [27]. Сердечно-сосудистая патология, в частности артериальная гипертензия, с доказанной профессиональной этиологией (65,5 % случаев) характерна для работников со стажем свыше 15 лет в производстве легких и редких металлов [28–31].

Особые условия труда отмечаются у операторов горнодобывающей техники, подвергающихся комплексному воздействию химических загрязнителей.

Концентрации оксидов азота, акролеина и формальдегида в рабочих зонах могут в 2–3 раза превышать предельно допустимые уровни [32]. Пылевая нагрузка в кабинах техники варьируется в диапазоне 4–25 мг/м³, достигая сотен мг/м³ в зоне непосредственного выполнения работ. Преобладание (80–90 %) фиброгенных фракций пыли обуславливает высокую частоту пневмокониозов и хронических пылевых бронхитов, потенцируемых сочетанным действием раздражающих газов

и токсических веществ [33]. В условиях Норильского промышленного региона установлено синергическое действие пыли сульфидных руд (содержание свободного SiO_2 до 1 %) и неблагоприятного микроклимата. Концентрационные показатели варьируются от 4,3 мг/м³ при бурении до 6,75 мг/м³ при разгрузке породы (класс условий труда 3.2–3.3). У подземных сварщиков фиксируются экстремальные уровни воздействия: пыль 6–7,2 мг/м³, хромовый ангидрид 0,29–0,35 мг/м³, оксиды марганца 0,149–0,5 мг/м³ (класс 3.4) [34].

Качественный анализ рудничных аэрозолей Арктической зоны выявляет приоритетные токсиканты – соединения меди и никеля [35]. Медь проявляет полиорганную токсичность (ЦНС, печень, почки, слизистые оболочки), хотя респираторные эффекты остаются дискутабельными [36–37]. Никель демонстрирует триаду патогенных эффектов: канцерогенное, токсическое и аллергическое действие [38–41]. Водорастворимые соединения вызывают поражения носоглотки, тогда как нерастворимые формы ассоциированы с онкопатологией [42]. Дополнительную опасность представляют микро- и наночастицы мышьяка, свинца, кадмия и других элементов, оказывающие системное воздействие на организм [43]. Комплексное загрязнение воздушной среды включает также оксиды азота и углерода, тринитротолуол, бенз(а)пирен [44].

Согласно Руководству Р 2.1.10.3968-23, воздух рабочей зоны горнодобывающих предприятий содержит доказанные канцерогены (никель, свинец, формальдегид, кадмий, бенз(а)пирен). Наблюдается синергизм действия респираторных токсикантов (SO_2 , NO_x , акролеин, АПФД), тогда как марганец и свинец преимущественно поражают нервную систему. Гематологические нарушения ассоциированы с воздействием никеля, свинца и угарного газа, а сердечно-сосудистые – с угарным газом и селеном.

Выводы. Рабочая среда на предприятиях горнодобывающего комплекса металлургической промышленности характеризуется значительной ингаляционной нагрузкой, обусловленной комплексным воздействием промышленных аэрозолей, высокодисперсной пыли и химических соединений. Особенно выраженное воздействие данных факторов наблюдается среди работников подземных подразделений, занятых добычей руд цветных металлов, включая горнорабочих, проходчиков, бурильщиков, операторов погрузочно-доставочного оборудования и буровых установок. Данные исследований демонстрируют связь между профессиональной экспозицией и развитием специфической патологии, в первую очередь заболеваний респираторной системы (пневмокониозы, хронические бронхиты, бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких), а также злокачественных новообразований легких и верхних дыхательных путей.

При оценке профессиональных рисков для горнорабочих необходимо учитывать полиорганный характер воздействия химических веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны, поскольку критическими мишенями являются кроветворная, дыхательная, центральная и периферическая нервная, иммунная и сердечно-сосудистая системы. Клинические проявления профессиональной патологии могут включать широкий спектр нозологий – от дерматологических поражений до нарушений кроветворной функции и церебральных расстройств. В связи с этим разработка системы профилактических мероприятий в горнодобывающем сегменте металлургической отрасли требует тщательного анализа профессионально обусловленной заболеваемости с акцентом на заболевания, ассоциированные с воздей-

ствием специфических химических факторов производственной среды. Такой подход позволит оптимизировать меры по снижению профессиональных рисков и сохранению здоровья работников данной отрасли.

Список литературы

1. Дюндик К.А. Эффективная система промышленной безопасности компании «Норникель» // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2016. – № 1. – С. 67–72.
2. Гигиеническая оценка условий труда и профессиональной заболеваемости работников горнодобывающей промышленности в Арктической зоне Норильского промышленного района / Д.В. Горяев, А.Г. Фадеев, П.З. Шур, В.А. Фокин, Н.В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 88–94. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.08
3. Медицина труда работников подземных профессий производства добычи полиметаллических медно-цинковых руд / Э.Р. Шайхлисламова, Л.К. Каримова, А.Д. Волгарева, Н.А. Мулдашева // Санитарный врач. – 2020. – № 5. – С. 9–23. DOI: 10.33920/med-08-2005-01
4. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 22. – P. 1–11. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101500
5. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners / A. Moscicka-Teske, J. Sadtowska-Wrzesinska, A. Najder, M. Butlewski // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2019. – Vol. 32, № 1. – P. 87–98. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01162
6. Aspects of occupational morbidity in the mining sector / L. Marica, S. Irimie, V. Baleanu // Procedia economics and finance. – 2015. – Vol. 23. – P. 146–151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8
7. Талыкова Л.В., Быков В.Р. Исследование эффектов профессионального воздействия в условиях Арктической зоны (обзор литературы) // Российская Арктика. – 2021. – № 3 (14). – С. 41–53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04
8. 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
9. Чеботарев А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // Горная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 84–88.
10. Сюрин С.А. Риски здоровью при добыче полезных ископаемых в Арктике // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 11 (332). – С. 55–61. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-55-61
11. Хлусова В.П. Профессиональные риски в горнодобывающей промышленности и методы их снижения // Образование, наука, производство: сб. науч. тр. VII Междунар. молодеж. форума. – Белгород, 2015. – С. 461–465.
12. Горленко Н.В., Мурзин М.А. Сравнительный анализ профессиональных рисков работников предприятий Иркутской области по добыче полезных ископаемых // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3, № 4. – С. 23–31.

13. Головкова Н.П., Котова Н.И., Чеботарев А.Г. Оценка уровня профессионального риска у работников горно-металлургических предприятий по результатам специальной оценки условий труда // *Современные проблемы медицины труда: материалы всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию акад. РАН Н.Х. Амирова.* – Казань: ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54

14. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – a review / G.Liu, Q. Xu, J. Zhao, W. Nie, Q. Guo, G. Ma // *Applied Sciences.* – 2021. – Vol. 11, № 21. – P. 10313. DOI: 10.3390/app112110313

15. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // *Горная промышленность.* – 2018. – № 5 (141). – С. 33–35. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35

16. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States / A.S. Laney, E.L. Petsonk, J.M. Hale, A.L. Wolfe, M.D. Attfield // *Am. J. Public Health.* – 2012. – № 2. – P. 279–283. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300427

17. Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners – 16 states, 2010–2011 / A.S. Laney, A.L. Wolfe, E.L. Petsonk, C.N. Halldin // *MMWR.* – 2012. – Vol. 61 (23). – P. 431–434.

18. Song Z.F., Qian H.Y., Wang S.S. Analysis on the incidence of coal workers pneumoconiosis from 2003 to 2008 in a coal mining group // *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.* – 2011. – Vol. 29, № 1. – P. 56–58.

19. Cebi S., Karamustafa M. A New Fuzzy Based Risk Assessment Approach for the Analysis of Occupational Risks in Manufacturing Sector // *Intelligent and Fuzzy Systems: Digital Acceleration and The New Normal: Proceedings of the INFUS 2022 Conference.* – Cham: Springer International Publishing, 2022. – Vol. 1. – P. 261–270.

20. Сюрин С.А., Шилов В.В. Особенности нарушений здоровья горняков северных медно-никелевых рудников // *Гигиена и санитария.* – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 455–459. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-455-459

21. Куренкова Г.В., Лемешевская Е.П. Гигиеническая характеристика условий труда в подземных сооружениях и их влияние на здоровье работников // *Байкальский медицинский журнал.* – 2015. – Т. 136, № 5. – С. 98–105.

22. Косяченко Г.Е. Гигиеническая оценка условий труда при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного типа действия // *Здоровье и окружающая среда.* – 2010. – № 16. – С. 196–201.

23. Состояние здоровья работников обогатительных фабрик при современных технологиях обогащения полезных ископаемых и меры профилактики / А.В. Сухова, Е.А. Преображенская, А.В. Ильницкая, В.А. Кирьяков // *Здравоохранение Российской Федерации.* – 2017. – Т. 61, № 4. – С. 196–201.

24. Серебряков П.В. Использование оценки канцерогенного риска на горно-рудных и металлургических предприятиях Заполярья // *Гигиена и санитария.* – 2012. – № 5. – С. 95–98.

25. Кулиниченко С.К. Функциональное состояние центральной нервной системы рабочих свинцового производства // *Наука и здравоохранение.* – 2012. – Т. 2. – С. 128–130.

26. Gunnarsson L.G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses // *International Journal of*

Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 3. – P. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337

27. Сюрин С.А., Петренко О.Д. Особенности заболеваний кожи у работников медно-никелевой промышленности // Безопасность и охрана труда. – 2012. – Т. 3, № 52. – С. 79–81.

28. Прогноз вероятностной оценки развития артериальной гипертензии у работников цветной металлургии в условиях сочетанного воздействия физических и физиологических производственных факторов / В.Э. Белицкая, М.И. Тиунова, А.Е. Носов, О.Ю. Устинова, Д.А. Кирьянов // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 495–500.

29. Гурвич В.Б., Милованкина Н.О., Газимова В.Г. Диспансеризация работников металлургического производства с высоким сердечно-сосудистым риском как оптимальный метод первичной и вторичной профилактики // Современные проблемы медицины труда: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию акад. РАН Н.Х. Амирова. – Казань, 2019. – С. 66–68. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-66-68

30. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine / J. Strzemecka, M. Gozdziowska, J. Skrodziuk, E.M. Galinska, S. Lachowski // Ann. Agric. Environ. Med. – 2019. – Vol. 26, № 3. – P. 409–414. DOI: 10.26444/aaem/106224

31. Оценка риска развития артериальной гипертензии в условиях воздействия шумового и химического факторов производства / И.Н. Федина, П.В. Серебряков, И.В. Смолякова, А.В. Мелентьев // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 2. – С. 21–25.

32. Бекеева С.А., Есбенбетова Ж.Х., Нургазиева А.Е. Адаптационный потенциал водителей большегрузных автосамосвалов в горнодобывающей промышленности // Наука и мир. – 2019. – № 2 (66). – С. 37–39.

33. Оценка условий труда работников горнорудной промышленности / М.Н. Садыков, Е.Ж. Отаров, Л.Х. Асенова, У.К. Маканова, А.Р. Айтмагамбетов, Л.В. Тыль // Медицина и экология. – 2017. – № 3 (84). – С. 71–73.

34. Профессиональные болезни рабочих в горнодобывающей промышленности / Г.М. Коршунов, З.Н. Черкай, Н.В. Мухина, Е.Б. Гридина, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 2–5. – С. 5–10.

35. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug) // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 1061. DOI: 10.3390/ijerph18031061

36. Cross-sectional Study of Workers Employed at a Copper Smelter-Effects of Long-term Exposures to Copper on Lung Function and Chronic Inflammation / L.M. Haase, T. Birk, C.A. Poland, O. Holz, M. Müller, A.M. Bachand, K.A. Mundt // J Occup Environ Med. – 2022. – Vol. 64, № 9. – P. 550–558. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002610

37. Metal-Induced Pulmonary Fibrosis / N. Assad, A. Sood, M.J. Campen, K.E. Zychowski // Curr Environ Health Rep. – 2018. – Vol. 5, № 4. – P. 486–498. DOI: 10.1007/s40572-018-0219-7

38. Сюрин С.А., Гушин И.В., Никанов А.Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. – 2012. – № 6. – С. 8–12.
39. Casarett and Doulls Toxicology: The basic science of poisons / ed. by C.D. Klaassen. – New York: McGraw-Hill Professional, 2001. – P. 649–650, 837–839.
40. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer / T.K. Grimsrud, S.R. Berge, T. Haldorsen, A. Andersen // Am. J. Epidemiol. – 2002. – Vol. 156, № 12. – P. 1123–1132. DOI: 10.1093/aje/kwf165
41. Nickel Carcinogenesis Mechanism: DNA Damage / H. Guo, H. Liu, H. Wu, H. Cui, J. Fang, Z. Zuo, J. Deng, Y. Li, X. Wang, L. Zhao // Int J Mol Sci. – 2019. – Vol. 20, № 19. – P. 4690. DOI: 10.3390/ijms20194690
42. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology / G. Genchi, A. Carocci, G. Lauria, M.S. Sinicropi, A. Catalano // Int J Environ Res Public Health. – 2020. – Vol. 17, no. 3. – P. 679. DOI: 10.3390/ijerph17030679
43. Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2017. – № 4. – С. 58–63.
44. Biessikirski A., Dworzak M., Twardosz M. Composition of Fumes and Its Influence on the General Toxicity and Applicability of Mining Explosives // Mining. 2023. – Vol. 3, № 4. – P. 605–617. DOI: 10.3390/mining3040033

Идентификация маркеров клеточной дифференцировки и генетического полиморфизма у работающих в условиях экспозиции редкоземельными элементами

Ю.А. Челакова¹, О.В. Долгих^{1,2}, О.В. Ефремова¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

При изучении состояния здоровья работающего населения Пермского края было выполнено иммунологическое и генетическое диагностическое обследование работников предприятия цветной металлургии: 33 человека группы наблюдения (работают на основном производстве и подвергаются воздействию редкоземельных элементов – РЗЭ) и 64 человека группы сравнения (работают в административной части предприятия и не контактируют с РЗЭ). При изучении иммунного статуса работников были исследованы особенности показателей клеточной дифференцировки (экспрессия CD304+-лимфоцитов), эндотелиального фактора роста VEGF и специфической гиперчувствительности (гиперпродукция IgG к лан-

таноидам) в условиях воздействия вредных химических соединений (лантаноиды). Выполнена систематизация и статистическая обработка полученных результатов по химико-аналитическим, иммунологическим и генетическим показателям, количественно и качественно характеризующим направленность токсического действия специфических контаминантов биосред на иммунную систему обследуемых. Установлено, что генетический профиль работников основного производства предприятия цветной металлургии характеризуется измененным полиморфизмом гена *VEGFA*, что увеличивает риск развития патологических фенотипов, ассоциированных с данным полиморфизмом ($RR = 1,32$).

Ключевые слова: работники, цветная металлургия, лантаноиды, иммунная регуляция, полиморфизм генов, производственно обусловленные заболевания.

Сохранение здоровья трудоспособного населения – ключевой фактор социально-экономического развития страны, однако официальная статистика указывает на неблагоприятные условия труда и состояние профессионального здоровья трудоспособного населения [1]. На предприятиях цветной металлургии работники подвергаются воздействию комплекса вредных факторов, включая шум, вибрацию, химические токсиканты, тяжелый физический труд, гипертермию и психоэмоциональный стресс [2]. Ранее проведенные исследования показали, что даже низкие, субтоксические дозы химических веществ у работников цветной металлургии вызывают дезадаптацию организма [3].

Особый интерес в данной области представляет влияние на организм редкоземельных элементов (РЗЭ), преимущественно лантаноидов [4], при этом токсикологические данные о влиянии данных элементов на здоровье ограничены, и многие вопросы, связанные с неблагоприятными последствиями профессионального воздействия, остаются открытыми [5, 6].

В ряде экспериментальных исследований показано, что РЗЭ способны приводить к окислительному стрессу посредством чрезмерного производства оксида азота и провоспалительных цитокинов [7]. Основными изучаемыми эффектами РЗЭ, обладающих прооксидантными свойствами, являются образование активных форм кислорода в результате перекисного окисления липидов и изменение активности антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы и глутатионпероксидазы) [8]. Это приводит к повреждению клеточных мембран и способствует развитию сердечно-сосудистых, нейродегенеративных, пролиферативных и воспалительных заболеваний [9, 10].

Комбинированное воздействие вредных производственных факторов на организм работников обуславливает необходимость комплексного подхода к улучшению условий труда, профилактике производственно обусловленных заболеваний и снижению профессиональных рисков [11].

Цель исследования – оценка особенностей иммунной и генетической регуляции у работников предприятия цветной металлургии в условиях экспозиции редкоземельными элементами

Материалы и методы. При изучении состояния здоровья работающего населения Пермского края было выполнено иммунологическое и генетическое диагностическое обследование работников предприятия цветной металлургии (обследовано 97 работников – 61 женщина и 47 мужчин). Выбраны специальности с характерным набором вредных производственных факторов (в качестве вредного химического фактора выступали РЗЭ) и одинаковыми режимами работы. В группу наблюдения вошли 33 человека (11 женщин и 22 мужчины) в возрасте $54,42 \pm 1,55$ го-

да, работающие на основном производстве и подверженные воздействию РЗЭ (III–IV класс опасности), шума, ионизирующего излучения. В целом класс условий труда на рабочих местах соответствовал диапазону 2–3,3.

В группу сравнения вошли 64 человека (50 женщин и 14 мужчин) в возрасте $48,42 \pm 1,63$, работающие в административной части предприятия и не контактирующие с вредными производственными факторами, как работники основного производства.

Исследование проводилось на образцах биологических сред (кровь) обследуемых работников.

Фенотипирование лимфоцитов проводили на проточном цитометре FACSCalibur фирмы Becton Dickinson с использованием универсальной программы CellQuest.PrO. Определение популяций и субпопуляций лимфоцитов (CD304+ (NRP1)) проводили методом мембранной иммуофлюоресценции, при этом регистрировали суммарно не менее 10 000 событий.

Идентификацию фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) осуществляли с помощью иммуоферментного анализа (тест-системы фирмы «Вектор-Бест») на анализаторе TECAN Sunrise (Австрия). Содержание иммуоглобулина G специфического к лантаноидам определяли с помощью аллергосорбентного теста с ферментной меткой.

Для выделения ДНК из периферической крови применяли набор «ДНК-сорб-В» («НекстБио», Россия). Анализ полиморфного варианта G634C rs2010963 гена *VEGFA* выполняли методом ПЦР в реальном времени на амплификаторе CFX96 (BioRAD, Сингапур) с использованием наборов «SNP-скрин» («Синтол», Россия). Программа амплификации: 95 °C – 3 мин, 40 циклов из 95 °C (15 с) и 63 °C (40 с).

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы описательной статистики: *t*-критерий Стьюдента, корреляционно-регрессионный анализ, критерий Фишера. Результаты логистического моделирования представлены в виде коэффициента детерминации (R^2). Для оценки связи исследуемых ответов с воздействием факторов рассчитывали отношение шансов (*OR*) и 95%-ный доверительный интервал (*CI*) для отношения шансов. Для оценки развития нарушений в условиях воздействия химических факторов был рассчитан относительный риск (*RR*). Достоверность отличий считали значимой при $p \leq 0,05$.

Результаты. Результаты тестирования содержания РЗЭ (лантаноидов) в крови работников предприятия по восстановлению и дистилляции титана и редких металлов позволили установить многократные превышения концентраций ряда элементов по сравнению с референтным уровнем. Кратность превышения содержания РЗЭ в крови относительно данных группы сравнения для различных лантаноидов составила: для гольмия – 2,36 раза ($p = 0,006$), лютеция – 2,11 раза ($p = 0,035$), тербия – 1,87 раза ($p = 0,035$).

По результатам иммунологического обследования в рамках сравнительного анализа иммунологического и генетического профиля работников группы наблюдения и группы сравнения предприятия цветной металлургии, где в качестве вредного производственного фактора выступают РЗЭ, установлен дисбаланс основных компарментов иммунной регуляции (кластеры клеточного звена иммунитета).

Наблюдается экспрессия относительных (у 81,8 %) и абсолютных (у 87,9 %) CD 304+-лимфоцитов у работников группы наблюдения, и у 12,5 % работников группы сравнения относительно референтного уровня. При этом относительно группы сравнения кратность превышения абсолютных CD 304+ лимфоцитов в группе

наблюдения составила 8,38 раза ($p = 0,000$), а относительных CD 304+-лимфоцитов – 8,65 раза ($p = ,000$) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Иммунологические показатели работников предприятия цветной металлургии

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения ($n = 33$), $M \pm m$	Группа сравнения ($n = 64$), $M \pm m$	Достоверность межгрупповых различий p
IgG специфический к лантаноидам, усл. ед.	0–0,1	0,159 ± 0,019	0,117 ± 0,006	0,038
VEGF, пг/см ³	10–700	405,559 ± 3,519	385,424 ± 8,725	0,035
CD304+(NRP1)-лимфоциты, 10 ⁹ /дм ³	0,015–0,022	0,109 ± 0,023	0,013 ± 0,008	0,000
CD304 ⁺ (NRP1)-лимфоциты, %	1,0–1,5	5,842 ± 1,25	0,675 ± 0,362	0,000

Установлена статистически значимая вероятностная причинно-следственная связь между изменением показателей клеточного иммунитета и возрастанием концентрации контаминантов в биологических средах, при которой наблюдается достоверное ($p \leq 0,05$) повышение относительных CD 304+-лимфоцитов при увеличении концентрации неодима в крови ($R^2 = 0,94$ при $p \leq 0,05$).

При этом относительный риск развития негативных процессов, ассоциированных с биоконтаминацией лантаноидами по критерию содержания относительных и абсолютных CD 304+-лимфоцитов, составляет 6,55–7,03 ($RR = 6,55–7,03$).

Уровень васкулоэндотелиального фактора роста VEGF был повышенным у 18,2 % обследованных работников группы наблюдения, при этом относительно группы сравнения кратность превышения составила 1,05 раза ($p = 0,035$). Оценка отношения шансов повышения концентрации VEGF при биоконтаминации РЗЭ составила 1,81 ($OR = 1,81$; 95 % $CI = 0,56–5,91$) у работников группы наблюдения. При этом относительный риск развития негативных процессов, ассоциированных с биоконтаминацией лантаноидами, по критерию содержания VEGF составляет 1,66 ($RR = 1,66$).

Установлен повышенный уровень IgG специфического к лантаноидам у 60,6 % работников группы наблюдения. По отношению к группе сравнения также наблюдается достоверное повышение IgG специфического к лантаноидам в 1,36 раза ($p = 0,038$). Воздействие РЗЭ сопряжено с увеличением шансов выявления повышенных уровней IgG, специфичных к лантаноидам ($OR = 1,36$; 95 % $CI = 1,78–3,19$). При этом относительный риск формирования негативных процессов для IgG специфического к лантаноидам составил 1,14 ($RR = 1,14$).

Полученные результаты указывают на повышенный уровень экспрессии нейропилина, ассоциированного с VEGF-экспрессией, что формирует вероятность развития васкулоэндотелиальных нарушений.

Полиморфизм гена васкулоэндотелиального фактора роста эндотелия сосудов VEGFA G634C (G дикий аллель – $OR = 2,54$, 95 % $CI = 1,17–5,50$, $p \leq 0,05$) выступает в качестве фактора риска развития нарушений, ассоциированных с фенотипом данного гена, а в качестве нежелательных событий, которые можно ожидать со стороны здоровья работников основного производства, выступают риски формирования производственно обусловленных заболеваний ($RR = 1,32$), сопряженных с патологией сердечно-сосудистой системы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Сравнительный анализ распределения частот генотипов и аллелей у работников предприятия цветной металлургии

Ген	Генотипы / аллели	Группа наблюдения (n = 33), %	Группа сравнения (n = 64), %	OR (95 % CI)	Уровень значимости p
VEGFA G634C (rs2010963)	GG	64,52	47,22	2,03 (0,76–5,44)	0,158
	GC	29,03	25,00	1,23 (0,42–3,62)	0,714
	CC	6,45	27,78	0,18 (0,04–0,90)	0,109
	G	79,03	59,72	2,54 (1,17–5,50)	0,015
	C	20,97	40,28	0,39 (0,18–0,85)	0,105

Выводы. При сравнительном анализе иммунологического статуса работников предприятия цветной металлургии Пермского края, работающих в условиях экспозиции редкоземельными элементами (лантаноидами), показана достоверно повышенная экспрессия по отношению к норме и группе сравнения IgG специфического к лантаноидам. Полученные результаты указывают на гиперэкспрессию кластеров клеточной дифференцировки CD304⁺-лимфоцитов, ассоциированных с состоянием эндотелия сосудов (рецептор васкулоэндотелиального фактора роста) ($RR = 1,66$), что на фоне повышенной частоты G аллеля гена VEGFa G634C ($OR = 2,54$; 95 % CI = 1,17–5,50) ведет к риску ($RR = 1,32$) формирования нарушений иммунорегуляции и ангиогенеза у работающих в условиях экспозиции редкоземельными элементами.

Новые подходы к разработке и научному обоснованию алгоритма идентификации особенностей показателей иммунологического профиля и SNP-маркеров производственно обусловленных заболеваний, ассоциированных с химическими факторами производственной среды (на примере лантаноидов), с последующей оценкой и уточнением персонального профессионального риска нарушений здоровья работников могут быть рекомендованы для решения задач формирования программ диагностики и профилактики развития производственно обусловленных заболеваний.

Список литературы

1. Измеров Н.Ф. Национальный проект «Здоровье» роль медицины труда // Медицина труда и промышленная экология. – 2007. – № 12. – С. 4–8.
2. Гетьман П.И. Безопасность труда сталевара и подручного сталевара конвертерного цеха. – М.: Металлургия, 1982. – 48 с.
3. Максимов С.А. Темпы старения и антиоксидантный статус работающих в условиях производственного воздействия ксенобиотиков // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – № 2. – С. 7.
4. Ладонин Д.В. Лантаноиды в почвах зоны воздействия череповецкого металлургического комбината // Почвоведение. – 2017. – № 6. – С. 680–689.

5. Du X., Graedel T.E. Uncovering the global life cycles of the rare earth elements // *Sci. Rep.* – 2011. – № 1. – P. 145.
6. Rim K.T., Koo K.H., Park J.S. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: a literature review // *Saf. Health Work.* – 2013. – № 4. – P. 12–26.
7. Human exposures to rare earth elements: Present knowledge and research prospects / G. Pagano, P.J. Thomas, A.D. Nunzio, M. Trifuoggi // *Environ. Res.* – 2019. – № 171. – P. 493–500. DOI: 10.1016/j.envres.2019.02.004
8. Biphasic effects of lanthanum on *Vicia faba* L. seedlings under cadmium stress, implicating finite antioxidation and potential ecological risk / C. Wang, X. Luo, Y. Tian [et al.] // *Chemosphere.* – 2012. – Vol. 86, № 5. – P. 530–537. DOI: 10.1016/j.chemosphere
9. Oxidative stress in the kidney injury of mice following exposure to lanthanides trichloride / H. Zhao, J. Hong, X. Yu [et al.] // *Chemosphere.* – 2013. – Vol. 93, № 6. – P. 875–884. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.05.034
10. Молдогазиева Н.Т., Мохосоев И.М., Мельникова Т.И. Двойственная природа активных форм кислорода, азота и галогенов: их эндогенные источники, взаимопревращения и способы нейтрализации // *Успехи биологической химии.* – 2020. – № 60. – С. 123–172.
11. Приоритетные вопросы медицины труда в производстве и обработке сплавов цветных металлов / О.Ф. Рослый, Е.И. Лихачева, Л.Я. Тартаковская [и др.] // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2004. – № 9. – С. 23–26.

Нарушения артериального давления у горняков: роль изношенной техники в угнетении адаптационных резервов организма

А.А. Щербаков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Для определения особенностей патологии сердечно-сосудистой системы у работников горнодобывающего производства, использующих оборудование с высокой степенью износа, были проведены исследования и анализ сердечно-сосудистой системы с целью оценки влияния вегетативной нервной системы на функции возбудимости, проводимости и автоматизма сердца путем Холтеровского мониторирования ЭКГ, а также анализ суточного артериального давления по результатам мониторирования АД. В группу наблюдения включены 26 человек, работающих с наиболее изношенной техникой и оборудованием. Группу сравнения составили 29 человек, работающих с наиболее новой техникой и оборудованием. Установлено, что работа машинистов горных выемочных машин, осуществляющаяся с использованием существенно изношенного оборудования, приводит к достоверно (в 1,3–3,5 раза) более выраженному угнетению вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы с глубо-

кими нарушениями адаптационно-компенсаторных механизмов, в том числе в виде частой наджелудочковой экстрасистолии и стабильной систолической, а также лабильной диастолической артериальной гипертензии с более частыми подъемами диастолического артериального давления в ночное время (в 2,1 раза).

Ключевые слова: горнодобывающее производство, сердечно-сосудистая система, стресс, артериальное давление.

В настоящее время существенная часть работников горнодобывающего производства трудится на рабочих местах, не полностью отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям и имеющим высокий износ техники и оборудования, являющийся следствием наиболее распространенной меры по снижению затрат на функционирование производства – экономии [1]. По данным Росстата уровень заболеваемости болезнями сердечно-сосудистой системы последние десять лет стабильно возрастает и составляет около 3800 случаев на 100 тыс. взрослого населения [2]. Раннее выявление сердечно-сосудистой патологии, обусловленной действием вредных производственных факторов, в том числе и хронических стрессовых состояний, является актуальной задачей, способствующей предупреждению развития тяжелых форм патологии, снижению уровня инвалидности и смертности в трудоспособном возрасте [3].

Цель исследования – определить особенности сердечно-сосудистой патологии у работников горнодобывающего производства, использующих оборудование с высокой степенью износа.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 55 работников (мужчины) в возрасте до 53 лет, осуществляющие рабочую деятельность машиниста горных выемочных машин (машинист ГВМ). Всех обследованных разделили на две группы. В группу наблюдения включили 26 человек, работающих с наиболее изношенной техникой и оборудованием (износ свыше 50 %). Группу сравнения составили 29 человек, работающих с наиболее новой техникой и оборудованием (износ менее 25 %). Группы были сопоставимы по возрастному и социально-экономическому показателям. Критерий исключения из групп исследования – наличие острой либо хронической патологии в стадии обострения.

Исследование и анализ сердечно-сосудистой системы с целью оценки влияния вегетативной нервной системы на функции возбудимости, проводимости и автоматизма сердца выполнены с помощью диагностической системы суточной регистрации ЭКГ по Холтеру Microvit MT-101 и программы анализа MT-210 (SCHILLER, Швейцария). Холтеровское мониторирование выполнялось после междусменного периода отдыха, длительность исследования соответствовала продолжительности рабочей смены. Динамику оценивали у одних и тех же рабочих один раз в месяц на протяжении трех месяцев.

Исследование и анализ суточного артериального давления (АД) проведены с использованием диагностической системы BR-102 plus и программы анализа MT-300 (SCHILLER, Швейцария). Мониторирование АД выполнялось после междусменного периода отдыха, длительность исследования – 24 ч. Динамику артериального давления оценивали у одних и тех же рабочих один раз в месяц на протяжении трех месяцев.

Обработка результатов исследований осуществлялась с помощью параметрических методов вариационной статистики. Для оценки достоверности получен-

ных результатов использовали критерий Фишера (оценка относительных результатов статистических исследований) и критерий Стьюдента (сравнение групп по количественным признакам). Различия считались статистически достоверными при $p < 0,05$ [4].

Результаты. Анализ данных Холтеровского мониторирования показал, что у машинистов, работающих с существенно изношенным оборудованием, наблюдается значительное угнетение парасимпатической активности, что подтверждается снижением показателей rMSSD ($33,3 \pm 9,5$ против $57,2 \pm 14,9$ мс) и pNN50 ($5,0 \pm 1,9$ против $17,4 \pm 8,2$ %) по сравнению с аналогичными данными группы, использующей новое оборудование. При этом показатели общей вариабельности сердечного ритма (SDNN, SDNNind, SDANN) также снижены. Сравнительный анализ показал, что угнетение функции парасимпатической составляющей в группе наблюдения выражено в 1,2–1,7 раза сильнее ($p < 0,05$), тогда как снижение симпатической активности оказалось в 1,7–3,5 раза менее выраженным ($p < 0,05$) по отношению к данным группы сравнения. Это свидетельствует о смещении баланса вегетативной регуляции в сторону относительного преобладания симпатического влияния. Нарушений функции проводящей системы сердца не выявлено. При изучении функции автоматизма отмечено, что резкое ослабление регуляции основного водителя ритма привело к активации нижележащих водителей, что сопровождалось появлением частых наджелудочковых экстрасистолий у работников группы наблюдения (табл. 1).

Таблица 1

Состояние вегетативной нервной системы (ВНС) у машинистов ГВМ группы наблюдения и группы сравнения, мс (по данным Холтеровского мониторирования)

Анализ ВРС	Группа наблюдения	Группа сравнения	<i>p</i>
SDANN день, мс	63,5 ± 9,1	85,8 ± 12,9	0,007
SDNN день, мс	88,8 ± 8,7	113,1 ± 12,3	0,002
SDNN ночь, мс	81,7 ± 18,4	123,7 ± 27,6	0,01
SDNNidx день, мс	57,0 ± 6,9	67,2 ± 4,9	0,018
SDNNidx ночь, мс	52,3 ± 11,3	90,1 ± 21,3	0,001
SDNNidx сутки, мс	58,3 ± 6,5	74,2 ± 13,0	0,021
pNN50 ночь, %	5,0 ± 1,9	17,4 ± 8,2	0,002
rMSSD ночь, мс	33,3 ± 9,5	57,2 ± 14,9	0,005
Наджелуд. э/систолы, кол-во	84,7 ± 79,4	1,7 ± 1,3	0,043

Примечание: *p* – достоверность различий с группой сравнения.

Сравнительная характеристика суточного мониторирования артериального давления (СМАД) выявила, что у работников, использующих изношенное оборудование, наблюдаются пограничные значения среднесуточного систолического АД и значительное увеличение нагрузки давлением. В частности, суточные индексы времени для систолического и диастолического АД в группе наблюдения оказались достоверно ($p < 0,05$) в 2,4–2,8 раза выше, чем в группе сравнения. Эти данные указывают на наличие стабильной систолической гипертензии (при индексе времени свыше 50 %) и лабильной диастолической гипертензии (при индексе времени свыше 25 %) (табл. 2).

Таблица 2

Состояние артериального давления (АД) у машинистов ГВМ групп наблюдения и сравнения, мм рт. ст. % (по данным СМАД)

Анализ СМАД	Группа наблюдения	Группа сравнения	<i>p</i>
САД среднее днем	138,4 ± 8,2	123,2 ± 19,8	0,06
САД среднее ночью	134,4 ± 8,7	126,3 ± 18,6	0,74
САД среднее за сутки	136,4 ± 6,4	122,9 ± 8,4	0,04
ДАД среднее днем	79,5 ± 5,2	84 ± 3,9	0,13
ДАД среднее ночью	79,4 ± 5,7	76,0 ± 3,2	0,23
ДАД среднее за сутки	79,3 ± 3,4	79,5 ± 3,8	0,93
Индекс времени САД сут.	65,3 ± 28,8	23,5 ± 20,5	0,004
Индекс времени ДАД сут.	46,3 ± 29,6	19,5 ± 13,6	0,01

Примечание: *p* – достоверность различий с группой сравнения.

Оптимальные значения суточного индекса для систолического АД (dipper, over-dipper) выявлялись в группе наблюдения в 1,4 раза чаще, чем в группе сравнения (*p* = 0,58), в то время как оптимальные показатели диастолического АД преобладали в группе сравнения (*p* = 0,78). Наиболее неблагоприятный тип суточного индекса для диастолического АД (night-peaker) встречался у работников группы наблюдения в 2,1 раза чаще, чем у работников группы сравнения (*p* = 0,31) (табл. 3).

Таблица 3

Состояние артериального давления (АД) у обследованных машинистов ГВМ, % (по данным СМАД)

Значения суточного индекса, %	АД	Группа наблюдения, %	Группа сравнения, %	<i>p</i>
Нормальные значения: dipper, over-dipper	САД	43	30	0,58
	ДАД	43	50	0,78
Non-dipper	САД	28,5	50	0,37
	ДАД	14	30	0,44
Night-peaker	САД	28,5	20	0,68
	ДАД	43	20	0,31

Примечание: *p* – достоверность различий с группой сравнения.

Таким образом, установлено, что работа машинистов ГВМ при эксплуатации существенно изношенного оборудования приводит к достоверному (в 1,3–3,5 раза) более выраженному угнетению вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы, сопровождающемуся глубокими нарушениями адапционно-компенсаторных механизмов. В частности, у данной группы работников отмечается высокая частота наджелудочковой экстрасистолии, развитие стабильной систолической и лабильной диастолической артериальной гипертензии, а также в 2,1 раза более частые эпизоды повышения диастолического артериального давления в ночное время.

Список литературы

1. Условия эксплуатации технических устройств на объектах горнорудной промышленности / Р.А. Андреев, С.Е. Доронин, С.В. Тюрин, И.Н. Зяблов // Наука, техника и образование. – 2015. – № 11 (17). – С. 43–46.
2. Статистический сборник 2018 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/statisticheskie-i-informatsionnye-materialy/statisticheskiy-sbornik-2018-god> (дата обращения: 11.03.2025 г.).
3. Ключков В.А., Данилов А.Н., Современное состояние доклинической диагностики артериальной гипертонии // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 1 (7). – С. 1480–1485.
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ [Электронный ресурс]. – М.: Практика, 1998. – 462 с. – URL: <https://medstatistic.ru/articles/glantz.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).

Субъективная оценка факторов трудового долголетия представителей профессиональных групп, работающих во вредных условиях труда

Т.В. Темаев^{1,2}, Ю.В. Филичева¹

¹Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Саратов, Россия

²ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия

Общемировая тенденция старения населения и востребованность рабочих кадров в связи с обострившейся международной обстановкой актуализируют исследование влияния социально-гигиенических факторов на трудовое долголетие представителей рабочих профессий, работающих во вредных условиях труда, в том числе и в пенсионный период. Гигиенические факторы, а также самооценка условий труда не являются основополагающими при принятии решения о продолжении трудовой карьеры на пенсии. Возраст и возраст-ассоциированные нарушения состояния здоровья не влияют на решение о продолжении профессиональной трудовой деятельности в пенсионный период. Небольшой размер пенсии и низкий размер оплаты труда являются определяющими в мотивации к продлению профессиональной деятельности населения. Социально-психологические последствия общемировой тенденции старения населения, характеризующейся увеличением продолжительности жизни и снижением рождаемости, трансформировали социальные роли, снизив необходимость заботы о младшем поколении со стороны старших возрастных групп, повысили пенсионный возраст и актуализировали профессиональную составляющую характеристики личности человека.

Ключевые слова: трудовое долголетие, социально-гигиенические факторы, условия труда, пенсионный возраст.

Тема продолжения профессиональной трудовой деятельности после выхода на пенсию напрямую связана с естественным процессом кадрового старения работников предприятий, с одной стороны, и с их востребованностью в условиях санкционного давления – с другой. Результаты нашего исследования свидетельствуют, что работающие пенсионеры предпочитают сохранить себя и в профессии (92,0 %), и на этом же месте работы (73,0 %), так как они уже полностью адаптированы к данной производственной среде и успешно вовлечены в трудовой коллектив. Допускают смену профессии – 27,0 % респондентов предпенсионного возраста, место работы – 20,0 %. В целом мы подчеркиваем формирование курса на активное трудовое долголетие работников предприятий с вредными условиями труда. Данное предположение подтверждается и статистическими показателями, количество работающих пенсионеров неуклонно растет, – на сегодняшний день в нашей стране продолжают профессионально-трудовую деятельность в пенсионный период 19 % человек¹ (7,85 млн). Как правило, это сотрудники, продолжающие свою трудовую деятельность на ранее выбранном месте в разных сферах. Демографическое старение населения, традиционно небольшой размер пенсии по возрасту², а также увеличение порога выхода на пенсию по возрасту, ориентированность государства на обеспечение здорового и активного долголетия населения³ актуализируют изучение факторов, оказывающих влияние на решение о пролонгировании трудовой активности в пенсионный период.

В связи с этим мы обращаемся к изучению самооценки факторов профессионального долголетия работников промышленных производств. Специфической группой, безусловно, выступают представители рабочих профессий (операторы, контролеры, монтеры, слесари, токари, шлифовщики). Их профессиональные обязанности тесно связаны с факторами вредности на производстве (химические, физические факторы, факторы трудового процесса), которые относятся к классу 3.1 и 3.4 [1] и, естественно, осуществляют отрицательное воздействие на состояние здоровья человека, способствуя / препятствуя прекращению / продолжению профессионально-трудовой деятельности после достижения пенсионного возраста.

Актуальность изучения данной темы также подтверждается наличием активного научного дискурса в вопросах социально-гигиенического мониторинга состояния здоровья работающих во вредных условиях труда [2, 3], идентификации тенденций профессиональной заболеваемости работников промышленного сектора [4].

Цель исследования – выявление набора факторов, влияющих на принятие решения о продолжении / прекращении профессиональной трудовой деятельности в пенсионный период представителями рабочих профессий вредных производств на основе их субъективной оценки.

¹ Трудовое долголетие [Электронный ресурс]. – URL: <https://hrmag.ru/blog/1351/> (дата обращения: 18.04.2025).

² Минимальная пенсия в России в 2024 году: выплаты по регионам [Электронный ресурс]. – URL: <https://lenta.ru/articles/2024/02/05/minimalnaya-pensiya-v-rossii-v-2024-godu/> (дата обращения: 18.04.2025).

³ Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий: Указ президента от 18 июня 2024 года № 529 [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> (дата обращения: 18.04.2025).

Материалы и методы. Для достижения цели исследования в 2023–2024 гг. на базе Саратовского медицинского научного центра гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в рамках углубленного медицинского осмотра проведен социологический количественный анализ (анкетный опрос, $n = 195$). Респондентами выступили мужчины – представители разных рабочих профессий АО «ЕПК» г. Саратова. Была проведена оценка индекса трудоспособности (WAI) [5] по той же выборке. Полученные количественные данные обработаны с применением статистического пакета программ SPSS 23.

Результаты. В ходе проведения исследования было выдвинуто предположение, что субъективная оценка собственного возраста и состояния здоровья влияет на желание работников продолжить / прекратить трудовую деятельность по достижению пенсионного возраста. Наши исследования показали, что 55 % опрошенных респондентов оценивают свой возраст ниже паспортного, при этом чем старше по возрасту респондент, тем более оптимистичные оценки своего возраста они указывают. Что касается самооценки состояния собственного здоровья, то она достаточно высокая: так, 39 % опрошенных подчеркнули, что чувствуют себя хорошо, 42 % – удовлетворительно. Более половины опрошенных (53 %) отметили, что возраст не станет препятствием для продолжения ими трудовой деятельности.

Анализ индекса трудоспособности (WAI) наших респондентов также свидетельствует о высоких уровнях в оценке собственной работоспособности по всем маркерам: по физическим требованиям к работе: «хорошо» – у 41 %, «очень хорошо» – у 51,7 %; по умственным требованиям: «хорошо» – у 23,6 %, «очень хорошо» – у 75,3 %. Ни один из опрошенных респондентов не оценил собственную работоспособность как плохую или очень плохую.

При анализе рейтинга факторов трудового долголетия, с точки зрения наших респондентов, получается, что сохранение активности и интереса к жизни (83 %), дополнительный заработок (66 %) и помощь детям (61 %) являются самыми важными. Менее значимыми оказались следующие: развитие профессиональных навыков (58 %) и улучшение жилищных условий (50 %). Экономический фактор продолжения профессиональной трудовой деятельности в пенсионный период по-прежнему является актуальным.

Из социальных факторов можно выделить: поддержку семьи (90 %), коллегиальные отношения и дружелюбную атмосферу в коллективе (83 %). При этом для работающих пенсионеров важными оказались такие факторы, как удовлетворенность профессией и социальная значимость, – по 57 %. Влияние социального мотива объясняется трансформацией социальных ролей в обществе, сдвигом в сторону личностного развития и профессиональной реализации в любом возрасте

Для анализа факторов психологического характера нашим респондентам было предложено выбрать соответствующее их самоощущениям высказывание о третьевозрастном этапе жизни человека. Так, 29 % рабочих разных профессий подчеркнули положительную оценку пенсионного периода, 28 % респондентов считают, что пенсия – это обычный период, 15 % описали пенсию как одно из самых счастливых времен в жизни человека. Положительный психологический настрой на более длинную жизнь мотивирует респондентов оставаться в профессии и на третьевозрастном этапе жизни.

Из гигиенических факторов, наиболее влияющих на здоровье респондентов и на их решение о продлении / прекращении трудовой деятельности, мы выделяем следующие: природные, технико-технологические, эргономические – 80 %, доступность медицинской помощи – 77 %, условия труда (психофизиологические, организационно-управленческие) – 74 %. При этом результаты количественного исследования показывают, что откажутся от продолжения работы в пенсионный период по причине плохого здоровья лишь 32,4 % респондентов, а по причине тяжелых условий труда – 37,8 % опрошенных. То есть для большей части представителей рабочих профессий данные гигиенические факторы не являются серьезным препятствием для продолжения профессионально-трудовой деятельности, хотя объективно проблемы со здоровьем присутствуют.

Из полученных данных можно сделать вывод, что, несмотря на тяжесть труда и вредность факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье респондентов, сами опрашиваемые не оценивают условия труда как отрицательно воздействующие на них и высказывают готовность продолжать работать на пенсии. Подчеркнем, что при исследовании мотивов принятия решения о продолжении работы в пенсионный период особое значение имеет совокупность факторов, что не позволяет выделить единственный из них как наиболее важный.

В заключение следует отметить, что на трудовое долголетие представителей рабочих профессий, работающих во вредных условиях труда, в том числе и в пенсионный период, влияет совокупность факторов (экономических, социально-демографических, психолого-физиологических, мотивационных). При этом учитываются индивидуальные особенности: исходное состояние здоровья, стаж работы во вредных условиях труда, индивидуальная переносимость вредных условий труда – «эффект здорового рабочего» и образ жизни, включающий здоровьесберегающие практики.

Список литературы

1. Социально-гигиенические детерминанты здоровья работников производства подшипников / Ю.А. Алешина, Т.А. Новикова, А.Г. Мигачева, Н.А. Кочетова // Медицина труда и экология человека. – 2023. – № 3 (35). – С. 7–22.
2. Ахильгова М.Т. Выход на пенсию как кризис личностного развития // Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения: мат. междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2019. – С. 43–45.
3. Безрукова Г.А., Поздняков М.В., Новикова Т.А. Использование цифровых технологий в социально-гигиеническом мониторинге состояния здоровья работающих во вредных условиях труда // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100 (10). – С. 1157–1162.
4. Безрукова Г.А., Новикова Т.А. Современные тенденции профессиональной заболеваемости работников промышленного сектора в разрезе видов экономической деятельности // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 12 (2). – С. 192–197.
5. Ilmarinen J. The Work Ability Index (WAI) // Occupational Medicine. – 2007. – Vol. 57 (2). – P. 160.

Иммунный статус и полиморфизм гена *eNOS* rs1799983 у работников химической промышленности с новообразованиями гепатобилиарной системы

А.В. Ярома, О.В. Долгих, О.А. Казакова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Нарушения функционального состояния желчевыводящих путей может сопровождаться измененной экспрессией NO-синтазы. В связи с тем что азотсодержащие соединения (нитраты, нитриты, нитрозамины) являются источником дополнительных NO групп, вызывающих повреждения ДНК, стимулирующих клеточную пролиферацию, эндотелиальная синтаза оксида азота является регулятором клеточной пролиферации и апоптоза. Полиморфизм гена *eNOS* может влиять на течение гиперпластических процессов слизистых оболочек гепатобилиарной системы и увеличивать риск развития предраковых состояний. В работе приняли участие 82 работника предприятия химической промышленности, из них группа наблюдения – 38 человек с новообразованиями печени, желчного пузыря и желчных протоков (МКБ10 D37.6), группа сравнения – 44 условно здоровых человека. Выполнен анализ содержания нитратов и нитритов в моче, проведена оценка специфического иммунного ответа IgG к нитрозодиметиламину, изучены кластеры клеточной дифференцировки CD16+CD56+, а также проведена оценка полиморфизма гена *eNOS* rs1799983. Установлено, что G-дикий аллель и GG-генотип гена *eNOS* выступают в качестве фактора риска ($RR = 1,28$) развития нарушений здоровья, ассоциированных с фенотипами полиморфных вариантов гена эндотелиальной NO-синтазы, на фоне контаминации биосред нитратами и нитритами, повышения специфического IgG к нитрозодиметиламину и угнетением относительной продукции NK-клеток. А сами показатели могут быть рекомендованы в качестве индикаторных для задач диагностики и профилактики формирования новообразований у работников предприятий химической промышленности.

Ключевые слова: рабочие, новообразования, нитраты, нитриты, *eNOS*, IgG специфический к нитрозодиметиламину.

На печень как орган детоксикации негативно воздействуют многие химические соединения, в том числе азотсодержащие. Нитраты и нитриты являются важными соединениями, но они могут стать опасными, если образуют нитрозамины. Нитраты, в процессе распада которых образуются нитроамины, оказывают воздействие на гладкие мышцы желчного пузыря и желчных протоков, что приводит к их расслаблению [1]. Действие нитратов на слизистую проявляется в снижении ее защитных свойств, повышенной клеточно-образовательной активности, что ведет к образованию полипов. Действие наследственных факторов и мутации генов способствуют активации процессов пролиферации в клетках.

Механизм действия нитрозаминов на перерождение гиперпластических образований слизистой связан с их генотоксичностью. Происходит алкилирование ДНК путем образования иона метилдiazония, являющегося сильным алкилирующим агентом, способным изменять ДНК, а также нарушать ее репликационный

процесс. Также, благодаря кумуляции нитрозопроизводных соединений в печени, увеличивается вероятность малигнизации клеток за счет постоянного повреждающего воздействия на процессы репликации [2].

Нитраты и гены человека связаны через процесс преобразования нитратов в эндогенную связанную окись азота (NO). Активность и уровень окиси азота зависят от аллельного варианта гена *eNOS* – эндотелиальной синтазы оксида азота [3]. Окись азота под действием *eNOS* способствует прогрессированию опухолей, усиливает действие проангиогенных факторов, стимулирует ангиогенез, лимфангиогенез и метастазирование [4].

Считается, что полиморфизмы гена *eNOS* коррелируют с вероятностью развития рака, но полученные данные противоречивы. Риск развития колоректального рака при генотипах TT и GT полиморфизма *eNOS* G894T был значительно выше, чем при генотипе GG [5]. В работе S.B. Diler [6] приводятся данные о связи онкопролиферативных заболеваний мужской репродуктивной системы с аллелем T и генотипами GT и TT. Однако рядом других исследований [7, 8] взаимосвязи полиморфизмов с развитием различных форм рака не были доказаны.

Цель исследования – оценка особенностей полиморфизма гена эндотелиальной синтазы оксида азота (*eNOS* Glu298Asp) и показателей иммунного профиля у рабочих предприятия химической промышленности, имеющих онкопролиферативные заболевания гепатобилиарной системы.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 82 работника химического производства в возрасте от 22 до 64 лет. Из них группа наблюдения, ассоциированная с новообразованиями печени, желчного пузыря и желчных протоков (МКБ10 D37.6), – 38 человек (средний возраст $42,5 \pm 3,2$ года), а группа сравнения – 44 условно здоровых человека ($41,6 \pm 2,8$ года).

Все обследования проводились на базе ФБУН «ФНЦ МРТ УРЗН» с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации ВМА.

Образцы воздуха рабочей зоны на наличие оксида и диоксида азота, а также аммиака (МВИ. МН 5910-2017 «Массовая концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны. Методика выполнения измерений фотометрическим методом») анализировали электрохимическим методом с помощью газоанализатора «ГАНК-4».

Исследование образцов мочи на содержание нитратов и нитритов выполняли с применением метода капиллярного электрофореза на газовом хроматографе с применением специфического к N-нитрозаминам термоионного детектора и аналитической колонки серии DB-624-30m×0,32mm×1,8μm.

Выполнена оценка следующих иммунных показателей: аллергосорбентным методом выявляли содержание IgG специфического к нитрозодиметиланину. С помощью проточной цитометрии определяли NK-клетки CD16+56+ (натуральные киллеры) на проточном цитометре BD FACSCalibur (США) с использованием соответствующих моноклональных антител с помощью универсальной программы CellQuestPro.

Выделение ДНК из буккального эпителия проводилось с помощью набора «ДНК-Сорб-АМ». Исследование полиморфизма гена *eNOS* rs1799983 проводилось на амплификаторе CFX96 методом ПЦР в реальном времени с применением набора реагентов компании «Синтол».

Обработка данных осуществлялась с помощью программ Statistica 12.0 (StatSoft Inc, США) и Microsoft Excel (2013). Определяли значение (X) и его стан-

дартное отклонение (*SD*). Сравнение средних осуществлялось методом *t*-критерия Стьюдента.

При составлении аллель- и генотип-ассоциированной модели учитывали такие критерии, как *OR* – отношение шансов, *CI* – доверительный интервал, *HWE* – равновесие Харди – Вайнберга, *N* – число и χ^2 – критерий хи-квадрат. Вероятность онкопролиферативной патологии, а конкретнее ее увеличение при наличии определенной аллели кандидатного гена, оценивали при помощи критерия *RR* (относительного риска). При уровне значимости более 95 % ($p < 0,05$) отличия считали достоверными.

Результаты. По результатам химико-аналитического исследования состояния воздуха рабочей зоны не выявлено превышений ПДК по нитрозосодержащим веществам (аммиак – до 20 мг/м³, оксид азота – до 5 мг/м³).

Содержание в биосредах (моча) азотсодержащих соединений группы наблюдения: нитраты – $61,19 \pm 14,34$ мг/дм³ (при допустимом уровне менее 43,7 мг/дм³ [9]), нитриты – $1,22 \pm 0,51$ мг/дм³ (в норме отсутствуют).

По результатам оценки содержания IgG специфического к нитрозодиметиламину в группе наблюдения ($0,25 \pm 0,14$ усл. ед.) выявлено превышение в 1,3 раза относительно данных группы сравнения ($0,19 \pm 0,13$ усл. ед.) при норме 0–0,1 усл. ед. Рост уровня специфических антител говорит о способности конъюгации нитрозосодержащих веществ с эндогенными протеинами, что приводит к проявлению антигенных свойств [10].

Сравнительный анализ кластеров клеточной дифференцировки в анализируемых группах позволил выявить, что группа наблюдения ($12 \pm 2,18$ %) по относительному уровню Т-лимфоцитов CD16+CD56+ ниже группы сравнения ($15,33 \pm 3,05$ %) в 1,2 раза ($p < 0,05$), при этом отмечается прямая достоверная зависимость от уровня нитритов в биосредах (моча) ($r = 0,28$; $p = 0,012$). CD16+CD56+ – распознают и уничтожают клетки, зараженные вирусами или бактериями, опухолевые клетки, а также другие клетки аллогенного и ксеногенного происхождения. Снижение уровня NK-клеток характерно для онкобольных, что подтверждается другими исследованиями [11].

Активация NK-клеток на фоне роста специфических антител также рассматривается как вариант реагирования исследуемой группы на злокачественные опухоли [12].

Для работников предприятия, имеющих новообразования печени, желчного пузыря и желчных протоков (D37.6), отмечается достоверное повышение частоты G дикого аллеля ($OR = 2,53$, $CI: 1,23–5,22$; $RR = 1,28$, $CI: 1,06–1,55$; $p < 0,05$) и GG-генотипа ($OR = 3,72$, $CI: 1,49–9,29$; $p < 0,05$) гена эндотелиальной NO-синтазы *eNOS* Glu298Asp в 1,3 и 1,9 раза соответственно. Участие полиморфизма гена *eNOS* в развитии новообразований печени подтверждается и другими исследованиями [13]. При повреждении печени ген эндотелиальной синтазы оксида азота выступает ее адаптационным резервом за счет усиления перфузии, ограничения тромбоза и миграции полиморфноядерных лейкоцитов [14].

Выводы. Наблюдаемые эффекты экспозиции нитрозаминами (нитрозодиметиламин) у работников группы наблюдения по отношению к данным группы сравнения отличаются избыточностью содержания специфических реакинов к нитрозодиметиламину (в 1,3 раза) и угнетением экспрессии кластера натуральных киллеров по CD16+CD56+ отн. (в 1,2 раза) на фоне GG-полиморфизма гена *eNOS* Glu298Asp.

Установленные показатели и их уровни могут быть рекомендованы в качестве индикаторных для задач ранней диагностики и профилактики формирования новообразований у работников предприятия химической промышленности.

Список литературы

1. Лупанов В.П. Применение нитратов у больных стабильной стенокардией // РМЖ. – 2006. – № 20. – С. 1406.
2. Примеси нитрозаминов в лекарственных препаратах: пути образования и механизмы токсического действия / М.Д. Хорольский, А.А. Чапленко, А.М. Власов [и др.] // Медицина. – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 12–24.
3. Ассоциация генетического полиморфизма гена эндотелиальной синтазы оксида азота с сердечно-сосудистой патологией [Электронный ресурс] / А.А. Куба, Ю.М. Никонова, О.М. Феликсова, А.В. Хромова, Н.А. Бебякова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=17352> (дата обращения: 12.04.2025).
4. Роль оксида азота и эндотелиальной NO-синтазы в канцерогенезе / В.П. Дерягина, Н.И. Рыжова, Л.А. Савлущинская, К.И. Кирсанов // Успехи молекулярной онкологии. – 2021. – № 2. – С. 29–39.
5. The Correlation of Endothelial Nitric Oxide Synthase Gene rs1799983 Polymorphisms with Colorectal Cancer / A. Adibmanesh, M. Bijanzadeh, G. Mohammadzadeh, R. Alidadi, M. Rashidi, A. Talaiezhadeh // Int J Cancer Manag. – 2020. – Vol. 13 (5). – P. 97220. DOI: 10.5812/ijcm.97220
6. Diler S.B., Öden A. The T-786C, G894T, and intron 4 VNTR (4a/b) polymorphisms of the endothelial nitric oxide synthase gene in prostate cancer cases // Russian Journal of Genetics. – 2016. – Vol. 52, № 2. – P. 220–225. DOI: 10.1134/S1022795416020022
7. Modern Techniques in Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) Control and Resistance Management: History Review and Future Perspectives / M. Kadoić Balaško, K.M. Mikac, R. Bažok, D. Lemic // Insects. – 2020. – № 11 (9). – P. 581. DOI: 10.3390/insects11090581
8. Involvement of endothelial nitric oxide synthase gene variants in the aggressiveness of uterine cervical cancer / W.-C. Hung, T.-F. Wu, S.-C. Ng, Y.-C. Lee, H.-P. Shen, S.-F. Yang, P.-H. Wang // Journal of Cancer. – 2019. – Vol. 10. – P. 2594–2600. DOI: 10.7150/jca.33192
9. Количественные показатели нитратов в моче и N-нитрозодиметиламина в крови как маркеры пероральной экспозиции нитратов, поступающих с питьевой водой / Н.В. Зайцева, Т.С. Уланова, Т.В. Нурисламова, Н.А. Попова, О.А. Мальцева // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 11. – С. 1087–1092.
10. Казакова О.А., Ярома А.В., Долгих О.В. Контаминация биосред нитрозаминами как фактор развития нарушений иммунного статуса у школьников с диспепсией в условиях измененного полиморфизма генов-кандидатов // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 11. – С. 1362–1367. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1362-1367
11. Субпопуляционный баланс эффекторных клеток периферической крови онкологических больных / Д.В. Табаков, Т.Н. Заботина, Е.Н. Захарова, А.А. Бору-

нова, О.В. Короткова, А.И. Черткова, И.О. Панчук, З.Г. Кадагидзе // Иммунология. – 2019. – Т. 40, № 3. – С. 20–27. DOI: 10.24411/0206-4952-2019-13003

12. Новик А.В., Проценко С.А., Балдуева И.А. Использование оценки состояния адаптивной иммунной системы у больных со злокачественными солидными опухолями в качестве предиктивных или прогностических факторов: систематический обзор // Эффективная фармакотерапия. – 2020. – Т. 16, № 33. – С. 58–75. DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-33-58-75

13. Tetrahydrobiopterin has a glucose-lowering effect by suppressing hepatic gluconeogenesis in an endothelial nitric oxide synthase-dependent manner in diabetic mice / A. Abudukadier, Y. Fujita, A. Obara, A. Ohashi, T. Fukushima, Y. Sato, M. Ogura, Y. Nakamura, S. Fujimoto, M. Hosokawa, H. Hasegawa, N. Inagaki // Diabetes Metab. Res. Rev. – 2013. – № 62. – P. 3033–3043. DOI: 10.2337/db12-1242

14. Distribution of nitric oxide synthase in normal and cirrhotic human liver / L. McNaughton, L. Puttagunta, M.A. Martinez-Cuesta, N. Kneteman, I. Mayers, R. Moqbel, Q. Hamid, M.W. Radomski // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2002. – Vol. 99. – P. 17161–17166.

Раздел V

Обеспечение качества и безопасности пищевой продукции по критериям рисков для здоровья населения

Контаминация пищевых продуктов как фактор риска заболеваний: количественная оценка и управление рисками

В.М. Чигвинцев, Н.В. Никифорова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Контаминация пищевых продуктов химическими и биологическими загрязнителями в концентрациях, превышающих предельно допустимые, представляет собой значительную угрозу для здоровья населения. В данной работе проводится количественная оценка связи загрязнения пищевых продуктов с заболеваемостью населения с применением методов статистического моделирования (регрессионный анализ) и оценка риска здоровью населения от воздействия контаминантов пищевой продукции.

Для анализа связи выбраны группы пищевых продуктов, занимающие наибольшую долю в структуре потребления (мясные, молочные, зерновые, овощи и фрукты), а также приоритетные загрязнители (тяжелые металлы, пестициды, микотоксины, нитрозамины и др.). В рамках исследования оцениваются уровни риска здоровью населения, формируемые факторами опасности продукции, с учетом их распространенности и тяжести последствий для здоровья.

Результаты исследования позволяют выявить наиболее значимые факторы риска продукции и обосновать приоритетные направления контроля и профилактики. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации системы мониторинга безопасности пищевой продукции и разработки целевых мероприятий, направленных на снижение рисков для здоровья населения.

Ключевые слова: контаминанты пищевых продуктов, заболеваемость, линейная регрессия, риск-ориентированный контроль, продовольственная безопасность.

Проблема контаминации пищевых продуктов остается значимой на протяжении многих лет, сохраняя свою актуальность в связи с комплексом факторов, включая интенсификацию производства, экологические риски, расширение ассортимента пищевой продукции и недостаточный контроль качества со стороны производителей. Эти факторы способствуют снижению безопасности и пищевой ценности продуктов, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на здоровье населения.

Контаминанты пищевой продукции, в зависимости от их природы и механизма действия, способны индуцировать широкий спектр патологических состояний – от острых интоксикаций до хронических системных нарушений. Их негативное влияние на организм человека обусловлено прямым токсическим, мутагенным, аллергенным или кумулятивным воздействием, что определяет их значимость в этиологии различных заболеваний.

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост распространенности алиментарно-зависимых патологий среди всех возрастных групп, что свидетельствует о необходимости углубленного изучения роли пищевых контаминантов в их развитии. Согласно современным исследованиям, помимо дисбаланса нутриентов,

значительное влияние оказывает наличие в продуктах питания ксенобиотиков, включая нитраты, тяжелые металлы, пестициды и антибиотики. Особую опасность представляют нитраты, являющиеся одним из основных химических загрязнителей растительной продукции. При превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) они способствуют развитию хронических заболеваний [1]. Аналогичный эффект демонстрируют тяжелые металлы и пестициды, поступающие в мясное сырье преимущественно через корма [2].

Внедрение риск-ориентированного подхода в систему контроля качества пищевой продукции рассматривается как ключевое направление повышения эффективности государственного регулирования. В связи с этим проведение исследований, направленных на количественную оценку влияния контаминантов на заболеваемость населения, является актуальной научной задачей.

Цель исследования – провести количественную оценку влияния загрязнения пищевых продуктов химическими примесями и микробиологическими агентами на заболеваемость населения с учетом вклада отдельных контаминантов, их распространенности и степени воздействия на здоровье населения.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования был проведен комплексный анализ данных Федерального статистического наблюдения формы № 18 «Сведения о санитарном состоянии субъекта Российской Федерации» за период 2021–2023 гг. Исследование включало как общероссийские показатели, так и региональные особенности санитарно-эпидемиологического состояния. В качестве объекта исследования были выделены 92 категории продовольственного сырья и пищевой продукции, оценка безопасности которых проводилась по 40 ключевым показателям, включая санитарно-химические, микробиологические и паразитологические параметры, содержание патогенной микрофлоры, остаточных количеств антибиотиков и радиоактивных веществ. Для каждого анализируемого показателя рассчитывались два основных параметра: доля проб, не соответствующих установленным санитарно-эпидемиологическим нормативам, и значение 95-го перцентиля доли нарушений за изучаемый трехлетний период.

Для оценки состояния здоровья населения использовали форму федерального статистического наблюдения № 12 Министерства здравоохранения Российской Федерации «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в зоне обслуживания медицинской организации». Анализ проводился по всем регионам страны за аналогичный период наблюдения (2021–2023 гг.), что обеспечило сопоставимость данных о качестве пищевой продукции и показателях здоровья населения.

Количественная оценка связи контаминации пищевых продуктов с заболеваемостью населения осуществлялась посредством построения причинно-следственных моделей. Методологической основой послужил анализ зависимостей между частотой выявления отклонений от санитарных нормативов и показателями заболеваемости населения в региональном разрезе с учетом степени тяжести последствий для здоровья. Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов линейного регрессионного анализа, при этом особое внимание уделялось оценке уровня статистической значимости (p -value) и коэффициента детерминации (R^2) построенных моделей. Общий вид уравнения может быть записан в следующем виде:

$$y_{ij}^k = \beta_{j0}^k + \alpha_{ij}^k \cdot x_i^k,$$

где y_{ij}^k – частота нарушение здоровья по j -му классу заболеваний, формируемое нарушением санитарно-эпидемиологических требований к i -му фактору опасности k -й продукции (сл./10 тыс. нас.);

x_i^k – доля нарушений обязательных требований безопасности к продукции по i -му фактору опасности k -й продукции;

α , β – параметры регрессионной модели.

Для обеспечения достоверности полученных результатов была проведена их независимая экспертиза специалистами в области гигиены питания и токсикологии.

Оценка уровней риска здоровью населения, формируемых факторами опасности продукции, базировалась на двух ключевых компонентах: вероятностной характеристике нарушений (рассчитанной на основе 95-го перцентиля распределения отклонений) и количественной оценке относительного вреда здоровью, полученной из регрессионных моделей:

$$R_{ij}^k = P_i^k \cdot \alpha_{ij}^k \cdot g_j,$$

где P_i^k – 95-й перцентиль вероятность нарушений обязательных требований безопасности к продукции по i -му фактору опасности k -й продукции;

α_{ij}^k – параметр регрессионной модели, отражающий нарушение здоровья по j -му классу заболеваний, формируемое нарушением санитарно-эпидемиологических требований к i -му фактору опасности k -й продукции;

g_j – тяжесть нарушения здоровья по j -му классу заболеваний.

Такой подход позволил не только выявить наиболее значимые факторы пищевого риска, но и оценить их потенциальное влияние на здоровье.

Результаты. *Анализ зависимостей между частотой выявления отклонений от санитарных нормативов и показателями заболеваемости населения.* Результаты проведенного регрессионного анализа выявили статистически значимые зависимости между показателями нарушений санитарных норм пищевой продукции и заболеваемостью населения. Полученные данные позволяют выделить несколько ключевых групп риска продукции, представляющих наибольшую опасность для здоровья потребителей.

Проведенные исследования выявили статистически значимые связи между микробиологической контаминацией пищевой продукции и инфекционной заболеваемостью. Установлена зависимость между уровнем микробной обсемененности продукции предприятий общественного питания и частотой инфекционных и паразитарных заболеваний – $\alpha = 4737,19$ ($R^2 = 0,02$; $p = 0,03$), в том числе с кишечными инфекциями – $\alpha = 2685,53$ ($R^2 = 0,1$; $p = 0,01$) [4]. Аналогичные закономерности выявлены для молочной продукции: обнаружены достоверные связи с инфекционно-паразитарными болезнями – $\alpha = 4321,43$ ($R^2 = 0,02$; $p = 0,02$), в том числе с кишечными инфекциями – $\alpha = 1526,33$ ($R^2 = 0,05$; $p = 0,01$). Для пресерв значение коэффициента связи с инфекционно-паразитарными болезнями составило $\alpha = 1668,28$ ($R^2 = 0,17$; $p = 0,02$). Полученные данные позволяют предположить, что выявленные зависимо-

сти могут быть обусловлены как непосредственным патогенным действием микроорганизмов, так и развитием системных воспалительных реакций в организме.

Установлена связь между контаминацией пищевых продуктов химическими примесями и заболеваемостью населения. Установлены связи между содержанием в безалкогольных напитках металлов, таких как кадмий, и новообразованиями – $\alpha = 181930,22$ ($R^2 = 0,04$; $p = 0,01$), а также и эндокринными нарушениями – $\alpha = 322801,24$ ($R^2 = 0,06$; $p = 0,01$) [5]. Подобные значения могут объясняться кумулятивным эффектом и способностью тяжелых металлов вызывать системные поражения организма.

Регрессионный анализ продемонстрировал выраженную связь между превышением нормативов по нитратам в питьевой воде и заболеваемостью кишечника – $\alpha = 10135,39$ ($R^2 = 0,12$; $p = 0,01$) [6], а также патологиями поджелудочной железы – $\alpha = 823,27$ ($R^2 = 0,11$; $p = 0,01$).

Результаты проведенного статистического анализа свидетельствуют о наличии выраженных корреляционных взаимосвязей между содержанием антибактериальных препаратов в продуктах предприятий общественного питания и риском развития определенных нозологических форм. Были установлены статистически значимые ассоциации с патологиями мочеполовой системы – $\alpha = 1066525,11$ ($R^2 = 0,84$; $p = 0,01$), а также с гастритом и дуоденитом – $\alpha = 119351,81$ ($R^2 = 0,46$; $p = 0,01$). Полученные коэффициенты регрессии демонстрируют высокую степень ассоциации, что требует дальнейшего изучения потенциальных патогенетических механизмов, лежащих в основе выявленных зависимостей.

Установлена значимая связь между содержанием микотоксинов в продуктах детского питания и патологиями поджелудочной железы – $\alpha = 95550,50$ ($R^2 = 0,05$; $p = 0,02$). Особую актуальность полученные данные приобретают в связи с повышенной чувствительностью детского организма к токсическим воздействиям, что диктует необходимость усиления мониторинга остаточных количеств микотоксинов и фармакологически активных веществ в пищевой продукции.

Полученные результаты демонстрируют значительную вариабельность коэффициентов регрессии, варьирующихся в диапазоне от единиц до миллионов. Такой широкий разброс значений свидетельствует о необходимости применения дифференцированного подхода к интерпретации данных. Особое внимание следует уделить анализу факторов, способствующих столь существенным различиям в величине коэффициентов, включая возможные нелинейные зависимости, эффекты взаимодействия между переменными и особенности распределения исходных данных.

Высокие значения регрессионных коэффициентов требуют особо тщательно анализа. С одной стороны, они могут отражать реально существующие сильные корреляционные связи между нарушениями санитарных норм в пищевой продукции и показателями заболеваемости населения. С другой стороны, подобные значения могут быть следствием особенностей построения статистической модели, включая возможные проблемы мультиколлинеарности и выбросы в данных.

Анализ вреда здоровью, ассоциированного с нарушениями безопасности отдельных видов пищевой продукции. Заключительный этап исследования выявил значительную вариабельность уровней риска для здоровья потребителей, формируемых небезопасной продукцией. Анализ данных позволил выделить три ключевые категории рисков, представляющих наибольшую опасность для населения.

В группе микробиологических рисков особого внимания заслуживает продукция общественного питания, демонстрирующая повышенную вероятность развития инфекционных и паразитарных заболеваний ($R = 5,23 \cdot 10^{-4}$), в том числе кишечных инфекций ($R = 2,97 \cdot 10^{-4}$). Риск инфекционных и паразитарных заболеваний, вероятно ассоциированный с микробиологическими факторами, в молочной продукции составляет $6,02 \cdot 10^{-4}$, а в пресервах – $1,88 \cdot 10^{-3}$.

Риски развития нарушений поджелудочной железы от воздействия нитратов, поступающих с питьевой водой, составили $R = 1,31 \cdot 10^{-5}$, а для заболеваний кишечника – $R = 2,14 \cdot 10^{-4}$. Особую группу риска составляют продукты детского питания. Контаминация продукции детского питания микробиологическими агентами формирует риск развития кишечных инфекций ($R = 5,26 \cdot 10^{-5}$).

Анализ распределения рисков по видам продукции показал, что приоритетными являются три основных категории: продукция общественного питания, молочная и плодоовощная продукция.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Во-первых, приоритетными направлениями контроля должны стать: обеспечение микробиологической безопасности продукции общественного питания, мониторинг содержания тяжелых металлов в растительной продукции и усиленный контроль качества детского питания. Во-вторых, для совершенствования системы оценки рисков необходимо внедрение методологии учета кумулятивных эффектов при одновременном воздействии множественных загрязнителей. Полученные результаты имеют существенное практическое значение для оптимизации надзорных мероприятий и разработки целевых профилактических программ. Они позволяют дифференцировать подход к контролю пищевой продукции, сосредоточив внимание на наиболее рискованных категориях и параметрах, что в конечном счете будет способствовать снижению алиментарно-зависимой заболеваемости населения.

Список литературы

1. Безопасность пищевой продукции: новые проблемы и пути решений / С.А. Хотимченко, В.В. Бессонов, О.В. Багрянцева, И.В. Гмошинский // Медицина труда и экология человека. – 2015. – № 4. – С. 1–14.
2. Чупракова А.М., Ребезов М.Б. Анализ результатов мониторинга проб мясных и рыбных продуктов на содержание тяжелых металлов // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Экономика и менеджмент. – 2015. – Т. 9, № 2. – С. 194–201.
3. Обоснование допустимых уровней содержания нитратов в растениеводческой продукции по критериям риска здоровью / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, Д.А. Кирьянов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – 2013. – № 11. – С. 47–48.
4. Дерюшева О. Микробиология и эпидемиология в общественном питании. – Litres, 2024.
5. Шур П.З., Фокин В.А., Новоселов В.Г. К вопросу об оценке допустимого суточного поступления кадмия с продуктами питания // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – № 12 (273). – С. 30–32.
6. Ненормативное качество питьевой воды как фактор риска здоровью населения / А.А. Никулин [и др.] // Актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на уровне субъекта Федерации. – 2017. – С. 126–130.

Оценка риска здоровью населения Социалистической Республики Вьетнам, обусловленного потреблением мясных продуктов, содержащих N-нитрозоамины

С.Е. Зеленкин¹, Д.В. Суворов¹, Ле Тхи Хонг Хао²,
Тран Цао Сон², Нгуен Тни Хонг Нгок², Буи Цао Тиен²

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

²Национальный институт по контролю качества пищевых продуктов,
г. Ханой, Вьетнам

В рамках совместной научной работы «Оценка риска для здоровья населения, формируемого потреблением N-нитрозоаминов с пищевыми продуктами населением Социалистической Республики Вьетнам и Российской Федерации, с учетом разработанных параметров зависимости “экспозиция–ответ”», выполняемой в 2023–2025 гг., на первом этапе была проведена оценка риска для здоровья населения Социалистической Республики Вьетнам, формируемого потреблением мяса и мясных продуктов, содержащих N-нитрозоамины. Установлено, что среди выявленных в мясе и мясных продуктах девяти N-нитрозоаминов в дальнейшую оценку риска включены N-нитрозодиметиламин (НДМА) и N-нитрозодифениламин (НДФА), поскольку они соответствовали критериям включения (наличие в концентрациях, выше предела определения, более чем в 5 % проб продуктов; наличие параметров для оценки канцерогенного риска; наличие параметров для оценки неканцерогенного риска).

Установлено формирование настораживающего уровня канцерогенного риска и неприемлемого уровня неканцерогенного риска, обусловленного экспозицией НДМА, для здоровья взрослого населения 18–50 лет, потребляющих запеченные мясо и мясные продукты, а также мясо и мясные продукты, приготовленные на гриле. Также установлено формирование неприемлемого уровня неканцерогенного риска для здоровья детского населения до 6 лет, обусловленного экспозицией НДМА с мясом и мясными продуктами, приготовленными на гриле.

Ключевые слова: N-нитрозоамины, мясные продукты, оценка риска, здоровье населения, Вьетнам.

В рамках реализации федерального проекта «Санитарный щит» в 2023 г. была разработана Дорожная карта совместной научно-исследовательской работы между ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (г. Пермь, Россия) и Национальным институтом по контролю качества пищевых продуктов (National Institute of Food Control, NIFC, г. Ханой, Вьетнам) на 2023–2025 гг. Одним из этапов выполнения работы являлась оценка риска здоровью населения Социалистической Республики Вьетнам (СРВ), формируемого поступлением N-нитрозоаминов с мясом и мясными продуктами.

Мясо является источником незаменимых аминокислот, витаминов, минералов, насыщенных жирных кислот. Так, мясо и мясные продукты (без учета птицы и рыбы) вносят значительный вклад в среднее потребление (в % от общего потребле-

ния): белка – на 27 %, жиров – на 21 %, насыщенных жирных кислот – на 20 %, мононенасыщенных жирных кислот – на 26 %, витамина А – на 40 %, витамина D – на 16 %, тиамина – на 33 %, рибофлавина – на 17 %, ниацина – на 27 %, витамина B₆ – на 21 %, витамина B₁₂ – на 35 %, фосфора – на 15 %, железа – на 20 %, цинка – на 33 % и селена – на 25 % [1].

Вместе с тем в мясных продуктах, при обработке которых использовались нитриты и нитраты в качестве пищевых добавок, образуются N-нитрозоамины. Ряд исследований показал, что существует положительная корреляция между количеством добавленных нитритов и количеством образовавшихся N-нитрозоаминов [2–4]. Кроме того, содержание N-нитрозоаминов в мясе и мясных продуктах может увеличиваться во время термической обработки (жарка, копчение, запекание и др.) [4–6].

N-нитрозоамины, поступающие в организм, обладают канцерогенным потенциалом и могут стать фактором развития злокачественных новообразований [7]. Кроме того, на основании проведенных ранее исследований установлено, что N-нитрозоамины относятся к веществам, приоритетным для оценки их безопасности в пищевых продуктах [8]. Вместе с тем имеются сведения о неканцерогенных гепатотоксических эффектах N-нитрозоаминов (вакуолизация и дегенерация гепатоцитов, портальная венопатия и некроз/кровоизлияние, формирование воспалительных инфильтратов в районе портальных желчных путей [9, 10]).

Таким образом, оценка безопасности поступления N-нитрозоаминов с мясом и мясными продуктами в организм является актуальной. Основным критерием безопасности продукции является величина риска, связанного с причинением вреда жизни или здоровью.

Поскольку предметом оценки риска являлось влияние содержания N-нитрозоаминов в мясе и мясной продукции на здоровье населения Социалистической Республики Вьетнам, основными задачами данной работы являлись:

- 1) проведение идентификации опасности N-нитрозоаминов; отбор приоритетных по степени опасности для здоровья химических факторов с целью последующей количественной оценки риска;
- 2) обобщение данных о параметрах и критериях для оценки зависимости «доза – ответ»;
- 3) проведение оценки экспозиции N-нитрозоаминами, поступающими с потребляемыми мясом и мясными продуктами, реализуемыми в Социалистической Республике Вьетнам;
- 4) характеристика риска для здоровья населения при потреблении мяса и мясных продуктов, реализуемых в Социалистической Республике Вьетнам (СРВ), на основе коэффициентов опасности и уровня канцерогенного риска, а также выделение приоритетных N-нитрозоаминов, для которых целесообразна разработка параметров для количественной оценки неканцерогенного риска.

Материалы и методы. Оценка риска здоровью населения проводилась в соответствии с положениями Р.2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (далее – Руководство) [11], а также с методологией оценки риска, принятой на территории стран Евразийского экономического союза [12].

Оценка риска основывалась на основании данных, полученных в ходе исследований NIFC, по количественному содержанию N-нитрозоаминов в различных группах мясных продуктов и объемам потребления мяса и мясных продуктов дет-

ским и взрослым населением СРВ по группам: дети до 6 лет; дети 7–17 лет; взрослые 18–50 лет; взрослые старше 50 лет.

Результаты. В рамках этапа идентификации опасности было проведено исследование содержания N-нитрозоаминов в пробах мяса и мясных продуктов, реализуемых на территории СРВ [13]. Для количественного определения 9 N-нитрозоаминов (N-нитрозодиметиламин, НДМА; N-нитрозометилэтиламин, НМЭА; N-нитрозодизетиламин, НДЭА; N-нитрозодибутиламин, НДБА; N-нитрозодипропиламин, НДПА; N-нитрозопиперидин, НПипНА; N-нитрозопирролидин, НПирНА; N-нитрозоморфолин, НМорфНА; N-нитрозодифениламин, НДФА) применялся метод газовой хроматографии/масс-спектрометрии – масс-спектрометрии. Всего был проанализирован 131 образец, представляющий 98 различных наименований мясной продукции.

В ходе проведенных исследований было установлено, что содержание N-нитрозоаминов в мясе и мясных продуктах, реализуемых на территории СРВ, варьировалось от 0,0002 до 0,012 мг/кг. Наиболее часто обнаруживаемым N-нитрозоамином был НДМА, который присутствовал во всех исследуемых группах продуктов. При этом наибольшие средние концентрации НДМА были выявлены в мясе и мясных продуктах, приготовленных на гриле (0,0048 мг/кг), а наименьшие – в жареных (0,0027 мг/кг). НДФА был обнаружен только в мясе и мясных продуктах, приготовленных на гриле, в среднем значении 0,0005 мг/кг. Остальные N-нитрозоамины (НМЭА, НДЭА, НДПА, НДБА, НПипНА, НПирНА и НМорфНА) во всех исследованных пробах не превысили нижнего предела определения (НПО), который составил 0,0002 мг/кг. Данный факт может быть обусловлен их низким содержанием или отсутствием в исследованных пробах.

Результаты анализа содержания N-нитрозоаминов в отобранных пробах мяса и мясных продуктов продемонстрировали, что концентрации большинства исследованных соединений, за исключением НДМА и НДФА, были меньше НПО более чем в 95 % образцов. На основании методологических принципов оценки риска содержание НМЭА, НДЭА, НДБА, НДПА, НПипНА, НПирНА и НМорфНА в этих пробах условно принято за нулевое, что исключает их из дальнейшей оценки риска.

Вместе с тем концентрации НДФА в отобранных образцах не превышали предела определения менее чем в 95 % проб. В связи с этим при количественной оценке риска для проб с содержанием НДФА ниже НПО значение его концентрации было принято равным половине нижнего предела определения, что составляет 0,0001 мг/кг.

Для оценки неканцерогенных эффектов на этапе идентификации опасности был проведен анализ доступных данных о референтных дозах (*RfD*) исследуемых химических веществ. Одновременно с этим для каждого вещества определяли критические органы, системы и эффекты, которые соответствуют установленным референтным дозам. Параметры для оценки неканцерогенных эффектов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сведения о параметрах опасности развития неканцерогенных эффектов

№ п/п	Вещество	<i>RfD</i> , мг/кг	Критические органы и системы
1	НДМА	0,000008	Процессы развития
2	НДФА	0,02	Глаза (помутнение роговой оболочки), системное действие (масса тела)

Для оценки канцерогенного потенциала выявленных N-нитрозоаминов была проведена идентификация их опасности в соответствии с классификациями Международного агентства по изучению рака (IARC) и Агентства по охране окружающей среды США (US EPA).

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что по классификации IARC НДМА относится к классу 2А, то есть является вероятным канцерогеном для человека. НДФА отнесен к классу 3, что означает, что он не классифицируется как канцероген для человека. Согласно классификации US EPA, оба соединения относятся к классу В2, что соответствует вероятным канцерогенам для человека. Важно отметить, что для обоих включенных в оценку N-нитрозоаминов существуют факторы канцерогенного потенциала (фактор наклона, SF), необходимые для количественной оценки риска.

Т а б л и ц а 2

Классификация канцерогенного потенциала и факторы канцерогенного потенциала N-нитрозоаминов

№ п/п	Вещество	Классификация IARC	Классификация US EPA	SF ₀ , мг/(кг·день) ⁻¹
1	НДМА	2А	В2	51,0
2	НДФА	3	В2	0,0049

Таким образом, на этапе идентификации потенциальных опасностей, связанных с содержанием N-нитрозоаминов в мясе и мясных продуктах, реализуемых на территории СРВ, было установлено, что для последующей оценки риска здоровью населения наиболее приоритетными являются НДМА и НДФА. Эти соединения были отобраны ввиду их наличия более чем в 5 % проб, наличия референтных доз для оценки канцерогенных и неканцерогенных рисков, и данных о факторах канцерогенного потенциала.

Для оценки экспозиции сотрудниками NIFC было проведено анкетирование населения, направленное на характеристику фактического потребления различных групп продуктов питания населением СРВ. Полученные данные о среднесуточном потреблении мяса и мясных продуктов различными возрастными группами представлены в табл. 3.

Согласно представленным данным, наибольший объем потребления среди исследуемых групп населения СРВ характерен для мяса и мясных продуктов, приготовленных на гриле. Это наблюдение подчеркивает необходимость особого внимания к данной группе продуктов при оценке риска, связанного с N-нитрозоаминами. Ввиду того, что потребление жареного и запеченного мяса и мясных продуктов было объединено специалистами NIFC в одну группу, дальнейшая оценка риска проводилась с учетом одинакового суточного объема потребления для этих видов продуктов.

Таким образом, оценка потребления мяса и мясных продуктов, проведенная специалистами NIFC, позволила получить репрезентативные данные, необходимые для последующей оценки экспозиции N-нитрозоаминами. Эти данные будут использованы для расчета суточных доз и дальнейшей оценки риска для различных групп населения СРВ.

Т а б л и ц а 3

Объем фактического суточного потребления мяса и мясных продуктов различными возрастными группами населения Социалистической Республики Вьетнам, кг

№ п/п	Группа продуктов	Возрастная группа	Объем суточного потребления, кг
1	Мясо, приготовленное на гриле	Дети до 6 лет	0,037
2		Дети 7–17 лет	0,059
3		Взрослые 18–50 лет	0,14
4		Взрослые старше 50 лет	0,043
5	Жареное и запеченное мясо	Дети до 6 лет	0,032
6		Дети 7–17 лет	0,048
7		Взрослые 18–50 лет	0,08
8		Взрослые старше 50 лет	0,023
9	Копченое мясо	Дети до 6 лет	0,012
10		Дети 7–17 лет	0,023
11		Взрослые 18–50 лет	0,051
12		Взрослые старше 50 лет	0,014

Для оценки экспозиции N-нитрозоаминами были рассчитаны среднесуточные дозы, характеризующие неканцерогенный эффект (ADD), для различных возрастных групп населения СРВ. Расчет доз проводился в соответствии с Руководством Р.2.1.10.3968-23.

Среднесуточные дозы НДМА, поступающие с мясом и мясными продуктами, составили:

- для детей до 6 лет: от $2,11 \cdot 10^{-6}$ до $8,27 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день;
- для детей 7–17 лет: от $2,15 \cdot 10^{-6}$ до $7,03 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых 18–50 лет: от $3,51 \cdot 10^{-6}$ до $1,39 \cdot 10^{-5}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых старше 50 лет: от $9,43 \cdot 10^{-7}$ до $4,00 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день.

Вместе с тем среднесуточная доза при экспозиции НДФА составила: для детей до 6 лет – $7,29 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день; для детей 7–17 лет – $6,20 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день; для взрослых 18–50 лет – $1,23 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день; для взрослых старше 50 лет – $3,52 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день.

Значения доз НДМА, характеризующие канцерогенный эффект ($LADD_{\text{канц}}$), для различных возрастных групп населения СРВ составили:

- для детей до 6 лет: от $1,73 \cdot 10^{-7}$ до $6,80 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день;
- для детей 7–17 лет: от $1,77 \cdot 10^{-7}$ до $5,78 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых 18–50 лет: от $1,44 \cdot 10^{-6}$ до $5,73 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых старше 50 лет: от $3,88 \cdot 10^{-7}$ до $1,64 \cdot 10^{-6}$ мг/кг массы тела в день.

Полученные расчетные значения дозы НДФА, характеризующие канцерогенный эффект, составили:

- для детей до 6 лет – $5,99 \cdot 10^{-8}$ мг/кг массы тела в день;
- для детей 7–17 лет – $5,09 \cdot 10^{-8}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых 18–50 лет – $5,05 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день;
- для взрослых старше 50 лет – $1,45 \cdot 10^{-7}$ мг/кг массы тела в день.

Результаты расчетов канцерогенного и неканцерогенного риска, обусловленного поступлением НДМА и НДФА с мясом и мясными продуктами, приготовленными на гриле, представлены в табл. 4–5.

Таблица 4

Уровень канцерогенного риска, обусловленного экспозицией НДМА и НДФА при потреблении населением СРВ мяса и мясных продуктов, приготовленных на гриле

№ п/п	Вещество	Дети до 6 лет	Дети 7–17 лет	Взрослые 18–50 лет	Взрослые старше 50 лет
1	НДМА	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$1,46 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$4,15 \cdot 10^{-5}$
2	НДФА	$1,45 \cdot 10^{-10}$	$1,24 \cdot 10^{-10}$	$1,22 \cdot 10^{-9}$	$3,51 \cdot 10^{-10}$
3	Суммарный канцерогенный риск	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$1,46 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$4,15 \cdot 10^{-5}$

Примечание: жирным шрифтом выделена величина коэффициента опасности выше приемлемого (допустимого).

Таблица 5

Уровень неканцерогенного риска, обусловленного экспозицией НДМА и НДФА при потреблении населением СРВ мяса и мясных продуктов, приготовленных на гриле

№ п/п	Вещество	Критические органы и системы	Дети до 6 лет	Дети 7–17 лет	Взрослые 18–50 лет	Взрослые старше 50 лет
1	НДМА	Процессы развития	1,03	0,88	1,74	0,50
2	НДФА	Глаза (помутнение роговой оболочки), системное действие (масса тела)	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01

Примечание: жирным шрифтом выделена величина коэффициента опасности выше приемлемого (допустимого).

Установлено, что для взрослых в возрасте 18–50 лет канцерогенный риск достигает $1,45 \cdot 10^{-4}$, что превышает допустимый уровень ($1,0 \cdot 10^{-4}$) и характеризуется как настораживающий. В остальных возрастных группах наблюдаемые уровни канцерогенного риска являются допустимыми. Анализ вклада отдельных веществ в суммарный канцерогенный риск показывает, что НДМА является основным фактором, определяющим уровень риска, в то время как вклад НДФА является пренебрежимо малым (менее 1 %) во всех возрастных группах. Это свидетельствует о необходимости фокусирования внимания на контроле содержания НДМА в мясе и мясных продуктах, приготовленных на гриле.

Также установлено, что величина коэффициента опасности, обусловленной экспозицией НДМА, превышает единицу для детей до 6 лет (1,03) и взрослых 18–50 лет (1,74), что свидетельствует о потенциальном риске для критических органов и систем, в частности, для процессов развития. Для детей 7–17 лет и взрослых старше 50 лет коэффициент опасности не превышает единицу (0,88 и 0,50 соответственно).

В ходе характеристики риска, формируемого экспозицией НДМА при потреблении запеченного мяса и мясных продуктов, установлено, что уровни канцерогенного и неканцерогенного риска характеризовались как неприемлемые для взрослых 18–50 лет (табл. 6).

Таблица 6

Уровень канцерогенного и неканцерогенного риска, обусловленного экспозицией НДМА при потреблении населением СРВ запеченного мяса и мясных продуктов

№ п/п	Характер риска (расчетная величина)	Дети до 6 лет	Дети 7–17 лет	Взрослые 18–50 лет	Взрослые старше 50 лет
1	Канцерогенный (<i>CR</i>)	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$2,91 \cdot 10^{-5}$
2	Неканцерогенный (<i>HQ</i>)	0,73	0,62	1,22	0,35

Примечание: жирным шрифтом выделен уровень риска выше приемлемого (допустимого) значения.

Индивидуальный канцерогенный риск, обусловленный экспозицией НДМА, для населения в возрасте 18–50 лет соответствует настораживающему уровню ($CR = 1,02 \cdot 10^{-4}$). Величина коэффициента опасности для данной возрастной группы составила 1,22, что указывает на формирование потенциальных негативных эффектов, обусловленных экспозицией НДМА.

Таким образом, оценка риска, связанная с потреблением запеченного мяса и мясных продуктов, содержащих N-нитрозоамины, была ограничена анализом НДМА ввиду отсутствия других значимых N-нитрозоаминов. Результаты показывают, что НДМА является ключевым фактором, определяющим как канцерогенный, так и неканцерогенный риск для взрослого населения СРВ в возрасте 18–50 лет.

В то же время анализ риска, связанного с употреблением жареного и копченого мяса и мясных продуктов, показал, что уровни как канцерогенного, так и неканцерогенного риска, обусловленные экспозицией НДМА, не достигали неприемлемых значений ни для одной из исследованных возрастных групп.

На этапе идентификации опасности были выявлены неопределенности, связанные с различиями:

1) в классификации канцерогенов: существуют различия в классификациях канцерогенности N-нитрозоаминов, используемых различными международными организациями, такими как IARC и U.S.EPA;

2) в направлениях и результатах научных исследований: большинство исследований, представленных в научной литературе, сосредоточено на изучении канцерогенного действия N-нитрозоаминов. Исследования, посвященные неканцерогенным эффектам этих соединений, представлены в значительно меньшем объеме. Это может приводить к неполному пониманию спектра потенциальных негативных эффектов на здоровье человека.

На этапе выбора зависимости «доза – эффект» были установлены неопределенности, обусловленные оценкой неканцерогенного воздействия для ограниченно числа веществ.

На этапе оценки экспозиции были идентифицированы следующие неопределенности, связанные с ограничениями:

1) в количестве проб: оценка содержания N-нитрозоаминов в мясных продуктах проводилась на основании анализа ограниченного количества проб, что может привести к неполному представлению о распределении данных веществ в исследуемых продуктах и неточностям в оценке экспозиции;

2) в информации о потреблении: оценка потребления пищевых продуктов населением проводилась на основании ограниченных данных, что может вносить не-

определенность в определении реальной экспозиции N-нитрозоаминов для различных групп населения.

В результате проведенного анализа неопределенностей можно заключить, что совокупный уровень неопределенности в настоящей оценке риска является высоким. Полученные результаты требуют проведения дополнительных исследований, направленных на уточнение данных и снижение неопределенностей, для разработки эффективных мер по управлению рисками и защите здоровья населения.

Выводы. Результаты проведенной оценки риска свидетельствуют о необходимости разработки параметров зависимости «экспозиция – эффект» для дальнейшей количественной оценки неканцерогенного риска, формируемого экспозицией НДМА, что определяет первоочередную задачу в установлении научно обоснованных отправных точек. При этом необходимо отметить, что, несмотря на примененную в соответствии с Руководством Р.2.1.10.3968-23 референтную дозу НДМА, основанную на процессах развития, существующие научные данные указывают на более широкий спектр токсических эффектов, оказываемых N-нитрозоаминами [14, 15].

В частности, в научной литературе представлены публикации, демонстрирующие, что N-нитрозоамины, включая НДМА, могут оказывать негативное воздействие не только на процессы развития, но и на функцию печени [16–19]. Ряд исследований свидетельствует о гепатотоксических эффектах N-нитрозоаминов. При этом следует отметить, что значения допустимых суточных доз (ДСД) для нитрозоаминов, установленные на основе BMDL (нижней границы доверительного интервала экспозиции, вызывающей определенный эффект) в этих исследованиях, оказываются более строгими, чем референтная доза (*RfD*) для НДМА в отношении процессов развития, используемая в настоящем исследовании. Однако установленные уровни BMDL для N-нитрозоаминов в данных исследованиях, ввиду специфики их экспериментального дизайна, не могут быть использованы в качестве универсального критерия при оценке неканцерогенного риска, связанного с потреблением пищевых продуктов, содержащих N-нитрозоамины.

Таким образом, существует потребность в уточнении параметров оценки риска в отношении печени. Это требует проведения дополнительных исследований с целью установления биомаркеров эффекта [20] и экспозиции, позволяющих более точно характеризовать и количественно оценить гепатотоксический эффект НДМА и других N-нитрозоаминов.

Список литературы

1. Meat and Human Health–Current Knowledge and Research Gaps / N.R.W. Geiker [et.al.] // Foods. – 2021. – № 10. DOI: 10.3390/foods10071556
2. Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby K. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment // Food Control. – 2015. – № 48. – P. 163–169. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.05.030.
3. Role of proline and hydroxyproline in N-nitrosamine formation during heating in cured meat / G. Drabik-Markiewicz, K. Van den Maagdenberg, E. De Mey, S. Deprez, T. Kowalska, H. Paelinck // Meat Science. – 2009. – Vol. 81, № 3. – P. 479–486.
4. Yurchenko S., Molder U. The occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products // Food Chemistry. – 2007. – Vol. 100, № 4. – P. 1713–1721

5. Research Progress of Nitrite Metabolism in Fermented Meat Products / Q. Shen, X. Zeng, L. Kong, X. Sun, J. Shi, Z. Wu, Y. Guo, D. Pan // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, № 7. – P. 1485. DOI: 10.3390/foods12071485
6. Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat / G. Drabik-Markiewicz, B. Dejaegher, E. De Mey, T. Kowalska, H. Paelinck, Y. Vander Heyden // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 126, № 4. – P. 1539–1545.
7. Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby K. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment // *Food Control*. – 2015. – № 48. – P. 163–169. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.05.030
8. Assessment of potential hazards of the inadvertently present chemicals in food / D.V. Suvorov, N.V. Zaitseva, P.Z. Shur, S.E. Zelenkin // *Vietnam Journal of Food Control*. – 2022. – Vol. 5, № 4. – P. 622–632.
9. Khanna S.D., Puri D. The hepatotoxic effects of dimethyl- nitrosamine in the rat // *Journal of Pathology and Bacteriology*. – 1966. – № 91. – P. 605–608.
10. Moniuszko-Jakoniuk J., Roszczenko A., Dzieciol J. Influence of low concentrations of N-nitrosodimethylamine on the iron level and histopathological picture of rats liver, spleen and bone marrow // *Acta Pol Toxicol*. – 1999. – Vol. 7, № 2. – P. 179–186.
11. P.2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 221 с.
12. Разработка методических указаний по установлению и обоснованию гигиенических нормативов содержания химических примесей, биологических агентов в пищевых продуктах по критериям риска здоровью человека: отчет о научно-исследовательской работе [Электронный ресурс]. – URL: <https://eec.eaeunion.org/upload/iblock/6a5/Otchet-o-NIR-1-etap.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).
13. Heterocyclic amines detected in cooked meats and fishes from street markets and restaurants in the city of Hanoi, Vietnam: A Pilot local field investigation findings in 2020 / Le Thi Hong Hao, Dang Thu Nien, Cao-Son Tran [et al.] // *Toxicology Reports*. – 2022. – № 9. – P. 1523–1527. DOI: 10.1016/j.toxrep.2022.07.004
14. Toxicological Profile for N-Nitrosodimethylamine (NDMA). – USA, Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023. – 231 с.
15. Sheweita S.A., Mostafa M.H. N-Nitrosamines and their effects on the level of glutathione, glutathione reductase and glutathione S-transferase activities in the liver of male mice // *Cancer Lett*. – 1996. – Vol. 99, № 1. – P. 29–34. DOI: 10.1016/0304-3835(95)04034-X
16. Specifying the permissible daily exposure to N-nitrosamines by alimentary intake with food using experimental studies / P.Z. Shur, D.V. Suvorov, M.A. Zemlyanova, S.E. Zelenkin // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020: Conference Proceedings. – Vienna, Austria, 2020. – Issue 6.2. – P. 387–394. DOI: 10.5593/sgem2020V/6.2/s12.47
17. Суворов Д.В., Шур П.З., Зеленкин С.Е. К вопросу об определении допустимой суточной дозы суммы N-нитрозоаминов для детей раннего возраста // *Анализ риска здоровью*. – 2024. – № 4. – С. 72–80. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.07
18. High CYP2E1 activity correlates with hepatofibrogenesis induced by nitrosamines / J. Gao, G.-J. Wang, Z. Wang, N. Gao, J. Li, Y.-F. Zhang, J. Zhou,

H.-X. Zhang [et al.] // *Oncotarget*. – 2017. – Vol. 8, № 68. – P. 112199–112210. DOI: 10.18632/oncotarget.22937

19. Comparative metabolism of N-nitrosopiperidine and N-nitrosopyrrolidine by rat liver and esophageal microsomes and cytochrome P450 2A3 / H.L. Wong, S.E. Murphy, M. Wang, S.S. Hecht // *Carcinogenesis*. – 2003. – Vol. 24, № 2. – P. 291–300. DOI: 10.1093/carcin/24.2.291

20. Землянова М.А., Долгих О.В. Биомаркеры эффекта как показатели и критерии воздействия техногенных химических факторов окружающей и производственной среды на здоровье // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. – 2010. – № 11. – С. 31–33.

Качество пищевых продуктов в субъективных оценках потребителей (на примере отдельных групп продуктов)

Н.А. Лебедева-Несевря¹, Т.В. Сирковская²

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Россия

Рассматривается проблема обеспечения качества и безопасности пищевой продукции в контексте потребительских оценок. Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения информации о субъективном восприятии качества продуктов питания, отнесенных к категориям высокого риска, с целью выявления проблемных зон в обеспечении безопасности и качества пищевой продукции. Проанализированы потребительские оценки мясной, молочной, птицеводческой продукции, хлебобулочных и кондитерских изделий, а также алкогольных и безалкогольных напитков как пищевых категорий, отнесенных к обладающих чрезвычайно высоким и значительным уровнями риска причинения вреда здоровью населения (по состоянию на 2023 г.). Выявлены расхождения между официальными данными и субъективными оценками потребителей в отношении отдельных критериев оценки качества и безопасности пищевой продукции. Сделан вывод о необходимости усиления контроля за качеством продукции, особенно в малых производствах, повышения информированности потребителей и учета их мнения при разработке стратегий контроля качества.

Ключевые слова: качество пищевой продукции, безопасность пищевой продукции, потребительские критерии, восприятие риска.

В условиях современной экономики и глобализации продовольственных рынков проблема обеспечения населения качественными и безопасными продуктами питания приобретает особую значимость [1]. Качество пищевых продуктов является определяющим фактором, оказывающим непосредственное влияние на здо-

ровье, благополучие и продолжительность жизни населения [2]. В связи с этим контроль за качеством и безопасностью пищевых продуктов, а также изучение потребительских оценок в данной области приобретают особую актуальность.

В Российской Федерации вопросам обеспечения качества и безопасности пищевой продукции уделяется значительное внимание на государственном уровне. Реализуются правительственные программы и меры, направленные на повышение качества и безопасности пищевой продукции, усиление контроля за ее производством и оборотом, а также информирование потребителей о свойствах и характеристиках приобретаемых продуктов. Подтверждением тому является нормативно-правовая база, включающая федеральные законы, технические регламенты и санитарные правила, направленные на регулирование производства, хранения, транспортировки, реализации и утилизации пищевой продукции [3, 4].

Вместе с тем, несмотря на принимаемые меры, проблема обеспечения населения качественными и безопасными продуктами питания остается существенной [5]. Об этом свидетельствуют данные государственного контроля (надзора), выявляющие нарушения требований безопасности и качества пищевой продукции, а также информация о случаях пищевых отравлений и инфекционных заболеваний, связанных с потреблением некачественной продукции.

В соответствии с Перечнем продукции (товаров), подлежащей государственному контролю, с учетом категорирования по риску причинения вреда здоровью населения на 2023 г., к категориям с чрезвычайно высоким риском отнесены мясо и мясные продукты, птица и птицеводческие продукты, молоко и молочные продукты, а также кондитерские изделия [6]. К категориям со значительным риском отнесены хлебобулочные изделия, безалкогольные напитки и алкогольные напитки и пиво. Выбор данных категорий для анализа в настоящем исследовании обусловлен их высокой значимостью в рационе населения и потенциальным риском для здоровья при несоблюдении требований безопасности и качества.

Значимость исследования обусловлена также и необходимостью получения актуальной информации о потребительских оценках качества пищевой продукции, что позволит выявить проблемные зоны и разработать эффективные меры по повышению уровня безопасности и качества продуктов питания. Изучение субъективных оценок потребителей, их предпочтений и ожиданий позволит сформировать более полное представление о факторах, влияющих на выбор продуктов питания, и разработать адресные программы по информированию населения о принципах здорового питания и критериях выбора качественной продукции.

Особую актуальность приобретает изучение потребительских оценок качества продуктов питания в контексте региональных особенностей. В различных регионах Российской Федерации структура питания населения, предпочтения потребителей, а также доступность и качество отдельных групп продуктов питания могут существенно различаться. В связи с этим проведение исследований, акцентирующих внимание на специфике конкретных регионов, позволяет получить более точные и полные данные о восприятии потребителями качества пищевой продукции и выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на их оценки.

Цель исследования – анализ субъективных оценок потребителей качества пищевых продуктов на примере отдельных групп продукции, отнесенных к категориям с чрезвычайно высоким и значительным риском причинения вреда здоровью населения, на примере жителей двух мегаполисов: г. Перми и г. Новосибирска.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования использованы данные Перечня продукции (товаров), подлежащей государственному контролю (надзору), с учетом категорирования по риску причинения вреда здоровью населения, доклады о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Пермском крае и Новосибирской области за период 2020–2023 гг. [7–14], а также материалы эмпирического исследования, проведенного авторами с целью определения потребительских оценок качества и безопасности пищевой продукции.

Анализ докладов о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Пермского края и Новосибирской области за период 2020–2023 гг., содержащих информацию о состоянии здоровья населения, факторах риска, а также мерах, принимаемых для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, позволил выявить приоритетные группы продуктов питания, требующие особого внимания с точки зрения обеспечения качества и безопасности.

Онлайн-опрос (осень 2024 г.) 334 респондентов в возрасте 18 лет и старше, проживающих в Перми и Новосибирске, на основе структурированной анкеты, включал вопросы, касающиеся удовлетворенности качеством и безопасностью пищевой продукции, а также потребительских предпочтений при выборе мест приобретения продуктов питания. Для каждой из категорий продуктов был предусмотрен отдельный блок вопросов. В качестве инструмента оценки согласованности вопросов использовался коэффициент альфа Кронбаха. Значение коэффициента составило 0,984, что свидетельствует о высокой внутренней согласованности исследовательского инструментария.

Для формирования репрезентативной выборки использовалась квотная выборка, учитывающая половозрастную структуру населения г. Перми. В гендерной структуре выборки преобладали женщины (67,6 %), доля мужчин составила 34,2 %. Возрастная структура выборки была представлена следующими группами: 18–35 лет (28 %), 36–59 лет (44,4 %) и 60 лет и старше (27,6 %). Анализ образовательного уровня респондентов показал, что 35,3 % опрошенных имеют среднее профессиональное образование, а практически половина, 43,5 %, – высшее и послевузовское образование.

Для обработки полученных данных использовались методы статистического анализа. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения SPSS Statistics 23.

Результаты. Анализ материалов докладов о санитарно-эпидемиологическом благополучии по Пермскому краю и Новосибирской области выявляет неоднозначную ситуацию с качеством и безопасностью *мясной и птицеводческой продукции*.

В Пермском крае отмечается снижение доли нестандартных проб мясной продукции на мясокомбинатах, достигнув 1,2 % в 2020–2022 гг. Однако наблюдается ухудшение качества колбасных изделий, производимых колбасными цехами (модулями), с ростом нестандартных проб по микробиологическим показателям (до 5,1 % в 2021 г.). Наибольшую эпидемиологическую значимость сохраняет продукция малых цехов по производству мясных полуфабрикатов, где уровень нестандартных проб достигает 11,6 % (2020). В 2023 г. отмечен рост доли проб продукции, не соответствующей санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим показателям, в группах «мясо» и «мясные продукты» – 7,1 %. В птицеводстве Пермского края наблюдается улучшение показателей микробиологической безопасности продукции птицеперерабатывающих предприятий – снижение до 1,4 % в 2022 г.

В Новосибирской области в 2020 г. зарегистрировано уменьшение доли проб мясной продукции, превышающих гигиенические нормативы, до 0,6 %. Аналогичная тенденция отмечалась и для птицеводческой продукции (0,9 %). Однако в 2022–2023 гг. наблюдается увеличение доли проб птицы и продуктов ее переработки, не соответствующих гигиеническим нормативам, до 4,7 и 5,2 % соответственно.

Проведенное авторами исследование субъективных оценок потребителей качества и безопасности мясной продукции и птицы в Новосибирске и Перми выявило ряд интересных закономерностей, позволяющих углубить внешнее, формальное описание проблематики данного сектора. Анализ частоты выбора мест приобретения продуктовых товаров указанных категорий показал, что доминирующими каналами сбыта являются супермаркеты (сетевые магазины) и специализированные мясные магазины, однако их доля варьируется в зависимости от города и типа продукции. В частности, в Перми доля супермаркетов выше для всех категорий (мясо, мясные изделия, птица) – 36,6; 38,9 и 42,3 % соответственно, тогда как в Новосибирске специализированные магазины более популярны для приобретения птицы (31,9 по сравнению с 29,3 % для супермаркетов).

Оценка качества и безопасности продукции выявила следующие тенденции. Наиболее низкие средние значения потребители присвоили критериям, связанным с наличием ГМО в мясе и мясных изделиях (по шкале от 1 до 5, где 1 – «продукт абсолютно не соответствует требованию качества», 5 – «продукт полностью соответствует параметру качественного продукта питания», среднее значение составило 3,11), несоответствием птицы стандартам ГОСТ и безопасности (3,09), а также отсутствием этикетки с подробной информацией о птице (3,08).

В то же время оценки общего уровня удовлетворенности качеством и безопасностью мясной продукции и птицы оказались относительно высокими (средние значения варьируются в диапазоне от 5,43 до 5,74 по шкале от 1 до 7, где уровень удовлетворенности качеством (уровнем безопасности) продуктов каждой категории, «совершенно не доволен» – 1, «полностью доволен» – 7).

В целом результаты исследования подчеркивают важность информирования потребителей о составе и характеристиках мясной продукции и птицы, а также необходимость соблюдения стандартов безопасности и качества на всех этапах производства и реализации.

Анализ данных санитарно-эпидемиологического надзора в Пермском крае и Новосибирской области выявляет проблемные аспекты и в отношении качества и безопасности *молока и молочной продукции*. В Пермском крае наблюдается дифференциация качества молочной продукции в зависимости от масштаба производства: на крупных молочных заводах удельный вес проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, в 2023 г. составил 0,7 %, в то время как на предприятиях малой мощности – 0,5 %. При этом в 2022 г. в детских организациях выявлялась фальсифицированная молочная продукция (1,9 % проб).

В Новосибирской области отмечается увеличение доли нестандартной молочной продукции, обусловленное фальсификацией, а именно заменой молочного жира на жиры немолочного происхождения и растительные жиры. В 2023 г. доля нестандартной молочной продукции составила 1,7 %, оставаясь на уровне 2022 г., однако удельный вес проб продукции, превышающих гигиенические нормативы, увеличился до 4,7 %.

Анализ субъективных оценок потребителей молочной продукции в Новосибирске и Перми выявил следующие тенденции: основным местом приобретения молока и молочных продуктов являются супермаркеты и сетевые магазины (50,2–61,1 %), однако значительная доля потребителей приобретает данную продукцию в специализированных молочных лавках (11,3–18,4 %) и фермерских магазинах (11,6–15,5 %), что может свидетельствовать о стремлении части потребителей к приобретению продукции, позиционируемой как более «натуральная» и «качественная» [15].

Оценка критериев качества и безопасности выявила, что наиболее низкие баллы получили показатели, связанные с «наличием искусственных красителей в молочных продуктах» (среднее значение составляет 3,0 из 5,0) и «привлекательным внешним видом» (4,16). При этом общая удовлетворенность качеством и безопасностью молока и молочной продукции оценена выше (средние значения 5,71–5,73 по шкале, где 1 – «совершенно не доволен», 7 – «полностью доволен»).

Данные результаты указывают, что потребители обращают внимание на наличие искусственных добавок и внешний вид продукции, и эти факторы оказывают негативное влияние на их восприятие качества. Несмотря на это, общая удовлетворенность качеством и безопасностью остается на достаточно высоком уровне, что может быть связано с тем, что потребители учитывают и другие факторы, такие как репутация производителя (среднее значение = 4,19) и иные аспекты собственного опыта потребления данных товаров.

Анализ докладов о санитарно-эпидемиологической обстановке в Пермском крае и Новосибирской области за период 2020–2023 гг. выявляет неоднозначную ситуацию и в отношении качества и безопасности кондитерских и хлебобулочных изделий. Данные группы продуктов отнесены к категориям чрезвычайно высокого и значительного риска соответственно.

В Пермском крае отмечена волатильность показателей безопасности кондитерских кремовых изделий: снижение удельного веса нестандартных проб в 2020 г. до 2,1 % (в 3 раза ниже предыдущих лет) и в 2021 г. до 4,2 % (в 1,4 раза), с последующим резким ростом в 2022 г. до 9,2 % по микробиологическим показателям. При этом пробы, не соответствующие гигиеническим нормативам по химическим показателям, не были зарегистрированы. В 2023 г. отмечен рост доли проб хлебобулочных изделий, не отвечающих требованиям по микробиологическим показателям, достигнув 4,7 % (2022 г. – 3,2 %, 2021 г. – 1,56 %).

В Новосибирской области наблюдается тенденция к ухудшению показателей безопасности обеих групп продуктов. Доля нестандартных проб кондитерских изделий возросла с 1,6 % в 2021 г. до 3,0 % в 2022 г. и 6,1 % в 2023 г. Аналогичная ситуация наблюдается и с хлебобулочными изделиями: увеличение доли проб, превышающих гигиенические нормативы, с 0 % в 2021 г. до 1,6 % в 2022 г. и 1,9 % в 2023 г.

Проведенное эмпирическое исследование выявило ряд закономерностей в субъективном восприятии потребителями качества и безопасности хлебобулочных и кондитерских изделий в Новосибирске и Перми.

В обоих городах доминирующим местом приобретения как хлебобулочных, так и кондитерских изделий являются супермаркеты и сетевые магазины (41,3 и 44,4 % для хлеба в Новосибирске и Перми соответственно, 33,6 и 35,9 % для кондитерских изделий). Пекарни и кондитерские занимают второе место по популярности (31,2 и 29,4 % для хлеба, 32,4 и 23,5 % для кондитерских изделий). Доля потребителей, самостоятель-

но готовящих указанные изделия, относительно невелика (около 13 % для хлеба и 10–13 % для кондитерских изделий).

Анализ средних значений оценок критериев качества и безопасности выявил следующие проблемные зоны. Наиболее низкие оценки получили параметры, связанные с наличием ГМО в составе как хлебобулочных (среднее значение 3,16), так и кондитерских изделий (среднее значение 3,08), что указывает на опасения потребителей относительно соблюдения нормативных требований при производстве.

Относительно низкие оценки получила надежность упаковки хлебобулочных изделий (среднее значение 3,98). Для кондитерских изделий параметр «Отсутствие искусственных красителей» (среднее значение 4,09) и «Хорошая репутация производителя» (среднее значение 4,10) также имеют невысокие баллы.

Общая удовлетворенность качеством (5,78 для хлеба и 5,69 для кондитерских изделий) и безопасностью (5,76 для хлеба и 5,61 для кондитерских изделий) продукции, несмотря на выявленные проблемные зоны, находится на относительно высоком уровне. Иными словами, потребители в целом удовлетворены продукцией, но обеспокоены отдельными аспектами, связанными с составом и соблюдением стандартов безопасности.

Таким образом, результаты подчеркивают необходимость более пристального внимания производителей к вопросам, связанным с составом продуктов (отсутствие ГМО и искусственных красителей), соответствием стандартам безопасности и надежностью упаковки, для повышения уровня удовлетворенности потребителей и укрепления их доверия к продукции.

Анализ докладов о санитарно-эпидемиологическом благополучии Пермского края и Новосибирской области за период 2020–2023 гг. выявляет разнонаправленные тенденции в отношении качества и безопасности *алкогольных и безалкогольных напитков*.

В Пермском крае отмечается устойчивая положительная динамика в отношении алкогольной продукции: все исследованные образцы соответствовали нормативным требованиям в 2020–2022 гг. В 2023 г. при проверке 58 объектов, нарушения обязательных требований выявлены в 19 % торговых точек. Зафиксирована реализация 21,55 дкл алкоголя с нарушением условий хранения, из них 7,125 дкл импортного. Приостановлена реализация 8,8 дкл, включая 1,650 дкл импортного производства.

В Новосибирской области в 2023 г. отмечено ухудшение показателей безопасности алкогольной продукции: доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, составила 1,8 против 0 % в предыдущие два года. Отмечены единичные случаи нестандартного пива – 2,6 % от всех исследованных проб. В отношении безалкогольных напитков в Новосибирской области в 2020 г. отмечено ухудшение показателей по сравнению с 2019 г. (0,6 % нестандартных проб против 0 %).

Таким образом, в то время как Пермский край демонстрирует улучшение качества алкогольной продукции, в Новосибирской области наблюдается ухудшение ситуации с алкогольными и безалкогольными напитками.

На основе проведенного исследования субъективных оценок потребителей качества пищевых продуктов, в частности, алкогольных и безалкогольных напитков, можно выделить несколько ключевых моментов, требующих аналитического рассмотрения.

В Новосибирске и Перми основной площадкой для приобретения как алкогольных, так и безалкогольных напитков, являются супермаркеты и сетевые мага-

зины (48 и 61,1 % в Новосибирске и 45,7 и 53,3 % в Перми соответственно). Однако значительная доля потребителей в обоих городах предпочитает специализированные магазины для покупки алкогольной продукции (22,6 % в Новосибирске и 17,8 % в Перми), что может свидетельствовать о стремлении к более широкому ассортименту или уверенности в качестве продукции, представленной в специализированных точках продаж. В Перми также отмечено приобретение безалкогольных напитков в барах и ресторанах (13,4 %).

Анализ оценок потребителей выявил ряд аспектов, требующих особого внимания. В частности, наименьшие баллы получил критерий наличия в составе ГМО (алкогольные напитки). Средняя оценка – 3,43. Почти каждый третий опрошенный (30,0 %) указывает, что потребляемые напитки полностью или скорее соответствуют описанию «небезопасного» продукта.

В отношении наличия искусственных красителей средняя оценка для алкогольных напитков составила 3,44 (для безалкогольных – 3,10). Данный показатель, наряду с предыдущим, может свидетельствовать об обеспокоенности потребителей относительно натуральности и экологичности алкогольной продукции. Аналогично алкогольным напиткам, присутствие искусственных красителей вызывает негативную реакцию у потребителей безалкогольных напитков.

В то время как средняя оценка критерия привлекательного внешнего вида для алкогольных напитков относительно высока (4,30), значительная часть респондентов оценила соответствие продукции данному критерию ниже среднего (около 24 % поставили оценки ниже медианной «3»).

В целом удовлетворенность потребителей качеством и безопасностью алкогольных и безалкогольных напитков оценивается выше, о чем свидетельствуют более высокие средние баллы по общим вопросам. Тем не менее выявленные проблемные зоны (наличие ГМО, искусственных красителей) требуют более пристального изучения и, возможно, внесения изменений в производственные процессы или повышения уровня информированности потребителей.

Представленные данные демонстрируют неоднозначную картину качества пищевой продукции в субъективных оценках потребителей (таблица).

Анализ данных Роспотребнадзора по Пермскому краю и Новосибирской области выявляет разнонаправленные тенденции в качестве мясной, птицеводческой и молочной продукции. Снижение доли нестандартных проб на крупных мясокомбинатах Пермского края контрастирует с ухудшением показателей в малых цехах и колбасных производствах, что подчеркивает влияние масштаба производства и контроля качества. В Новосибирской области отмечается улучшение качества мясной продукции, однако параллельно растет доля нестандартных проб птицы и продуктов ее переработки, что требует пристального внимания к птицеводческому сектору. В целом молочная и мясная продукция относятся к «общим по России приоритетам» как характеризующаяся наиболее высокими рисками для здоровья [16].

Субъективные оценки потребителей отражают определенный диссонанс. При доминировании супермаркетов и специализированных магазинов как основных каналов сбыта потребители демонстрируют низкие оценки по отдельным критериям, таким как наличие ГМО, соответствие стандартам, безопасность и информационная прозрачность (отсутствие этикетки).

Критерии оценки продуктовых категорий, наиболее явно вызывающие негативную реакцию потребителей (ср. знач. для г. Перми и г. Новосибирска)

Продуктовые категории, выделяемые Роспотребнадзором в качестве приоритетных	Категорирование по риску причинения вреда здоровью населения (на 2023 г.)	Критерии качества пищевой продукции, наиболее низко оцененные респондентами ¹	Критерии опасности пищевой продукции, с которыми в большей мере согласны респонденты ²
Мясо и мясные продукты	Чрезвычайно высокий риск	Высокое содержание питательных веществ, витаминов и минералов (4,15 ↘)	Наличие в составе ГМО (3,11 ↗)
Птица и птицеводческие продукты	Чрезвычайно высокий риск	Хорошая репутация производителя (4,20 ↘) Привлекательный внешний вид (4,19 ↘)	Несоответствие ГОСТ и стандартам безопасности (3,09 ↗) Отсутствие этикетки с подробной информацией (3,08 ↗)
Молоко, молочные продукты	Чрезвычайно высокий риск	Хорошая репутация производителя (4,19 ↘) Привлекательный внешний вид (4,16 ↘)	Наличие искусственных красителей в молочных продуктах (3,00 ↗)
Кондитерские изделия	Чрезвычайно высокий риск (высокий риск для кондитерских изделий за исключением кремовых)	Хорошая репутация производителя (4,10 ↘) Отсутствие искусственных красителей в приготовленных изделиях (4,09 ↘)	Наличие в составе ГМО (3,08 ↗) Несоответствие ГОСТ и стандартам безопасности (3,08 ↗)
Хлебобулочные изделия	Значительный риск	Надежная упаковка (3,98 ↘)	Наличие в составе ГМО (3,16 ↗)
Безалкогольные напитки	Значительный риск	В составе содержатся витамины, макро- и микроэлементы (4,09 ↘)	Наличие искусственных красителей в напитках (3,10 ↗)
Алкогольные напитки и пиво	Значительный риск	Привлекательный внешний вид (4,30 ↘)	Наличие искусственных красителей в напитках (3,44 ↗) Наличие в составе ГМО (3,43 ↗)

¹ Респондентам предлагалось оценить характеристики (критерии) качества пищевой продукции по шкале от 1 до 5, где 1 – «продукт абсолютно не соответствует требованию качества», 5 – «продукт полностью соответствует параметру качественного продукта питания».

² Респондентам предлагалось оценить характеристики (критерии) небезопасной пищевой продукции по шкале от 1 до 5, где 1 – «продукт абсолютно не соответствует описанию», 5 – «продукт полностью соответствует описанию».

В отношении молочной продукции потребители в наибольшей степени обеспокоены наличием искусственных красителей и внешним видом. При этом общая удовлетворенность качеством и безопасностью остается высокой, что может свидетельствовать о недостаточной информированности потребителей или их готовности мириться с определенными недостатками ради доступности продукции. Выявленные различия в оценках качества в зависимости от масштаба производства и каналов сбыта указывают на необходимость усиления контроля за качеством продукции в малых цехах и повышения информированности потребителей о критериях оценки пищевой продукции. Обнаружение фальсифицированной молочной продукции в детских организациях подчеркивает особую важность мониторинга качества продуктов, предназначенных для социально уязвимых групп населения. Важно также, что молоко и молочные продукты относятся к одной из наиболее «рисковых» групп пищевой продукции по итогам оценки и прогнозирования рисков нарушения здоровья в результате несоблюдения требований к безопасности пищевой продукции [17].

Выводы. Проведенное исследование выявило некоторые расхождения между результатами объективного анализа и субъективными оценками потребителей в отношении качества и безопасности отдельных групп пищевой продукции. Анализ докладов о санитарно-эпидемиологическом благополучии в Пермском крае и Новосибирской области за 2020–2023 гг. демонстрирует волатильность и ухудшение показателей безопасности кондитерских и хлебобулочных изделий, а также алкогольных и безалкогольных напитков, что не всегда находит отражение в субъективных оценках потребителей.

Эмпирическое исследование в Новосибирске и Перми показало, что, несмотря на общую удовлетворенность качеством и безопасностью продукции, потребители выражают обеспокоенность отдельными аспектами, такими как наличие ГМО и искусственных красителей, надежность упаковки, а также репутация производителя.

Низкие оценки по ряду описываемых критериев качества и безопасности пищевой продукции указывают на необходимость повышения прозрачности производственных процессов и усиления контроля за составом продукции. Важно отметить, что выбор места приобретения продукции (супермаркеты, специализированные магазины, пекарни) также может оказывать влияние на восприятие качества и безопасности.

Результаты исследования подчеркивают важность учета мнения потребителей при формировании стратегий контроля качества и безопасности пищевой продукции. Производителям следует уделять больше внимания вопросам, вызывающим наибольшую обеспокоенность у потребителей, а также активно информировать население о принимаемых мерах по обеспечению качества и безопасности продукции. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение факторов, влияющих на формирование субъективных оценок потребителей, а также разработку эффективных механизмов обратной связи между производителями и потребителями и механизмов повышения осведомленности потребителей о критериях качества и безопасности пищевой продукции.

Список литературы

1. Clapp J. Concentration and crises: exploring the deep roots of vulnerability in the global industrial food system // *The Journal of Peasant Studies*. – 2023. – Vol. 50, № 1. – P. 1–25.
2. Purwanto A. et al. The role of brand image, food safety, awareness, certification on halal food purchase intention: An empirical study on Indonesian consumers // *Journal of Industrial Engineering & Management Research*. – 2021. – Vol. 2, № 3. – P. 42–52.
3. Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420363999> (дата обращения: 21.04.2025).
4. О качестве и безопасности пищевых продуктов: Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022) [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901751351> (дата обращения: 21.04.2025).
5. Okpala C.O.R., Korzeniowska M. Understanding the relevance of quality management in agro-food product industry: From ethical considerations to assuring food hygiene quality safety standards and its associated processes // *Food Reviews International*. – 2023. – Vol. 39, № 4. – P. 1879–1952.
6. Перечень продукции (товаров), подлежащей государственному контролю (надзору), с учетом категорирования по риску причинения вреда здоровью населения [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://clck.ru/3LYfhn> (дата обращения: 21.04.2025).
7. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2020 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://clck.ru/3LYgTQ> (дата обращения: 21.04.2025).
8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2021 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://clck.ru/3LYgUv> (дата обращения: 21.04.2025).
9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2022 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://clck.ru/3LYgVw> (дата обращения: 21.04.2025).
10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2023 году: Государственный доклад [Электронный ре-

сурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://clck.ru/3LYgYN> (дата обращения: 21.04.2025).

11. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2020 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: https://59.rospotrebnadzor.ru/rss_all/-/asset_publisher/Kq6J/content/id/1643745 (дата обращения: 21.04.2025).

12. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2021 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: https://59.rospotrebnadzor.ru/rss_all/-/asset_publisher/Kq6J/content/id/1699173 (дата обращения: 21.04.2025).

13. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2022 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: https://59.rospotrebnadzor.ru/rss_all/-/asset_publisher/Kq6J/content/id/1733397 (дата обращения: 21.04.2025).

14. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2023 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: https://59.rospotrebnadzor.ru/rss_all/-/asset_publisher/Kq6J/content/id/1756891 (дата обращения: 21.04.2025).

15. Merlino V.M. [et al.]. Are local dairy products better? Using principal component analysis to investigate consumers' perception towards quality, sustainability, and market availability // *Animals*. – 2022. – Vol. 12, № 11. – P. 1421.

16. К совершенствованию модели риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) пищевой продукции в обороте / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Н.В. Никифорова, Д.А. Кирьянов // *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 3. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.01

17. Прогнозирование рисков нарушения здоровья, наносимого несоблюдением требований к безопасности пищевой продукции, с учетом изменения объемов потребления на период до 2024 г. / И.В. Май, С.В. Клейн, В.М. Чигвинцев, С.А. Вековщина // *Анализ риска здоровью – 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т.* – Пермь, 2022. – Т. 1. – С. 137–144.

Система анализа опасностей и критических контрольных точек для безопасного производства мяса *in vitro*

Д.В. Суворов, С.Е. Зеленкин, Н.И. Маркович

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Представлены результаты анализа ключевых аспектов безопасности производства культивированного мяса. Исследование основано на обзоре современных научных публикаций в области «клеточного сельского хозяйства» и пищевых биотехнологий.

Основное внимание уделено выявлению потенциальных опасностей на различных стадиях технологического процесса. К ним относятся: механическое загрязнение продукта, возможный перенос компонентов в сырье из питательных сред, микробиологическая контаминация, аллергенные свойства биоматериалов, а также изменения нутритивного профиля конечного продукта.

В ходе работы была разработана схема критических контрольных точек производственного цикла. Всего идентифицировано 10 ключевых участков контроля, равномерно распределенных по технологическим этапам.

Полученные данные обосновывают необходимость разработки специализированных протоколов безопасности с учетом особенностей клеточных технологий. Особое значение имеет создание комплексной системы управления рисками, включающей современные методы стерилизации, валидации производственных процессов и контроля качества исходных биоматериалов.

Результаты исследования имеют особое значение для дальнейшего развития нормативной базы в области альтернативных белковых продуктов и формирования научно обоснованных подходов к оценке их безопасности.

Ключевые слова: культивируемое мясо, НАССР, критические контрольные точки, пищевая безопасность.

Современные тенденции развития пищевой промышленности характеризуются активным поиском альтернативных источников белковой продукции. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области является разработка технологий производства культивированного мяса (мяса *in vitro*) методами клеточной биотехнологии [1]. Как отмечают исследователи, данный подход обладает значительным экологическим потенциалом, позволяя, по оценкам N. Treich, сократить выбросы парниковых газов и водопотребление до 95 % по сравнению с традиционным животноводством [2].

Технологический процесс производства культивированного мяса, как подробно описано Chriki and Hocquette [3], включает четыре основных технологических блока (рисунок).

Каждый из указанных этапов, как показывают исследования [4–6], потенциально подвержен различным видам контаминации, что обуславливает необходимость разработки специализированной системы контроля качества.

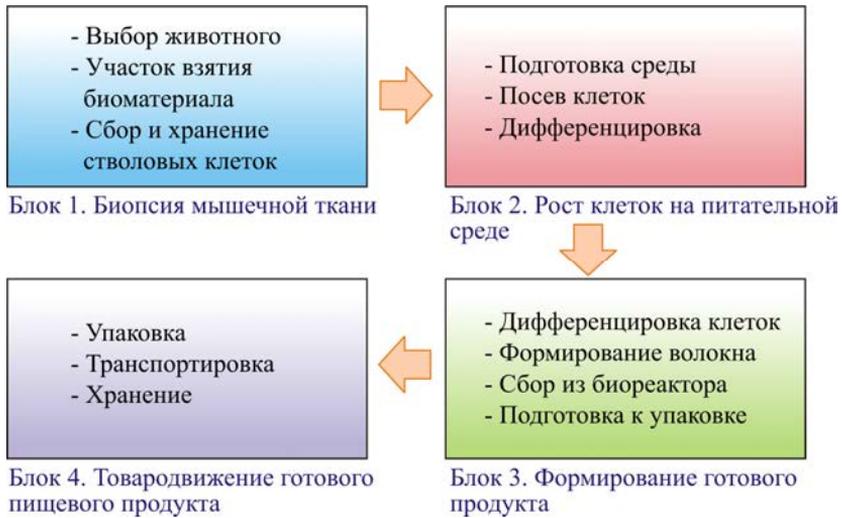


Рис. Блок-схема технологического процесса производства мяса *in vitro*

Особую актуальность данная проблема приобретает в свете активного развития рынка альтернативных белковых продуктов. В то время как в Сингапуре уже осуществляется коммерческая реализация культивированного мяса [6], в странах ЕС, Великобритании и США в настоящее время ведется разработка нормативной базы для данного вида продукции [7]. В связи с этим представляется крайне важным проведение комплексного исследования потенциальных рисков и разработка системы критических контрольных точек (ККТ) для обеспечения безопасности культивированного мяса на всех этапах его производства.

В рамках соблюдения требований Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», регламентирующего безопасность пищевых продуктов, производственные процессы должны быть организованы в соответствии с принципами ХАССП (Анализ опасностей и критические контрольные точки, НАССР). С учетом вышеизложенного представляется актуальным определить критические контрольные точки (ККТ) в технологическом процессе производства культивированного мяса, а также провести идентификацию потенциальных опасностей для здоровья потребителей, связанных с данным видом продукции, с целью последующей оценки риска.

Материалы и методы. В ходе исследования был проведен анализ данных, представленных в научных публикациях, посвященных технологиям производства культивированного мяса, а также нормативных документов, включая российские стандарты (ГОСТ Р 51705.1-2001, ГОСТ Р ИСО 22000-2019). Методологическая база исследования включала систематический поиск, изучение и критический анализ 120 научных источников, из которых для детального рассмотрения было более 10 % наиболее релевантных публикаций. Основной фокус исследования был направлен на идентификацию и оценку потенциальных факторов риска, включая физические, химические, биологические и аллергенные опасности, характерные для различных этапов производственного процесса.

Результаты. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51705.1-2001 [8] и ГОСТ Р ИСО 22000-2019 [9], система НАССР для производства культивируемого

мяса должна включать детальную идентификацию потенциальных опасностей и определение критических контрольных точек (ККТ) на всех этапах технологического процесса. При этом особое внимание уделяется трем основным группам опасностей: физическим, химическим и биологическим.

Физические опасности связаны преимущественно с нарушениями технологических процессов на этапах сбора, упаковки и хранения готового продукта [7]. К ним относится возможное попадание инородных предметов, включая микропластик, способный оказывать токсическое воздействие на организм потребителя [10]. Химические опасности представляют особую сложность для контроля, так как включают широкий спектр веществ: компоненты питательной среды (гормоны, антибиотики, модуляторы роста), продукты их физико-химических превращений [7], а также возможную миграцию химических соединений из упаковочных материалов [11]. Особую проблему представляют вещества, не характерные для традиционного мяса, такие как остатки каркасных структур, чья потенциальная токсичность требует тщательной предварительной оценки [11].

Наибольшее разнообразие рисков связано с биологическими опасностями [11–13]. К ним относятся патогенные микроорганизмы (микоплазмы, вирусы, прионы), возможность контаминации генно-модифицированными или опухолевыми клетками [12], а также потенциальные аллергены, вводимые в процессе производства [7, 14]. Отдельного внимания заслуживает вопрос изменения биологической ценности белка в готовом продукте, что может повлиять на его питательные свойства и привести к алиментарно-зависимым заболеваниям [15].

Анализ производственного процесса выявил 10 критических контрольных точек, распределенных по всем четырем блокам производства [7, 11]. В первом блоке (забор биоматериала) ключевые риски связаны с биологической контаминацией [11]. Второй блок (культивирование клеток) требует контроля как биологических, так и химических факторов, особенно на этапах подготовки питательной среды и роста клеточной массы [4, 12]. Наиболее сложным с точки зрения управления рисками является третий блок (формирование продукта), где сочетаются химические опасности, риск изменения питательных свойств и биологическая контаминация [11, 15]. Четвертый блок (упаковка и хранение) добавляет к этим рискам физические факторы и необходимость предупреждения аллергических реакций через соответствующую маркировку [7, 14].

Таблица демонстрирует ключевые контрольные точки технологического процесса изготовления культивированного мяса.

Характеристика критических точек контроля и факторов опасности в технологии производства мяса *in vitro*

Этап производства мяса <i>in vitro</i>	ККТ	Фактор опасности
Подготовка сырья	Выбор участка тела животного для биопсии	Биологический (контаминация материала микроорганизмами)
	Биопсия ткани	Биологический (контаминация материала микроорганизмами)
Выращивание клеток в питательной среде	Обогащение питательной среды	Химический (внесение питательных, незаявленных и непреднамеренных веществ)
		Аллергический (добавление каркаса – потенциального аллергена)

Окончание таблицы

Этап производства мяса <i>in vitro</i>	ККТ	Фактор опасности
	Посев клеток	Биологический (контаминация среды патогенами, гибель стволовых клеток)
	Рост и дифференцировка ткани	Биологический (контаминация среды патогенами, гибель клеток)
Формирование конечного продукта	Формирование мышечного волокна	Химический (трансформация веществ в потенциально опасные) Изменение биологической ценности
	Сбор конечного продукта	Физический (попадание травмирующих объектов) Биологический (контаминация мяса патогенами при сборе)
Подготовка к реализации	Упаковка конечного продукта	Физический (попадание травмирующих объектов)
		Биологический (контаминация мяса патогенами)
	Хранение конечного продукта	Биологический (рост патогенов при нарушении условий хранения)
		Химический (миграция контаминантов из упаковки) Изменение биологической ценности мяса
Реализация конечного продукта	Аллергический (риск аллергических реакций у потребителя)	

Таким образом, производство культивируемого мяса как инновационного пищевого продукта требует комплексного подхода к управлению рисками, учитывающего отсутствие долгосрочных данных о его потреблении [7, 11, 15]. Разработанная система НАССР должна обеспечивать контроль на всех этапах производства – от забора биоматериала до реализации конечного продукта, с особым вниманием к идентификации новых, не характерных для традиционного мяса видов опасностей [7, 11].

Выводы. Проведенный анализ позволил идентифицировать ключевые факторы опасности, связанные с производством культивируемого мяса, включая физические, химические, биологические и аллергенные опасности, а также возможные изменения биологической ценности продукта. Установлено, что данные угрозы носят нестадийный характер и могут проявляться на различных этапах технологического процесса, что обуславливает необходимость комплексного подхода к обеспечению безопасности продукции.

В соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 управление рисками должно осуществляться на основе принципов НАССР, включая разработку мониторинговых процедур, оценку уровня опасностей и анализ экспозиции. Особое значение приобретает определение потенциальных групп риска и моделирование сценариев потребления, что позволит минимизировать негативное воздействие на здоровье потребителей.

Несмотря на органолептическую и нутритивную схожесть с традиционными мясными продуктами, культивируемое мясо требует специализированной системы контроля, включающей строгую стерилизацию, валидацию технологических процессов и сертификацию компонентов. Полученные результаты подтверждают актуальность дальнейших исследований в области оценки рисков,

а также необходимость совершенствования нормативной базы для регулирования инновационных пищевых технологий. Реализация предложенных мер будет способствовать обеспечению безопасности культивируемого мяса как перспективного продукта питания.

Список литературы

1. Cultivated meat and seafood. 2022 State of the Industry Report. – Good Food Institute, 2023. – 96 p.
2. Treich N. Cultured Meat: Promises and Challenges // *Environmental and Resource Economics*. – 2021. – Vol. 79. – P. 33–61.
3. Chriki S., Hocquette J.-F. The Myth of Cultured Meat: A Review // *Frontiers in Nutrition*. – 2020. – Vol. 7, Art. 7. DOI: 10.3389/fnut.2020.00007
4. Bridging the Gap Between the Science of Cultured Meat and Public Perceptions / A.J. Tomiyama, N.S. Kawecki, D.L. Rosenfeld, J.A. Jay, D. Rajagopal, A.C. Rowat // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – Vol. 104. – P. 144–152. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.07.019
5. Tuomisto H.L., Teixeira de Mattos M.J. Environmental Impacts of Cultured Meat Production // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45, № 14. – P. 6117–6123. DOI: 10.1021/es200130u
6. Safety of Alternative Protein. Singapore Food Agency [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein> (дата обращения: 09.03.2025).
7. Food Safety Aspects of Cell-Based Food. – Rome: FAO/WHO, 2023. – 146 p. ISBN 978-92-4-007094-3.
8. ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294846/4294846300.htm> (дата обращения: 09.03.2025).
9. ГОСТ Р ИСО 22000-2019. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166674> (дата обращения: 09.03.2025).
10. Ververis E. [et al.]. Novel Foods in the European Union: Scientific Requirements and Challenges of the Risk Assessment Process by the European Food Safety Authority // *Food Research International*. – 2020. – Vol. 137, Art. 109515. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109515
11. Hazard Identification: Identification of Hazards in Meat Products Manufactured from Cultured Animal Cells [Электронный ресурс] / ed. by R. Smith-Uchotski, P. Wanjiru. – Food Standards Agency, 2023. – 32 p. – URL: https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/Cultured%20meat%20hazard%20identification%20final_0.pdf (дата обращения: 09.03.2025).
12. Woll S., Boehm I. In-Vitro Meat: A Solution for Problems of Meat Production and Meat Consumption? // *Ernährungs Umschau*. – 2018. – Vol. 65, № 1. – P. 12–21. DOI: 10.4455/eu.2018.003
13. Conceptual Evolution and Scientific Approaches about Synthetic Meat / A.M. Fernandes, O. de Souza Teixeira, J.P. Palma Revillion, Â.R.L. de Souza // *Journal*

of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 57, № 6. – P. 1991–1999. DOI: 10.1007/s13197-019-04155-0

14. Scaffolds for Cultured Meat on the Basis of Polysaccharide Hydrogels Enriched with Plant-Based Proteins / J.O. Wollschlaeger, R. Maatz, F.B. Albrecht, A. Klatt, S. Heine, A. Blaeser, P.J. Kluger // Gels. – 2022. – Vol. 8, Art. 94. – DOI: 10.3390/gels8020094

15. Protein-Amino Acid Metabolism Disarrangements: The Hidden Enemy of Chronic Age-Related Conditions / E. Pasini, G. Corsetti, R. Aquilani, C. Romano, A. Picca, R. Calvani, F.S. Dioguardi // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, № 4, Art. 391. DOI: 10.3390/nu10040391

Содержание токсичных элементов в зерне и крупах в различных регионах произрастания

К.О. Гилева, Е.В. Стенно, А.В. Недошитова,
Е.А. Сухих, А.Е. Николаева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Зерновые культуры и крупы – важнейшие компоненты рациона человека, однако они могут накапливать тяжелые металлы, такие как ртуть (Hg), кадмий (Cd), свинец (Pb), мышьяк (As), хром (Cr) и олово (Sn). Их содержание зависит от антропогенного загрязнения почвы, воды и воздуха, а также от природных геохимических особенностей региона. В сельском хозяйстве для получения высоких урожаев зерновых культур используются удобрения, содержащие тяжелые металлы.

Наибольшее загрязнение зерна тяжелыми металлами наблюдается в районах с развитой промышленностью и интенсивным использованием агрохимикатов.

Анализ и обобщение международных практик контроля содержания токсичных элементов, таких как Hg, Pb, Cd, As, в зерновых культурах и крупах, а также разработка точных и высокочувствительных методов анализа является критически важными задачами. Это позволяет организовать системный мониторинг качества продукции, что напрямую способствует обеспечению эпидемиологической безопасности населения.

Ключевые слова: токсиканты, химические элементы, тяжелые металлы, крупы, зерно, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Зерновые и зернобобовые культуры являются основной частью ежедневного рациона, обеспечивающего население всего мира углеводами, белками и другими питательными веществами [1]. Зерно каждой культуры в зависимости от сорта, условий выращивания и других факторов может иметь различный химический состав. Состав российских продуктов питания приведен в Справочнике Института питания [2–4].

Быстрое развитие промышленной и сельскохозяйственной деятельности, урбанизация и добыча полезных ископаемых привели к значительному увеличению загрязняющих веществ в почве, воде и воздухе.

Потребление продуктов с высоким содержанием тяжелых металлов может иметь серьезные последствия для здоровья, включая нарушение работы почек, нервной системы и увеличение риска раковых заболеваний. Токсичность металлов зависит от интенсивности, продолжительности, частоты и путей их воздействия. Выявленные токсические эффекты воздействия алюминия (Al) и стронция (Sr) на организм человека, поступающих чаще всего из питьевой воды и продуктов питания, в настоящее время привели к включению их в группу веществ 2-го класса опасности, аналогично соединениям мышьяка (As) [5].

В Российской Федерации в рамках контроля безопасности пищевой продукции регламентируется содержание шести токсичных элементов: Hg, Cd, Pb, As, Cr и Sn. Наибольшую угрозу для здоровья человека из них представляют ртуть, кадмий и свинец, обладающие высокой токсичностью даже в минимальных концентрациях. Остальные тяжелые металлы (хром, олово) в микродозах входят в состав биологически активных соединений, необходимых для функционирования организма, однако при превышении допустимых уровней они также проявляют токсические свойства.

В соответствии СанПин 2.3.2.1078-01¹ и ТР ТС 021/2011² установлены предельно допустимые уровни содержания высокотоксичных элементов – ртути (Hg), свинца (Pb), кадмия (Cd) и мышьяка (As) – в пищевой продукции. Для зерна и продуктов его переработки Комиссией Codex Alimentarius³ определены максимальные допустимые концентрации мышьяка, свинца и кадмия, которые варьируются в зависимости от вида зерновой культуры [6, 7]. Гигиенические требования зерна, зернобобовых культур и круп представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Гигиенические требования безопасности пищевых продуктов (ТР ТС 021/2011), мг/кг

Продукт	Элемент			
	Pb	As	Cd	Hg
Бобовые	0,5	0,3	0,1	0,02
Зерно продовольственное		0,2		0,03
Крупа, толокно, хлопья				

¹ СанПин 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения: 12.04.2025).

² ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 12.04.2025).

³ Codex Alimentarius Commission. CODEX GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED (CODEX STAN 193-1995 Rev.1997-2014) [Электронный ресурс]. – URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/general-standard-contaminants-toxins-food-feed-codex-stan-193-1995_en (дата обращения: 12.04.2025).

Т а б л и ц а 2

Максимальные допустимые уровни содержания (MRL_S) токсичных элементов по данным Codex Alimentarius (CODEX STAN 193-1995) и Regulation European Commission (№ 1881/2006), мг/кг

Элементы	Продукт	MRL _S *, мг/кг	Продукт	MRL _S **, мг/кг
As	Рис очищенный/полированный	0,35/0,2	-	-
Cd	Бобовые	0,1	Зерновые, за исключением пророщенных зерновых, отрубей, пшеницы, риса	0,1
	Зерно	0,1		
	Рис	0,4	Пророщенные зерновые, отруби, пшеница, рис	0,2
	Пшеница	0,2	Соевые бобы	0,2
Pb	Бобовые	0,1	Зерновые, бобы и зернобобовые	0,2
	Зерно, кроме гречихи	0,2		

Примечание: * – Codex Alimentarius (CODEX STAN 193-1995); ** – Regulation European Commission (№ 1881/2006).

Многочисленные научные исследования сфокусированы на изучении концентраций токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах, выращиваемых в различных географических зонах, а также в продуктах их переработки (крупах, муке, готовых изделиях) (табл. 3). Исследования проведены с применением масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС).

Т а б л и ц а 3

Концентрации химических элементов и максимально допустимые пределы (мг/кг) в зерне и крупах в различных регионах произрастания

Продукт	Среднее значение, мг/кг (диапазон концентраций элементов, мг/кг)						Страна происхождения	Литература
	As	Cd	Pb	Hg	Al	Sr		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмень	-	0,030	0,030	-	11,43	-	Италия	Brizio et al., 2016 [8]
Зерновые продукты	~0,005	0,014	~0,005	< 0,0005	2,32	1,0	Великобритания	Baxter M., Brereton N. 2015 [9]
Зерно, Крупы	-	0,0031–0,0165	0,0379–0,1258	0,0003–0,0035	-	-	Россия, Казань	Фомина С.Ф., Степанова Н.В., 2023 [10]
Зерно (овес, пшеница, ячмень)	0,1 ± 0,06	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,00036 ± 0,00027	-	4,71 ± 3,59	Россия, Свердловская область	Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавин А.В., 2023 [11]
Пшеница	0,0304	0,0271	0,0438	-	-	-	Испания	Marin S., Pardo O., 2018 [12]
	0,640 ± 0,205	0,100 ± 0,025	0,310 ± 0,021	-	-	-	Бангладеш	Islam, Ahmed, & Habibullah-Al-Mamum, 2014 [13]
	-	0,04	0,020	-	5,32	-	Италия	Brizio et al., 2016 [8]
	-	0,254 ± 0,127	0,059 ± 0,023	-	-	-	Китай	Chen et al., 2018 [14]
	-	0,013	0,07	-	4,85	1,60	Кабо Верде	Rubio-Armendáriz C., Paz S., 2021 [15]
	0,0060 ± 0,0006	0,0012 ± 0,0001	0,087 ± 0,0014	-	0,82 ± 0,03	0,35 ± 0,03	Бразилия	Nardi, 2009 [16]

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0,01-0,08	0,02-0,1	0,01-0,3	0,003–0,005	-	-	Казахстан	Tattibayva D., 2015 [17]
Пшеничная мука	0,008	0,03	0,006	< 0,0002	5,19	2,37	Великобритания	Baxter M., Brereton N., 2015 [9]
	0,005	0,028 ± 0,007	-	-	-	-	Хорватия	Vrcek & Vinkovic Vrcek, 2012 [18]
	0,008	0,009	0,009	0,002	-	-	Россия, Оренбург	Боев В.М., Кряжева Е.А., 2019 [19]
	-	0,019	0,03	-	1,28	0,77	Кабо Верде	Rubio-Armendáriz C., Paz S., 2021 [15]
Рис	0,17	0,011	0,003	-	0,53	0,20	Португалия	Pinto E., Almeida A., 2016 [20]
	0,012	0,0083	0,002	0,005	1,32	-	Франция	Arnich N., 2012 [21]
	-	0,025	0,02	-	19,52	-	Италия	Brizio et al., 2016 [8]
	0,1468 (0,116-0,2330)	0,012 (0,009-0,0153)	0,0091	-	-	-	Испания	Marin S., Pardo O., 2018 [12]
	0,24 (0,04-0,36)	< 0,01	0,05-0,25	< 0,01	-	0,86–2,47	Казахстан	Tattibayeva D., Nebot C., 2015 [22]
	0,630 ± 0,160	0,170 ± 0,110	0,400 ± 0,056	-	-	-	Пакистан	Nawab Farooqi, Xiaoping Khan, & Khan, 2018 [23]
Манная крупа	0,016 (0,005-0,036)	0,008 (0,001-0,020)	0,004 (0,003-0,005)	0,005 (0,005-0,005)	1,45 (0,472-3,01)	-	Франция	Millour S., Noël L., 2011 [24]
Хлопья на завтрак	0,012 (0,010-0,014)	0,005 (0,004-0,007)	0,006 (0,005-0,010)	0,005 (0,005-0,005)	0,780 (0,47-1,04)	-	Франция	Millour S., Noël L., 2011 [24]
	~0,010	0,026	< 0,004	< 0,001	2,42	1,65	Великобритания	Baxter M., Brereton N., 2015 [9]
	0,0306	0,0238	0,0471	-	-	-	Испания	Marin S., Pardo O., 2018 [12]
Овсяные хлопья	-	0,065	0,025	-	14,41	-	Италия	Brizio et al., 2016 [8]
Допустимый уровень, мг/кг	0,2	0,1	0,5	0,03	-	-	ЕС	ТР ТС 021/2011

Примечание: «-» – нет данных.

Пшеница (*Triticum aestivum L.*) – одна из важнейших сельскохозяйственных культур, выращивается в различных климатических условиях. Пшеница имеет высокое содержание белка (14–16 %) и глютена (21,40 %).

Порядок накопления тяжелых металлов в зернах пшеницы и ранжирование представлено в ряду: Zn < Pb < Cr < Cu < As < Hg < Cd [17].

В результате того что свинец имеет очень низкую растворимость в почве и растениях, зерно пшеницы не поглощает много Pb. Основной путь попадания Pb в растения – это внешние источники загрязнения.

В необработанной пшенице, выращенной в Бангладеш, зафиксировано трехкратное превышение допустимых уровней As [13]. Исследователи [17] установили,

что концентрации этого элемента в невымытом зерне значительно выше, чем в промытом. As накапливается во всех надземных частях пшеницы и лишь небольшая часть находится в зерне [25].

В образцах пшеницы из промышленных регионов Китая содержание кадмия (Cd) превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в 2,5 раза, что связывают с загрязнением почв [14]. Содержание Al в пшенице составляет 0,8–4,85 мг/кг, а Sr – 0,35–1,6 мг/кг [15, 16].

Данные по содержанию токсичных элементов в зерновых (овес, пшеница, ячмень), выращиваемых в регионах РФ, ограничены, однако в доступных исследованиях [10, 11] превышений ПДК не выявлено, включая зоны с неблагоприятной экологической обстановкой [11].

В пшеничной муке, манной крупе [9, 15, 18, 24], овсяных хлопьях и готовых завтраках на основе злаков [8, 9, 12, 24] концентрации As, Cd, Hg и Pb остаются ниже установленных норм. Это свидетельствует об эффективности технологических процессов (очистка, помол), снижающих уровень загрязнителей.

Рис имеет свойство аккумулировать тяжелые металлы из почвы и воды, что связано с его агротехникой. Рис выращивают на заливных полях, где металлы могут легче поглощаться корнями. Это делает рис восприимчивым к загрязнению по сравнению с другими зерновыми, такими как пшеница и ячмень [8, 20–24]. Наибольшее количество Cd и As выявлено в необработанном рисе, выращенном в Пакистане: 0,17 и 0,63 мг/кг соответственно [23]. Эти значения превышают предельно допустимые уровни, установленные международными нормативами. Содержание Sr определено в необработанном рисе из Казахстана в диапазоне от 0,86 до 2,5 мг/кг [22]. В необработанном рисе из Италии авторами обнаружено количество Al, равное 19,52 мг/кг [8].

Выводы. Наибольшие концентрации токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах выявлены в регионах с развитой промышленностью и высоким уровнем антропогенного воздействия – Китай, Пакистан, Бангладеш.

Систематический сбор и анализ научных данных о содержании этих загрязнителей в растениеводческой продукции крайне важен для оценки рисков проникновения токсичных элементов в пищевую цепь и разработки стратегий по минимизации их воздействия на население.

Учитывая ключевую роль зерновых в рационе человека, регулярный мониторинг их безопасности, включая контроль содержания тяжелых металлов, должен стать обязательным элементом программ по обеспечению качества пищевой продукции.

Список литературы

1. Wheat Facts and Futures Cimmyt Mexico / J. Dixon, H.J. Braun, P. Kosina, J.H. Crouch [Электронный ресурс]. – Mexico: CIMMYT, 2009. – 95 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10883/1265> (дата обращения: 13.02.2025).
2. Айрумян В.Ю., Сокол Н.В., Ольховатов Е.А. Химический состав продуктов переработки зерна риса и кукурузы для повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. – 2020. – № 3. – С. 3–10. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.001

3. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: справочник. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

4. Базы данных химического состава пищевых продуктов в эпоху цифровой нутрициологии / В.В. Бессонов, М.Н. Богачук, Д.О. Боков, М.А. Макаранко, А.Д. Малинкин, М.С. Сокуренок [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – Т. 89 (4). – С. 211–219. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10058

5. Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктами / О.В. Багрянцева, Г.Н. Шатров, С.А. Хотимченко, В.В. Бессонов, О.В. Арнаутков // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1. – С. 59–68. DOI: 10.21668/health.risk/2016.1.07

6. European Commission (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs [Электронный ресурс] // Off J Eur Union. – 2006. – Vol. L364. – P. 5–14. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF> (дата обращения: 21.04.2025).

7. European Commission (2011) Commission Regulation (EU) No 836/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 333/2007 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of the levels of lead, cadmium, mercury, inorganic tin, 3-MCPD and benzo (a) pyrene in foodstuffs [Электронный ресурс] // Off J Eur Union. – 2011. – Vol. L215. – P. 9–16. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0009:0016:EN:PDF> (дата обращения: 21.04.2025)

8. Heavy metals and essential elements in Italian cereals / P. Brizio, A. Benedetto, S. Squadrone, A. Curcio, M. Pellegrino, M. Ferrero, M. Abete // Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance. – 2016. – Vol. 9 (4). – P. 261–267. DOI: 10.1080/19393210.2016.1209572

9. Baxter M., Brereton N. Total Diet Study of metals and other elements in food [Электронный ресурс]. – Report for the UK Food Standards Agency (FS102081), 2015. – 69 p. – URL: https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/total-diet-study-of-metals-and-other-elements-in-food_0.pdf (дата обращения: 14.06.2024)

10. Фомина С.Ф., Степанова Н.В. Неканцерогенный риск для здоровья детского населения г. Казани, обусловленный контаминацией пищевых продуктов и сырья // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 4. – С. 42–8. DOI: 10.21668/health.risk/2017.4.04

11. Тяжелые металлы и мышьяк в пищевой продукции района размещения промышленных предприятий и атомной электростанции / А.В. Панов, А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, Е.В. Сидорова, Ю.Н. Корнеев // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 70–76. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-70-76

12. Assessment of metal levels in foodstuffs from the Region of Valencia (Spain) / S. Marín, O. Pardo, A. Sánchez, G. Font, V. Yusà // Toxicology Reports. – 2018. – № 5. – P. 654–70. DOI: 10.1016/j.toxrep.2018.05.005

13. Islam M.S., Ahmed M.K., Habibullah-Al-Mamun M. Heavy metals in cereals and pulses: health implications in Bangladesh // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2014. – Vol. 62. – P. 10828–10835. DOI: 10.1021/jf502486q

14. Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested / L. Chen, S. Zhou, Y. Shi, C. Wang, B. Li, Y. Li, S. Wu // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 615. – P. 141–149. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.230

15. Toxic Metals in Cereals in Cape Verde: Risk Assessment Evaluation / C. Rubio-Armendáriz, S. Paz, Á.J. Gutiérrez, V. Gomes Furtado, D. González-Weller, C. Revert, A. Hardisson // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18 (7). – P. 3833. DOI: 10.3390/ijerph18073833
16. The use of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP–MS) for the determination of toxic and essential elements in different types of food samples / E.P. Nardi, F.S. Evangelista, L. Tormen, T.D. Saint-Pierre, A.J. Curtius, S. de Souza Samuel, Jr F. Barbosa // *Food Chemistry*. – 2009. – Vol. 112. – P. 727–732. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.06.010
17. A study on toxic and essential elements in wheat grain from the Republic of Kazakhstan / D. Tattibayeva, C. Nebot, J.M. Miranda, A.B. Abuova, T.A. Baibaturov, M.Z. Kizatova [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 23 (6). – P. 5527–5537. DOI: 10.1007 / s11356-015-5728-4
18. Vrček V., Vinković Vrček I. Metals in organic and conventional wheat flours determined by an optimised and validated ICP-MS method // *International journal of food science & technology*. – 2012. – Vol. 47. – P. 1777–1783. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03034.x
19. Гигиеническая оценка риска здоровью населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов / В.М. Боев, Е.А. Кряжева, Д.Н. Бегун, Е.Л. Борщук, Д.А. Кряжев // *Анализ риска здоровью в гигиене*. – 2019. – Т. 2. – С. 35–43. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04
20. Pinto E., Almeida A., Ferreira I.M.P.L.V.O. Essential and non-essential/toxic elements in rice available in the Portuguese and Spanish markets // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2016. – Vol. 48. – P. 81–87. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.02.008
21. Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study / N. Arnich, V. Sirot, G. Rivière, J. Jean, L. Noël, T. Guérin, J. Leblanc // *Food Chem Toxicol*. – 2012. – Vol. 50 (7). – P. 2432–49. DOI: 1016/j.fct.2012.04.016
22. A study on toxic and essential elements in rice from the Republic of Kazakhstan: comparing the level of contamination in rice from the European Community / D. Tattibayeva, C. Nebot, J.M. Miranda [et al.] // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2015. – Vol. 38 (1). – P. 85–98. DOI: 10.1007/s10653-015-9687-y
23. Levels, dietary intake, and health risk of potentially toxic metals in vegetables, fruits, and cereal crops in Pakistan / J. Nawab, S. Farooqi, W. Xiaoping, S. Khan, A. Khan // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25. – P. 5558–5571. DOI: 10.1007/s11356-017-0764-x
24. Pb, Hg, Cd, As, Sb and Al levels in foodstuffs from the 2nd French total diet study / S. Millour, L. Noël, A. Kadar, R. Chekri, C. Vastel, V. Sirot, J. Leblanc, T. Guérin // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 126 (4). – P. 1787–1799. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.086
25. Capar S.G., Mindak W.R., Cheng J. Analysis of food for toxic elements // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2007. – Vol. 389. – P. 159–169. DOI: 10.1007/s00216-007-1433-6

Миграция стирола в пищевые продукты и модельные среды. Обзор

Т.Д. Карнажицкая, М.О. Старчикова, Т.С. Пермякова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Химические соединения в составе полимерных упаковочных материалов могут мигрировать в продукты питания. Одним из наиболее распространенных в мире материалов, используемых для упаковки продуктов питания, является полистирол. Представлен литературный обзор зарубежных и отечественных источников, касающихся уровня миграции стирола из стиролсодержащих упаковочных материалов в пищевые продукты и модельные среды. Поиск исходных статей проведен по ключевым словам в библиографических и реферативных базах данных Scopus, Web of Science, CrossRef, PubMed, в отечественной электронной библиотеке eLIBRARY.ru.

Большинство публикаций представлены исследованиями по изучению миграции стирола в молочные продукты и питьевую воду. Диффузия стирола из полистирольной упаковки зависит от его концентрации в упаковочном материале, природы пищевых продуктов, температуры хранения и продолжительности контакта. Стирол присутствует в большинстве образцов твердых и жидких продуктов. Максимальные концентрации стирола обнаружены в кориче из-за присутствия в составе продукта коричной кислоты и в модельных средах, имитирующих продукты питания.

Большая часть продуктов, упакованных в полистирольную упаковку, особенно готовые к употреблению, загрязнена стиролом. Содержание стирола в продуктах питания в основном ниже допустимого уровня, вместе с тем использование пластиковых материалов и хроническое поступление стирола с пищей представляют потенциальный риск для здоровья человека.

Ключевые слова: полистирол, стирол, миграция, упаковка, пищевые продукты, модельные среды.

Полистирольные пластики широко применяются во всем мире в качестве материала для изготовления одноразовой посуды и упаковки пищевых продуктов. Полистирол содержит остаточные количества мономера стирола, который способен мигрировать в контактирующие среды, в том числе в продукты питания, изменять вкусовые качества пищи [1] и оказывать потенциально опасное воздействие на здоровье. По данным W. Tang et al., остаточное содержание мономерного стирола в пищевых упаковках составляет от 100 до 3000 мг/кг [2]. Как правило, существует прямая корреляция между остаточным содержанием стирола в упаковочных материалах и уровнем его миграции в пищевые продукты [3]. Стирол не является мутагенным соединением, вместе с тем его первичный метаболит – стирол-7,8-оксид – способен связываться с макромолекулами белков и ДНК, является мутагенным и непосредственно отвечает за генотоксические эффекты стирола [4–7]. Стирол оказывает токсическое действие на печень [8], угнетает деятельность центральной нервной системы, что приводит к неврологическим нарушениям [9, 10]. Международное агентство по изучению рака (МАИР) отнесло стирол

к возможно канцерогенным для человека веществам с ограниченными доказательствами канцерогенности у экспериментальных животных и недостаточными доказательствами у людей (группа 2В). Стирол-7,8-оксид отнесен к веществам группы 2А, вероятно канцерогенным для человека, с достаточными доказательствами канцерогенности у экспериментальных животных и недостаточными доказательствами у людей [4].

Для решения задачи прогнозирования и оценки риска потенциального воздействия стирола, поступающего в организм пероральным путем, на здоровье потребителей необходима информация о степени миграции остаточного стирола в различные категории продуктов питания, упакованных в полистирольный пластик.

Цель исследования – литературный обзор отечественных и зарубежных источников информации, касающихся уровня миграции стирола из стиролсодержащих упаковочных материалов в пищевые продукты и модельные среды.

Материалы и методы. Поиск исходных статей проведен по ключевым словам «стирол», «полистирол», «упаковка», «миграция», «продукты питания», «модельные среды», которые были найдены в библиографических и реферативных базах данных Scopus, Web of Science, CrossRef, PubMed, в отечественной электронной библиотеке eLIBRARY.ru.

Результаты. Важным механизмом обеспечения безопасности продуктов питания является использование пределов миграции химического вещества из упаковки. В Российской Федерации действует Технический регламент ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки»¹, в соответствии с которым допустимое количество миграции (ДКМ) стирола, выделяющегося из полистирола и сополимеров стирола, контактирующих с пищевой продукцией, не должно превышать 0,01 мг/дм³. Содержание стирола (Guideline value, нормативное значение) в питьевой воде, согласно рекомендациям ВОЗ, не должно превышать 0,02 мг/дм³ [11]. По данным зарубежных источников предел миграции стирола (Specific Migration Limit, SML) из упаковочного материала в пищевые продукты не установлен [12]. Ориентировочное значение SML, планируемое к утверждению Европейской комиссией по здравоохранению и безопасности пищевых продуктов, составляет 40 мкг/кг (0,04 мг/кг) [13].

Представлен обзор литературных источников о содержании стирола в продуктах питания, питьевой воде, модельных средах, хранящихся в стиролсодержащих материалах, а также факторов, влияющих на процесс миграции стирола в контактирующие среды. Исследование миграции стирола в продукты питания и имитирующие среды широко освещено в зарубежных источниках. В Российской Федерации аналогичные исследования ограничены.

Разработаны методические указания по контролю качества изделий из полистирола и сополимеров стирола, предназначенных для контакта с пищевыми про-

¹ ТР ТС 005/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности упаковки» (с изменениями на 6 сентября 2024 года) / утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 года № 769 (Приложение 1. Санитарно-гигиенические показатели безопасности и нормативы веществ, выделяющихся из упаковки (укупорочных средств), контактирующих с пищевой продукцией) [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902299529> (дата обращения: 13.02.2025).

дуктами¹. Для определения стирола в модельных средах и продуктах питания действуют методические рекомендации². Автор Р.С. Хамидуллин с соавт. при проведении токсикологического исследования по хроническому воздействию стирола, выщелоченного из стаканчиков из жесткого полистирола, на животных определил концентрацию стирола в водной вытяжке на уровне 0,2 мг/дм³. Для приготовления экстрактов стаканчики заливали кипящей водопроводной водой и оставляли на сутки при комнатной температуре, затем использовали экстракты в качестве питья для животных. На основании санитарно-химических, токсикологических и патогистологических исследований авторы пришли к выводу, что изделия, изготовленные из суспензионного полистирола, отдают в водные вытяжки вещества, влияющие на организм животных. Вследствие этого они не могут быть рекомендованы для применения в пищевой промышленности при непосредственном контакте с продуктами питания [14].

Для определения стирола в различных матрицах применяются селективные и высокочувствительные методы анализа – высокоэффективная жидкостная хроматография с ультрафиолетовым (ВЭЖХ/УФ) и флуориметрическим (ВЭЖХ/ФЛД) детектированием, газовая хроматография с пламенно-ионизационным (ГХ/ДИП) и масс-спектрометрическим (ГХ/МС) детектированием.

По данным зарубежной литературы содержание стирола в образцах воды, выщелоченного из полистирольных упаковочных материалов в различных условиях экспозиции, варьируется в широком диапазоне – от 0 до 0,295 мг/дм³ (табл. 1).

Минимальные концентрации стирола определены в образцах водопроводной и природной воды при хранении в замороженном виде. При длительном хранении образцов воды в полистирольной упаковке при комнатной температуре уровень стирола в образцах значительно повышается. Максимальный уровень стирола, превышающий допустимые значения, установлен в дистиллированной воде, термостабируемой при 66 °С в течение 8 суток. Авторы отмечают, что высокая температура и длительность хранения играют важную роль в увеличении выщелачивания мономера стирола в воду.

Миграция остаточного стирола из полистирольной упаковки в молоко и молочные продукты представлена в табл. 2.

При хранении образцов в замороженном виде (-20 °С) обнаружены минимальные концентрации стирола, за исключением таковых в йогурте и масле. В охлажденном молоке и молочных продуктах обнаружены концентрации стирола 0,001–0,008 мг/кг при хранении в течение от 1 ч до 7 дней. С повышением жирности продукта и при высоких температурах содержание стирола в молоке и молочных продуктах увеличивается. В образцах сыра обнаружены максимальные концентрации стирола, превышающие ориентировочное значение SML 0,04 мг/кг.

¹ МУК 2.3.3.052-96. Санитарно-химическое исследование изделий из полистирола и сополимеров стирола: методические указания по методам контроля / утв. Первым заместителем Председателя Госкомсанэпиднадзора России 15.03.1996 № 2.3.3.052-96 // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080364> (дата обращения: 13.02.2025).

² Методические рекомендации по спектрофотометрическому определению стирола в модельных средах и пищевых продуктах при санитарно-химическом исследовании полистирольных пластиков // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092670/titles> (дата обращения: 13.02.2025).

В некоторых сортах сыра, таких как горгонзола и рокфор, высокое содержание стирола в образцах обусловлено присутствием грибка *Penicillium roqueforti*, который добавляется в сырье в качестве заквасочной культуры при производстве и созревании сыра [27, 28]. Кроме того уровень стирола в образцах сыра, хранящегося в порционной упаковке, в несколько раз выше по сравнению неупакованными образцами.

Таблица 1

Содержание стирола в образцах воды при хранении в полистирольной упаковке (ДКМ 0,01 мг/дм³, Guideline value 0,02 мг/дм³)

Состав	Условия хранения		Концентрация, мг/дм ³	Метод анализа	Источник
	t, °C	Период контакта			
Вода питьевая	4 °C	60 мин	0	ВЭЖХ/УФ	[15]
	0 °C	10 дней	0,0043		
Бутилированная вода	20 °C	Свежеотобранная	0,003	ВЭЖХ/ФЛД	[16]
Бутилированная вода	20 °C	Один месяц	0,012	ГХ/МС	[17]
		7 месяцев	0,029		
Водопроводная вода	-20 °C	1–35 дней	< 0,0007	ГХ/МС	[18]
Вода, природная родниковая			< 0,0003		
Вода, природная минеральная			0,0007		
Дистиллированная вода	30 °C	10 дней	0,05	ГХ/ДИП	[19]
Деионизированная вода	24 °C	Свежеотобранная	0,0015	ГХ/ДИП	[20]
	24 °C	90 дней	0,054		
	66 °C	Свежеотобранная	0,0015		
	66 °C	8 дней	0,295		
Дистиллированная вода	20 °C	3 дня	< 0,001	ВЭЖХ/УФ	[21]
	100 °C	1 ч	0,007		
Дистиллированная вода	60 °C	1 ч	0,0074	ВЭЖХ/УФ	[22]

Таблица 2

Миграция стирола в молоко и молочные продукты (ДКМ 0,01 мг/дм³, ориентировочное значение SML 0,04 мг/кг)

Продукт, жирность	Условия хранения		Концентрация, мг/кг	Метод	Источник
	t, °C	Период контакта			
1	2	3	4	5	6
Молоко, 2 %	-20 °C	1–35 дней	0,001	ГХ/МС	[18]
Сгущенное молоко			< 0,0007		
Сливки			0,0018		
Мороженое			0,0017		
Йогурт			0,019		
Масло			0,018		
Молоко, 0,5 %	30 °C	10 дней	0,1	ГХ/ДИП	[19]
Молоко, 10 %			1,1		
Молоко, 3,6 %	4 °C	3 дня	0,003	ВЭЖХ/УФ	[21]
	100 °C	2 ч	0,071		
Мороженое	-10 °C	60 дней	0,024	ВЭЖХ/УФ	[23]
Молоко	20 °C				
		100 °C		0,008	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Йогурт	4 °С	7 дней	0,021–0,032	ГХ/ДИП, ВЭЖХ/УФ	[24]
Творог			0,010–0,015		
Мороженое			0,008		
Йогурт	4 °С	6 дней	0,012	ГХ	[25]
		13 дней	0,034		
Творог, 0,4 %	4 °С	В течение срока годности продукта	0,004	ГХ/МС, ГХ/ДИП	[26]
Творог, 14 %			0,013		
Йогурт, 1,5 %			0,006		
Сливки, 15 %			0,014		
Сыр, порционная упаковка, 23 %			0,052		
Сыр, порционная упаковка, 21 %			0,043		
Сыр горгонзола	4 °С	30 дней	0,138-0,250	ГХ/МС	[27]
Сыр горгонзола в упаковке			0,609-0,802		

Исследования содержания остаточного мономера стирола, мигрирующего из упаковки в образцы различных типов продуктов питания, проведенные X. Сао et al., показали в целом низкие концентрации, за некоторыми исключениями. В мясе и мясных продуктах стирол обнаружен на уровне 0,0009–0,006 мг/кг, в рыбе – 0,0006–0,002 мг/кг, в хлебе – 0,021–0,034 мг/кг, в хлебобулочных изделиях – 0,006–0,063 мг/кг, в овощах – 0,00006–0,0047 мг/кг, фруктах – 0,00008–0,00015 мг/кг, в алкогольных и безалкогольных напитках – 0,0001–0,004 мг/кг, фастфуде – 0,001–0,049 мг/кг [18]. Стирол обнаружен в оливках и оливковом масле. Концентрация стирола в измельченной оливковой мякоти значительно увеличилась – с 0,027 до 0,23 мг/кг – после хранения в течение 24 ч при температуре окружающей среды, но существенно не изменилась при хранении в холодильнике в течение недели. Авторы предполагают эндогенное происхождение стирола в оливках [29]. В мёде стирол обнаружен в единственном образце с концентрацией 0,31 мг/кг [30]. Самые высокие уровни стирола были обнаружены в образцах корицы – в диапазоне от 0,169 до 39,2 мг/кг [31] и до 524 мг/кг – ввиду близкого структурного сходства между стиролом и коричным альдегидом – природным компонентом ароматизатора корицы [32].

Определение стирола в некоторых продуктах питания затруднено из-за сложного состава матрицы, поэтому для оценки миграции стирола из полистирольной упаковки предложено использовать модельные среды, имитирующие продукты с различным содержанием жира, показателем рН, наличием алкоголя, применяемых при контакте с холодной и горячей пищей. В табл. 3 представлены уровни миграции стирола в модельные среды из изделий из высокопрочного полистирола (HIPS), вспененного полистирола (EPS), экструзионного пенополистирола (XPS), акрилонитрил-бутадиен-стирольного пластика (ABS).

В 3 % водном растворе уксусной кислоты – имитаторе матрицы фруктовых соков [25], концентрации стирольного мономера варьировались от 0,0025 до 0,070 мг/дм³. В 8–15 % водных растворах этанола, имитирующих матрицы мясных продуктов и алкогольных напитков [33], концентрации стирола обнаружены на уровне 0,00003–0,049 мг/дм³. В 50 % водном растворе этанола – имитаторе матрицы молока [19], установлены максимальные уровни миграции от 0,040 до

6,04 мг/дм³. В целом уровень миграции стирола в модельные среды имеет более высокие значения по сравнению с содержанием химического вещества в продуктах питания.

Таблица 3

Миграция стирола в модельные среды

Изделие	Концентрация стирола в модельной среде, мг/дм ³			Условия тестирования		Источник
	3%-ная уксусная кислота	8–15%-ный р-р этанола	50%-ный р-р этанола	t, °C	Время	
Стаканчик (HIPS)	0,029	0,015	0,211	100	1 ч	[21]
Стаканчик (HIPS)	0,0121	0,0004	0,0773	60	1 ч	[22]
Стаканчик (EPS)	0,0025	0,0080	0,0779			
Бокал HIPS	0,0167	0,0033	0,0406			
Контейнер для еды на вынос (EPS)	0,0260	0,0095	0,190			
Поддон для мяса (EPS)	-	0,00003	-	5	240 ч	
Одноразовая тарелка (XPS)	0,0091	-	6,04	70	2 ч	
Контейнер (ABS)	-	-	0,090	20	24 ч	[26]
Стаканчик (EPS)	0,028	0,049	-	51	3 ч	[32]
	0,070	0,228	-		18 дней	

Выводы. Анализ литературных источников, изучающих миграцию стирола в продукты питания при хранении в полистирольной упаковке, показал, что в большинстве образцов присутствует стирол. Миграция стирола в продукты питания варьируется в широком диапазоне концентраций. Максимальное содержание стирола обнаружено в корице из-за присутствия в составе продукта коричной кислоты. Минимальное количество стирола мигрирует в холодные напитки и воду, включая бутилированную.

В модельных средах, имитирующих различные группы продуктов питания, обнаружено более высокое содержание стирола, по сравнению с продуктами, и составляет от 0,04 до 6,0 мг/дм³.

Миграция стирола из упаковки зависит от его концентрации в упаковочном материале, природы пищевых продуктов (содержание жира, алкоголя, pH и др.), температуры хранения и продолжительности контакта.

Содержание стирола в продуктах питания в основном ниже допустимого предела, вместе с тем использование пластиковых материалов и хроническое поступление стирола с пищей представляют потенциальный риск для здоровья человека.

Список литературы

1. Durst G., Laperle E. Styrene monomer migration as monitored by purge and trap gas chromatography and sensory analysis for polystyrene containers // J. Food Sci. – 1990. – Vol. 55, № 2. – P. 522–524. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb06800.x
2. Tang W., Hemm I., Eisenbrand G. Estimation of human exposure to styrene and ethylbenzene // Toxicology. – 2000. – Vol. 144, № 1–3. – P. 39–50. DOI: 10.1016/s0300-483x(99)00188-2

3. Migration of styrene monomer from polystyrene packaging materials into foods: Characterization and safety evaluation / Z. Pilevar, A. Bahrami, S. Beikzadeh, H. Hosseini, S. Jafari // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 91. – P. 248–261. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.020
4. IARC, International Agency for Research on Cancer. Some industrial chemicals. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. – Lyon, 1994. – Vol. 60.
5. Vodicka P., Vodickova L., Hemminki K. 32P-postlabeling of DNA adducts of styrene-exposed lamination workers // *Carcinogenesis*. – 1993. – Vol. 14, № 10. – P. 2059–2061. DOI: 10.1093/carcin/14.10.2059
6. Occupational exposure to styrene: modulation of cytogenetic damage and levels of urinary metabolites of styrene by polymorphisms in genes CYP2E1, EPHX1, GSTM1, GSTT1 and GSTP1 / J. Teixeira, J. Gaspar, S. Silva [et al.] // *Toxicology*. – 2004. – Vol. 195, № 2–3. – P. 231–242. DOI: 10.1016/j.tox.2003.10.010
7. NMR Untargeted and HPLC-MS/MS Targeted Metabolomic Approaches for Evaluating Styrene Exposure in the Urine of Shipyard Workers / O. Giampaoli, F. Sciubba, G. Tranfo, R., Sisto D. Pignini, M. De Rosa, A. Patriarca, A. Miccheli, A. Fetoni, L. Tricarico, M. Spagnoli // *Toxics*. – 2024. – Vol. 12. – P. 182. DOI: 10.3390/toxics12030182
8. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. – 7-е изд., пер. и доп.: в 3 т. – Т. I. Органические вещества / под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. мед. наук Э.Н. Левиной. – Л.: Химия, 1976. – 592 с.
9. Waites R., Sarang S. Evaluation of potential health effects associated with occupational and environmental exposure to styrene – an update / M. Banton, J. Bus, J. Collins, E. Delzell, H. Gelbke, J. Kester, M. Moore // *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B*. – 2019. – Vol. 22, № 1–4. – P. 1–130. DOI: 10.1080/10937404.2019.1633718
10. Environmental styrene exposure and neurologic symptoms in U.S. Gulf coast residents / E.J. Werder, L.S. Engel, D.B. Richardson, M.E. Emch, F.E. Gerr, R.K. Kwok, D.P. Sandler // *Environment International*. – 2018. – Vol. 121. – P. 480–490. DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.025
11. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th Edition Incorporating the First and Second Addenda [Электронный ресурс]. – Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2022. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> (дата обращения: 12.04.2025).
12. Commission regulation (EU) 2023/1442 amending Annex I to Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food, as regards changes to substance authorisations and addition of new substances [Электронный ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1442> (дата обращения: 12.04.2025).
13. European Commission’s Directorate-General for Health and Food Safety (DG SANTE) 2023. Presentation of the Working Group on Food Contact Materials, 9 February 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://food.ec.europa.eu/document/download/7698f46d-e3d4-49c2-b9bc-0a9fa7e6c4a9_en?filename=cs_fcm_wg_20230705_pres-ec.pdf&prefLang=lv (дата обращения: 12.04.2025).
14. Хамидуллин Р.С., Фельдман Н.Р., Вендило Н.В. Гигиеническая оценка изделий из суспензионного полистирола марки ПС-С // *Гигиена и санитария*. – 1968. – № 6. – С. 31–33.

15. Moradi Z., Kiarostami V., Amini M. Rapid Analysis of Styrene in Drinking Water and Tea Samples Using Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Combined with Liquid Chromatography-Ultraviolet Detection // *Food Anal. Methods.* – 2017. – Vol. 10. – P. 41–48. DOI: 10.1007/s12161-016-0547-x
16. Studies on styrene concentration in drinking water and hot beverages in some / N. Rezk, S. Eweda, S., Rezk S. Ahmed // *African Journal of Biotechnology.* – 2018. – Vol. 17, № 25. – P. 779–786. DOI: 10.5897/AJB2018.16432
17. Maqbool A., Ahmed S. Leaching of styrene and other aromatic compounds in drinking water from PS bottles // *Journal of Environmental Sciences.* – 2007. – Vol. 19. – P. 421–426. DOI: 10.1016/S1001-0742(07)60070-9
18. Styrene in foods and dietary exposure estimates / X. Cao, M. Sparling, L. Pelletier, R. Dabeka // *Food Additives & Contaminants: Part A.* – 2018. – Vol. 35, № 10. – P. 2045–2051. DOI: 10.1080/19440049.2018.1512760
19. O'Neill E., Tuohy J., Franz R. Comparison of milk and ethanol/water mixtures with respect to monostyrene migration from a polystyrene packaging material // *International Dairy Journal.* – 1994. – Vol. 4, № 3. – P. 271–283. DOI: 10.1016/0958-6946(94)90017-5
20. Durst G., Laperle E. Styrene monomer migration as monitored by purge and trap gas chromatography and sensory analysis for polystyrene containers // *J. Food Sci.* – 1990. – Vol. 55, № 2. – P. 522–524. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb06800.x
21. Tawfik M., Huyghebaert A. Polystyrene cups and containers: styrene migration // *Food Addit Contam.* – 1998. – Vol. 15, № 5. – P. 592–599. DOI: 10.1080/02652039809374686
22. An Insight into the Growing Concerns of Styrene Monomer and Poly (Styrene) Fragment Migration into Food and Drink Simulants from Poly (Styrene) Packaging / A. Ajaj, S. J'Barī, A. Ononogbo, F. Buonocore, J. Bear, A. Mayes, H. Morgan // *Foods.* – 2021. – Vol. 10. – P. 1136. DOI: 10.3390/foods10051136
23. Khaksar M., Ghazi-Khansari M. Determination of migration monomer styrene from GPPS (general purpose polystyrene) and HIPS (high impact polystyrene) cups to hot drinks // *Toxicol Mech Methods.* – 2009. – Vol. 19, № 3. – P. 257–261. DOI: 10.1080/15376510802510299
24. Flanjak J., Sharrad J. Quantitative analysis of styrene monomer in foods. A limited East Australian Survey // *Journal of the Science of Food and Agriculture.* – 1984. – Vol. 35, № 4. – P. 457–462. DOI: 10.1002/jsfa.2740350416
25. Withey J. Quantitative Analysis of Styrene Monomer in Polystyrene and Foods Including Some Preliminary Studies of the Uptake and Pharmacodynamics of the Monomer in Rats // *Environmental Health Perspectives.* – 1976. – Vol. 17. – P. 125–133. DOI: 10.1289/ehp.7617125
26. Styrene Monomer Levels in Polystyrene-Packed Dairy Products from the Market versus Simulated Migration Testing / V. Guazzotti, V. Hendrich, A. Gruner, A. Störmer, F. Welle // *Foods.* – 2023. – Vol. 12, № 13. – P. 2609. DOI: 10.3390/foods12132609
27. Release of ethylbenzene and styrene from plastic cheese containers / L. Chiesa, S. Soncin, S. Panseri, C. Cantoni // *Vet Res Commun.* – 2008. – Vol. 32. – № 1. – P. 319–321. DOI: 10.1007/s11259-008-9138-7
28. Determination of styrene content in Gorgonzola PDO cheese by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and gas-chromatography mass-spectrometry (GC-MS) /

L. Chiesa, S. Panseri, S. Soncin, L. Vallone, I. Dragoni // *Veterinary Research Communications*. – 2010. – Vol. 34, № 1. – P. 167–170. DOI: 10.1007/s11259-010-9375-4

29. Biedermann M., Grob K., Morchio G. On the origin of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in extra virgin olive oil // *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* – 1995. – Vol. 200. – P. 266–272. DOI: 10.1007/BF01187517

30. Targeted and untargeted gas chromatography-mass spectrometry analysis of honey samples for determination of migrants from plastic packages / R. Penalver, N. Arroyo-Manzanares, N. Campillo, P. Viñas // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 334. – 127547. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127547

31. Determination of Styrene in Selected Foods / D. Steele, M. Thornburg, J. Stanley, R. Miller, R. Brooke, J. Cushman, G. Cruzan // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1994. – Vol. 42, № 8. – P. 1661–1665. DOI: 10.1021/jf00044a015

32. Natural formation of styrene by cinnamon mold flora / J. Lafeuille, M. Buniak, M. Vioujas, S. Lefevre // *J Food Sci.* – 2009. – Vol. 74, № 6. – P. 276–283. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2009.01206.x

33. Dawson P., Seydim A., Hirt D. Styrene Monomer Migration from Expanded Polystyrene Into Food Acids and Ethanol // *Journal of Food Research*. – 2020. – Vol. 9, № 3. – P. 39–52. DOI: 10.5539/jfr.v9n3p39

Раздел VI

Совершенствование аналитической и информационной поддержки анализа рисков здоровью

К цифровой трансформации информационно-справочных систем профилактики распространения инфекционных болезней для безопасной организации трудовых процессов

К.П. Лужецкий^{1,2}

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия
²ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера», г. Пермь, Россия

Стремительное развитие современной медицинской науки поднимает перед Роспотребнадзором вопросы внедрения новых цифровых технологий хранения и систематизации основных требований санитарного законодательства, в том числе и для профилактики инфекционных болезней у работающего населения. В рамках цифровой трансформации разработан электронный «Справочник технологий и инструментов профилактики распространения инфекционных болезней с учетом особенностей организации трудового процесса на предприятиях различных отраслей экономической деятельности» (далее – Справочник). Заинтересованные пользователи получили доступ к адресным, согласованным с общероссийским классификатором видов экономической деятельности, обязательным к исполнению нормативно-правовым документам – санитарным правилам и нормам (СанПиН), санитарным правилам (СП), федеральным законам, постановлениям Правительства Российской Федерации, приказам Минздрава России, решениям Комиссии Таможенного союза, техническим регламентам Таможенного союза, во исполнение которых разработаны СанПиН и СП, а также к индивидуально настроенному пакету технологий и инструментов профилактики распространения инфекционных болезней на основе рекомендованных Роспотребнадзором методических материалов (руководств, методических указаний, методических рекомендаций, методических указаний по методам контроля, временных порядков действий, информационных писем). Для внедрения Справочник размещен на веб-портале «Консультативно-экспертной поддержки и информационного сопровождения обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия в организациях и предприятиях» и доступен по адресу: <http://82.179.117.189>.

Ключевые слова: цифровая трансформация, справочник, информационные технологии и инструменты, профилактика распространения инфекционных болезней, Санитарные правила и нормы (СанПиН), методические рекомендации.

Важная роль в решении поставленных перед Роспотребнадзором задач принадлежит современным информационным технологиям, информационно-аналитическим и справочно-консультационным системам [1–14]. Вместе с тем в настоящий момент отсутствует единая система хранения, систематизации и таргетирования основных требований нормативно-правовой базы санитарного законодательства для безопасной организации трудовых процессов, в том числе в условиях распространения инфекционных болезней.

Цель исследования – в рамках цифровой трансформации разработать и внедрить «Справочник технологий и инструментов профилактики распространения инфекционных болезней с учетом особенностей организации трудового процесса на предприятиях различных отраслей экономической деятельности» (далее – Справочник).

Материалы и методы. Основой для разработки электронного Справочника явились актуальные на текущий момент документы, регламентирующие механизмы безопасной организации трудовых процессов на предприятиях и в организациях в условиях распространения инфекционных болезней. Использована информационная база данных в форматах *.xlsx и *.docx, содержащая систематизированные и параметризованные требования санитарных правил и норм (СанПиН) и санитарных правил (СП) (девять единиц).

Идентифицированы нормативно-правовые акты (федеральные законы, постановления Правительства Российской Федерации, приказы Минздрава России, решения Комиссии Таможенного союза, технические регламенты Таможенного союза – 70 единиц), выполнение которых обеспечивает безопасную организацию трудовых процессов на предприятиях и в организациях в условиях распространения инфекционных болезней, а также во исполнение которых разработаны СанПиН и СП.

Для обеспечения выполнения санитарно-эпидемиологических положений СанПиН 3.3686-21 Роспотребнадзором разработаны актуальные методические рекомендации (МР), разъясняющие практические механизмы реализации требований документа и содержащие технологии и инструменты профилактики распространения инфекционных болезней. При разработке Справочника использованы следующие методические материалы: руководства, методические указания (МУК), МР, МУК по методам контроля, временный порядок действий, информационные письма, актуальность которых согласована с данными справочно-правовой системы «Кодекс» (236 единиц).

Электронный Справочник реализован на платформе DRUPAL – это система управления содержимым (CMS), применяемая как каркас для веб-приложений (CMF), написанная на языке PHP и использующая в качестве хранилища данных реляционную базу данных (поддерживаются MySQL, PostgreSQL и др.). Интерфейс справочника представляет собой электронные таблицы, организованные в иерархической структуре посредством модуля Entity reference hierarchy платформы DRUPAL. На верхнем уровне располагаются нормативные документы с возможностью детализации до уровня статей и подразделов с помощью модуля View Tree.

Всего загружено 1292 файла с технологиями и инструментами, отражено 11 556 статей и пунктов нормативных документов, 2568 статей и пунктов документов технологий профилактики (всего 2,7 ГБ информации).

Результаты. Справочник адресован широкому кругу лиц (это руководители и специалисты на объектах медицинского и биологического профиля, медицинские работники, администрация и управляющий персонал предприятий, службы охраны труда организации, работники предприятий и другие заинтересованные граждане). Для формирования содержательной части справочника обязательные к исполнению нормативно-правовые акты и рекомендательные документы подвергнуты иденти-

фикации и структурированию. Выполнена фрагментация обязательных требований, ее целевое сопряжение с существующими технологиями и инструментами профилактики для подготовки индивидуальных рекомендаций, установлены коды общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД), на которые распространяются требования положений СанПиН и СП.

Справочник имеет внутреннюю сеть взаимосвязей, что позволяет пользователю проследить связь между «Требованиями санитарного законодательства» и «Технологиями и инструментами» в обе стороны. На физическом уровне базы данных платформы взаимосвязи реализованы как ссылки (атрибуты с уникальным идентификатором одного поля сущности) на другую сущность (в данном контексте – электронную таблицу).

Поиск информации реализован в виде фильтра по справочникам системы (таких как ОКВЭД, «Тип нормативного документа», «Тип объекта надзора» и т.д.), а также содержанию текста статей нормативных документов при помощи использования словарей таксономии. Для каждого нормативного документа предоставлена возможность просмотра глоссария, содержащего расшифровки сокращений и аббревиатур данного документа.

Пользователю предоставляется возможность сформировать индивидуально настроенный пакет информации, касающийся требований санитарного законодательства (в соответствии с ОКВЭД), а также медико-профилактических технологий и инструментов по их реализации. В поддержку рекомендованным технологиям в информационном разделе сайта размещены фото-, видео-, аудиоматериалы профилактической направленности.

Для внедрения Справочник размещен на веб-портале «Консультативно-экспертная поддержка и информационное сопровождение обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия в организациях и предприятиях» («ВЕБ-КЭП») и доступен в сети Интернет по адресу: <http://82.179.117.189>

Портал консультационно-экспертной поддержки «ВЕБ-КЭП» ориентирован на информационное сопровождение обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия в организациях и предприятиях с учетом особенностей различных отраслей экономической деятельности. Портал предназначен для руководителей различного уровня и сотрудников предприятий и организаций всех отраслей экономической деятельности.

Доступ к интернет-порталу осуществляется с использованием личного кабинета, в котором содержатся сведения, привязанные к авторизованному пользователю системы: полное наименование пользователя (юридического лица или индивидуального предпринимателя); сокращенное наименование; код основного вида деятельности (по классификатору ОКВЭД) с расшифровкой; юридический адрес; контакты.

Система авторизации предназначена для идентификации пользователей на портале с целью формирования индивидуально настроенного пакета информации, касающегося требований санитарного законодательства, медико-профилактических технологий и инструментов их реализации, фото-, видео-, аудиоматериалов профилактической направленности и т.д. (на основании ОКВЭД). Вход на портал «ВЕБ-КЭП» может осуществляться любым пользователем (без авторизации), при этом будут отсутствовать адресные целевые рекомендации, а функцио-

нал Справочника будет заметно сокращен (отображение таблиц с наложением лишь ряда основных фильтров).

Общий алгоритм работы со Справочником заключается в автоматизации запросов к базе данных с ориентиром на виды деятельности, осуществляемые хозяйствующим субъектом и задаваемые в личном кабинете.

При работе с электронным справочником пользователю доступен просмотр разделов и поиск информации в блоках (рис. 1): 1. Справочник основных требований санитарного законодательства (система выдает перечень обязательных требований, привязанных к ОКВЭД пользователя, и имеющиеся технологии и инструменты для их реализации). 2. Справочник технологий и инструментов (будут предложены имеющиеся технологии и инструменты, связанные с СанПин и СП). 3. Справочник нормативно-правовых актов (отражаются имеющиеся связанные с санитарными требованиями нормативно-правовые акты). 4. Глоссарий.

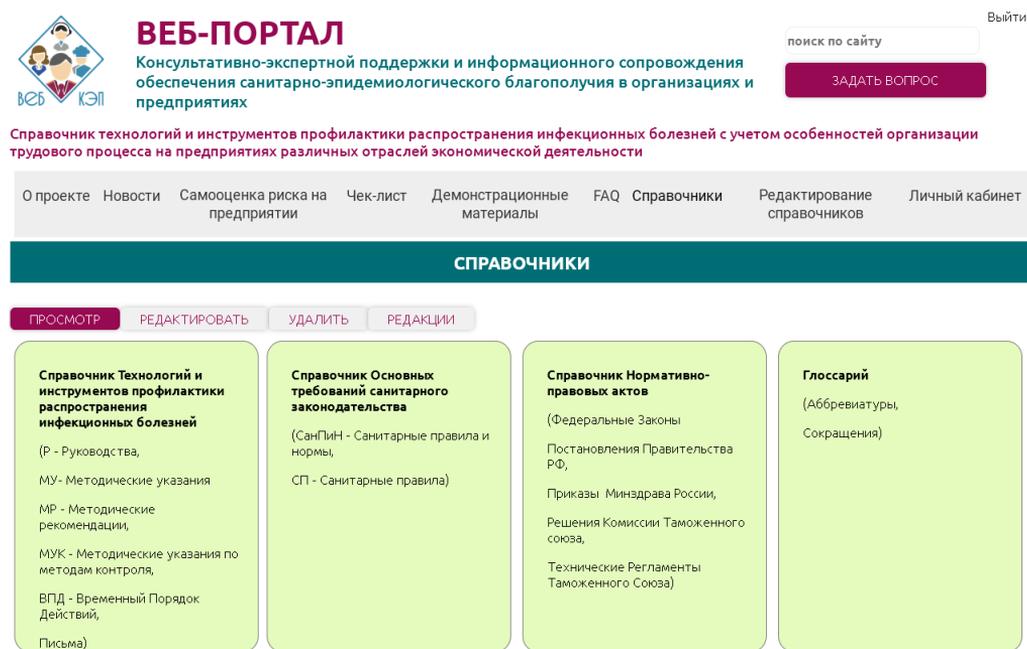


Рис. 1. Разделы электронного Справочника

После завершения поиска документов с требованиями СанПиН или СП, а также существующих технологий и инструментов профилактики пользователю Справочника предоставляется возможность сохранения и распечатки полученной информации, редактируемой в формате *.docx (рис. 2).

Таким образом, современные информационные технологии хранения и систематизации основных требований санитарного законодательства, аккумулирующие актуальные технологии и инструменты профилактики, являются действенным механизмом безопасной организации трудовых процессов на предприятиях и в организациях в условиях распространения инфекционных болезней.

О направлении рекомендаций по организации работы предприятий в условиях распространения рисков COVID-19, МР З.1/2.2.0172/5-20
 Рекомендации по организации работы предприятий в условиях сохранения рисков распространения COVID-19
 Письмо Роспотребнадзора от 20.04.2020 N 02/7376-20/0-24
 Методические рекомендации Роспотребнадзора от 20.04.2020 N 3.1/2.2.0172/5-20

I. Общая организация деятельности предприятия

1.1. Преимущественно, сотрудники должны быть переведены на дистанционную форму работы, с соблюдением режима самоизоляции. В том числе, временному отстранению от работы или переводу на дистанционную форму работы, подлежат лица из групп риска, к которым относятся лица старше 65 лет, а также имеющие хронические заболевания, сниженный иммунитет, беременные женщины.

1.2. Организация работы курьерской службы и прием корреспонденции бесконтактным способом (выделение специальных мест и устройств приема и выдачи корреспонденции) с соблюдением режима дезинфекции.

1.3. Внедрение преимущественно электронного взаимодействия, а также использование телефонной связи и видеоконференцсвязи для передачи информации.

1.4. Прекращение проведения любых массовых мероприятий на предприятии (в организации), запрет участия работников в мероприятиях других коллективов.

1.5. Ограничение направления сотрудников в командировки.

1.6. Обеспечение прохождения предварительных и периодических медицинских осмотров в установленном порядке.

При организации медицинских осмотров и выборе медицинской организации, необходимо учитывать возможность соблюдения медицинскими организациями рекомендаций к организации работы в период действия ограничительных мероприятий, в том числе необходимость максимального ограничения контактов, не допущение массового скопления людей и др. ([письмо Роспотребнадзора от 10.03.2020 N 02/3653-20/0-27](#)). Предпочтение должно быть отдано медицинским организациям, имеющим возможность организации мобильных медицинских комплексов, с выездом на предприятие.

С учетом ограниченной пропускной способности медицинских организаций, первоочередно должен быть организован медицинский осмотр контингентов, представляющих эпидемиологическую опасность, в т.ч. - работников организаций, пищевой промышленности, общественного питания, бытового обслуживания, водопроводных сооружений, образовательных организаций, при осуществлении ими деятельности в период действия ограничительных мероприятий.

Рис. 2. Пример отображения индивидуальных рекомендаций на основе ОКВЭД пользователя

Выводы. В рамках цифровой трансформации создание, внедрение в практику и развитие информационной платформы Роспотребнадзора (интернет-портал «ВЭБ-КЭП» и электронный «Справочник технологий и инструментов профилактики распространения инфекционных болезней»), регламентирующей весь официальный информационный поток, предлагающей пользователям удобный «интуитивный» интерфейс, включающей возможность получения полной, достоверной, изложенной в доступной форме и адресной информации с учетом особенностей организации трудового процесса на предприятиях различных отраслей экономической деятельности, повышает эффективность проводимых профилактических мероприятий.

Список литературы

1. 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» /

В.Б. Алексеев, Д.Н. Лир, К.П. Лужецкий, П.З. Шур // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1412–1417.

2. Берёзкина И.А., Приземина И.Н., Зелинский С.С. Роль информатизации и цифровизации системы здравоохранения в эффективности управления и оказания медицинской помощи // Социальная работа: современные проблемы и технологии. – 2020. – № 1. – С. 22–30.

3. Использование современных информационных технологий в программе снижения избыточной массы тела: результаты пилотного исследования / Б.Э. Горный, А.М. Калинина, М.С. Куликова, С.С. Войлова, М.В. Ярмолко, О.Ю. Кутумова, О.М. Драпкина // Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 35–40.

4. Гришанова Н.В., Гайнов В.С., Красильников М.С. Совершенствование информационно-справочного сопровождения специалистов военного здравоохранения по вопросам организации обеспечения медицинским имуществом // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2019. – Т. 38, № 1. – С. 110–114.

5. Дриго А.Е., Дякина К.В., Желткевич О.В. Формирование единой информационно-функциональной системы оказания медицинской и лекарственной помощи лицам, инфицированным вирусом иммунодефицита человека // Вестник Росздравнадзора. – 2022 – № 2. – С. 34–42.

6. Санитарно-эпидемиологический надзор: новый этап развития в условиях цифровизации и правовых изменений / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, С.В. Бабина, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 2. – С. 4–16.

7. Зубарев С.М. Цифровизация государственного управления: новая административная реформа? // Административное право и процесс. – 2020. – № 7. – С. 62–66.

8. Цифровое здравоохранение. Необходимость и предпосылки / О.Э. Карпов, С.А. Субботин, Д.В. Шишканов, М.Н. Замятин // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3. – С. 6–22.

9. Лужецкий К.П. Йоддефицитные заболевания природно-обусловленного происхождения у детей Пермского края // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2010. – № 3 (204). – С. 25–29.

10. Манкибаев Б.С. Основные направления внедрения искусственного интеллекта в медицине // Наука, образование и культура. – 2019. – № 3 (37). – С. 69–71.

11. Поряева Е.П., Евстафьева В.А. Искусственный интеллект в медицине // Вестник науки и образования. – 2019. – № 6–2 (60). – С. 15–18.

12. Савинов Т.Х. Совершенствование управления сферой здравоохранения: на примере информатизации Московской и Саратовской областей // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2017. – № 7 (1). – С. 63–76.

13. Тихомирова А.А. Цифровая медицина: перспективы российского здравоохранения // Детская медицина Северо-Запада. – 2018. – № 7 (1). – С. 317–318.

14. Эльянов М.М. Медицинские информационные технологии: каталог. – Вып. 20. – М.: CapitalPress, 2020.

Использование больших данных в прогнозе и управлении санитарно-эпидемиологической ситуацией на примере центров по контролю и профилактике заболеваний США

С.И. Мазилев, М.В. Поздняков

Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления
рисками здоровью населения»,
Саратов, Россия

В последние годы использование больших данных в области здравоохранения стало важным инструментом для прогнозирования и управления санитарно-эпидемиологической ситуацией. Рассматриваются методы и технологии, используемые центрами по контролю и профилактике заболеваний США для анализа больших данных, а также их влияние на эффективность управления эпидемиями. Данный опыт может быть полезен для практического внедрения в работу отечественных санитарно-эпидемиологических служб.

Ключевые слова: большие данные, прогнозирование, аналитика данных, общественное здоровье.

Санитарно-эпидемиологическая ситуация в мире становится всё более сложной из-за глобализации, изменения климата и увеличения мобильности населения. В связи с этим использование больших данных для мониторинга и прогнозирования заболеваний приобретает особую значимость. Ведущей организацией в области общественного здоровья являются центры по контролю и профилактике заболеваний США (CDC) с бюджетом на 2025 г. более 9,6 млрд долларов [1]. CDC активно применяют аналитические подходы для мониторинга инфекционных заболеваний, оценки рисков, разработки рекомендаций по профилактике и принятия своевременных управленческих решений.

Методы сбора данных. CDC используют разнородные источники данных для мониторинга и прогнозирования эпидемиологических процессов. К ключевым источникам относятся:

- Национальная система надзора за заболеваемостью (National Notifiable Diseases Surveillance System, NNDSS). Эта система собирает данные о случаях заболеваний, подлежащих обязательной регистрации, из различных источников, включая лаборатории, медицинские учреждения и отделы здравоохранения штатов [2]. Данные содержат информацию о диагнозе, демографических показателях пациента, дате начала заболевания и других важных параметрах.

- Данные о госпитализациях из Национального центра статистики здравоохранения (National Center for Health Statistics, NCHS). CDC используют данные о госпитализациях из национальных баз данных для отслеживания распространенности заболеваний, требующих госпитализации, и оценки тяжести эпидемиологической ситуации [3].

- Данные о смертности из Национального центра статистики здравоохранения (NCHS). Информация о причинах смерти помогает оценить летальность заболеваний и их влияние на смертность населения.

- **Альтернативные источники данных.** В последние годы CDC все больше используют альтернативные источники данных, такие как данные социальных медиа (для выявления ранних сигналов о вспышках заболеваний) [4], данные мобильной связи (для оценки перемещения населения и распространения инфекций) [5] и данные дистанционного зондирования (для анализа влияния климатических условий на распространение заболеваний) [6].

Также CDC используют в своей работе информацию от государственных и международных партнеров (ВОЗ, местные департаменты здравоохранения).

Методы обработки и анализа данных. CDC применяют различные методы обработки и анализа собираемых данных.

- **Статистические методы.** Применяются для анализа данных о заболеваемости и оценивания эффективности профилактических мер.

- **Геопространственный анализ.** Применение геоинформационных систем (ГИС) для визуализации данных о распространении заболеваний и выявления географических паттернов и зон риска.

- **Системы раннего оповещения (National Electronic Disease Surveillance System, NBS).** Данная система не только предоставляет инструменты для мониторинга тенденций заболеваемости и анализа данных в реальном времени, но и упрощает процесс уведомления о случаях заболеваний, позволяя медицинским работникам и лабораториям быстро и эффективно сообщать о новых случаях, что особенно важно для инфекционных заболеваний, требующих немедленного реагирования [7].

Методы прогнозирования и моделирования. Для прогнозирования распространения заболеваний CDC используют два основных подхода:

- **эпидемиологическое моделирование.** Прогнозирует, как инфекционные болезни могут распространяться в популяции, основываясь на собранных данных [8];

- **сценарное моделирование.** Оценивает влияние различных вмешательств, таких как вакцинация или социальное дистанцирование, на распространение заболеваний [9].

Для прогнозирования вспышек заболеваний, анализа паттернов и выявления тенденций в настоящее время используются машинное обучение и искусственный интеллект [10].

Преимущества использования больших данных. С ростом объемов данных и улучшением технологий сбора и анализа данных большие данные становятся важным инструментом в области общественного здоровья, дающим ряд преимуществ.

Улучшенное прогнозирование эпидемий. Большие данные позволяют CDC моделировать распространение заболеваний, учитывая широкий спектр факторов, таких как климат, социальные динамики и поведение населения. Например, анализ данных о социальных медиа и поисковых запросах помогает предсказать вспышки гриппа [11].

Ускоренное реагирование. Быстрый доступ к данным позволяет CDC оперативно реагировать на возникающие угрозы. В ситуации с пандемией COVID-19 использование технологий больших данных способствовало более эффективному отслеживанию случаев инфицирования и разработке рекомендаций по дистанцированию [12].

Персонализированный подход. Анализ больших данных помогает выделить группы риска и разработать целенаправленные программы профилактики и лечения. Это повышает эффективность мер по улучшению здоровья населения [13].

Вызовы использования больших данных. Внедрение больших данных также сопряжено с определенными вызовами, требующими внимания со стороны здравоохранительных организаций.

Конфиденциальность данных. Сбор и анализ больших объемов данных вызывает опасения по поводу защиты личной информации населения. Постоянная угроза утечек и неправильного использования данных требует от CDC разработки строгих норм и процедур [14].

Качество и достоверность данных. Обработка и интерпретация данных могут страдать из-за их неполноты или недостоверности. Это подчеркивает необходимость применения надежных методов верификации и стандартизации данных [15].

Необходимость междисциплинарного подхода. Для эффективного использования больших данных необходимо объединение знаний из различных областей, таких как информатика, эпидемиология и социология. Это может вызвать сложности в коммуникации и сотрудничестве между профессионалами [16]. Также и данные, получаемые из различных источников, для дальнейшей обработки нуждаются в стандартизации.

Выводы. Использование больших данных в управлении санитарно-эпидемиологическими рисками позволяет значительно повысить эффективность реагирования на эпидемии и улучшить качество общественного здравоохранения. CDC служит примером успешной интеграции аналитических технологий в свою работу, что может быть полезно для других стран и организаций.

Список литературы

1. Centers for Disease Control and Prevention. FY 2025 Budget Overview Fact Sheet [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cdc.gov/budget/documents/fy2025/FY-25-Budget-Overview-Factsheet.pdf> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Centers for Disease Control and Prevention. About National Notifiable Diseases Surveillance System [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cdc.gov/nndss/about/index.html> (дата обращения: 14.04.2025).
3. Centers for Disease Control and Prevention. Hospitalization [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cdc.gov/nchs/hus/topics/hospitalization.htm> (дата обращения: 14.04.2025).
4. de Vere Hunt I., Linos E. Social Media for Public Health: Framework for Social Media-Based Public Health Campaigns // *Journal of Medical Internet Research*. – 2022. – № 24 (12). – P.e42179.
5. Mobile Phone GPS Data and Prevalence of COVID-19 Infections: Quantifying Parameters of Social Distancing in the U.S. / N.N. DePhillipo, J. Chahla, M. Busler, R.F. LaPrade // *Archives of Bone and Joint Surgery*. – 2021. – № 9 (2). – P. 217–223.
6. Early Estimate of Nirsevimab Effectiveness for Prevention of Respiratory Syncytial Virus-Associated Hospitalization Among Infants Entering Their First Respiratory Syncytial Virus Season – New Vaccine Surveillance Network, October 2023–February 2024 / H.L. Moline, A. Tannis, A.P. Toepfer [et al.] // *Morbidity and Mortality Weekly Report*. – 2024. – № 73 (9). – P. 209–214.
7. Centers for Disease Control and Prevention. National Electronic Disease Surveillance System Base System (NBS): Features and Benefits [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cdc.gov/nbs/php/features/index.html> (дата обращения: 14.04.2025).

8. Integrating artificial intelligence with mechanistic epidemiological modeling: a scoping review of opportunities and challenges / Y. Ye, A. Pandey, C. Bawden [et al.] // *Nature Communications*. – 2025. – № 16 (1). – P. 581.

9. Public health impact of the U.S. Scenario Modeling Hub / R.K. Borchering, J.M. Healy, B.L. Cadwell [et al.] // *Epidemics*. – 2023. – № 44. – P. 100705.

10. Centers for Disease Control and Prevention. Artificial Intelligence and Machine Learning: Applying Advanced Tools for Public Health [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cdc.gov/surveillance/data-modernization/technologies/ai-ml.html> (дата обращения: 14.04.2025).

11. Salathé M. Digital epidemiology: what is it, and where is it going? // *Life Sciences, Society and Policy*. – 2018. – № 14. – P. 1.

12. Escalera D., Carnicero J. Big Data and Public Health Systems. Issues and Opportunities // *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. – 2017. – № 4 (7). – P. 53–59.

13. Global health and data-driven policies for emergency responses to infectious disease outbreaks / Z. Kozlakidis, J. Abduljawad, A.M. Al Khathaami, L. Schaper, J. Stelling // *Lancet Global Health*. – 2020. – № 8 (11). – P.e1361–e1363.

14. Abouelmehdi K., Beni-Hessane A., Khaloufi H. Big healthcare data: preserving security and privacy // *Journal of Big Data*. – 2018. – № 5. – P. 1.

15. Mooney S.J., Pejaver V. Big Data in Public Health: Terminology, Machine Learning, and Privacy // *Annual Reviews Public Health*. – 2018. – № 39. – P. 95–112.

16. Batko K., Ślęzak, A. The use of Big Data Analytics in healthcare // *Journal of Big Data*. – 2022. – № 9. – P. 3.

Опыт визуализации числовых значений биомаркеров экспозиции и негативных эффектов с помощью тепловых карт для детализации факторов риска по степени их управляемости

Ю.В. Кольдибекова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Наиболее наглядным и популярным способом визуального представления структурированных данных в медико-биологических исследованиях является графическое их изображение с помощью тепловых карт. Проведена визуализация числовых значений биомаркеров экспозиции и негативных эффектов с помощью тепловых карт для детализации факторов риска по степени их управляемости при комбинированном воздействии химических веществ. Выполнено математическое прогнозирование и визуализация числовых значений

биомаркеров экспозиции и негативных эффектов при комбинированном действии химических веществ методом ближайших соседей (K-Nearest Neighbors) в формате тепловой карты с помощью кода для Python в среде Seaborn. Моделирование условий, отвечающих различным комбинациям содержания никеля и хрома в крови взрослых, позволило установить тенденцию увеличения содержания меди в крови относительно референтного уровня до 1,5 раза при концентрации хрома и никеля в крови выше референтных значений. В ходе визуализации числовых значений биомаркера негативного эффекта (на примере повышения уровня гидроперекисей липидов относительно физиологической нормы) и биомаркеров экспозиции с учетом моделирования условий, отвечающих бинарным комбинациям, установлено увеличение содержания гидроперекисей липидов у взрослых (до 95,0 %) при содержании в крови меди и хрома выше референтных уровней. Это позволило обосновать целесообразность регулирования содержания меди и хрома в крови для снижения или предотвращения негативного эффекта в виде активации окислительных процессов на уровне клеточной мембраны.

Ключевые слова: комбинированное действие, аэрогенная экспозиция, биомаркеры экспозиции, биомаркеры негативных эффектов, тепловые карты.

Визуализация является важной составной частью анализа данных независимо от вида проводимого исследования. Она дополняет и делает воспринимаемой описательную статистику исследовательских данных [1]. В медико-биологических исследованиях наиболее популярным, наглядным и эффективным способом визуального представления структурированных данных является их графическое изображение с помощью цвета, в виде так называемых многомерных тепловых карт. Основной принцип, заложенный в способах их построения, – это представление различных значений данных при помощи цвета, что обеспечивает высокий уровень наглядности и выявление закономерностей в больших объемах данных, ускоряет процесс их анализа [2, 3]. Применяя методы визуализации данных, исследователь нацелен на поиск наиболее выразительных изображений изучаемых объектов и связей между ними [1]. При возможности применения множественной корреляции и многомерности изображения тепловых карт предпринята попытка прогностического моделирования и уточнения ведущего химического компонента в смеси с помощью визуализации комбинации числовых значений и связей между изменением биомаркеров экспозиции и негативных эффектов в условиях комбинированного действия металлоксидных соединений меди, никеля и хрома.

Цель исследования – визуализация числовых значений биомаркеров экспозиции и негативных эффектов с помощью тепловых карт для детализации факторов риска по степени их управляемости при комбинированном воздействии химических веществ.

Материалы и методы. Для апробации применения методов цифровой обработки изображений выполняли математическое прогнозирование и визуализацию числовых значений биомаркеров экспозиции и эффекта при комбинированном действии химических веществ методом ближайших соседей K-Nearest Neighbors, KNN в формате тепловой карты. В основу метода ближайших соседей для регрессии положен алгоритм машинного обучения, который использовали для прогнозирования непрерывных значений на основе близости объектов в пространстве признаков. Метод KNN использовали для предсказания числовых значений.

Алгоритм применения метода KNN для регрессии биомаркеров экспозиции включал следующие действия: формирование хранилища обучающих данных, состоящее из набора пар «признак объекта – целевая переменная объекта», т.е. «медь, никель и хром в крови – концентрация меди, никеля, хрома в крови»; расчет расстояния до каждого объекта обучающего набора с использованием евклидова расстояния;

определение K-ближайших соседей к объекту, для которого предсказывали концентрацию в крови (для меди) на основе вычисленных расстояний; прогнозирование значения целевой переменной для меди в крови путем усреднения значений целевой переменной ближайших соседей (чем ближе соседи к новому объекту, тем больший вес они имеют при прогнозировании); оценка качества модели на основе среднеквадратичной ошибки (MSE) и коэффициента детерминации (R^2).

При введении данных алгоритм строил тепловую карту по трем координатам (X, Y, Value). Тепловые карты построены с помощью кода для Python в среде Seaborn для визуализации данных (<https://colab.research.google.com/>).

В качестве референтных значений меди, никеля и хрома в крови использовали следующие диапазоны концентраций: RfL меди = 0,9–1,5 мг/дм³ (среднее значение – 1,2 мг/дм³); RfL никеля = 0,001–0,028 мг/дм³ (среднее – 0,0145 мг/дм³); RfL хрома = 0,0007–0,028 мг/дм³ (среднее – 0,014 мг/дм³) [4].

Прогнозирование уровня меди в крови взрослых (920 человек в возрасте 18–59 лет) по содержанию никеля и хрома в крови осуществляли при моделировании условий, отвечающих критериям наихудшего сценария: концентрации никеля и хрома в крови ниже (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³; RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³) и выше (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³; RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³) среднего референтного значения; концентрация никеля в крови выше среднего референтного значения (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³), а концентрация хрома в крови ниже среднего референтного значения (RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³); концентрация никеля в крови ниже среднего референтного значения (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³); а концентрация хрома в крови выше среднего референтного значения (RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³).

Цифровую обработку изображений в формате тепловой карты применили для визуализации числовых значений биомаркера негативного эффекта на примере повышения уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови (активация оксидантных процессов на уровне клетки) при следующих комбинациях веществ в крови: никеля и хрома, никеля и меди, хрома и меди. Алгоритм применения метода KNN для регрессии биомаркера негативного эффекта от биомаркеров экспозиции аналогичен алгоритму для регрессии биомаркеров экспозиции, но хранилище обучающих данных включало набор пар «концентрация гидроперекисей липидов в сыворотке крови – концентрация пар веществ в крови (меди, никеля, хрома).

В качестве физиологического значения гидроперекисей липидов в сыворотке крови использовали диапазон 0–350 мкмоль/дм³ (среднее значение – 175 мкмоль/дм³)¹.

Прогнозирование уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови взрослых проводили по бинарным комбинациям содержания в крови никеля и хрома, никеля и меди, хрома и меди относительно средних референтных значений, отвечающих критериям наихудшего сценария:

1) *никель и хром в крови:*

– концентрации никеля и хрома в крови ниже (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³; RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³) и выше (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³; RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³) среднего референтного значения;

– концентрация никеля в крови выше (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³), а концентрация хрома в крови ниже (RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³) среднего референтного значения;

¹ Набор для количественного определения перекисей в плазме, сыворотке и других биологических жидкостях колориметрическим методом (Biomedica OxyStat, Германия).

– концентрация никеля в крови ниже (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³); а концентрация хрома в крови выше (RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³) среднего референтного значения;

2) *никель и медь в крови:*

– концентрации никеля и меди в крови ниже (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³; RfL меди $\leq 1,2$ мг/дм³) и выше (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³; RfL меди $> 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения;

– концентрация никеля в крови выше (RfL никеля $> 0,0145$ мг/дм³), а концентрация меди в крови ниже (RfL меди $\leq 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения;

– концентрация никеля в крови ниже (RfL никеля $\leq 0,0145$ мг/дм³); а концентрация меди в крови выше (RfL меди $> 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения;

3) *хром и медь в крови:*

– концентрации хрома и меди в крови ниже (RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³; RfL меди $\leq 1,2$ мг/дм³) и выше (RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³; RfL меди $> 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения;

– концентрация хрома в крови выше (RfL хрома $> 0,014$ мг/дм³), а концентрация меди в крови ниже (RfL меди $\leq 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения;

– концентрация хрома в крови ниже (RfL хрома $\leq 0,014$ мг/дм³); а концентрация меди в крови выше (RfL меди $> 1,2$ мг/дм³) среднего референтного значения.

Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы Statistica 10. Статистическую достоверность (p) межгрупповых различий оценивали с помощью двухвыборочного критерия Стьюдента ($t \geq 2$), адекватность моделей зависимости – критерия Фишера ($F \geq 3,96$) при оценке различия дисперсий при заданном критерии значимости $p \leq 0,05$ [5].

Результаты. Качество атмосферного воздуха жилых застроек характеризовалось постоянным присутствием оксидов меди на уровне 0,000026–0,000061 мг/дм³ (1,3–3,1 RfC), никеля на уровне 0,00001–0,000155 мг/дм³ (0,5–7,8 RfC) и хрома на уровне 0,0000158–0,0003848 мг/дм³ (0,2–3,8 RfC).

У экспонированных взрослых средние содержания в крови меди, никеля и хрома достоверно превысили до 1,2 раза значения данных показателей в группе неэкспонированных ($p = 0,0004–0,043$) и до 7,1 раза нижнюю границу референтных значений (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

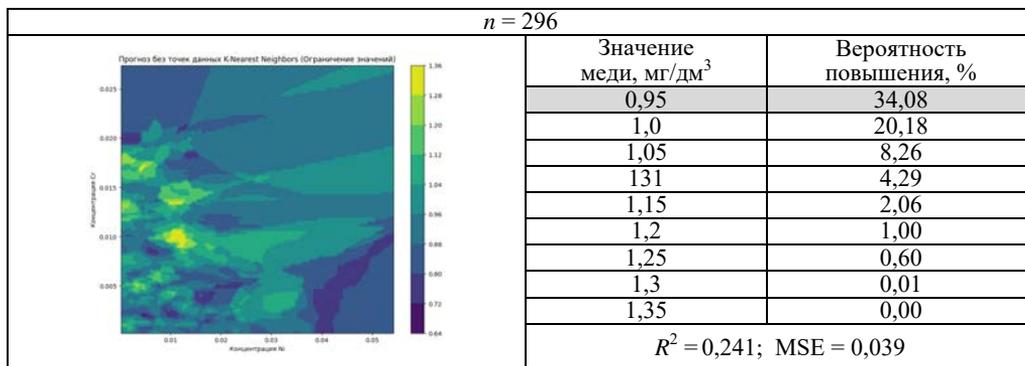
Сравнительная оценка содержания меди, никеля и хрома в крови

Показатель	Нижняя граница референтного уровня, мг/дм ³	Среднегрупповая концентрация и ее ошибка ($M \pm m$), мг/дм ³		Достоверность различий по средним ($p \leq 0,05$)
		экспонированные	неэкспонированные	
Медь	0,9	0,948 \pm 0,053	0,9206 \pm 0,0178	0,0004
Никель	0,001	0,009 \pm 0,001	0,0077 \pm 0,0009	0,040
Хром	0,0007	0,005 \pm 0,0003	0,0047 \pm 0,0005	0,043

Построение тепловой карты, содержащей концентрации никеля и хрома в крови взрослых с предсказанными значениями меди, позволили установить 34,1 % случаев с повышенным уровнем меди относительно его нижней границы значения референтного предела (RfL меди = 0,9 мг/дм³) при концентрации в крови никеля от 0,0082 мг/дм³ и более, хрома от 0,005 мг/дм³ и более (табл. 2).

Таблица 2

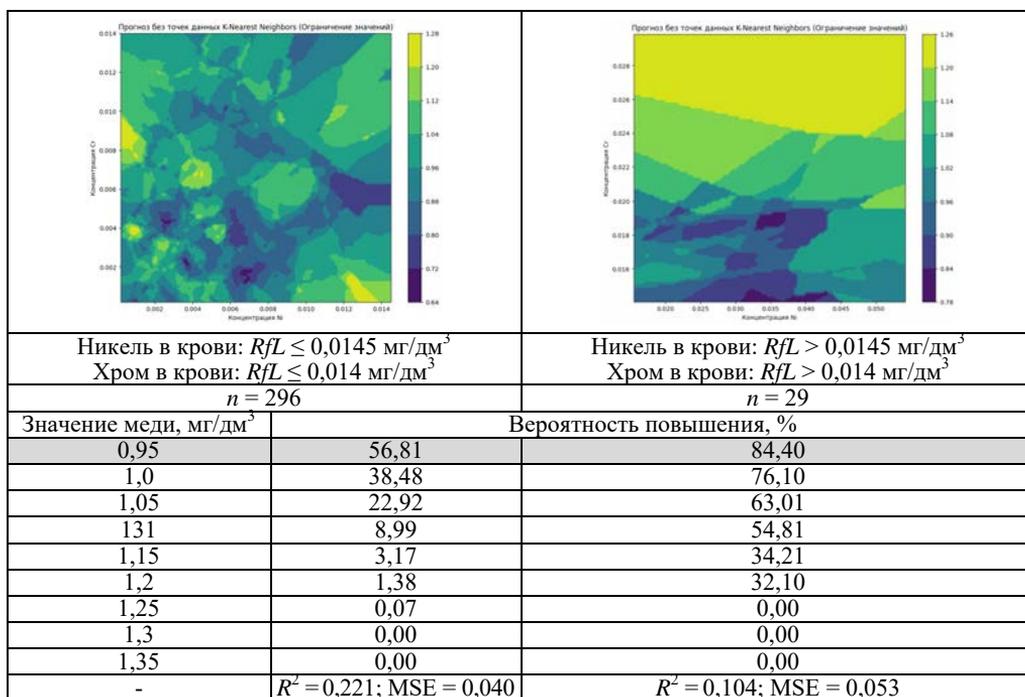
Трехмерная тепловая карта содержания меди, никеля и хрома в крови



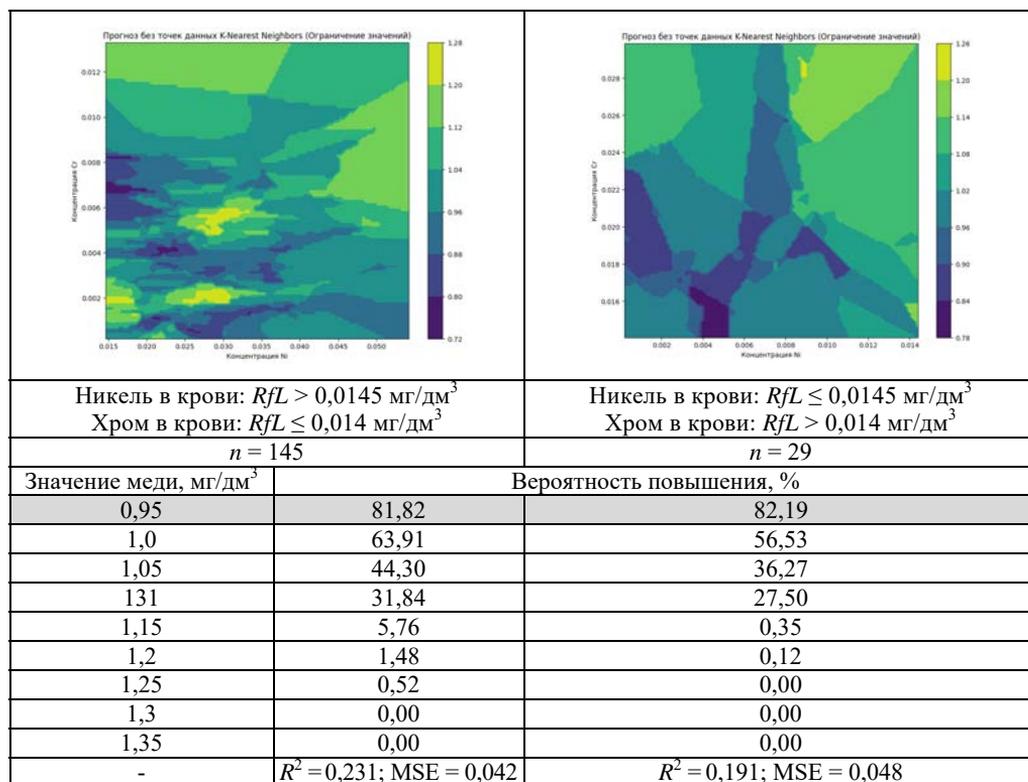
При моделировании условий, отвечающих различным комбинациям содержания никеля и хрома в крови, установлено, что количество случаев с повышенным уровнем меди относительно нижнего референтного значения тем выше, чем выше концентрации хрома и никеля в крови относительно средних референтных значений (табл. 3).

Таблица 3

Прогноз вероятности повышения уровня меди в крови в условиях различных комбинаций содержания никеля и хрома в крови с помощью трехмерных тепловых карт



Окончание табл. 3



Так, в условиях содержания в крови никеля и хрома выше среднего референтного значения вероятность повышения меди составляет 84,4 %, что в 1,5 раза выше, чем при условии, когда уровни никеля и хрома будут находиться ниже среднего референтного значения. Если концентрация хрома в крови будет ниже, а никеля выше среднего референтного значения, то вероятность повышения меди снижается до 81,4 %.

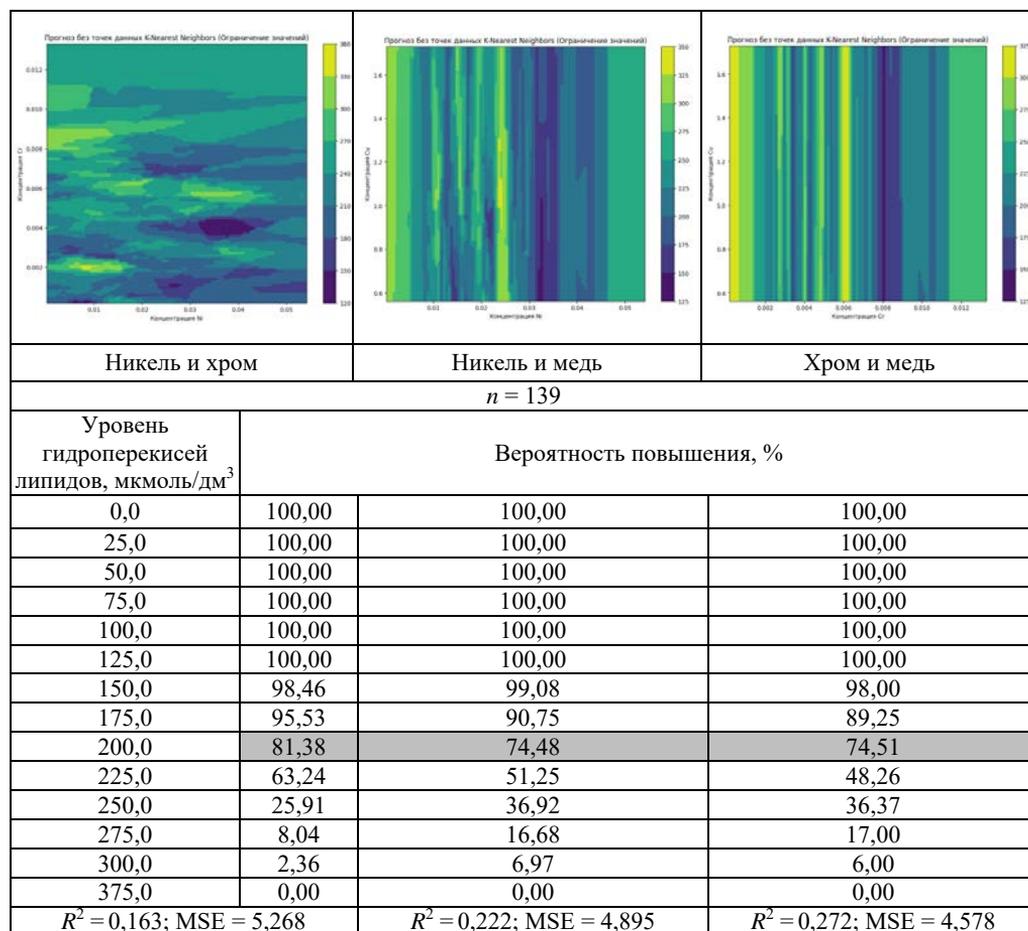
Полученные результаты показали, что при аэрогенном комбинированном действии оксидов меди, никеля и хрома целесообразно регулировать, в первую очередь, содержание оксида хрома в атмосферном воздухе для снижения или предотвращения негативных последствий комбинированного действия смеси. Это логически подтверждается тем, что в данной тройке веществ хром является чрезвычайно опасным токсикантом, степень его вредного воздействия на организм человека оценивается как очень высокая (1-й класс опасности). Анализ летальных концентраций оксидов меди ($LC50 > 3000 \text{ мг/м}^3$), никеля ($LC50 > 5080 \text{ мг/м}^3$) и хрома ($LC50 > 51 \text{ мг/м}^3$) из паспортов химической безопасности подтвердил наибольшую токсичность оксида хрома (VI), наименьшую токсичность – оксида никеля [6–8].

Среднегрупповое значение биомаркера негативного эффекта – повышение гидроперекиси липидов в сыворотке крови взрослых – установлено на уровне

204,55 ± 11,49 мкмоль/дм³, что достоверно выше показателя в группе сравнения (187,69 ± 10,62 мкмоль/дм³, $p = 0,033$). Визуализация числовых значений концентраций биомаркеров экспозиции и уровня биомаркера негативного эффекта позволили установить максимально до 81,4 % случаев с повышенным уровнем гидроперекисей липидов относительно среднего значения физиологической нормы (> 175 мкмоль/дм³) при концентрации в крови никеля от 0,0082 мг/дм³ и более, хрома от 0,005 мг/дм³ и более (табл. 4).

Таблица 4

Тепловые карты изменения уровня гидроперекисей липидов в условиях содержания меди, никеля и хрома в крови в различных комбинациях



Моделирование условий, отвечающих различным комбинациям содержания никеля и хрома в крови, позволило установить, что количество случаев с повышенным уровнем гидроперекисей липидов тем выше относительно среднего значения физиологической нормы, чем концентрация хрома в крови выше среднего референтного значения (табл. 5).

Таблица 5

Прогноз вероятности изменения уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови в условиях различных комбинаций содержания никеля и хрома в крови с помощью трехмерных тепловых карт

Никель в крови: $RfL \leq 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Хром в крови: $RfL \leq 0,014 \text{ мг/дм}^3$ $n = 296$		Никель в крови: $RfL > 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Хром в крови: $RfL > 0,014 \text{ мг/дм}^3$ $n = 34$	
Уровень гидроперекисей липидов, мкмоль/дм ³	Вероятность повышения, %		
0,0	100,0	100,0	100,0
25,0	100,0	100,0	100,0
50,0	100,0	100,0	100,0
75,0	100,0	100,0	100,0
100,0	100,0	100,0	100,0
125,0	100,0	100,0	100,0
150,0	99,90	100,0	100,0
175,0	85,70	99,14	99,14
200,0	69,34	94,54	94,54
225,0	43,24	75,39	75,39
250,0	19,98	16,89	16,89
275,0	5,24	2,27	2,27
300,0	0,93	0,02	0,02
375,0	0,00	0,00	0,00
-	$R^2 = 0,159$; MSE = 5,291	$R^2 = 0,128$; MSE = 6,754	
Никель в крови: $RfL > 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Хром в крови: $RfL \leq 0,014 \text{ мг/дм}^3$ $n = 238$		Никель в крови: $RfL \leq 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Хром в крови: $RfL > 0,014 \text{ мг/дм}^3$ $n = 57$	
Уровень гидроперекисей липидов, мкмоль/дм ³	Вероятность повышения, %		
0,0	100,0	100,0	100,0
25,0	100,0	100,0	100,0

Окончание табл. 5

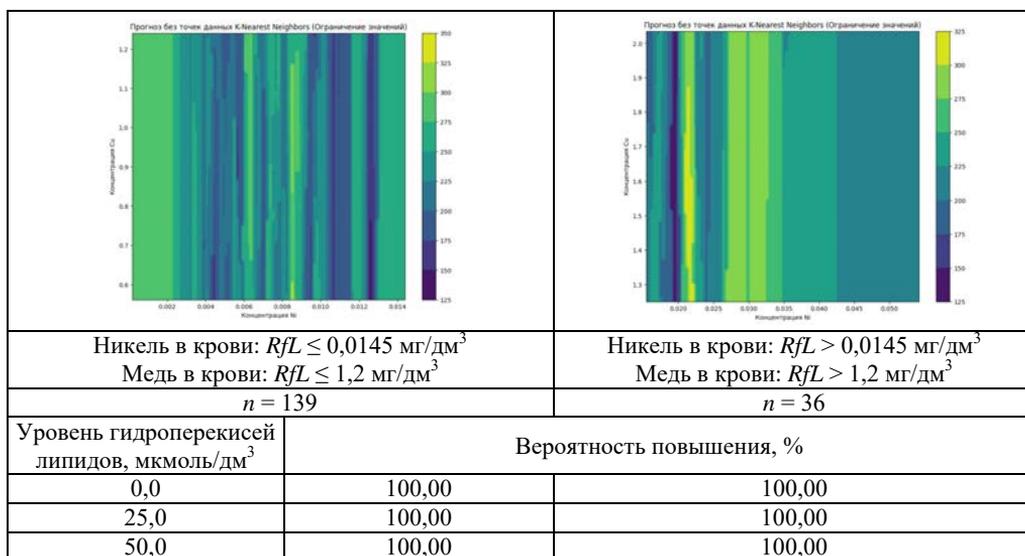
50,0	100,0	100,0
75,0	100,0	100,0
100,0	100,0	100,0
125,0	100,0	100,0
150,0	99,52	99,16
175,0	97,35	90,35
200,0	62,79	87,15
225,0	43,97	64,47
250,0	7,09	25,02
275,0	1,35	4,70
300,0	0,07	0,48
375,0	0,00	0,00
-	$R^2 = 0,181$; MSE = 5,157	$R^2 = 0,195$; MSE = 6,237

Так, в условиях содержания в крови никеля и хрома выше средних референтных значений и при содержании никеля ниже, а хрома выше средних референтных значений вероятность повышения показателя составляет 94,5 и 87,2 % соответственно. Это в 1,3–1,5 раза выше, чем при условии, когда уровни никеля и хрома находятся ниже средних референтных значений или когда хром в пределах, а никель выше референтных значений соответственно.

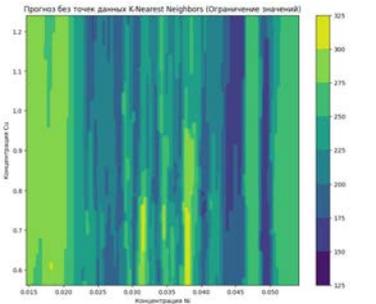
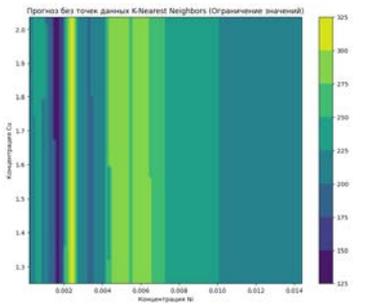
Моделирование условий, отвечающих различным комбинациям содержания никеля и меди в крови, позволило установить, что количество случаев с повышенным уровнем гидроперекисей липидов тем выше относительно средней физиологической нормы, чем концентрация меди в крови выше среднего референтного значения (табл. 6).

Таблица 6

Прогноз вероятности изменения уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови в условиях различных комбинаций содержания никеля и меди в крови с помощью трехмерных тепловых карт



Окончание табл. 6

75,0	100,00	100,00
100,0	100,00	100,00
125,0	100,00	100,00
150,0	99,35	98,45
175,0	95,26	97,24
200,0	77,95	91,52
225,0	62,47	49,54
250,0	44,38	25,21
275,0	18,80	16,75
300,0	1,51	1,42
375,0	0,00	0,00
$R^2 = 0,247$; MSE = 4,737		$R^2 = 0,345$; MSE = 4,698
		
Никель в крови: $RfL > 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Медь в крови: $RfL \leq 1,2 \text{ мг/дм}^3$ $n = 139$		Никель в крови: $RfL \leq 0,0145 \text{ мг/дм}^3$ Медь в крови: $RfL > 1,2 \text{ мг/дм}^3$ $n = 36$
Уровень гидроперекисей липидов, $\mu\text{моль/дм}^3$	Вероятность повышения, %	
0,0	100,00	100,00
25,0	100,00	100,00
50,0	100,00	100,00
75,0	100,00	100,00
100,0	100,00	100,00
125,0	100,00	100,00
150,0	99,90	98,54
175,0	93,36	96,54
200,0	76,90	91,58
225,0	57,94	48,68
250,0	38,27	25,79
275,0	16,04	15,96
300,0	1,04	2,00
375,0	0,00	0,00
-	$R^2 = 0,209$; MSE = 4,981	$R^2 = 0,356$; MSE = 4,616

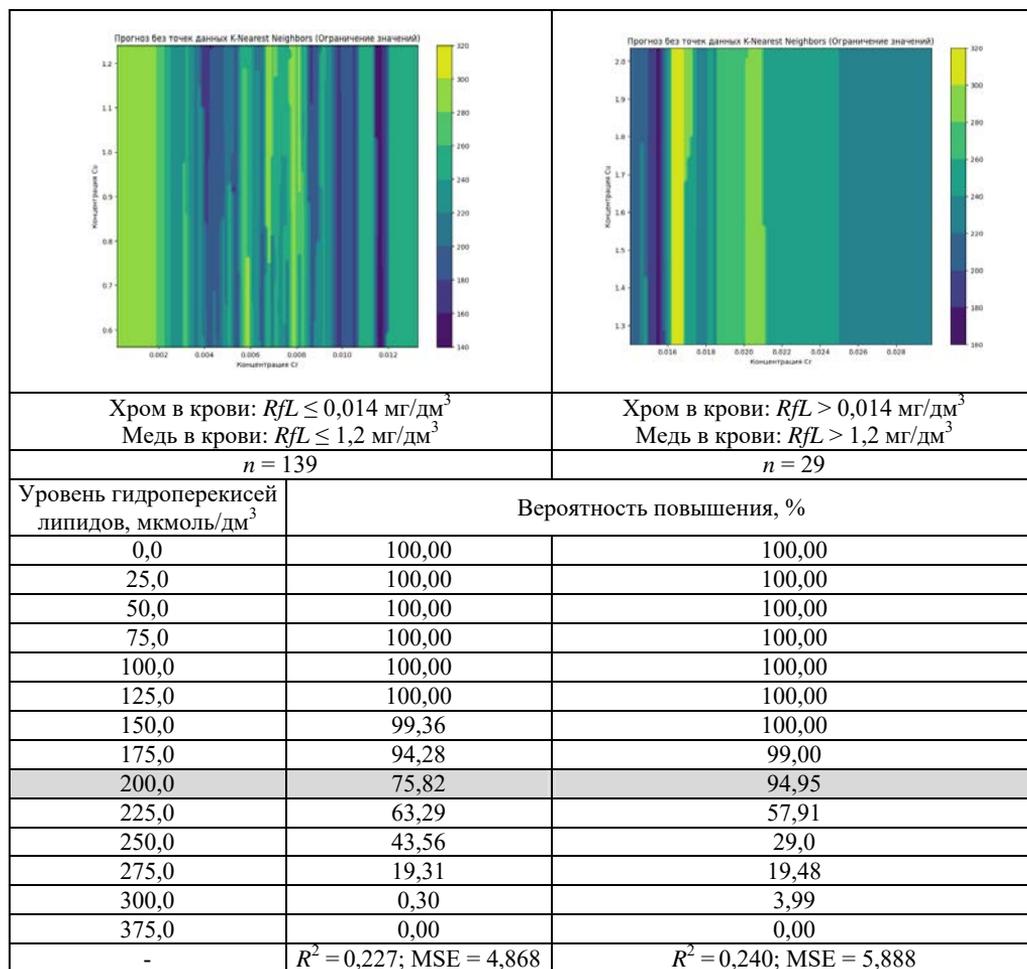
Так, в условиях содержания в крови никеля и меди выше средних референтных значений, а также при условии содержания никеля ниже, а меди выше средних референтных значений вероятность повышения показателя составляет 91,5 и 91,6 %, что в 1,2 раза выше, чем при условии, когда уровни никеля и меди находятся в ниже референтных значений или когда в крови медь в пределах, а никель выше средних референтных значений соответственно.

Моделирование условий, отвечающих различным комбинациям содержания хрома и меди в крови позволило установить, что в условиях содержания в крови данных веществ выше средних референтных значений, а также при комбинации хрома на уровне, а меди выше средних референтных значений вероятность повышения показателя составляет 94,9 и 91,0 %, что в 1,7 раза выше, чем при условии, когда уровень меди в крови находится в пределах, а уровень хрома выше средних референтных значений (табл. 7).

Визуализация числовых значений биомаркера эффекта (на примере повышения уровня гидроперекисей липидов относительно среднего значения физиологической нормы) и моделирование условий, отвечающих бинарным комбинациям содержания в крови никеля и хрома, никеля и меди, хрома и меди относительно средних референтных значений, позволили выделить ряд особенностей, представленных в табл. 8.

Таблица 7

Прогноз вероятности изменения уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови в условиях различных комбинаций содержания хрома и меди в крови с помощью трехмерных тепловых карт



Окончание табл. 7

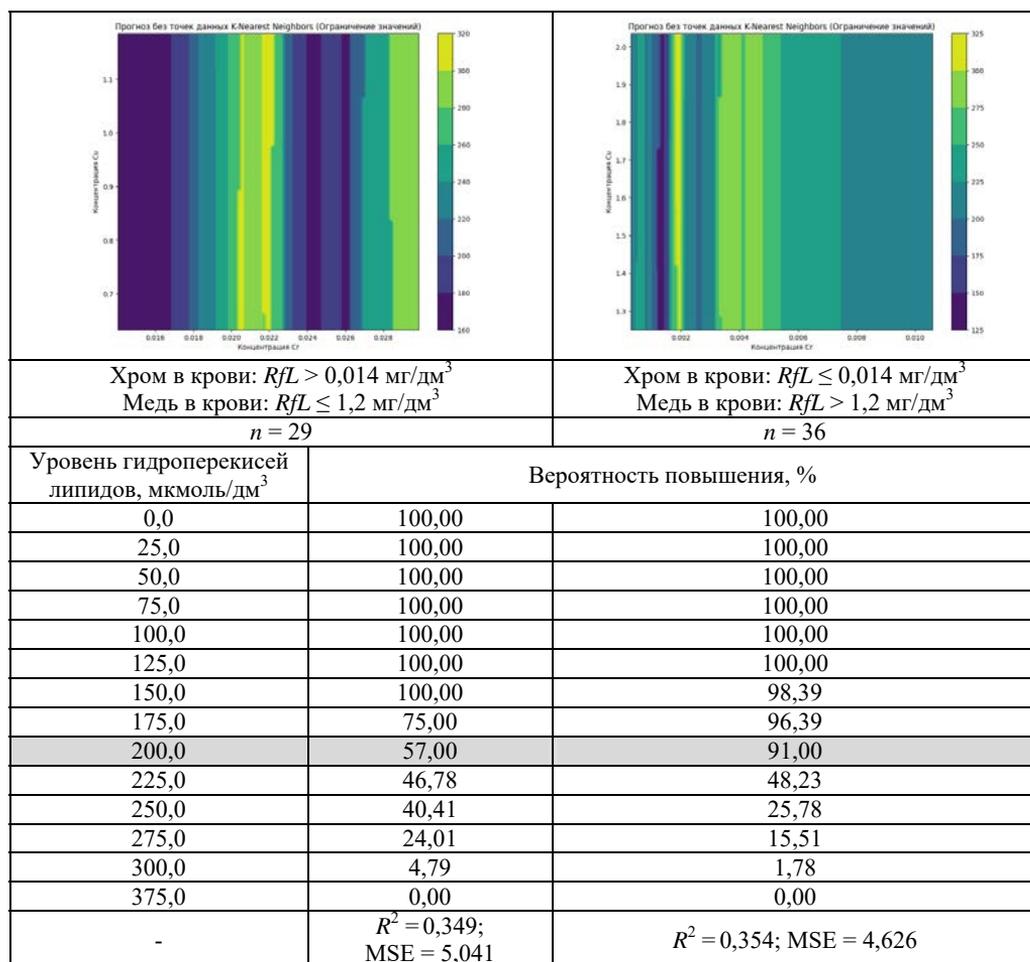


Таблица 8

Вероятность повышения уровня гидроперекисей липидов в сыворотке крови в условиях бинарных комбинаций меди, никели и хрома в крови

Бинарные комбинации веществ	Частота повышения гидроперекисей липидов, %
Никель в крови: $RfL \leq 0,0145$ мг/дм ³ ; хром в крови: $RfL \leq 0,014$ мг/дм ³	69,3
Никель в крови: $RfL > 0,0145$ мг/дм ³ ; хром в крови: $RfL > 0,014$ мг/дм ³	94,5
Никель в крови: $RfL > 0,0145$ мг/дм ³ ; хром в крови: $RfL \leq 0,014$ мг/дм ³	62,8
Никель в крови: $RfL \leq 0,0145$ мг/дм ³ ; хром в крови: $RfL > 0,014$ мг/дм ³	87,2
Влияние вещества на изменение уровня показателя в комбинации никеля и хрома:	<i>Хром</i>
Никель в крови: $RfL \leq 0,0145$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL \leq 1,2$ мг/дм ³	77,9
Никель в крови: $RfL > 0,0145$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL > 1,2$ мг/дм ³	91,5
Никель в крови: $RfL > 0,0145$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL \leq 1,2$ мг/дм ³	76,9
Никель в крови: $RfL \leq 0,0145$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL > 1,2$ мг/дм ³	91,6

Окончание табл. 8

Бинарные комбинации веществ	Частота повышения гидроперекисей липидов, %
Влияние вещества на изменение уровня показателя в комбинации никеля и меди:	<i>Медь</i>
Хром в крови: $RfL \leq 0,014$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL \leq 1,2$ мг/дм ³	75,8
Хром в крови: $RfL > 0,014$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL > 1,2$ мг/дм ³	94,5
Хром в крови: $RfL > 0,014$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL \leq 1,2$ мг/дм ³	57,0
Хром в крови: $RfL \leq 0,014$ мг/дм ³ ; медь в крови: $RfL > 1,2$ мг/дм ³	91,0
Влияние вещества на изменение уровня показателя в комбинации хрома и меди	<i>Медь</i>

Особенности характеризуются увеличением количества случаев повышения уровня гидроперекисей липидов относительно физиологической нормы у взрослых 18–59 лет при повышении в крови концентрации меди и хрома выше средних референтных уровней.

В целом при аэрогенном комбинированном действии оксидов меди, никеля и хрома для снижения или предотвращения негативного эффекта в виде активации оксидантных процессов на уровне клеточной мембраны целесообразно регулировать у взрослых содержание меди и хрома в крови.

Список литературы

1. Визуализация исследовательских данных с использованием программной среды R / В.Л. Егошин, С.В. Иванов, Н.В. Саввина, С.Б. Калмаханов, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2018. – № 8. – С. 52–64.
2. Данилов Н.А., Шульга Т.Э. Построение тепловых карт на основе точечных данных об активности пользователя приложения // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10, № 2 (56). – С. 49–58.
3. Репс В.Ф., Ефименко Н.В., Можельский А.Н. Современные возможности визуализации экспериментальных данных для выявления скрытых закономерностей // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_24
4. Клиническое руководство по лабораторным тестам / под ред. проф. Норберта У. Тица; перевод с англ. под ред. В.В. Меньшикова. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.
5. Гланц С. Медико-биологическая статистика / под ред. Н.Е. Бузикашвили и соавт. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
6. Copper Oxide Solid Formulation, safety data sheet (SDS). – Merck, 2023. – 16 p.
7. Chromium (VI) oxide for synthesis, safety data sheet (SDS). – Sigma-Aldrich, 2024. – 15 p.
8. Nickel (II) oxide, safety data sheet (SDS). – Sigma-Aldrich, 2024. – 13 p.

Применение многокомпонентной системы биотестов для выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения

Д.А. Кузянов, А.Н. Микеров, Л.П. Эрдниев,
Е.М. Моисеева, А.Е. Мурзина

Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических
технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Саратов, Россия

Современные подходы к оценке гигиенической безопасности воды источников питьевого водоснабжения преимущественно основаны на химическом анализе, результаты которого соотносятся с установленными нормативами содержания химических веществ. Однако данный подход не позволяет в полной мере оценить вероятность развития токсических эффектов, обусловленных сочетанным воздействием химических веществ, присутствующих в пробе воды. В связи с этим возрастает необходимость применения токсикологических методов исследования, в частности биотестирования, в качестве дополнения к традиционным химико-аналитическим методам.

Проведена оценка эффективности использования многокомпонентной системы биотестов для выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения. В рамках исследования оценены пробы воды из 20 источников питьевого водоснабжения, в которых ранее регулярно фиксировались превышения ПДК химических веществ. Физико-химический анализ проб проводился в соответствии с МР 2.1.4.0176-20. Биотестирование осуществлялось с применением многокомпонентной системы, включающей водоросль *Chlorella vulgaris*, сперматозоиды быка (*Bos taurus*), ракообразных *Daphnia magna*, клеточную линию человека HuTu 80 и эмбрионы моллюсков семейства *Planorbidae*. Результаты апробации многокомпонентной системы биотестов показали, что 17 из 20 исследованных проб воды (85 %) проявляли токсичность по отношению к одному или нескольким тест-объектам. При этом превышение нормативных показателей содержания химических веществ было зафиксировано только в пяти пробах (25 %). Полученные результаты указывают, что применение многокомпонентной системы биотестов существенно повышает эффективность выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения.

Ключевые слова: источники питьевого водоснабжения, физико-химический анализ, биотестирование, многокомпонентная система биотестов, токсичность воды.

Нарастающее антропогенное воздействие, проявляющееся в загрязнении окружающей среды промышленными отходами, сельскохозяйственными удобрениями и сточными водами, создает серьезную угрозу здоровью населения. Особенно остро стоит проблема безопасности источников питьевого водоснабжения. В период с 2014 по 2023 г. число проб воды из водоемов питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам, выросло с 21,9 до 24,8 % [1]. Традиционные методы оценки качества воды, основанные на химико-аналитическом определении содержания загрязняющих веществ, не отражают интегрального токсического воздействия воды из водоисточников. Это ограничение связано с невозможностью учета взаимодействия, трансформации пол-

лютантов и их комплексного воздействия, а также с непрерывным увеличением числа новых загрязнителей. Методы биотестирования, которые позволяют учитывать токсический эффект комбинированного воздействия поллютантов, находят все более широкое применение для оценки токсичности проб воды благодаря своей простоте и доступности [2]. Поэтому актуальным становится развитие комплексных подходов к оценке безопасности воды, объединяющих химико-аналитические методы с современными методами биотестирования.

Для объективной оценки качества воды недостаточно полагаться на результаты биотестирования с одним биотестом, поскольку чувствительность различных тест-объектов к поллютантам может значительно варьироваться. Использование тест-объектов, представляющих различные таксономические группы, трофические уровни и уровни организации, обеспечивает всестороннюю оценку токсического воздействия исследуемой пробы воды.

Цель исследования – оценить эффективность применения многокомпонентной системы биотестов для выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения.

Материалы и методы. Для проведения физико-химического и токсикологического исследований качества воды сотрудниками Саратовского медицинского научного центра гигиены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59024-2020 и Р 52.24.353-2012 был проведен отбор 20 проб из поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения. Физико-химический анализ проб воды проводился в соответствии с минимальным обязательным перечнем показателей контроля безопасности и качества воды поверхностных и подземных водоисточников, исключая бактериологические и паразитологические показатели в соответствии с СанПиН 2.1.3684–21 [3] и МР 2.1.4.0176–20 [4]. В анализ были включены 35 показателей, в том числе антибиотики тетрациклинового ряда (тетрациклин и окситетрациклин), пестициды (линдан и 2,4-дихлорфенилуксусная кислота), нефтепродукты.

Токсичность проб воды источников питьевого водоснабжения оценивалась по результатам применения многокомпонентной системы биотестов, включающей в себя тест-объекты разных систематических групп: одноклеточную зеленую водоросль хлореллу обыкновенную (*Chlorella vulgaris*), большую дафнию (*Daphnia magna*), половые клетки быка (*Bos taurus*), культуру клеток аденокарциномы двенадцатиперстной кишки человека (HuTu 80) и эмбрионы брюхоногих легочных моллюсков (*Planorbidae*). Оценка токсичности воды с использованием в качестве тест-объекта *C. vulgaris* проводилась в соответствии с требованиями ПНД ФТ 14.1: 2: 3: 4.10-04 [5], с использованием сперматозоидов быка – в соответствии с МР 2.1.7.2279-07 [6], *D. magna* – ФР.1.39.2007.03222 [7], для клеток HuTu 80 – методика по Прилепскому и соавт. [8], для эмбрионов моллюсков – методика С. Bandow, L. Weltje [9].

Проба воды определялась как токсичная в случае выявления негативного воздействия воды хотя бы на один из тест-объектов.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью пакета прикладных программ Statistica for Windows v. 7.0 (StatSoft Inc., США). Сравнение полученных данных производили с помощью двустороннего *t*-критерия Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты. Согласно результатам физико-химического исследования качества воды, диапазон содержания химических веществ в исследованных пробах составил по хлоридам от 10 до 929 мг/л, по сульфатам – от 31 до 731 мг/л, бору –

от 0,04 до 0,57 мг/л, по кальцию – от 30 до 190 мг/л, магнию – от 7,2 до 91,0 мг/л, по натрию – от 16,2 до 475,0 мг/л. При этом, исходя из установленных допустимых норм содержания химических веществ в воде, к потенциально опасным были отнесены 5 из 20 исследованных проб воды (25 %). Результаты проведенного биотестирования с использованием пяти тест-объектов многокомпонентной системы позволили выявить ряд проб воды с токсическим действием даже в случаях, когда содержание химических веществ не превышало установленные значения предельно допустимых концентраций (ПДК).

Чувствительность отдельных тест-объектов к химическим веществам, содержащихся в исследованных пробах воды, значительно различалась. Среди экспресс-методов биотестирования наибольшую чувствительность продемонстрировала тест-система с использованием культуры зеленой водоросли *C. vulgaris* – токсическое воздействие выявлено в 16 пробах (80 % от всех исследуемых проб). Половые клетки млекопитающих продемонстрировали токсический ответ в 11 случаях (55 %), а наименьшую чувствительность показали рачки *D. magna*, у которых токсический эффект наблюдался лишь в четырех пробах (20 %) (таблица). При этом биотестирование с использованием клеточной линии эпителия желудочно-кишечного тракта человека позволило выявить цитотоксичность в трех пробах с превышениями ПДК и еще в двух пробах без превышений по химическим веществам. Наличие токсических эффектов в данном случае может быть обусловлено комплексным воздействием веществ пробы, а также присутствием поллютантов, не охватываемых химическим анализом.

Эффективность применения многокомпонентной системы биотестирования для выявления токсичных проб воды из источников

Тест-объект	Количество токсичных проб с превышением ПДК	Количество токсичных проб без превышения ПДК	Количество токсичных проб из общего числа (20 шт.) проб, абс. (%)
<i>C. vulgaris</i>	5	11	16 (80)
Сперматозоиды быка	2	9	11 (55)
<i>D. magna</i>	1	3	4 (20)
Культура клеток HuTu 80	3	2	5 (25)
Эмбрионы <i>Planorbidae</i>	4	10	14 (70)
Многокомпонентная система биотестов	5	12	17 (85)

При использовании культуры эмбрионов пресноводных легочных моллюсков семейства *Planorbidae* эмбриотоксичность воды была выявлена в 14 случаях (70 %), включая пробы с превышениями нормативных показателей по химическим веществам (таблица). Следует отметить, что продолжительность данного биотеста составляет 7 суток. В связи с этим данный метод рассматривался как рекомендательный и использовался в составе многокомпонентной системы биотестирования, дополняя данные, полученные с применением экспресс-методов (продолжительность до 48 ч).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение многокомпонентной системы биотестов повышает эффективность выявления токсичных проб воды в сравнении с использованием отдельных биологических тестов (таблица).

Комплексная оценка с использованием тест-объектов, принадлежащих к различным таксономическим группам и уровням организации, обеспечивает более полное представление о токсичности исследуемой пробы воды и позволяет выявлять потенциальную опасность даже в случаях, когда показатели химического анализа не превышают установленные предельно допустимые значения. В частности, по результатам апробации многокомпонентной системы биотестов установлено, что 17 из 20 (85 %) проб воды источников питьевого водоснабжения оказывают токсическое действие на один или несколько тест-объектов, при этом превышение ПДК химических веществ было выявлено только в пяти пробах (25 %).

Полученные результаты указывают, что интеграция традиционного химического анализа с токсикологическими исследованиями с применением многокомпонентной системы существенно повышает частоту выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения.

Список литературы

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для вузов / О.П. Мелехова [и др.]; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
3. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 75 с.
4. МР 2.1.4.0176-20. Организация мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 37 с.
5. ПНД Ф Т 14.1: 2: 3: 4.10-04. Методика измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. – М.: ФБУ «ФЦАО», 2014. – 36 с.
6. МР 2.1.7.2279-07. Экспресс-оценка токсичности отходов производства и потребления на культуре клеток млекопитающих. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 12 с.
7. ФР 1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293842/4293842234.htm> (дата обращения: 22.04.2025).

8. Методы работы с клеточными культурами и определение токсичности наноматериалов / А.Ю. Прилепский, А.С. Дроздов, В.А. Богатырев [и др.]. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 43 с.

9. Badow C., Weltje L. Development of an embryo toxicity test with the pond snail *Lymnaea stagnalis* using the model substance tributyltin and common solvents // Science of the total environment. – 2012. – Vol. 435. – P. 90–95.

Алгоритмы оцифровки изображений и видеозаписей ультразвукового исследования для анализа влияния рациона питания на биомеханические параметры моторной и эвакуаторной функции желудка

М.Р. Камалтдинов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Актуальность исследования, с одной стороны, вытекает из тех представлений, что смещение баланса компонента пищи в сторону жирового или углеводного состава может оказывать негативное влияние на организм человека, приводя к развитию различных заболеваний, например, ожирения, сахарного диабета и пр. С другой стороны, малоизученным остается вопрос, как характеристики принятой пищи влияют на количественные параметры переваривания пищи в желудке и двенадцатиперстной кишке. В связи с этим целью работы является исследование влияния состава пищи на характеристики процессов пищеварения в желудке и дуоденуме, а также на лабораторные показатели, характеризующие качество переваривания пищи и выполнение основных функций рассматриваемого участка тракта. Полученные данные натурального эксперимента будут использованы для идентификации параметров и верификации результатов численного моделирования многофазного течения в рассматриваемых участках тракта. В результате будут получены сценарные (прогнозные) характеристики течения, которые связаны с развитием функциональных нарушений, например, зоны повышенной кислотности. В перспективе результаты будут использованы для выявления основных факторов риска развития заболеваний и для построения эволюционных моделей развития нарушений органов пищеварения.

Ключевые слова: пищеварение, состав пищи, эксперимент, моторика, лабораторные показатели.

Желудок человека представляет собой сложный орган с уникальной физиологией и биохимией [1]. Основными функциями желудка являются депонирование пищи, моторная активность, а также секреция соляной кислоты и ферментов, участвующих в переваривании белка [2]. Скорость эвакуации пищи из желудка

в кишечник определяет качество ее переваривания в других участках пищеварительного тракта [3]. В двенадцатиперстной кишке содержимое желудка смешивается с секретом поджелудочной железы и желчью, в результате сложные компоненты пищи переходят в элементы, способные всасываться в кровь [4]. Кроме того, в двенадцатиперстной кишке осуществляется понижение кислотности содержимого тракта [5].

Далее представлен один из аспектов более масштабной работы, посвященной созданию многоуровневой математической модели организма человека для учета влияния факторов среды обитания на здоровье [6]. На мезоуровне рассматриваются физиологические процессы, в том числе и патологические, в отдельных органах и системах, в частности пищеварительные процессы [7]. Рассмотрим один из технических аспектов работы, связанный с разработкой алгоритмов оцифровки изображений и видеозаписей ультразвукового исследования желудка для получения параметров модели в зависимости от состава принятой пищи. Также одной из целей работы является исследование влияния состава пищи на характеристики процессов пищеварения в желудке.

К актуальности исследования стоит добавить, что данный вопрос в плане получения численных характеристик процесса остается малоизученным. Рассмотрим подробней порядок проведения эксперимента. Сразу после приема пищи начиналось ультразвуковое исследование, этот момент обозначается как стартовый момент эксперимента (время равно 0 с). В первые 90 мин после приема пищи замер параметров формы желудка и его моторики осуществлялся каждые 10 мин, в том числе в нулевой момент. Затем в течение 90 мин фиксация параметров осуществлялась каждые 15 мин. Продолжительность каждого эксперимента составила 180 мин, все замеры проводились в положении стоя. Помимо ультразвукового обследования три раза осуществлялся забор крови: до приема пищи, в момент времени 30 мин и в 1 ч 30 мин после приема пищи. В рамках данной статьи рассматриваются только результаты, полученные в ультразвуковом исследовании. В последующих публикациях планируется представить результаты биохимических исследований крови и их связь с параметрами моторики желудка и составом принятой пищи.

В каждой 10–15-минутной серии УЗИ запись изображений и видеофайлов осуществлялась в следующей последовательности: восемь изображений желудка, из которых три – в горизонтальном сечении (в поперечной плоскости), пять – в вертикальном сечении (в сагиттальной плоскости). Далее 2 мин осуществлялась видеозапись перистальтических волн в антруме в горизонтальном сечении 2г, 2 мин – запись волны в антруме в вертикальном сечении 4в, 2 мин – запись области пилорического сфинктера и луковицы (верхней части) дуоденума (рисунок). На рисунке приведено схематичное изображение желудка, указаны сечения, для которых получены снимки [8]. Только четыре из них (отмеченные красной линией) применяются для оценки объема, остальные будут использованы в дальнейшей работе для восстановления трехмерной формы органа и использования ее в математической модели течения пищи.

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате экспертного класса EPIQ 5 (Philips Ultrasound Inc., США). Снимки и видеозапись ультразвукового исследования сохранялись в формате DICOM, последующая их цифровая обработка

проводилась в программе MultiVox DICOM Viewer. При обработке данных эксперимента разработаны методика оцифровки снимков и видеозаписей, а также шаблоны таблиц данных для занесения результатов оцифровки. В итоге анализировались горизонтальные и вертикальные размеры сечения, площади. В результате обработки данных выполнены расчеты амплитуды, скорости и периода перистальтической волны в антруме по методике, предложенной ранее специалистом УЗИ С.И. Пимановым [9]. Также проанализированы данные моторики пилорического отверстия – диаметр пилорического отверстия во время эвакуации, мм, время открытия и закрытия сфинктера.

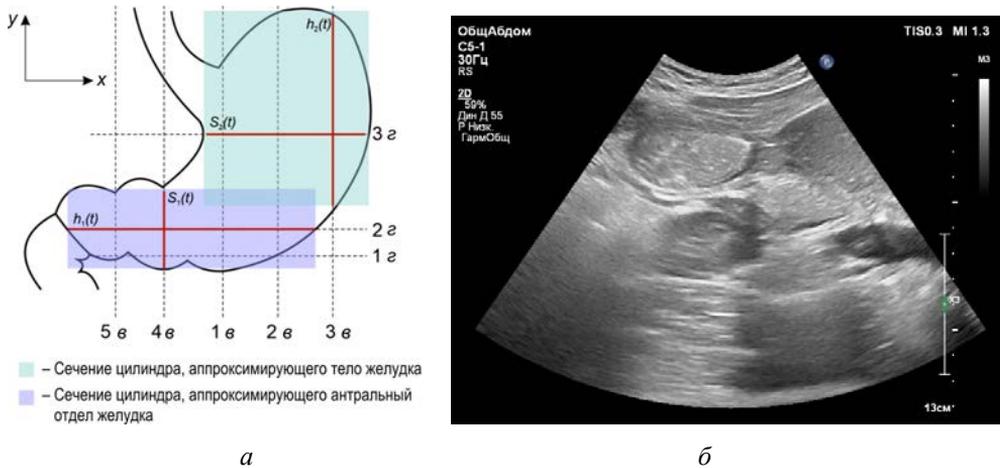


Рис. Изображения желудка в сечении: *а* – схематичное изображение желудка (штрихом указаны сечения, для которых получены снимки, красным цветом – сечения, используемые для определения объема); *б* – пример изображения желудка в сечении 4е [8]

Всего проведено 10 экспериментальных исследований пищеварительных процессов после утреннего приема пищи (завтрак) различного состава и одинакового веса (500 г). Предлагаемые завтраки отличаются по пищевой и энергетической ценности, включают в себя как сбалансированные рационы, так и рационы со смещением в сторону повышенного (по калорийности) содержания жиров, углеводов, белков относительно других компонентов пищи. Кроме того, рационы отличались по содержанию воды от 48,5 % (сухой завтрак) до 88,5 % (низкокалорийный завтрак с высоким содержанием жидкости). 10-й эксперимент был тестовый, проведен не с пищей, а с водой.

На основании результатов обработки снимков, выполненных в различные моменты времени, определены геометрические параметры, формы, площади вертикального сечения антрального отдела и горизонтального сечения тела желудка, соответствующие им характерные линейные размеры. Получены зависимости геометрических параметров желудка от времени с аппроксимацией экспоненциальной функцией, которая удовлетворяет требованиям монотонности. Наблюдаемые в некоторых точках существенные отклонения от линии тренда объясняются наличием

погрешностей измерения, источником которых могут служить постоянное изменение геометрии желудка в процессе переваривания пищи, а также ручной характер самого ультразвукового исследования. Кроме того, некоторый вклад в общее увеличение объема относительно предыдущего момента времени может вносить усиленная секреция желудочного сока.

Экспоненциальная функция получила широкое распространение для оценки изменения объема желудка во времени, так как основным преимуществом использования данной функции является малое количество параметров и их ясный физический смысл. Кроме того, преобразуя экспоненциальную функцию, легко можно получить значение периода полувыведения. Это момент времени, в который объем равняется половине изначального (при $t = 0$), данная величина является мерой для сравнения скоростей эвакуации пищи из желудка в кишечник в различных условиях эксперимента.

Наименьшая скорость эвакуации пищи из желудка наблюдается при употреблении творожной запеканки (рацион, богатый животными белками), чизбургера, картошки, кока-колы (жиросодержащий рацион), гуляша с картофелем (сбалансированный рацион, богатый животными белками и жирами). В первом случае наблюдается максимальный период полувыведения, равный 222 мин. Наибольшая скорость эвакуации отмечается при употреблении макарон с сарделькой (жиросодержащий рацион), салата с капустой и яблоком (углеводный рацион, насыщенный пищевыми волокнами), пиццы, сока (сбалансированный рацион). Следует отметить, что обнаружены статистически значимые корреляции между периодом полувыведения и общим содержанием белка (коэффициент корреляции равен 0,735), содержанием животного белка в принятой пище (коэффициент корреляции равен 0,738), что согласуется с исследованиями других авторов, где употреблялись однокомпонентные растворы пищи.

Получены зависимости параметров моторики антрального отдела желудка от времени. В большинстве случаев при аппроксимации линейной функцией коэффициент детерминации не превышает 0,7, поэтому график функции скорее характеризует тенденцию изменения параметра со временем, а не является точным описанием данных эксперимента. Наибольшая частота перистальтических волн, а также высокая их скорость наблюдается при употреблении макарон с сарделькой (жиросодержащий рацион). При этом средняя амплитуда волн является низкой (28,23 %) относительно результатов экспериментов с другим составом пищи. Следует отметить, что для данного завтрака также наблюдалась высокая скорость эвакуации пищи из желудка. Наиболее редкие волны с низкими скоростями наблюдаются при употреблении пиццы с соком (сбалансированный рацион), при этом амплитуда волн является высокой относительно других завтраков (39,21 %). Наиболее редкие открытия сфинктера обнаружены при употреблении зефира, печенья, пряников (углеводный рацион, насыщенный простыми углеводами, крахмалом). Для большинства рассматриваемых завтраков отмечается нарастание во времени диаметра пилорического отверстия во время эвакуации, мм, и уменьшение периода открытия сфинктера, что характеризует постепенный переход от фазы желудочного пищеварения к кишечной фазе.

В дальнейшем полученные параметры будут использованы в математической модели, предназначенной для описания течения пищи в желудке и дуоденуме [7].

Планируется построение геометрии индивидуальной формы желудка с переменными во времени параметрами формы и моторики, проведение вычислительных экспериментов с различным составом пищи для получения характеристик пищеварения: скорости растворения частиц пищи, преобразования компонентов пищи под действием ферментов, кислотности в различных участках. В перспективе полученные результаты будут использованы для выявления основных факторов риска развития заболеваний и для построения эволюционных моделей развития нарушений органов пищеварения.

Список литературы

1. The stomach in health and disease / R.H. Hunt, M. Camilleri, S.E. Crowe [et al.] // *Gut*. – 2015. – Vol. 64, № 10. – P. 1650–1668. DOI: 10.1136/gutjnl-2014-307595
2. O'Connor A., O'Moráin C. Digestive function of the stomach // *Digestive diseases*. – 2014. – Vol. 32, № 3. – P. 186–191. DOI: 10.1159/000357848
3. Goyal R.K., Guo Y., Mashimo H. Advances in the physiology of gastric emptying // *Neurogastroenterology & Motility*. – 2019. – Vol. 31, № 4. – P. e13546. DOI: 10.1111/nmo.13546
4. Schulze K. Imaging and modelling of digestion in the stomach and the duodenum // *Neurogastroenterology & Motility*. – 2006. – Vol. 18, № 3. – P. 172–183. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2006.00759.x
5. Postprandial evolution in composition and characteristics of human duodenal fluids in different nutritional states / S. Clarysse, J. Tack, F. Lammert, G. Duchateau, C. Reppas, P. Augustijns // *Journal of pharmaceutical sciences*. – 2009. – Vol. 98, № 3. – P. 1177–1192. DOI: 10.1002/jps.21502
6. A Mathematical Model for Evolution of Human Functional Disorders Influenced by Environment Factors / P.V. Trusov, N.V. Zaitseva, D.A. Kiryanov, M.R. Kamaltdinov, M.Ju. Cinker, V.M. Chigvintsev, D.V. Lanin // *Math. Biol. Bioinf.* – 2023. – Vol. 18 (Suppl). – P. t73–t93 DOI: 10.17537/2023.18.t73
7. Kamaltdinov M.R., Trusov P.V., Zaitseva N.V. Investigation of Digestion Processes in the Stomach and Duodenum Using Computational Fluid Dynamics Model // *CFD Letters*. – 2023. – Vol. 16 (3). – P. 82–95. DOI: 10.37934/cfdl.16.3.8295
8. Full-scale experiment to identify biomechanical parameters of the motor and evacuation functions of the stomach used in a mathematical model of food flow / N.V. Zaitseva, P.V. Trusov, D.A. Kiryanov, M.R. Kamaltdinov, Yu.A. Ivashova, D.N. Lir, L.A. Sitchikhina // *Russian Journal of Biomechanics*. – 2024. – Vol. 28, № 2. – P. 52–61. DOI: 10.15593/RJBiomech/2024.2.05
9. Пиманов С.И. Ультразвуковая диагностика в гастроэнтерологии. – М.: Практическая медицина, 2016. – 416 с.

Разработка газохроматографических методик определения органического цианида (акрилонитрил) в выдыхаемом воздухе и крови для диагностических исследований

Т.В. Нурисламова, О.А. Мальцева, Т.В. Чинько

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения,
г. Пермь, Россия

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке газохроматографических методов определения акрилонитрила в биологических средах – выдыхаемый воздух и кровь. В процессе исследований был выбран и обоснован метод капиллярной газовой хроматографии; изучены и отработаны оптимальные параметры газохроматографического анализа – разделения акрилонитрила с другими углеводородами, пробоподготовки и количественного определения.

Методы апробированы при изучении состояния здоровья группы детей в возрасте 6–8 лет, проживающих на территории экспозиции с момента рождения.

Ключевые слова: акрилонитрил, азотно-фосфорный детектор, термодесорбция, капиллярная хроматография, экстракция, газохроматографический анализ равновесной паровой фазы.

Вопросы обеспечения гигиенической безопасности в целом и химической в частности носят глобальный характер и лежат в основе ряда международных программ (Программы Всемирной организации здравоохранения по окружающей среде и здоровью, Организации Объединенных Наций по окружающей среде UNEP, Программа развития ООН, Программа Европейской экономической комиссии ЕЭК ООН и др.), целью которых является улучшение здоровья населения [1]. Именно здоровье населения, особенно в условиях крупного промышленного центра, является основным системообразующим звеном управления качеством окружающей среды.

Каждый год в объекты окружающей среды попадает свыше тысячи тонн промышленной пыли и вредных газообразных веществ, в том числе различных органических соединений, среди которых важное место занимает акриловая кислота и ее производные, в частности органический цианид – акрилонитрил. Известно, что акриловые соединения относятся к токсичным и опасным соединениям [2, 3]. Основными источниками загрязнения среды обитания акриловыми соединениями являются межотраслевые химические комплексы [4].

Химический комплекс (производство искусственных волокон, пластмасс, полимеров и резины, органический синтез), являясь крупным поставщиком сырья, полупродуктов, различных материалов и изделий почти во все отрасли промышленности, в то же время один из крупнейших загрязнителей окружающей среды.

Промышленность пластмасс отличается наличием большого разнообразия токсогенов, загрязняющих воздушный бассейн. В производстве АБС-пластиков блочным методом газы выбросы содержат в том числе акрилонитрил в концентрациях, достигающих 240 мг/м³. Выбросы производства эмульсионного АБС-пластика содержат до 95 мг/м³ акрилонитрила.

Проведенный анализ научной литературы позволил заключить, что методы определения опасного промышленного токсиканта акрилонитрила в выдыхаемом воздухе и крови отсутствуют или оказываются недостаточно чувствительными, чтобы выявить неблагоприятный эффект от длительного действия этого соединения. В литературе отсутствуют систематизированные данные о содержании акрилонитрила в крови и выдыхаемом воздухе у лиц, подверженных воздействию промышленного мономера, занятых на производстве.

Присутствие акрилонитрила в объектах окружающей среды даже в низких концентрациях может формировать хроническое негативное воздействие на население, проявляющееся в изменении гематологических показателей: снижение уровня гемоглобина, числа эритроцитов и лейкоцитов, угнетение процесса созревания нормобластов в костном мозге [5]. В крови повышается активность альдолазы, что наблюдается только при нарушении проницаемости плазматической мембраны гепатоцитов, а также снижение содержания цитохрома Р-450 микросом [6, 7]. При этом постоянное воздействие токсических факторов окружающей среды сочетается со снижением детоксикационной функции печени и, возможно, создаются условия для поступления акрилонитрила в кровь и его появления в выдыхаемом воздухе.

Гигиеническая оценка реальных последствий воздействия акрилонитрила на здоровье населения до настоящего времени была весьма затруднена. Основной проблемой являлось отсутствие методического обеспечения медико-биологических исследований и лабораторного контроля. Без системных наблюдений за содержанием акрилонитрила в биологических средах затруднено получение данных об их влиянии на здоровье.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методических приемов мониторинга химической нагрузки на организм в рамках медико-биологического мониторинга, что обеспечит объективность гигиенической оценки безопасности и качества окружающей среды.

Цель исследования – разработка газохроматографических методик определения органического цианида (акрилонитрил) в выдыхаемом воздухе и крови для диагностических исследований

Материалы и методы. В процессе исследований по разработке методов определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе и крови был выбран и обоснован метод капиллярной газовой хроматографии; изучены и отработаны оптимальные параметры газохроматографического анализа – разделения акрилонитрила с другими углеводородами, пробоподготовки и количественного определения. Разработанные методы позволят получить более низкие пределы обнаружения и улучшить достоверность и точность.

При разработке методик газохроматографического анализа использовали газовый хроматограф серии «Хроматэк-Кристалл» и хроматографическую колонку DB-624; при выборе колонки учитывали основные определяющие факторы: характеристики колонки – геометрические размеры (длина и внутренний диаметр, тип неподвижной фазы) и температуру колонки, природу газа-носителя и его скорость. Оптимальную температуру анализа определяли путем подбора, ориентируясь на температуры кипения, летучесть исследуемого соединения и свойства сорбента капиллярной колонки [8].

Критериями отбора детей в контрольную группу явились: *социально-гигиенические* – соответствие качества атмосферного воздуха и источников питьевого

водоснабжения гигиеническим нормативам, отсутствие мест складирования промышленных и бытовых отходов, близко расположенных крупных автомагистралей, природно-геохимическое благополучие; *медико-биологические* – возрастная группа 6–10 лет, отсутствие хронической соматической патологии (1-я и 2-я группы здоровья), физиологическое течение беременности и родов у матери, отсутствие перинатальной гипотрофии плода, развития патологических перинатальных состояний, благоприятная наследственность и отсутствие профессиональных вредностей у родственников 1-й и 2-й линии в течение трех лет, предшествовавших рождению ребенка; *лабораторно-диагностические* – соответствие гематологических, иммунологических, биохимических, функциональных показателей гомеостаза физиологическим нормам, отсутствие экотоксикантной нагрузки в организме; *социально-бытовые* – соответствие жилищных условий гигиеническим нормативам (площадь, воздушно-тепловой режим, санитарные условия, освещенность), средний уровень материальной обеспеченности.

Результаты. Качественное разделение акрилонитрила с другими углеводородами с близкими физико-химическими свойствами было достигнуто на капиллярной колонке серии DB-624- 30 m×0,32 mm×1,8 μm, которые специально разработаны для анализа газов [9]. Температура колонки влияет на разделение смеси компонентов. Чем ниже температура колонки, тем выше коэффициент емкости, что позволяет более полно использовать ее селективность. При выборе газа-носителя учитывали, что самая высокая эффективность (минимальная ВЭТТ) достигается при использовании азота, но для узкого интервала линейных скоростей. Оптимальные газохроматографические параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1

Газохроматографические параметры для определения акрилонитрила в крови и выдыхаемом воздухе

Режим	Температура, °С		Расход газа-носителя, мл/мин	Деление потока азот: воздух
	колонка	скорость нагревания		
1	50–100–200 °С	5–10 °С/мин	1,4	1: 14
2	70–160–180 °С	5–5 °С/мин	1,5	1: 20
3	70–160–200 °С	6–5 °С/мин	1,0	1: 0

Качественное разделение было достигнуто в режиме 1, который и был выбран для дальнейшей работы. Анализ проводили в режиме программирования температуры колонки, при температуре испарителя – 200 °С; азотно-фосфорного, водорода – 20 см³/мин и воздуха – 200 см³/мин.

Выдыхаемый воздух. В ходе выполнения работ по разработке газохроматографического метода определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе отработаны эффективные приемы и методы отбора проб: подготовка пробы для анализа в выдыхаемом воздухе в реальном масштабе времени; подготовка пробы для анализа в выдыхаемом воздухе с усреднением по нескольким выдохам; подготовка пробы для анализа в выдыхаемом воздухе с накоплением пробы выдоха и концентрированием на сорбционные трубки с последующей термодесорбцией при объеме газовой смеси ~ 1–10 л [10]. Экспериментальным путем было установлено, что наиболее оптимальным сочетанием аналитических параметров для отбора проб выдыхаемого воздуха является накопление пробы выдоха в пластиковый пакет, нагрев в течение

30 мин при температуре 50–60 °С и концентрирование паровоздушной смеси на сорбционные трубки, рекомендованные Национальным стандартом¹.

Максимальная степень десорбции достигнута с применением сорбента Тенакс ТА и составила 97,7 %. Определение акрилонитрила в выдыхаемом воздухе возможно на уровне 0,002 мкг при объеме воздуха 1000 см³ селективно, достоверно, с высокой чувствительностью.

При валидации разработанной методики определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе рассматривались показатели качества результатов анализа: точности, правильности – оценка систематической погрешности лаборатории, показатель повторяемости, внутрилабораторной прецизионности, статистические оценки характеристик погрешности результатов анализа.

Метрологическая аттестация метода определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе выполнена расчетным способом с известной концентрацией для нижней и средней границ измеряемого диапазона и применением метода добавок. Экспериментальные данные, полученные в лаборатории, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Диапазон измерений, значения показателей точности, повторяемости, воспроизводимости

Наименование определяемого компонента и диапазон измерений, мг/м ³	Показатель повторяемости (относительное среднеквадратическое отклонение повторяемости), σ_p , %	Показатель воспроизводимости (относительное среднеквадратическое отклонение воспроизводимости), σ_R , %	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P = 0,95$), $\pm \delta$, %
Акрилонитрил, от 0,0012 до 0,05 включит.	3,42	4,14	25,30

Таким образом, выполненная метрологическая аттестация методики определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе позволила установить показатели качества результатов количественного химического анализа: точности (правильность и прецизионность), показатель повторяемости (3,42 %), показатель воспроизводимости (4,14 %), и показатель точности для акрилонитрила составил – 25,30 %.

Кровь. В процессе исследований по разработке методики определения акрилонитрила в крови было отработано три способа подготовки биопробы (кровь) к газохроматографическому анализу – экстракция органическим растворителем, метод анализа равновесной паровой фазы и пробоподготовка методом твердофазной экстракции. Характеристика методов подготовки биопробы к количественному определению акрилонитрила представлена в табл. 3.

В сочетании с оптимальными условиями пробоподготовки и применением капиллярной газовой хроматографии метод анализа равновесной паровой фазы позволяет выполнять определение акрилонитрила в крови на уровне 0,006 мкг/см³ при pH = 2–3 со степенью экстракции 96,9 %.

¹ ГОСТ Р ИСО 16017-1-2007. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках [Часть 1. Отбор проб методом прокачки ISO 16017-1:2000].

Таблица 3

Сравнительная характеристика методов подготовки биопробы (кровь) для газохроматографического анализа акрилонитрила

№ п/п	Метод подготовки биопробы (кровь) для анализа	Оптимальные условия пробоподготовки	Полнота извлечения, %
1	Экстракция органическим растворителем	Экстракция диэтиловым эфиром в кислой среде при pH = 2–3 (1 % р-р серной кислоты)	94,7
2	Анализ равновесной паровой фазы	Подкисление пробы крови 1 % р-ром серной кислоты	96,9
3	Твердофазная экстракция	Экстракция диэтиловым эфиром в кислой среде при pH = 2–3 (1 % р-р фосфорной)	76,7

Метрологическая аттестация (валидация) метода определения акрилонитрила в крови выполнена в соответствии с нормативными документами МИ 2336-2002 и ГОСТ Р ИСО 5725-1÷ГОСТ Р ИСО 5725-5-2002 расчетным способом с известной концентрацией для нижней, средней и верхней границ измеряемого диапазона и применением метода добавок.

Систематическую составляющую погрешности измерений оценивали методом добавок определяемого компонента с применением набора стандартных образцов с известными характеристиками и погрешностями. Для оценки точности (прецизионности) метода проводили эксперимент по внесению известных количеств аналитического стандарта в матрицу на двух уровнях (один равен пределу обнаружения и один в 100 раз больше) в пяти повторениях каждого уровня (параллельно – два контрольных образца). Отчет выполнен для рабочей пробы и пробы с добавкой. Методика выполнения измерений обеспечивает получение результатов измерений с погрешностью, не превышающей значений, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Диапазон измерений, значения показателей точности, повторяемости, воспроизводимости

Наименование определяемого компонента и диапазон измерений, мкг/см ³	Показатель повторяемости (относительное среднеквадратическое отклонение повторяемости), σ_p , %	Показатель воспроизводимости (относительное среднеквадратическое отклонение воспроизводимости) σ_R , %	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P = 0,95$), $\pm \delta$, %
Акрилонитрил, от 0,006 до 0,1 включит.	4,31	1,90	19,60

Таким образом, выполненная метрологическая аттестация методики определения акрилонитрила в крови позволила установить показатели качества результатов количественного химического анализа: точности (правильность и прецизионность), повторяемости (4,31 %), воспроизводимости (1,9 %), внутрилабораторной прецизионности (5,26 %), и показатель точности для метода определения акрилонитрила в крови составил – 19,6 %.

Научно обоснованные методические подходы определения акрилонитрила в биологических средах (выдыхаемый воздух, кровь) положены в основу разработанных методов, которые были использованы при проведении исследований по установлению особенностей медико-биологических показателей состояния здоровья детей, проживающих в сложных условиях многокомпонентной и многофакторной техногенной нагрузки. Краевой центр Пермского края характеризуется как территория со сложной экологической обстановкой, связанной с работой предприятий химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, топливной и электротехнической промышленности, в выбросах которых содержится широкий спектр органических веществ, формирующих антропогенную нагрузку, в том числе и акрилонитрил. Особенности расположения промышленных предприятий г. Перми могут обуславливать концентрирование выбросов вредных веществ в селитебной зоне и негативно влиять на состояние здоровья населения. В связи с этим специалистами ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (далее – Центр), проводились исследования содержания акрилонитрила в крови и выдыхаемом воздухе детей ($n = 25$), проживающих в зоне экспозиции.

Подготовку пробы выдыхаемого воздуха проводили с накоплением пробы выдоха в пластиковый пакет и концентрированием на сорбционные трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическом анализом. Для сравнительной оценки уровней акрилонитрила в выдыхаемом воздухе и крови обследуемой группы детей использовали содержание токсиканта в выдыхаемом воздухе и крови контрольной группы практически здоровых детей ($n = 25$), проживающих вне зоны антропогенного влияния.

Средняя концентрация акрилонитрила в выдыхаемом воздухе в группе наблюдения $0,0011 \pm 0,0009$ мкг/см³, в контрольной группе $0,00016 \pm 0,00009$ мкг/см³. Хроматограммы проб выдыхаемого воздуха пациента контрольной и обследуемой группы представлены на рис. 1.

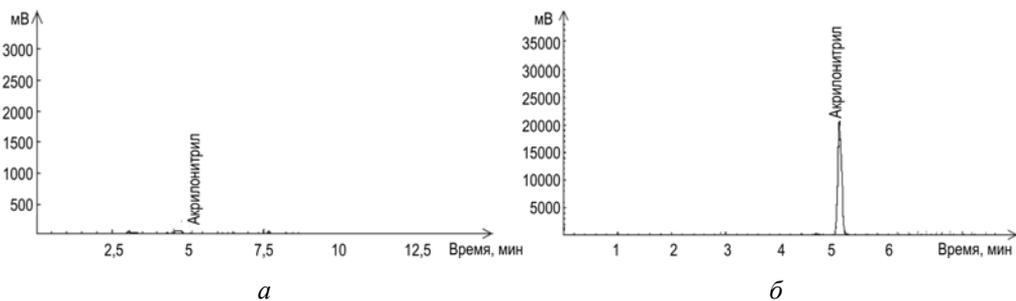


Рис. 1. Хроматограмма пробы выдыхаемого воздуха пациента контрольной (а) группы $C_{\text{АН}} = 0,0008$ мкг/см³ и пациента, проживающего в зоне экспозиции $C_{\text{АН}} = 0,0046$ мкг/см³ (время удерживания акрилонитрила 5,07 мин)

В процессе проведенных исследований было установлено, что средние концентрации акрилонитрила в выдыхаемом воздухе обследуемой группы детей достоверно выше в 6,3 раза, чем в выдыхаемом воздухе детей контрольной группы.

Средняя концентрация акрилонитрила в крови экспонируемой группы детей установлена на уровне $0,00795 \pm 0,000586$ мкг/см³, и контрольной – $0,00176 \pm 0,00059$

($p = 0,001$). Количество образцов крови с повышенным содержанием акрилонитрила составило 60 %. Медико-биологические исследования содержания акрилонитрила в крови детей, проживающих в зонах экспозиции, показали, что кратность превышения контрольных уровней изменялась от 1 до 4,5 раза.

Хроматограммы образцов крови исследуемой и контрольной групп детей представлены на рис. 2.

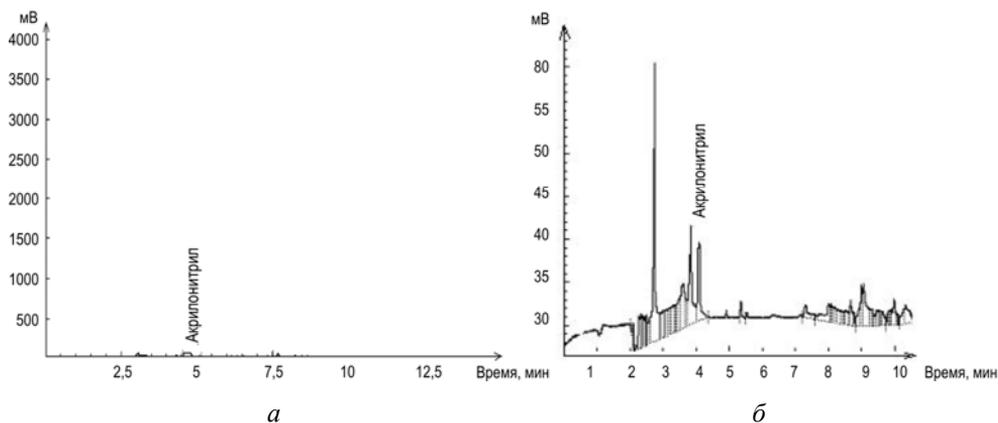


Рис. 2. Хроматограмма образца крови пациента контрольной (а) группы $C_{\text{АН}} = 0,00 \text{ мкг/см}^3$ и пациента, проживающего в зоне экспозиции $C_{\text{АН}} = 0,021 \text{ мкг/см}^3$

Проведенные медико-биологические исследования показали, что средние концентрации акрилонитрила в выдыхаемом воздухе исследуемой группы детей достоверно выше в 6,3 раза, чем у детей контрольной группы. В крови в 4,5 раза выше, чем в крови детей контрольной группы.

Разработанные газохроматографические методики определения акрилонитрила позволяют адекватно диагностировать химическую нагрузку в выдыхаемом воздухе и крови детей, что является доказательным звеном воздействия химических факторов окружающей среды на здоровье. Разработанная газохроматографическая методика определения акрилонитрила в выдыхаемом воздухе может быть предложена в качестве неинвазивного диагностического метода при обследовании детского населения.

Список литературы

1. Научные основы Концепции Государственной политики в области укрепления здоровья и профилактики заболеваний населения РФ на 2000–2010 гг. – М., 1999. – 59 с.
2. Шустов В.Я., Кузнецов П.П. Акрилонитрил: токсические свойства, гигиеническая оценка. – М.: Медицина, 1984. – 71 с.
3. Промышленные выбросы и здоровье населения г. Салавата в современных условиях / Е.Г. Степанов, Ф.А. Салимова, М.А. Шафиков, Н.А. Мулдашева, Т.С. Байбурин, Г.С. Степанова // *Фундаментальные исследования*. – 2004. – № 2. – С. 96–97.
4. Гигиена труда и состояние здоровья работающих в современном производстве синтетического волокна нитрон / Н.А. Еникеева, Р.С. Островская, Л.В. Сыса

[и др.] // Гигиена труда и охрана здоровья рабочих в нефтяной и нефтехимической промышленности. – М., 1976. – Т. 9. – С. 22–25.

5. Иванов В.В., Жирнов Г.Ф., Арчаков А.И. Активация акрилонитрила в микросомальной системе окисления // Вопросы мед. химии. – 1982. – Т. 20, № 2. – С. 95–98.

6. Grahl V.R. Toxicology und Wirkungsweise von Acrylnitril // Zbl. Arbeitsmed. – 1970. – Bd. 12. – S. 369–378.

7. Holechek V., Kopecky J. Conjugation of glutathione with acrylonitrile and glycidonitrile // Industrial and environmental xenobiotics. – Berlin: Springer Verlag, 1981. – P. 239–245.

8. Айвазов Б.В. Введение в хроматографию: учебное пособие для химических специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 240 с.

9. Шилов В.Н., Яковченко В.А., Сергиенко В.И. Диагностическая ценность газохроматографического исследования выдыхаемого воздуха // Клин. лаб. диагн. 1994. – Т. 5. – С. 9–10.

10. Дворецкий Д.Б. Вентиляция, кровообращение и газообмен в легких // Физиология дыхания / под ред. И.С.Бреслава, Г.Г.Исаева. – СПб.: Наука, 1994. – С. 197–257.

Изучение параметров твердофазной экстракции сульфаниламидов из питьевой воды

М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.В. Нурисламова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Исследованы параметры проведения твердофазной экстракции (ТФЭ), влияющие на эффективность извлечения сульфаниламидных препаратов из питьевой воды. Оптимизированы условия экстракции, включая рН среды, качественный и количественный состав элюента, а также скорость пропускания пробы. Эффективность ТФЭ оценивалась методом «задано – получено». Установлено, что наиболее эффективное влияние на степень извлечения сульфаниламидов оказывает подкисление водных образцов до рН 5 и использование в качестве экстрагента ацетонитрила с добавлением 0,1 % концентрированной фосфорной кислоты. Оработанные оптимальные параметры ТФЭ позволили достичь степени извлечения сульфаниламидов из образцов питьевой воды 75–109 % при концентрациях аналитов (0,05–1,0 мг/дм³). Подобранные оптимальные параметры ТФЭ для извлечения сульфаниламидов из водных образцов будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методики определения сульфаниламидов в питьевой воде методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с детектором на диодной матрице (ВЭЖХ-ДМД).

Ключевые слова: твердофазная экстракция, пробоподготовка, сульфаниламиды, питьевая вода, ВЭЖХ-ДМД.

Сульфаниламиды – противомикробные средства, производные п-аминобензолсульфамида, известного как стрептоцид, широко применяемые в медицине и ветеринарии [1]. Их активное использование приводит к попаданию остаточных количеств в окружающую среду, в том числе в водные объекты [2–4]. Даже следовые концентрации сульфаниламидов в питьевой воде могут представлять потенциальную опасность для здоровья человека, способствуя развитию антибиотикорезистентности и оказывая токсическое воздействие на организм [5]. Учитывая значительные риски для здоровья человека, обусловленные присутствием сульфаниламидов в водных экосистемах, актуальным становится разработка и внедрение высокочувствительной методики количественного определения сульфаниламидов в питьевой воде и иных водных средах. Ключевым аспектом при разработке методики является выбор эффективного способа извлечения аналитов из водных матриц. По литературным данным твердофазная экстракция (ТФЭ) считается одним из наиболее широко применяемых методов подготовки водных образцов для анализа различных фармацевтических препаратов, в том числе сульфаниламидов, благодаря высокой эффективности концентрирования, возможности минимизации матричных эффектов и совместимости с хроматографическими методами анализа [6–8]. Подбор оптимальных условий проведения процедуры ТФЭ, таких как выбор сорбента, определение количественного и качественного состава экстрагента, pH водного образца и др., является важной задачей, определяющей чувствительность, селективность и прецизионность анализа. Большое влияние на эффективность твердофазной экстракции оказывает скорость загрузки образца на картридж и объем анализируемой пробы. По литературным данным при анализе лекарственных средств в пробах воды скорость загрузки образцов на картриджи Oasis HLB 6cc (сорбционная емкость 500 мг) может достигать 1–10 см³/мин, а объем анализируемой пробы – 1000 см³ [9–11].

Цель исследования – изучение влияния параметров твердофазной экстракции на эффективность извлечения сульфаниламидов из образцов питьевой воды.

Материалы и методы. Стандартные растворы готовили из стандартных образцов сульфаниламидов – сульфаметазин (SMZ), сульфатиазол (STZ), сульфадимизин (SDM), сульфаметопиразин (SMP), сульфапиридазин (SMPD), сульфамонOMETOKCин (SMMX), фталилсульфатиазол (PSTZ), 3,5-дихлорсульфаниламид (CSNA) с чистотой ≥ 98 % (Clearsynth, Индия). Для подбора состава элюента для ТФЭ использовали органические растворители – метанол (хч, ГОСТ 6995-77), ацетонитрил (осч, ТУ-2634-002-54260861-2013) и неорганические кислоты – ортофосфорная (хч, ГОСТ 6552-80), уксусная ледяная (хч, ГОСТ 6175) кислоты. Отработку условий извлечения антибиотиков способом твердофазной экстракции (ТФЭ) проводили на картриджах для твердофазной экстракции Oasis HLB 6cc (сорбционная емкость 500 мг) с использованием устройства для твердофазной экстракции (Waters, США). Концентрирование экстрактов проводили с помощью центрифужного вакуумного концентратора MiVac Quattro Concentrator (Genevac Ltd, Великобритания). Экстракты анализировали на жидкостном хроматографе Prominence с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu, Япония) на колонке с обращенной фазой C18 Agilent Pursuit с размером частиц 5 мкм, внутренним диаметром 4,6 мм и длиной 150 мм с использованием в качестве подвижной фазы смеси 0,1 % ортофосфорной кислоты в дистиллированной воде и 0,1 % ортофосфорной кислоты в ацетонитриле в градиентном режиме элюирования со

скоростью потока 0,7 см³/мин. Температура колонки 40 °С, объем вводимой пробы 5 мм³. Длина волны детектирования – 280 нм.

Степень экстракции (R) рассчитывали по формуле [12]:

$$R = \frac{A \cdot 100}{N},$$

где R – степень экстракции вещества, %; A – количество вещества, извлеченное органическим растворителем (экстрагентом); N – заданное количество вещества в водном образце.

Результаты. В результате экспериментальных исследований отработаны условия предварительной подготовки проб для эффективного извлечения сульфаниламидов из воды методом твердофазной экстракции с последующим анализом экстрактов методом ВЭЖХ/ДМД. Ключевым параметром, влияющим на степень извлечения изучаемых соединений из воды, является рН среды. Максимальная степень экстракции (75–109 %) достигнута при добавлении 0,1 % фосфорной кислоты на всех этапах проведения ТФЭ, начиная с подкисления стандартного раствора смеси сульфаниламидов до рН = 5, кондиционирования картриджа, промывки картриджа после нанесения стандартного образца и извлечения аналитов с картриджа. В кислой среде сульфаниламиды находятся преимущественно в нейтральной (молекулярной) форме, что способствует более полной сорбции на сорбенте. При повышении среды стандартных растворов рН > 5 эффективность экстракции снижалась на 15–25 %.

Изучение влияния скорости загрузки стандартных растворов на картриджи Oasis HLB 6cc (сорбционная емкость 500 мг) показало, что пропускание образцов со скоростью 5–10 см³/мин недопустимо, так как наблюдался «проскок» уже в первых порциях слива. Анализируемые сульфаниламидные препараты не адсорбируются при таких высоких скоростях. Приемлемое удерживание аналитов на картридже наблюдалось при нанесении образца со скоростью 0,5–1 см³/мин.

При выборе объема анализируемой пробы учитывали такие факторы, как достижение необходимой чувствительности определения и продолжительность экстракции. Так, время загрузки образца объемом 100 см³ без применения вакуума в настоящем исследовании составило 3,5 ч, что обеспечивает повышение чувствительности аналитического сигнала прибора в 100 раз. С целью сокращения времени проведения ТФЭ в качестве оптимального варианта использовали объем пробы 50 см³ и скорость экстракции 1 см³/мин.

Для достижения более высокой чувствительности определения сульфопрепаратов в воде использовали дополнительное концентрирование проб на центрифужном вакуумном концентраторе. При полном высушивании экстрактов и перераспределении в 0,2 см³ ацетонитрила потеря аналитов достигала в среднем 40 %. В результате концентрирования экстрактов, получаемых в процессе ТФЭ, на центрифужном концентраторе с 5 до 0,5 см³ чувствительность определения сульфаниламидов в питьевой воде повысилась в 10 раз, а степень экстракции в среднем составила 95,8 %.

Таким образом, осуществлены исследования по выбору оптимальных параметров проведения твердофазной экстракции для определения группы сульфаниламидных препаратов в питьевой воде. Процедура ТФЭ сульфаниламидов из воды

включает кондиционирование картриджа Oasis HLB 6cc 5 см³ ацетонитрила, подкисленного 0,1 % ортофосфорной кислоты и 5 см³ деионизированной воды; подкисление образца воды до pH 5 0,1 % водным раствором ортофосфорной кислоты, проверка pH подкисленного образца на pH-метре, нанесение 50 см³ исследуемого образца на подготовленный картридж, промывка картриджа 5 см³ 0,1 % водного раствора ортофосфорной кислоты, экстракция сульфаниламидов с картриджа 5 см³ ацетонитрила с 0,1 % ортофосфорной кислоты. Концентрирование экстракта на центрифужном вакуумном концентраторе MiVac Quattro Concentrator при температуре 40 °С до объема 0,5 см³. Подготовленную пробу фильтруют через гидрофильную шприцевую насадку с размером пор 0,2 мкм и анализируют в количестве 5 мм³ на жидкостном хроматографе. Степень извлечения составила от 75 до 109 % при концентрациях аналитов (0,05–1,0 мг/дм³).

Выводы. В результате проведенных исследований подобраны оптимальные параметры проведения твердофазной экстракции сульфаниламидов из питьевой воды. Установлено, что подкисление водного образца до pH 5 и использование в качестве элюента ацетонитрила, содержащего 0,1 % концентрированной фосфорной кислоты, обеспечивают максимальный выход экстракции аналитов (75–109 %) из питьевой воды. Подобраны эффективные условия ТФЭ будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методики определения сульфаниламидов в питьевой воде.

Список литературы

1. Антибиотики и химиотерапевтические препараты: учебник / А.Н. Сизенцов, И.А. Мисетов, И.Ф. Каримов; Оренбургский гос. ун-т – Оренбург: ОГУ, 2012. – 489 с.
2. Ecological and human health risk of sulfonamides in surface water and groundwater of Huixian karst wetland in Guilin, China / L.T. Qin, X.R. Pang, H.H. Zeng, Y.P. Liang, L.Y. Mo, D.Q. Wang, J.F. Dai // *Science of the total environment*. – 2020. – Vol. 708. – P. 134552. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134552
3. Malintan N.T., Mohd M.A. Determination of sulfonamides in selected Malaysian swine wastewater by high-performance liquid chromatography // *Journal of Chromatography A*. – 2006. – Vol. 2. – P. 154–160. DOI: 10.1016/j.chroma.2006.06.005
4. Comparison of chemical and biological degradation of sulfonamides: Solving the mystery of sulfonamide transformation / J. Li Hu, X. Liu, F. Fu, W. Lin, B. Li // *Journal of hazardous materials*. – 2022. – Vol. 424. – P. 127661. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127661
5. Holm R., Söderhäll K., Söderhäll I. Accumulation of antibiotics and antibiotic resistance genes in freshwater crayfish—Effects of antibiotics as a pollutant // *Fish & Shellfish Immunology*. – 2023. – Vol. 138. – P. 108836. DOI: 10.1016/j.fsi.2023.108836
6. Fully-automated SPE coupled to UHPLC-MS/MS method for multiresidue analysis of 26 trace antibiotics in environmental waters: SPE optimization and method validation / M. Zheng, S. Tang, Y. Bao, K.D. Daniels, Z.T. How, M.G. El-Din, L. Tang // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – P. 1–15. DOI: 10.1007/s11356-021-15947-3
7. Trace determination of sulfonamide antibiotics and their acetylated metabolites via SPE-LC-MS/MS in wastewater and insights from their occurrence in a municipal wastewater

ter treatment plant / S. Yuan., Z. Liu, H. Yin, Z. Dang, P. Wu, N. Zhu, Z. Lin // *Sci. Total Environ.* – 2019. – Vol. 653. – P. 815–821. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.417

8. An Automated Solid-Phase Extraction–UPLC–MS/MS Method for Simultaneous Determination of Sulfonamide Antimicrobials in Environmental / M. Qi, P. He, H. Hu, T. Zhang, T. Li, X. Zhang, Y. Guo // *Molecules.* – 2023. – Vol. 12. – P. 4694. DOI: 10.3390/molecules28124694

9. Determination and occurrence of sulfonamide transformation products in surface waters / H. Cui, H. Chang, H. Zheng, Y. Wan // *Science of The Total Environment.* – 2021. – Vol. 779. – P. 146562. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146562

10. Simultaneous analysis of multiple classes of antimicrobials in environmental water samples using SPE coupled with UHPLC-ESI-MS/MS and isotope dilution / N.H. Tran, H. Chen, T.V. Do, M. Reinhard, H.H. Ngo, Y. He, K.Y. Gin // *Talanta.* – 2016. – Vol. 159. – P. 163–173. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.06.006

11. Antibiotic and antiparasitic residues in surface water of urban rivers in the Red River Delta (Hanoi, Vietnam): concentrations, profiles, source estimation, and risk assessment / N.D. Le, A.Q. Hoang, T.T.H. Hoang, T.A.H. Nguyen, T.T. Duong, Pham T.M.H. [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2021. – Vol. 28 (9). – P. 10622–10632. DOI: 10.1007/s11356-020-11329-3

12. Байзолданов Т. Токсикологическая химия: учебник. – Алматы: Эверо, 2021. – 240 с.

Раздел VII

**Клеточные и геномные
технологии в задачах
формирования доказательной
базы негативного влияния
факторов риска на здоровье
населения**

Особенности иммунного профиля у детей в условиях биоэкспозиции амфотерными металлами (на примере алюминия)

И.Н. Аликина¹, О.В. Долгих^{1,2}, А.С. Ширинкина¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

Проведено комплексное диагностическое обследование и сравнительный анализ состояния здоровья детей, подвергавшихся длительной аэрогенной экспозиции соединениями алюминия (не менее 4 лет). Группу наблюдения составили 78 детей, проживающих на территории размещения предприятия цветной металлургии; группу сравнения – 30 детей, проживающих на условно чистой территории. Иммунный статус детей оценивали методами проточной цитометрии и аллергосорбентного анализа. Идентификация содержания алюминия в атмосферном воздухе и биологических средах выполнена методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Установлено, что у детей, подвергавшихся аэрогенному воздействию алюминия на уровне, превышающем референтные концентрации в 2 раза, средний уровень алюминия в моче в 5,5 раза достоверно превышал принятые референтные величины и превосходил данный показатель группы сравнения в 4,5 раза. Средняя концентрация алюминия в крови в исследуемой группе составила 0,037 мкг/см³, что статистически значимо выше, чем в группе сравнения (0,02 мкг/см³). У детей группы наблюдения установлены нарушения иммунной регуляции, проявляющиеся избыточной продукцией специфических IgG к алюминию, а также повышением уровня антиапоптотического транскрипционного фактора Bcl-2, верифицированные наличием статистически значимых корреляций между маркерами экспозиции и эффекта, не выявленных в группе сравнения. Показатели иммунного профиля, такие как антиапоптотический белок Bcl-2 и специфические иммуноглобулины класса G к алюминию, рекомендуются в качестве индикаторных для диагностики и профилактики иммунорегуляторных нарушений у детей в условиях избыточной биоэкспозиции амфотерными металлами (на примере алюминия).

Ключевые слова: алюминий, иммунный профиль, специфические IgG к алюминию, экспозиция, дети.

Дестабилизация среды обитания, связанная с высоким уровнем антропогенной нагрузки, представляет существенную проблему для крупных промышленных городов, которая приобретает все большее значение в связи с возрастающим влиянием на здоровье населения. Проведены многочисленные исследования, подтверждающие негативное влияние различных токсических веществ на здоровье населения [1–3]. Имеется достаточно большое количество фактов, свидетельствующих о прямой зависимости между состоянием здоровья детского населения и уровнями загрязнения атмосферного воздуха [4, 5]. Алюминий – один из наиболее распространенных в природе элементов, занимает третье место после кислорода и кремния, с которыми в виде алюмосиликатов составляет больше 82 % массы земной ко-

ры [6]. Органами-мишенями при избыточных концентрациях алюминия в организме являются почки, центральная нервная система, кости, легкие, костный мозг. Высокая способность алюминия образовывать комплексные соединений обуславливает его роль в снижении активности многих ферментов и их систем [7–9]. Установлено, что соединения алюминия нарушают процессы фосфорилирования (синтез АТФ), изменяют энергообмен в клетках, в результате чего клетки теряют способность к нормальному размножению, начинают делиться хаотично, порождая опухоли. Отмечается факт алюминий-индуцированного апоптоза [10–13]. У детей алюминий вызывает анемию, так как ингибирует синтез гемоглобина, заболевания почек, печени, колиты [14–16].

Химические соединения находятся в организме в конъюгированном с белками состоянии (альбумины, бета-глобулины). Поэтому изучение дисбаланса протеома, идентификация новых белковых маркеров заболеваний человека являются актуальными гигиеническими задачами в целях снижения неинфекционной заболеваемости, ассоциированной со средовыми факторами.

Цель исследования – изучение особенностей иммунного профиля в условиях биоэкспозиции амфотерными металлами, на примере алюминия.

Материалы и методы. Проведено углубленное изучение состояния здоровья детского населения в возрасте от 4 до 6 лет, проживающего в зоне воздействия выбросов предприятий цветной металлургии ($n = 78$, группа наблюдения), при этом группу сравнения составили 30 детей 4–6 лет (зона рекреации).

Для определения уровня экспрессии рецептора к фактору некроза опухоли- α 1-го типа (ФНО- α , TNFRI – tumor necrosis factor receptor I) использовали цитофлюориметрический метод, основанный на взаимодействии соответствующих моноклональных антител (МКАТ) с мембранным рецептором к TNF- α на лимфоцитах. Определение уровня экспрессии белка bcl-2 проводили с использованием соответствующих МКАТ (BD, США) и одновременным проведением процедуры отрицательного изотипического контроля. Для анализа использовалась суспензия мононуклеарных клеток периферической крови, выделенных путем центрифугирования в градиенте плотности фиколл-верографина. Затем клетки, дважды отмытые в холодном фосфатно-солевом буфере, ресуспендировали в буфере для разведения клеток Cell Wash ($1 \cdot 10^6$ клеток/мл) и окрашивали стандартными МКАТ согласно протоколу фирмы-производителя (BD, USA). Сбор данных проводили на проточном цитометре.

Показатель пролиферативных реакций (содержание КЭА) определяли методом иммуоферментного анализа.

Анализ содержания IgG специфического к алюминию проведен аллергосорбентным методом.

Идентификация алюминия в атмосферном воздухе (предел обнаружения $0,0001 \text{ мгм}^3$) и биосредах (предел обнаружения в моче $0,0001 \text{ мг/л}$) осуществлялась методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МУК 4.1.3230–14) сотрудниками отдела химико-аналитических методов исследования нашего центра.

Для статистической обработки иммунологических результатов исследования применялись методы математической статистики с помощью программы Microsoft® Office Excel 2003 и пакета прикладных программ Statistica 10.0. (StatSoft, USA). Статистический анализ данных проводился методами описательной статистики и сравнения выборок (с использованием t -критерия Стьюдента). Характер статистического распределения по выборкам устанавливали по критерию согласия – χ^2 . Качественные

данные представлены в виде абсолютных или относительных (%) частот, количественные признаки представлены как $M \pm m$ (среднее арифметическое \pm ошибка среднего). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Установлено, что в группе детского населения, проживающего в условиях аэрогенной экспозиции алюминием на уровне референтной концентрации ($Rfc = 0,005 \text{ мг/м}^3$), средняя концентрация алюминия в моче достоверно ($p < 0,05$) превышала референтные значения в 5,5 раза и аналогичный показатель в группе сравнения – в 4,5 раза; содержание алюминия в крови в группе наблюдения составило $0,037 \pm 0,007 \text{ мкг/см}^3$, в группе сравнения – $0,0197 \pm 0,0049 \text{ мкг/см}^3$ (референтный уровень $0,0065 \pm 0,0035 \text{ мкг/см}^3$).

У 75–89 % детского населения основной группы выявлено достоверное повышение относительно референтного значения показателей иммунного профиля TNFR и Vcl-2. Наблюдалась избыточная по отношению к группе сравнения экспрессия рецептора TNFR в 3,2 раза, отвечающего за апоптоз, а также антиапоптотического белка Vcl-2 в 7 раз ($p < 0,05$) (табл. 1).

Таблица 1

Иммунологические показатели обследованных детей

Показатель	Референтный интервал	Группа наблюдения (n = 78), $M \pm m$	Группа сравнения (n = 20), $M \pm m$	p
Vcl-2, %	1–1,5	$3,464 \pm 1,031$	$0,494 \pm 0,124$	0,005
TNFR, %	1–1,5	$1,813 \pm 0,548$	$0,567 \pm 0,258$	0,041
IgG к алюминию, усл. ед.	0–0,1	$0,281 \pm 0,055$	$0,08 \pm 0,042$	0,004

Примечание: p – уровень значимости показателей.

Оценка корреляционно-регрессионных моделей изменения мембранной рецепции при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах позволила установить достоверное ($p < 0,05$) повышение TNFR – при увеличении концентрации алюминия в крови ($R^2 = 0,73$ при $p < 0,05$), а также TNFR и Vcl-2 при увеличении концентрации алюминия в моче ($R^2 = 0,54–0,84$ при $p < 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

Параметры моделей зависимости «маркер экспозиции – маркер эффекта»

Маркер экспозиции	Маркер эффекта	Направление изменения показателя	b_0	b_1	F	p	R^2
Алюминий (кровь)	TNFR	Повышение	$-0,948 \pm 0,002$	$18,98 \pm 3,394$	106,155	0,000	0,731
	Vcl-2	Повышение	$-0,575 \pm 0,003$	$106,176 \pm 51,104$	220,598	0,000	0,841
Алюминий (моча)	IgG к алюминию	Повышение	$-0,427 \pm 0,023$	$178,153 \pm 262,702$	120,815	0,000	0,619
	TNFR	Повышение	$-4,114 \pm 0,838$	$366,658 \pm 6373,977$	21,092	0,000	0,540

Примечание: b_0 и b_1 – параметры модели; F – критерий Фишера; p – показатель достоверности; R^2 – коэффициент детерминации.

Уровень специфической сенсибилизации к алюминию, оцениваемый по концентрации специфических IgG-антител, оказался повышенным у 68,3 % детей ос-

новной группы по сравнению с показателями группы сравнения, превышая аналогичный показатель группы сравнения в 6,4 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 1).

Анализ вероятности изменения показателей гуморального иммунитета в зависимости от степени биоконтаминации алюминием продемонстрировал значимую положительную взаимосвязь между содержанием специфических IgG к алюминию и концентрацией алюминия в моче обследованных детей ($R^2 = 0,62$; $p < 0,05$) (см. табл. 2).

Выводы. Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали, что у детского населения, проживающего на территории наблюдения и подвергающегося длительной аэрогенной экспозиции соединениями алюминия на уровне 1,0 ПДК_{сс}, формируется специфический иммунный профиль, который характеризуется изменением экспрессии апоптогенных рецепторов иммунокомпетентных клеток. В основе таких изменений лежит активация компонентов, регулирующих процессы апоптоза, включая рецептор фактора некроза опухоли (TNFR) и антиапоптотический белок Bcl-2. Полученные данные свидетельствуют, что выявленные нарушения иммунного профиля в группе наблюдения ассоциированы с активацией механизмов, приводящих к избыточному саморазрушению клеток иммунной системы, а также с повышением уровня специфических IgG-антител, отражающих избыточность реакций гиперчувствительности к соединениям алюминия.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Скальный А.В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. – М.: Изд-во КМК, 2001. – 83с.
2. Агаджанян Н.А., Сусликов В.Л., Ермакова Н.В. Эколого-биогеохимические факторы и здоровье человека // Экология человека. – 2000. – № 1. – С. 3–5.
3. Онищенко Г.Г. Критерии опасности загрязнения окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2003. – № 6. – С. 3–4.
4. Маторова Н.И. Оценка изменений здоровья детей в условиях воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды // Медицина труда и промышленная экология. – 2003. – № 3. – С. 19–23.
5. Маторова Н.И., Ефимова Н.В., Батурин В.А. Применение математического моделирования динамических систем при изучении влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость детского населения // Гигиена и санитария. – 2003. – № 4. – С. 75–77.
6. Менделеев Д.И. Основы химии. – СПб.: Типография М.П. Фроловой, 1903. – 817 с.
7. Investigation of low molecular weight Al complexes in human serum by fast protein liquid chromatography (FPLC)-ETAAS and electrospray (ES)-MS-MS techniques / T. Bantan, R. Milacic, B. Mitrovac, B. Pihlar // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1999. – № 14. – P. 1743–1748.
8. Inhibition of protein kinase C activation by low concentrations of aluminum / M. Cochran, D.C. Elliott, P. Brennan, V. Chawtur // Clinica Chimica Acta. – 1990. – Vol. 194, № 2–3. – P. 167–172. DOI: 10.1016/0009-8981(90)90131-b
9. Staurnes M., Sigholt T., Reite O.B. Reduced Carbonic Anhydrase and Na, K-ATPase Activity in Gills of Salmonids Exposed to Aluminum-Containing Acid Water // Experientia. – 1984. – Vol. 40, № 2. – P. 226–227. DOI: 10.1007/bf01963613

10. Johnson G.V.W., Cogkill K.W., Jope R.S. Oral aluminum alters in vitro protein phosphorylation and kinase activities in rat brain // *Neurobiology of Aging*. – 1990. – Vol. 11, № 3. – P. 209–216. DOI: 10.1016/0197-4580(90)90547-d
11. Nerve growth factor protects against aluminum-mediated cell death / T. Ohyashiki, E. Satoh, M. Okada, T. Takadera, M. Sahara // *Toxicology*. – 2002. – Vol. 176, № 3. – P. 195–207. DOI: 10.1016/s0300-483x(02)00139-7
12. Ronneberg A., Andersen A. Mortality and cancer morbidity in workers from an aluminium smelter with prebaked carbon anodes – part II: cancer morbidity. *Occupational and Environmental Medicine*. – 1995. – Vol. 52, № 4. – P. 250–254. DOI: 10.1136/oem.52.4.250
13. Savory J., Herman M., Ghribi O. Intracellular mechanisms underlying aluminum-induced apoptosis in rabbit brain // *Journal of Inorganic Biochemistry*. – 2003. – Vol. 97, № 1. – P. 151–154. DOI: 10.1016/s0162-0134(03)00258-7
14. Duramad P., Holland N.T. Biomarkers of immunotoxicity for environmental and public health research // *IJERPH*. – 2011. – Vol. 8, № 5. – P. 1388–13401. DOI: 10.3390/ijerph8051388
15. Albero K., Glass J., Sella M. Aluminum inhibits hemoglobin synthesis but enhances iron uptake in Friend erythroleukemia cells // *Kidney International*. – 1990. – Vol. 37, № 2 – P. 677–681. DOI: 10.1038/ki.1990.33
16. Aluminum toxicity. Hematological effects / S. Mahieu, M. Carmen Contini, M. Gonzalez, N. Millen, M.M. Elias // *Toxicology Letters*. – 2000. – Vol. 111, № 3. – P. 235–242. DOI: 10.1016/s0378-4274(99)00184-8

Прогноз риск-индуцированных нарушений здоровья человека при воздействии химических веществ на основе исследования изменений протеомного профиля плазмы крови в экспериментальных и натуральных условиях

Е.В. Пескова, Н.И. Булатова, М.С. Степанков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Исследование механизмов влияния химических веществ на клеточно-молекулярном уровне с помощью технологий протеомного профилирования позволяет спрогнозировать развитие негативных эффектов у человека на самой ранней стадии их возникновения. Верификация полученных данных в эксперименте на биологической модели способствует более глубокому пониманию функционирования патогенетических структур и особенностей формирования негативных последствий в условиях, максимально приближенных к реальным. Выявленные молекулярные эффекты действия химических веществ расширяют теоретиче-

ские представления о механизмах их токсичности, подходах раннего выявления и обоснования профилактики риск-индуцированных нарушений здоровья человека.

Ключевые слова: протеомный профиль, химическое вещество, биологическая модель, биоинформационный анализ, нарушения здоровья человека.

Актуальность исследований, направленных на прогнозирование и профилактику нарушений здоровья человека, обусловлена возрастающим воздействием факторов окружающей среды, в первую очередь химического. Современные геномные технологии, включая протеомный подход, в сочетании с цифровыми аналитическими методами открывают новые возможности для выявления молекулярных механизмов токсичности химических веществ [1].

Особое внимание уделяется аэрогенным химическим загрязнителям, таким как соединения никеля. Они обладают выраженным генотоксическим, канцерогенным и оксидативным эффектом [2]. Международное агентство по изучению рака отнесло растворимые и нерастворимые формы никеля к группе 1 (доказанные канцерогены для человека), а металлический никель и его сплавы – к группе 2В (возможные канцерогены) [3]. В организме никель способен нарушать структуру и функцию митохондрий, вызывая повреждение ее ДНК, снижение мембранного потенциала и уменьшение уровня АТФ [4]. Кроме того, данный элемент нарушает процессы окислительного фосфорилирования за счет связывания АФК и взаимодействия с сульфгидрильными группами белков, что приводит к снижению активности ключевых ферментов. Эти механизмы лежат в основе никель-индуцированного повреждения клеток и тканей [5, 6].

Принимая во внимание, что в реальных условиях человек подвергается одно-временному воздействию комплекса химических агентов, актуальным становится проведение экспериментальных исследований на биологической модели с изолированным действием отдельных компонентов [7]. Применение лабораторных животных с высокой степенью генетической гомологии к человеку, а также развитие методов омикс-анализа, позволяют экстраполировать полученные данные на человека с высокой степенью достоверности [8]. Комплексный подход, сочетающий протеомные методы и экспериментальные исследования, является перспективным направлением в изучении механизмов химической токсичности. Полученные результаты, направленные на выявление молекулярных биомаркеров воздействия химических веществ, способствуют разработке более эффективных стратегий прогноза и профилактики риск-индуцированных нарушений здоровья человека.

Цель исследования – прогноз риск-индуцированных нарушений здоровья человека при воздействии химических веществ на основе анализа изменений протеомного профиля плазмы крови в экспериментальных и натуральных условиях (на примере оксида никеля).

Материалы и методы. В исследование включены дети в возрасте 4–7 лет, подвергающиеся экспозиции NiO с атмосферным воздухом (40 человек). В группу сравнения вошли дети, проживающие в зоне без воздействия изучаемого химического стрессора (20 человек). Экспериментальное исследование проведено на крысах линии Wistar, подвергающихся экспозиции NiO в дозе, эквивалентной реальным условиям [9]. Экспозицию проводили в течение 90 дней 5 дней в неделю по 6 ч (согласно ГОСТ 32636-2020). В экспериментальных и натуральных исследованиях выделены белки, на основе которых выполнен прогноз вероятных негативных эффек-

тов, инициированных трансформацией протеомного профиля плазмы крови при воздействии NiO. Применены методы химико-аналитического (в соответствии с МУК 4.1.3230-14), протеомного (2D-электрофорез и масс-спектрометрический анализ), биоинформационного (данные общедоступных биологических информационных баз) и статистического анализа [10, 11].

Результаты. Качество атмосферного воздуха на территории проживания детей группы наблюдения характеризовалось постоянным присутствием NiO на уровне $0,00001\text{--}0,000155\text{ мг/дм}^3$ ($0,5\text{--}7,8\text{ RfC}$). На территории сравнения качество атмосферного воздуха соответствовало требованиям СанПиН 2.1.3684-21 на содержание NiO.

По результатам химико-аналитического исследования установлено, что у детей группы наблюдения, подвергающихся длительной аэрогенной экспозиции NiO в дозе $0,0017\text{ мг/(кг}\cdot\text{сут)}$, концентрация никеля в крови в 3,6 раза выше аналогичного показателя группы сравнения ($p = 0,0003$) и в 11 раз выше референтного уровня (никель $RfL = 0,001\text{ мг/дм}^3$). Получена адекватная модель зависимости содержания никеля в крови от дозы NiO в атмосферном воздухе ($R^2 = 0,67$; $b_0 = 0,0011$; $b_1 = 2,273$; $p = 0,001$) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты исследования содержания никеля в крови при реальной и экспериментальной экспозиции NiO

Группа	Среднее значение содержания вещества в крови ($M \pm SD$), мг/дм ³		Достоверность различий между группами ($p \leq 0,05$)
	Группа наблюдения	Группа сравнения	
Реальная экспозиция NiO	$0,011 \pm 0,004$	$0,003 \pm 0,001$	0,0003
Экспериментальная экспозиция NiO	Опытная группа $0,014 \pm 0,005$	Контрольная группа $0,005 \pm 0,001$	0,0001

При экспериментальной экспозиции NiO в дозе, эквивалентной реальным условиям ($0,007\text{ мг/(кг}\cdot\text{сут)}$), в крови крыс опытной группы концентрация контаминанта превышала в 1,5 раза показатель контрольной группы ($p = 0,0001$).

По результатам квантификации протеомных карт плазмы крови детей 40 белковых пятен имели достоверные различия интенсивности между группами наблюдения и сравнения ($p = 0,000\text{--}0,022$). Для 34 из них доказаны достоверные причинно-следственные связи изменения их интенсивности с повышением концентрации никеля в крови ($R^2 = 0,21\text{--}0,48$; $p = 0,000\text{--}0,012$). По данным масс-спектрометрической идентификации обнаруженные аминокислотные последовательности выявленных белковых пятен совпадают с 30 белками.

Проведенная квантификация протеомных карт плазмы крови крыс показала наличие достоверных различий интенсивности 22 белковых пятен опытной группы относительно контрольных данных ($p = 0,000\text{--}0,005$). Для 21 из них получены зависимости изменения их интенсивности с повышением концентрации никеля в крови ($R^2 = 0,45\text{--}0,71$; $p = 0,000\text{--}0,017$). Масс-спектрометрическая идентификация показала, что обнаруженные аминокислотные последовательности белковых пятен совпадают с 21 белком.

Сопоставительный анализ протеомных профилей экспериментальных и натуральных исследований показал, что из всех выявленных белков 4 найдены во всех группах – фактор комплемента АРОВЕС1 (ген крысы *A1cf*, ген человека *A1CF*), линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly (ген крысы *Clip4*, ген человека *CLIP4*), β-субъединица гемоглобина (ген крысы *Hbb*, ген человека *HBB*), к-константа иммуноглобулина (ген крысы *Igkc*, ген человека *IGKC*) (табл. 2).

Таблица 2

Статистически значимые белки, доказанно связанные с экспериментальной и реальной экспозицией NiO

Реальная экспозиция				Экспериментальная экспозиция			
Наименование белка	Ген человека	Среднегрупповая интенсивность белкового пятна ($M \pm SD$), int		Наименование белка	Ген крысы	Среднегрупповая интенсивность белкового пятна ($M \pm SD$), int	
		группа наблюдения	группа сравнения			опытная группа	контрольная группа
Фактор комплемента АРОВЕС1	<i>A1CF</i>	2277 ± 44	2531 ± 93	Фактор комплемента АРОВЕС1	<i>A1cf</i>	1852 ± 32	2112 ± 42
Линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly	<i>CLIP4</i>	1750 ± 74	249 ± 71	Линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly	<i>Clip4</i>	1972 ± 197	153 ± 15
β-субъединица гемоглобина	<i>HBB</i>	1564 ± 238	1564 ± 238	β-1 субъединица гемоглобина	<i>Hbb</i>	2749 ± 185	216 ± 93
				β-2 субъединица гемоглобина		3123 ± 227	1455 ± 246
к-константа иммуноглобулина	<i>IGKC</i>	805 ± 68	1776 ± 133	Область С каппа-цепи Ig, аллель А	<i>Igkc</i>	1677 ± 255	4169 ± 171

Установлено, что экспрессия белка фактора комплемента АРОВЕС1 (ген крысы – *A1cf*; ген человека – *A1CF*) снижается как при экспериментальной ($R^2 = 0,67$; $p = 0,001$), так и при реальной экспозиции NiO ($R^2 = 0,25$; $p = 0,005$). *A1CF* является компонентом комплекса редактирования РНК-мессенджера аро-В, который участвует в различных клеточных процессах [12]. Снижение его синтеза может приводить к модификации ЛПНП с дальнейшим развитием атеросклеротических изменений, что является одним из факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний [13].

Выявлена повышенная экспрессия линкерного белка 4, содержащего домен CAP-Gly (ген крысы *Clip4*, ген человека *CLIP4*) в экспериментальных ($R^2 = 0,71$; $p = 0,001$) и натуральных ($R^2 = 0,44$; $p = 0,0001$) условиях. *CLIP4* является членом семейства лигандов убиквитина Т-клеток и подавляет их сигнализацию. Это может способствовать апоптозу и накоплению различных целевых рецепторов, таких как Т-клеточный рецептор, эпидермальный и тромбоцитарный факторы роста [14]. Роль *CLIP4*, биологическая функция и молекулярные механизмы, в том числе в развитии негативных эффектов, остаются до сих пор неясными, однако его увели-

ченный синтез ассоциируют с возможными нарушениями в мочевыделительной и нервной системах, органах пищеварения [15–17].

Установлен белок β -субъединица гемоглобина (ген *HBB*) в протеомном профиле плазмы крови детей ($R^2 = 0,41$; $p = 0,001$), совпадающий с белками при экспериментальной экспозиции (ген *Hbb*) ($R^2 = 0,56–0,67$; $p = 0,001–0,005$). Наличие двух β -субъединиц гемоглобина в протеомном профиле крыс связано с дупликацией гена в процессе эволюции, и они оба участвуют в формировании гемоглобина. По данным биоинформационных ресурсов повышенные концентрации никеля могут приводить к снижению синтеза мРНК гена *HBB* [18], что снижает экспрессию белка. Это обуславливает нарушение образования гемоглобина, что может являться фактором гипоксического стресса [19].

Обнаружен белок – область С каппа-цепи Ig, аллель А (ген *Igkc*), экспрессия которого в 2,5 раза снижается при экспериментальной экспозиции NiO ($R^2 = 0,61$; $p = 0,003$). Ортологичный белок к-константа иммуноглобулина и кодирующий его ген *IGKC* обнаружены в протеомном профиле детей, где его синтез ниже в 2,2 раза ($R^2 = 0,40$; $p = 0,001$). Предполагается, что данный белок является частью комплекса иммуноглобулинов G, изменение экспрессии которого может способствовать их аномальному уровню, что приводит к изменению иммунного ответа организма, в том числе на химический агент [20].

При хроническом аэрогенном воздействии NiO преимущественно оказывает повреждающее действие на органы дыхания [21], что согласуется с полученными результатами настоящего исследования. По данным ресурса Tissues (<https://tissues.jensenlab.org/>) белок *CLIP4* преимущественно экспрессируется в тканях легких, а также в мышцах с белков *HBB*. Установлено, что выявленные белки *HBB* и *AICF* также высоко экспрессируются в тканях печени (табл. 3).

Таблица 3

Экспрессия в тканях и заболевания, ассоциированные с изменением экспрессии выявленных белков

Наименование белка	Ген человека	Экспрессия в тканях (база данных Tissues)	Прогнозируемые негативные исходы, ассоциированные с геном (база данных CTD)
Фактор комплемента APOBEC1	<i>AICF</i>	Печень Кишечник Почки	Заболевания сердечно-сосудистой системы
Линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly	<i>CLIP4</i>	Легкие Мозг Мышцы	Заболевания мочевыделительной системы Заболевания нервной системы Заболевания органов пищеварения
β -субъединица гемоглобина	<i>HBB</i>	Кровь Печень Мышцы	Заболевания крови Заболевания нервной системы Заболевания сердечно-сосудистой системы
к-константа иммуноглобулина	<i>IGKC</i>	–	Заболевания иммунной системы Заболевания нервной системы Заболевания органов пищеварения

Примечание: «–» – сведения отсутствуют.

Прогнозируемые негативные исходы, ассоциированные с установленными генами выявленных белков и представленные в базе данных CTD (<https://ctdbase.org/>),

позволили предположить развитие негативных эффектов со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения при увеличении концентрации никеля в крови. Полученные данные могут расширить перечень критических органов и систем токсического действия никеля на клеточно-молекулярном уровне.

Аналитическое обобщение молекулярного механизма действия никеля свидетельствует, что он способен функционально нарушать многие клеточные процессы, влияя на регуляторные белки, такие как гистоны, факторы транскрипции, белки, участвующие в восстановлении ДНК, эпигенетической регуляции и убиквитинизации. Он способен заменять родственные ионы металлов (железа, меди, цинка и кальция) в металлсвязывающих белках, регулирующих клеточные метаболические пути и ионные каналы [22, 23]. Это вызывает значительную трансформацию клеточного метаболизма, включая изменение гомеостаза железа, истощение аскорбата и гипоксический стресс, что, очевидно, приводит к модуляции экспрессии генов. Совместное воздействие с другими химическими токсикантами может усугубить негативные эффекты никеля [24].

Таким образом, доказана роль повышенного содержания никеля в крови в трансформации протеомного профиля плазмы крови в экспериментальных и реальных условиях. Установленные белки целесообразно использовать для прогноза и раннего выявления нарушений состояния здоровья на молекулярном уровне, обусловленных воздействием NiO с атмосферным воздухом. Полученные результаты расширяют теоретические представления о механизмах токсического действия химических веществ на клеточно-молекулярном уровне. Экстраполяция полученных данных на человека позволяет повысить эффективность раннего прогноза нарушений здоровья и разработки таргетных мер профилактики негативных последствий.

Список литературы

1. The Next Generation of Risk Assessment Multi-Year Study-Highlights of Findings, Applications to Risk Assessment, and Future Directions / I. Cote, M.E. Andersen, G.T. Ankley [et al.] // *Environ Health Perspect.* – 2016. – Vol. 124, № 11. – P. 1671–1682.
2. Mechanisms of Nickel Carcinogenesis / Q.Y. Chen, J. Brocato, F. Laulich, M. Costa // *Essential and Non-essential Metals. Molecular and Integrative Toxicology.* In: A. Mudipalli, J. Zelikoff eds. – Humana Press, Cham., 2017. – P. 181–197.
3. Nickel and nickel compounds / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts [Электронный ресурс]. – Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer, 2012. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304378/> (дата обращения: 9.04.2025).
4. Molecular mechanisms of nickel induced neurotoxicity and chemoprevention / X. Song, S.S.F. Kenston, L. Kong, J. Zhao // *Toxicology.* – 2017. – Vol. 392. – P. 47–54.
5. Primary concept of nickel toxicity – an overview / K.K. Das, R.C. Reddy, I.B. Vagoji [et al.] // *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* – 2018. – Vol. 30, № 2. – P. 141–152.
6. Nickel toxicology with reference to male molecular reproductive physiology / A. Rizvi, S. Parveen, S. Khan, I. Naseem // *Reprod Biol.* – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. 3–8.
7. Соседова Л.М., Филиппова Т.М. Роль биомоделирования в системе химической безопасности человека // *Экология человека.* – 2017. – Т. 24, № 7. – 46–52.
8. Землянова М.А., Пескова Е.В., Степанков М.С. Протеомное профилирование плазмы крови при хронической экспериментальной экспозиции оксидом алюми-

ния как инструмент прогноза негативных эффектов со стороны критических органов и систем человека // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 10. – С. 1125–1131.

9. Выбор дозы препарата для доклинического исследования: межвидовой перенос доз / Е.В. Шекунова, М.А. Ковалева, М.Н. Макарова, В.Г. Макаров // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 19–28.

10. Гланц С. Медико-биологическая статистика; под ред. Н.Е. Бузикашвили и соавт. – М.: Практика, 1998. – 459 с.

11. Оценка нарушений метаболических процессов на основе квантификации белков-мишеней у детей при аэрогенном воздействии оксида алюминия / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Е.В. Пескова, Н.И. Булатова // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 9. – С. 1009–1016.

12. Liu Q., Chen C.Y., Chen G.L. High APOBEC1 Complementation Factor Expression Positively Modulates the Proliferation, Invasion, and Migration of Endometrial Cancer Cells Through Regulating P53/P21 Signaling Pathway // Cancer biotherapy & radiopharmaceuticals. – 2022. – Vol. 37, № 9. – P. 750–758.

13. Маркеры аэрогенной комбинированной экспозиции металлоксидными соединениями и трансформированного протеомного профиля плазмы крови у детей / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 1. – С. 137–146.

14. FOXC2 and CLIP4: a potential biomarker for synchronous metastasis of ≤ 7 -cm clear cell renal cell carcinomas / J. Ahn, K.S. Han, J.H. Heo, D. Bang, Y.H. Kang [et al.] // Oncotarget. – 2016. – Vol. 7, № 32. – P. 51423–51434.

15. Study of 300,486 individuals identifies 148 independent genetic loci influencing general cognitive function / G. Davies, M. Lam, S.E. Harris [et al.] // Nat Commun. – 2018. – Vol. 9, № 1. – P. 2098.

16. MicroRNA-363-3p promotes apoptosis in response to cadmium-induced renal injury by down-regulating phosphoinositide 3-kinase expression / J. Chen, W. Lai, Y. Deng [et al.] // Toxicol Lett. – 2021. – Vol. 345. – P. 12–23.

17. A novel scoring system for gastric cancer risk assessment based on the expression of three CLIP4 DNA methylation-associated genes / C. Hu, Y. Zhou, C. Liu, Y. Kang // Int J Oncol. – 2018. – Vol. 53, № 2. – P. 633–643.

18. Immobilized metal affinity chromatography and human serum proteomics / F. Wang, C. Chmil, F. Pierce [et al.] // J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci. – 2013. – Vol. 934. – P. 26–33.

19. Ahmed M.H., Ghatge M.S., Safo M.K. Hemoglobin: Structure, Function and Allostery // Subcell Biochem. – 2020. – № 94. – 345–382.

20. Schroeder H.W. Jr, Cavacini L. Structure and function of immunoglobulins // J Allergy Clin Immunol. – 2010. – Vol. 125. – P. S41–S52.

21. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 221 с.

22. Zambelli B., Uversky V.N., Ciurli S. Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective // Biochim Biophys Acta. – 2016. – Vol. 1864, № 12. – P. 1714–1731.

23. Reproductive toxicology of nickel – review / Z. Forgacs, P. Massányi, N. Lukac, Z. Somosy // J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. – 2012. – Vol. 47, № 9. – P. 1249–1260.

24. Salnikow K., Zhitkovich A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium // Chem Res Toxicol. – 2008. – Vol. 21, № 1. – P. 28–44.

Полиморфизм *Q279R* гена матричной металлопротеиназы-9 *MMP9* как генетический маркер формирования иммунного фенотипа у детей с аллергическими заболеваниями в условиях биоэкспозиции бензолом

К.Г. Старкова, О.В. Долгих, Т.А. Легостаева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

Результаты обследования детей с аллергопатологией, проживающих в крупном промышленном центре Западного Урала, показали увеличение содержания бензола в крови в 4,1 раза и специфических антител к бензолу по критерию IgG в 1,5 раза относительно уровня группы сравнения ($p = 0,044-0,046$). Выявлена повышенная в 1,5 раза распространенность аллеля *G* полиморфного варианта *Q279R* гена *MMP9* у детей с аллергопатологией, ассоциированного с развитием аллергических заболеваний ($OR = 3,14$; 95 % $CI = 1,07-9,27$). У носителей аллеля *G* гена *Q279R MMP9* отмечено увеличение количества эозинофилов в 1,7 раза, уровня IgE общего в 3,3 раза, концентрации IL-4 и TNF- α в 1,4 раза по отношению к носителям *AA*-генотипа в группе наблюдения ($p = 0,01-0,035$). Полученные результаты указывают на возможность использования полиморфизма гена *Q279R MMP9* в качестве потенциального генетического маркера для решения задач ранней диагностики и профилактики atopических процессов у детей в условиях биоэкспозиции бензолом.

Ключевые слова: генетический полиморфизм, ген *Q279R MMP9*, аллергические заболевания, биоэкспозиция, бензол.

Значительный рост распространенности аллергических заболеваний в последние десятилетия связывают, прежде всего, с высоким уровнем индустриального преобразования среды обитания, когда под влиянием техногенных факторов на основе индивидуальной генетической предрасположенности формируются патологические тенденции состояния здоровья с нарушением иммунной регуляции и развитием atopических процессов. Научные исследования с использованием современных молекулярно-генетических методов, направленных на определение полиморфных особенностей кандидатных генов в контексте развития аллергопатологии,

представляются важным этапом реализации программ по раннему выявлению и предотвращению риска развития данной группы заболеваний [1, 2].

Цель исследования – оценить роль полиморфизма *Q279R* гена *MMP9* в развитии аллергопатологии у детей в условиях биоэкспозиции бензолом.

Материалы и методы. При обследовании детского населения школьного возраста крупного промышленного центра Западного Урала в группу наблюдения отобрали 30 детей с аллергическими заболеваниями (атопический дерматит, аллергический контактный дерматит, аллергический ринит, астма с преобладанием аллергического компонента), средний возраст $11,8 \pm 0,54$ года; 17 девочек и 13 мальчиков. Группу сравнения составили 30 детей, соматически здоровых, средний возраст $12,7 \pm 0,51$ года; 19 девочек и 11 мальчиков. Группы были сопоставимы по полу, возрасту, этнической принадлежности ($p > 0,05$). Все законные представители обследованных детей подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией (пересмотр 2013 г.) и одобрено этическим комитетом ФБУН «Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Содержание бензола в крови определяли газохроматографическим методом на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором «Кристалл 5000» (Россия). Соотношение основных популяций лейкоцитов исследовали на гематологическом анализаторе Drew-3 (США). Фракции лимфоцитов по мембранным CD-маркерам определяли на проточном цитометре FACSCalibur (Becton Dickinson, США) на панелях меченых моноклональных антител (Becton Dickinson, США), суммарно регистрируя не менее 10 000 событий. Специфические антитела IgG к бензолу оценивали в аллергосорбентном тестировании с ферментной меткой. Уровни IgE общего, интерлейкинов (IL-4, IL-6, IL-10), интерферона-гамма (IFN- γ), фактора некроза опухолей (TNF- α) определяли иммуноферментным методом на анализаторе Elx808IU (BioTek, США) с помощью коммерческих тест-систем («Вектор-Бест», «Хема», Россия) согласно методике производителя.

Полиморфизм *Q279R* (rs17576) гена матричной металлопротеиназы-9 *MMP9* определяли методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на термоциклере CFX96 (Bio-Rad, США) с применением наборов «SNP-скрин» («Синтол», Россия).

Результаты обрабатывали с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft, США). Применяли *t*-критерий Стьюдента для сравнения групп по количественным признакам и критерий хи-квадрат (χ^2) для сравнения по качественным признакам. При отклонении от нормального распределения использовали нормализующую *log*-трансформацию. Результаты по частотам аллелей и генотипам анализировали с расчетом отношения шансов *OR* (odds ratio), относительного риска *RR* (relative risk) и 95%-ного доверительного интервала (95 % *CI*). Данные представлены в виде среднего арифметического и ошибки среднего ($M \pm m$) или частоты (%). Достоверными считались различия при $p < 0,05$.

Результаты. Химико-аналитический анализ выявил возрастание содержания бензола в крови группы детей с аллергопатологией в 4,1 раза относительно уровней

группы сравнения (группа наблюдения $0,634 \pm 0,446$ нг/см³; группа сравнения $0,154 \pm 0,176$ нг/см³; $p = 0,046$). Концентрация специфических антител к бензолу по критерию IgG также была повышена, в среднем в 1,5 раза (группа наблюдения $0,409 \pm 0,109$ усл. ед.; группа сравнения $0,28 \pm 0,065$ усл. ед.; $p = 0,044$).

Генетический анализ позволил выявить повышенную распространенность G-аллеля полиморфного варианта *Q279R* гена *MMP9* у детей с аллергопатологией, в 1,5 раза превышающую его встречаемость в группе сравнения (табл. 1). Показано увеличение доли генотипов, гетерозиготных и гомозиготных по аллелю G (*AG+GG*) в группе наблюдения до уровня 73,3 % против 46,7 % в группе сравнения ($p = 0,035$), при этом носительство аллеля G ассоциировалось с проявлением аллергопатологии у обследованных детей ($OR = 3,14$; 95 % $CI = 1,07-9,27$). Возрастает риск развития аллергии в группе наблюдения в условиях биоэкспозиции бензолом в 1,57 раза у носителей аллеля G по сравнению с обладателями AA-генотипов ($RR = 1,57$; 95 % $CI = 1,01-2,44$).

Таблица 1

Распределение вариантных генотипов *Q279R* гена *MMP9* у обследованных детей с аллергическими заболеваниями

Генотип, аллель	Группа наблюдения, %	Группа сравнения, %	χ^2	p	OR (95 % CI)
AA	26,7	53,3	4,44	0,035	0,32 (0,11–0,94)
AG	50,0	30,0	2,50	0,114	2,33 (0,81–6,73)
GG	23,3	16,7	0,42	0,517	1,52 (0,42–5,47)
<i>AG+GG</i>	73,3	46,7	4,44	0,035	3,14 (1,07–9,27)
	RR (95 % CI) = 1,57 (1,01–2,44)				
A	51,7	68,3			
G	48,3	31,7			
p^{HWE}	1,0	0,24			

Особенности изменения показателей иммунной регуляции у обследованных детей (табл. 2) группы наблюдения показали повышение количества эозинофилов в 1,7 раза у носителей генотипов, гетерозиготных и гомозиготных по аллелю G, относительно обладателей AA-генотипа *Q279R MMP9* ($p = 0,020$) и уровня общей сенсибилизации по критерию содержания IgE общего в среднем в 3,3 раза ($p = 0,030$). Выявлено изменение межклеточной иммунной регуляции в группе детей с аллергопатологией, связанное с носительством G-аллеля *Q279R MMP9*, при возрастании концентрации IL-4 и TNF- α в 1,4 раза ($p = 0,010-0,035$).

Механизмы формирования аллергии связаны с нарушением процессов иммунной регуляции, в основе которых лежит индивидуальная генетическая вариативность, под влиянием специфических внешнесредовых факторов, в том числе и химического загрязнения [3]. Бензол, наряду с другими ароматическими углеводородами, является основным компонентом выбросов промышленных предприятий и автотранспорта с высокой повреждающей способностью. Бензол и его метаболиты реализуют преимущественно иммуносупрессивные и цитотоксические эффекты, потенцируя развитие гиперчувствительности и гематологических нарушений, таких как воспаление, окислительный стресс, повреждение ДНК и эпигенетические изме-

нения [4]. Ингибируя Th1-опосредованное звено, эти соединения активируют CD4⁺T-клетки, увеличивая уровень IgE и IL-4, а также провоспалительных цитокинов (IL-6, IL-8, TNF- α , IFN- γ) или повышая экспрессию соответствующих генов, что может способствовать усугублению симптомов аллергии в условиях экспозиции бензолом [5].

Таблица 2

Особенности иммунной регуляции у детей с аллергическими заболеваниями, ассоциированные с генотипами *Q279R* гена *MMP9*

Показатель	Группа наблюдения			Группа сравнения		
	AA	AG+GG	p	AA	AG+GG	p
Лимфоциты, %	37,38 ± 9,90	40,77 ± 3,64	0,474	40,0 ± 2,65	40,64 ± 4,98	0,939
Эозинофилы, %	2,63 ± 0,89	4,46 ± 1,32	0,020	2,31 ± 0,80	2,2 ± 0,69	0,845
CD19 ⁺ -лимфоциты, %	13,88 ± 3,86	11,82 ± 1,60	0,275	12,56 ± 1,66	14,0 ± 2,08	0,267
CD4 ⁺ -лимфоциты, %	35,38 ± 6,34	36,91 ± 3,21	0,621	36,56 ± 3,49	34,21 ± 3,63	0,325
IgE общий, МЕ/см ³	70,6 ± 48,2	234,4 ± 139,1	0,030	33,95 ± 19,2	47,0 ± 55,8	0,636
IL-10, пг/см ³	2,82 ± 1,37	4,55 ± 2,68	0,244	2,50 ± 0,43	4,22 ± 1,98	0,085
IL-4, пг/см ³	1,35 ± 0,39	1,84 ± 0,35	0,035	1,62 ± 0,69	0,95 ± 0,31	0,076
IFN- γ , пг/см ³	1,47 ± 0,94	3,97 ± 3,72	0,193	1,60 ± 0,56	1,47 ± 0,58	0,738
TNF- α , пг/см ³	1,59 ± 0,46	2,26 ± 0,32	0,010	1,74 ± 0,36	1,44 ± 0,37	0,231

Ферменту *MMP9* принадлежит важная роль в поддержании аллергического воспаления через регуляцию эффекторных функций и миграцию иммунокомпетентных клеток, сигнальных путей цитокиновых рецепторов (IL-6, TNF- α). *MMP9* секретируется воспалительными клетками после контакта с аллергеном и в ответ на сигнальные стимулы Th2-цитокинов, способствуя рекрутированию воспалительных клеток через мобилизацию провоспалительных цитокинов, хемокинов и факторов роста [6, 7]. При астме *MMP9* способствует инфильтрации эозинофилов и индукции гиперреактивности дыхательных путей, коррелирует со снижением легочной функции и другими маркерами воспаления, такими как IL-4, IL-10 [8].

Полиморфизм *Q279R* (rs17576) гена *MMP9* расположен в области коллагенсвязывающего домена фермента и изменяет трехмерную структуру белка, увеличивая аффинность к субстрату, и может потенцировать развитие патологических процессов, опосредованных повышенной функциональной активностью фермента [9]. Исследования показывают, что аллель *G* может быть ассоциирован с возрастанием риска сердечно-сосудистой патологии, астмы, хронической обструктивной болезни легких [10].

Выводы. В результате обследования детского населения с аллергическими заболеваниями и контаминацией биосред бензолом выявлен дисбаланс иммунных регуляторных показателей: повышение количества эозинофилов, возрастание концентрации IgE общего, IL-4, TNF- α , ассоциированные с полиморфизмом *Q279R* гена *MMP9*, при этом носительство аллеля *G* может рассматриваться в качестве маркера чувствительности у детей с аллергопатологией ($OR = 3,14$; 95 % $CI = 1,07-9,27$), что указывает на возможность использования полиморфизма гена матриксной металло-

протеиназы *Q279R MMP9* как потенциального генетического маркера для решения задач ранней диагностики и профилактики аллергических процессов у детей в условиях контаминации биосред бензолом.

Список литературы

1. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы) / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, В.П. Чашин, А.Б. Гудков // Экология человека. – 2019. – Т. 26 (9). – С. 4–14. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-4-14
2. Advances and highlights in biomarkers of allergic diseases / I. Ogulur, Y. Pat, O. Ardicli, E. Barletta, L. Cevhertas, R. Fernandez-Santamaria [et al.] // Allergy. – 2021. – Vol. 76 (12). – P. 3659–3686. DOI: 10.1111/all.15089
3. Epigenetics and the environment in airway disease: asthma and allergic rhinitis / A. Long, B. Bunning, V. Sampath, R.H. DeKruyff, K.C. Nadeau // AEMB series. Epigenetics in Allergy and Autoimmunity. – 2020. – Vol. 1253. – P. 153–181. DOI: 10.1007/978-981-15-3449-2_6
4. Effects of benzene: hematological and hypersensitivity manifestations in resident living in oil refinery areas / R Cordiano., V. Papa, N. Cicero, G. Spatari, A. Allegra, S. Gangemi // Toxics. – 2022. – Vol. 10 (11). – P. 678. DOI: 10.3390/toxics10110678
5. Guo H., Ahn S., Zhang L. Benzene-associated immunosuppression and chronic inflammation in humans: a systematic review // Occup. Environ. Med. – 2020: oemed-2020-106517. DOI: 10.1136/oemed-2020-106517
6. Матриксные металлопротеиназы, их взаимосвязь с системой цитокинов, диагностический и прогностический потенциал / Е.В. Маркелова, В.В. Здор, А.Л. Романчук, О.Н. Бирко // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2016. – № 2. – С. 11–22. DOI: 10.14427/jipai.2016.2.11
7. Fingleton B. Matrix metalloproteinases as regulators of inflammatory processes // Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell. Res. – 2017. – Vol. 1864 (11PtA). – P. 2036–2042. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2017.05.010
8. Airway remodeling in chronic obstructive pulmonary disease and asthma: the role of matrix metalloproteinase-9 / K. Grzela, M. Litwiniuk, W. Zagorska, T. Grzela // Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz.). – 2016. – Vol. 64, № 1. – P. 47–55. DOI: 10.1007/s00005-015-0345-y
9. Association of matrix metalloproteinase 9 (MMP-9) polymorphisms with asthma risk: a meta-analysis / F. Zou, J. Zhang, G. Xiang, H. Jiao, H. Gao // Can. Respir. J. – 2019. – Vol. 2019. – P. 9260495. DOI: 10.1155/2019/9260495
10. Polymorphic variants *279R* and *668Q* augment activity of matrix metalloproteinase-9 in breath condensates of children with asthma / K. Grzela, W. Zagórska, A. Krejner, M. Litwiniuk, A. Zawadzka-Krajewska, M. Kulus, T. Grzela // Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz.). – 2016. – Vol. 65 (2). – P. 183–187. DOI: 10.1007/s00005-016-0412-z

Сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при экспозиции нано- и микрочастицами оксида цинка в эксперименте

М.С. Степанков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

С расширением спектра применения наночастиц оксида цинка (НЧ ZnO) повышается количество населения, подвергающегося экспозиции наноматериалом. Физические свойства НЧ, отличные от микрочастиц (МЧ) химического аналога, могут обуславливать развитие более выраженных негативных эффектов, ассоциированных с экспозицией. В связи с этим для повышения эффективности мер профилактики необходимы исследования, направленные на изучение и уточнение патогенетических особенностей токсичности НЧ ZnO, отличных от МЧ. Выполнена сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при однократной интратрахеальной экспозиции НЧ и МЧ ZnO. Эксперимент проведен на крысах линии Wistar, распределенных на три группы по шесть особей: опытная группа – экспозиция НЧ, группа сравнения – экспозиция МЧ, контрольная группа – экспозиция 0,9 % раствором натрия хлорида (NaCl). Для экспозиции использовали суспензии 0,9 % раствора NaCl, содержащего НЧ или МЧ в концентрации 0,013 г/см³. Экспозиции осуществляли однократно в объеме 0,4 см³/крысу. Через 24 ч выполняли процедуру бронхоальвеолярного лаважа для извлечения промывных вод дыхательных путей. В отобранных образцах изучали состав клеточной популяции. Согласно результатам исследования при экспозиции НЧ и МЧ ZnO установлены изменения, указывающие на развитие воспалительной реакции эозинофильного характера и цитотоксический эффект. Установленные негативные эффекты при экспозиции НЧ более выражены (до 15,32 раза) относительно МЧ. Полученные результаты целесообразно учитывать для повышения эффективности научно обоснованных рекомендаций, направленных на профилактику и минимизацию негативных эффектов у человека, возникающих при воздействии НЧ ZnO в процессах производства, потребления и утилизации продукции их содержащей.

Ключевые слова: наночастицы, микрочастиц, оксид цинка, клеточно-фагоцитарная активность, интратрахеальная экспозиция.

Хозяйственная деятельность человека сопровождается загрязнением окружающей среды широким спектром химических веществ. Среди контаминантов химического происхождения особо выделяются металлоксидные твердые частицы, размер которых не превышает 100 нм [1–3]. Особое внимание наноразмерные частицы (НЧ) получили благодаря малому размеру, большому соотношению площади поверхности к объему, высокой реакционной способности по сравнению с частицами аналогичного химического состава, но микроразмерного диапазона. Уникальные физические свойства НЧ определяют потенциально большую опасность для здоровья относительно микроразмерных материалов, что обусловлено высокой степенью проникающей способности в организм, возможностью повреждения

структуры и функций органоидов клеток и, как следствие, развитием нарушений на тканево-органном уровне, увеличением риска возникновения заболеваний [4, 5].

Характерным примером активно применяющегося в хозяйственной деятельности наноматериала являются наночастицы оксида цинка (НЧ ZnO). НЧ ZnO используют в химической, фармацевтической, электронной, сельскохозяйственной, пищевой и текстильной отраслях промышленности [6–11]. Широкий спектр применения НЧ ZnO может привести к загрязнению наноматериалом объектов окружающей среды и, как следствие, к экспозиции населения через различные пути поступления. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на изучение особенностей негативных эффектов действия НЧ ZnO на организм при различных путях экспозиции для обеспечения гигиенической безопасности населения.

Цель исследования – сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при однократной интратрахеальной экспозиции НЧ и микрочастиц (МЧ) ZnO.

Материалы и методы. В исследовании использовали коммерческие порошки НЧ и МЧ ZnO. Для подтверждения химического состава выполнили рентгеноспектральный микрозондовый анализ. Для оценки физических свойств (размер, удельная площадь поверхности) использовали анализ изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии, и метод Брунауэра, Эммета и Теллера [12].

Исследование и сравнительную оценку клеточно-фагоцитарной активности выполняли на крысах линии Wistar в соответствии с МР № 01-19/24-17. Манипуляции с животными проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123), и с одобрения этического комитета Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения. Сформировано три экспериментальные группы по шесть особей: опытная группа – экспонированная НЧ, группа сравнения – экспонированная МЧ, контрольная группа – экспонированная 0,9 % раствором натрия хлорида (NaCl) без тестируемых материалов. Экспозиции осуществляли однократно интратрахеально. Крысам групп опыта и сравнения вводили 0,4 см³ суспензии на основе 0,9 % NaCl, содержащей НЧ или МЧ ZnO в концентрации 0,013 г/см³. Через 24 ч после экспозиции осуществляли процедуру бронхоальвеолярного лаважа. Эвтанализированным крысам через разрез в трахее вводили 5 см³ 0,9 % раствора NaCl, разогретого до 37 °С. После введения жидкость извлекали в охлажденную пробирку. Отобранные образцы центрифугировали, из полученного осадка готовили мазок по общепринятой методике. В подготовленном препарате методом световой микроскопии изучали состав клеточной популяции. Подсчитывали содержание альвеолярных макрофагов, сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов, эозинофилов, соотношение сегментоядерных нейтрофилов к альвеолярным макрофагам.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программного продукта Statistica 10. Оценку статистической значимости межгрупповых различий средних осуществляли с учетом несоответствия полученных значений в выборках закону нормального распределения по *U*-критерию Манна – Уитни при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты. Сравнительный анализ химического состава показал наличие цинка и кислорода в сопоставимом между образцами НЧ и МЧ процентном содержании (цинк ~ 55 %, кислород ~ 45 %). Порошок наноматериала, в отличие от мик-

поразмерного химического аналога, на 76,34 % состоит из частиц размером < 100 нм, средний диаметр которых ($48,42 \pm 11,12$ нм) в 198,99 раза меньше данного показателя у МЧ ($9634,93 \pm 563,27$ нм). Удельная площадь поверхности НЧ ZnO ($25,50$ м²/г) выше, чем у МЧ ($4,31$ м²/г), в 5,92 раза.

При однократной интратрахеальной экспозиции НЧ ZnO в промывных водах дыхательных путей крыс установлено увеличение относительного числа альвеолярных макрофагов и эозинофилов в 2,89–4,47 раза ($p = 0,00004–0,006$), снижение относительного числа сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов и соотношения сегментоядерных нейтрофилов к альвеолярным макрофагам в 1,63–32,95 раза ($p = 0,00004–0,0001$) (таблица). При экспозиции МЧ увеличивается относительное число альвеолярных макрофагов и эозинофилов в 1,67–1,89 раза ($p = 0,00004–0,002$); снижается относительное число сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов, соотношение нейтрофилов к макрофагам в 1,2–2,15 раза ($p = 0,00004–0,0001$) относительно контрольных данных. Сопоставление исследуемых показателей экспонированных групп выявило, что воздействие НЧ вызывает более выраженное увеличение относительного числа альвеолярных макрофагов и эозинофилов в 1,73–2,36 раза ($p = 0,00004–0,003$); снижение относительного числа сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов и соотношения нейтрофилов к макрофагам в 1,37–15,32 раза ($p = 0,00004–0,002$).

Результаты подсчета клеточной популяции в 100 клетках жидкости промывных вод дыхательных путей крыс через 24 ч после интратрахеальной инстилляций суспензий НЧ и МЧ ZnO

Группа	Клеточный состав бронхоальвеолярной жидкости, $M \pm m$					
	альвеолярные макрофаги, %	сегментоядерные нейтрофилы, %	моноциты, %	лимфоциты, %	эозинофилы, %	сегментоядерные нейтрофилы / альвеолярные макрофаги, усл.ед.
Опытная группа НЧ ZnO	$68,50 \pm 1,91$	$5,67 \pm 0,14$	$2,50 \pm 0,65$	$19,00 \pm 1,70$	$4,33 \pm 1,01$	$0,08 \pm 0,003$
Группа сравнения МЧ ZnO	$29,00 \pm 1,90$	$35,17 \pm 1,15$	$7,33 \pm 0,67$	$26,00 \pm 0,64$	$2,50 \pm 0,15$	$1,28 \pm 0,10$
Контрольная группа	$15,33 \pm 0,28$	$42,17 \pm 1,14$	$10,00 \pm 0,49$	$31,00 \pm 1,37$	$1,50 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,09$

Таким образом, однократное интратрахеальное воздействие НЧ ZnO вызывает изменения в составе клеточной популяции жидкости промывных вод дыхательных путей, которые можно интерпретировать как развитие воспалительной реакции эозинофильного характера (по увеличению количества относительного числа эозинофилов, альвеолярных макрофагов до 4,47 раза; снижению количества сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов и лимфоцитов до 7,44 раза) [13]. Данные изменения более выражены (до 6,21 раза), чем при экспозиции МЧ. Воспалительная реакция может быть связана с развитием окислительного стресса, обусловленного избыточной генерацией свободных радикалов при воздействии НЧ ZnO [14]. В составе клеточной популяции жидкости бронхоальвеолярного лаважа при воздействии НЧ ZnO наблюдается более выраженное (в 15,32 раза) уменьшение соотношения сегментоядерных

нейтрофилов к альвеолярным макрофагам по сравнению с воздействием микроразмерного химического аналога, что указывает на большую степень цитотоксичности наноматериала. Данное отличие обусловлено возрастающим относительным числом альвеолярных макрофагов и снижающимся содержанием сегментоядерных нейтрофилов. Известно, что число альвеолярных макрофагов зависит от количества попавших в дыхательные пути частиц, и при равной дозе оно тем выше, чем меньше диаметр частиц [15]. В связи с чем при поступлении в дыхательные пути меньших по размеру НЧ организму необходимо повысить эффективность механизма клиренса, что происходит за счет усиленной мобилизации альвеолярных макрофагов. Кроме этого, увеличение числа данных клеток позволяет распределить цитотоксическую нагрузку за счет снижения числа поглощенных частиц одной клеткой [15].

Выводы. НЧ ZnO при сходном с микроразмерным аналогом химическим составом обладают меньшим размером и большей удельной площадью поверхности (до 198,99 раза). При однократной интратрахеальной экспозиции НЧ и МЧ ZnO в концентрации $0,013 \text{ г/см}^3$ по изменению состава клеточной популяции в промывных жидкостях дыхательных путей отмечено развитие воспалительной реакции эозинофильного характера и цитотоксический эффект. Установленные изменения имеют большую степень выраженности (до 15,32 раза) при экспозиции НЧ ZnO в сравнении с микроразмерным химическим аналогом. Полученные результаты целесообразно учитывать для повышения эффективности научно обоснованных рекомендаций, направленных на профилактику и минимизацию негативных эффектов у человека, возникающих при воздействии НЧ ZnO в процессах производства, потребления и утилизации продукции, их содержащей.

Список литературы

1. Rönkkö T., Timonen H. Overview of sources and characteristics of nanoparticles in urban traffic-influenced areas // *Journal of Alzheimer's disease*. – 2019. – Vol. 72, № 1. – P. 15–28.
2. Smita S., Gupta S.K., Bartonova A. et al. Nanoparticles in the environment: assessment using the casual diagram approach // *Environmental health*. – 2012. – Vol. 11 (Suppl. 1). – P. 1–11.
3. Nanomaterials versus ambient ultrafine particles: an opportunity to exchange toxicology knowledge / V. Stone, M.R. Miller, M.J.D. Clift [et al.] // *Environmental health perspectives*. – 2017. – Vol. 125, № 10. – P. 1–17.
4. Khan Ib., Saeed K., Khan Id. Nanoparticles: properties, applications and toxicities // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2019. – Vol. 12, № 7. – P. 908–931.
5. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties [Электронный ресурс] / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // *Nanoscale. Res. Lett.* – 2018. – Vol. 13. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-018-2457> (дата обращения: 10.10.2024).
6. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Hibiscus subdariffa leaf extract: effect of temperature on synthesis, anti-bacterial activity and anti-diabetic activity / N. Bala, S. Saha, M. Chakraborty [et al.] // *RCS Advances*. – 2015. – Vol. 5. – P. 4993–5003.
7. Adil M., Bashir Saf., Bashir Saq. Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress [Электронный ресурс] // *Front Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35991444/> (дата обращения: 10.10.2024).

8. The versatility of green synthesized zinc oxide nanoparticles in sustainable agriculture: A review on metal-microbe interaction that rewards agriculture [Электронный ресурс] / A. Gauba, S.K. Hari, V. Ramamoorthy [et al.] // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. – 2023. – Vol. 125. – URL: <https://www.peeref.com/works/27583772> (дата обращения: 10.10.2024).

9. Youn S.-M., Choi S.-J. Food additive zinc oxide nanoparticles: dissolution, interaction, fate, cytotoxicity, and oral toxicity [Электронный ресурс] // *Int J Mol Sci*. – 2022. – Vol. 23, № 11. – URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/11/6074> (дата обращения: 29.10.2024).

10. Espitia P.J.P., Otoni C.G., Soares N.F.F. Zinc oxide nanoparticles for food packaging applications // *Antimicrobial Food Packaging* / eds. J. Barros-Velázquez. – Elsevier, 2016. – P. 425–431.

11. Zinc oxide nanostructures in the textile industry / H.M.D. Nisansala, G.K.M. Rajapaksha, D.G.N.V. Dikella [et al.] // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2021. – Vol. 14, № 46. – P. 3370–3395.

12. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1984. – 306 с.

13. Ernst A., Herth F.J.F. Bronchoalveolar Lavage // *Principles and Practice of Interventional Pulmonology*. – 2012. – P. 165–176.

14. Overview of the mechanisms of oxidative stress: impact in inflammation of the airway diseases [Электронный ресурс] / G.D. Albano, R.P. Gagliardo, A.M. Montalbano [et al.] // *Antioxidants*. – 2022. – Vol. 11, № 11. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36421423/> (дата обращения: 19.11.2024).

15. Пневмокониозы: патогенез и биологическая профилактика / Б.А. Кацнельсон, О.Г. Алексеева, Л.И. Привалова, Е.В. Ползик. – Екатеринбург: УрО РАН, 1995. – 328 с.

Сравнительная оценка мутагенной активности нано- и микрочастиц оксида цинка при ингаляционной экспозиции в эксперименте

М.С. Степанков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Активное применение в различных сферах хозяйственной деятельности человека наночастиц оксида цинка (НЧ ZnO) обуславливает проникновение наноматериала в объекты окружающей среды, в том числе атмосферный воздух, и, как следствие, экспозицию населения. Известно, что микроразмерный химический аналог обладает мутагенной активностью, что позволяет предположить ее более выраженную степень у НЧ ZnO, обусловленную уникальными физическими свойствами. Выполнена сравнительная оценка мутагенной активности НЧ и микрочастиц (МЧ) ZnO при ингаляционной экспозиции. Эксперимент проводили

на самках мышей линии C57Bl/6. Сформировано четыре группы по шесть особей: опытная группа – экспозиция НЧ ZnO, группа сравнения – экспозиция МЧ, отрицательный контроль – без воздействия тестируемыми материалами, положительный контроль – экспозиция циклофосфамидом. Экспозицию НЧ и МЧ осуществляли в ингаляционной системе в течение 28 суток, 4 ч/сут, в концентрации 1/100 КЛ₅₀ (0,5 мг/м³). Циклофосфамид вводили внутрибрюшинно однократно в дозе 20 мг/кг массы тела. После проведения экспозиций отбирали образцы костного мозга для подсчета полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами. Согласно результатам исследования НЧ и МЧ ZnO вызывают развитие мутагенного процесса (количество ПХЭ с микроядрами в 1,66 и 1,31 раза больше относительно отрицательного контроля). Мутагенная активность НЧ выше, чем у МЧ (в 1,27 раза), но ниже эффекта действия циклофосфамида (в 2,20 раза), что характеризует НЧ ZnO как вещество со слабовыраженными мутагенными свойствами. Полученные результаты позволяют повысить точность и объективность разработки мер профилактики, в том числе гигиенических нормативов содержания НЧ ZnO в атмосферном воздухе, для решения задач обеспечения гигиенической безопасности населения.

Ключевые слова: наночастицы, микрочастицы, оксид цинка, мутагенная активность, ингаляционная экспозиция.

В настоящее время происходит процесс активного внедрения наноматериалов в различные сферы хозяйственной деятельности человека. Это обусловлено уникальными, отличными от микроразмерных химических аналогов физическими свойствами, которые позволяют увеличить качество выпускаемой продукции. В результате процессов производства, эксплуатации и утилизации продукции наноиндустрии происходит поступление наноматериалов в объекты окружающей среды, в том числе в атмосферный воздух, что увеличивает риск экспозиции населения и работающих. Благодаря уникальным физическим свойствам НЧ способны эффективнее, относительно микроразмерных химических аналогов, преодолевать защитные барьеры организма, накапливаться в органах и тканях в большем количестве и, как следствие, инициировать развитие новых или более выраженных негативных эффектов [1].

Характерным примером активно используемого в хозяйственной деятельности наноматериала являются наночастицы оксида цинка (НЧ ZnO). НЧ ZnO используют в качестве компонента производства продукции химической, фармацевтической (средства доставки лекарств, антибиотики, препараты для лечения сахарного диабета) [2], электронной (в светоизлучающих устройствах ультрафиолетового диапазона, солнечных батареях, газовых сенсорах, накопителях электроэнергии, транзисторах), сельскохозяйственной (в составе удобрений и кормов для сельскохозяйственных культур и животных) [3, 4], пищевой (в качестве консерванта и компонента упаковки пищевой продукции) [5, 6] и текстильной промышленности (в составе тканей, защищающих от ультрафиолета, бактерий, грибков, микроволн, электромагнитного излучения) [7]. Согласно информации, представленной в Федеральном регистре потенциально опасных химических и биологических веществ, микроразмерный ZnO обладает мутагенным эффектом [8]. Это позволяет предположить, что наноразмерный химический аналог благодаря уникальным физическим свойствам способен вызвать развитие мутагенного процесса большей степени выраженности. В связи с этим возникает необходимость изучения мутагенного эффекта НЧ ZnO для решения задач обеспечения гигиенической безопасности населения и работающих.

Цель исследования – сравнительная оценка мутагенной активности НЧ и микрочастиц (МЧ) ZnO при ингаляционной экспозиции в эксперименте.

Материалы и методы. В исследовании использовали коммерческие порошки НЧ и МЧ ZnO. Для подтверждения химического состава выполнили рентгеноспектральный микронзондовый анализ. Для оценки физических свойств (размер, удельная площадь поверхности) использовали анализ изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии, и метод Брунауэра, Эммета и Теллера [9].

Экспериментальные исследования выполняли на мышах линии C57Bl/6 в соответствии с МУ 1.2.2520-09 и ГОСТ 32643-2020. Манипуляции с животными проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123), и с одобрения этического комитета Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения. Мышей распределили на четыре группы по шесть особей: опытная группа – для экспозиции НЧ, группа сравнения – для экспозиции микрогазовым химическим аналогом, группа положительного контроля – для экспозиции циклофосфамидом, группа отрицательного контроля – не подвергали воздействию тестируемых материалов. Эксперимент с НЧ и МЧ ZnO осуществляли в ингаляционной системе с камерой для экспозиции всего тела. В систему со скоростью 0,1 см³/мин подавали суспензии на основе бидистиллированной воды, содержащие НЧ или МЧ в концентрации 5 мг/см³, что позволило сгенерировать концентрацию веществ в воздухе камеры на уровне 1/100 КЛ₅₀ – 0,5 мг/м³. Длительность экспозиции составила 28 суток по 4 ч/сут. Экспозицию циклофосфамидом проводили однократно внутрибрюшинно в дозе 20 мг/кг массы тела. Через 24 ч после экспозиционного периода из бедренной кости отбирали образцы костного мозга. Сразу после отбора образцы размещали в пробирках, наполненных сывороткой крупного рогатого скота. После центрифугирования из осадка готовили мазки. В полученных препаратах методом световой микроскопии подсчитывали количество полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программного продукта Statistica 10. Оценку статистической значимости межгрупповых различий средних осуществляли с учетом несоответствия полученных значений в выборках закону нормального распределения по *U*-критерию Манна – Уитни при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты. Сравнительный анализ химического состава показал наличие цинка и кислорода в сопоставимом между образцами НЧ и МЧ процентном содержании (цинк ~ 55 %, кислород ~ 45 %). Порошок наноматериала, в отличие от микрогазового химического аналога, на 76,34 % состоит из частиц размером < 100 нм, средний диаметр которых ($48,42 \pm 11,12$ нм) в 198,99 раза меньше данного показателя у МЧ ($9634,93 \pm 563,27$ нм). Удельная площадь поверхности НЧ ZnO ($25,50$ м²/г) выше, чем у МЧ ($4,31$ м²/г), в 5,92 раза.

При длительной ингаляционной экспозиции НЧ и МЧ ZnO установлено статистически значимое увеличение количества ПХЭ с микроядрами в 1,66 ($p = 0,006$) и 1,31 раза ($p = 0,031$) соответственно относительно отрицательного контроля (таблица). Повышение показателя более выражено при экспозиции НЧ, в сравнении с МЧ, в 1,27 раза ($p = 0,045$). Однократное внутрибрюшинное введение циклофос-

фамида увеличивает содержание ПХЭ с микроядрами в 3,66 раза ($p = 0,005$) относительно значения показателя в группе отрицательного контроля. Полученное значение выше, чем при экспозиции НЧ и МЧ ZnO, в 2,20 ($p = 0,005$) и 2,80 раза ($p = 0,005$) соответственно.

Результаты подсчета количества ПХЭ с микроядрами при длительной ингаляционной экспозиции НЧ и МЧ ZnO, $p \leq 0,05$

Количество ПХЭ с микроядрами, шт./2000 ПХЭ, $M \pm m$			
Опытная группа (НЧ ZnO)	Группа сравнения (МЧ ZnO)	Группа положительного контроля (циклофосфамид)	Группа отрицательного контроля
36,00 ± 2,70	28,33 ± 1,84	79,33 ± 5,81	21,67 ± 1,50

Таким образом, при длительной ингаляционной экспозиции у НЧ и МЧ ZnO установлено наличие мутагенной активности по увеличению количества ПХЭ с микроядрами (до 1,66 раза относительно отрицательного контроля). Более выраженное (в 1,27 раза) развитие мутагенного процесса при экспозиции НЧ в сравнении с МЧ, вероятно, обусловлено большей проникающей способностью и химической активностью наноматериала, на что указывает меньший размер и большая удельная площадь поверхности (до 198,99 раза). Известно, что НЧ ZnO способствуют усилению генерации внутриклеточных свободных радикалов [10–14]. Избыточная генерация свободных радикалов инициирует повреждение надмолекулярных структур, в том числе ДНК, что может привести к развитию мутагенного процесса. В исследованиях [13, 15–17] при воздействии НЧ ZnO методом ДНК-комет установлена фрагментация ДНК в клетках головного мозга крыс, легочного эпителия человека, глиобластомы человека и сперматозоидах *Scaphechinus mirabilis* (плоский морской ёж). Мутагенный эффект НЧ ZnO подтвержден в эритроцитах птиц, экспонированных внутрибрюшинно [18]. Мутагенная активность НЧ ZnO имеет слабовыраженный характер, что подтверждено меньшим количеством ПХЭ с микроядрами (в 2,20 раза), в сравнении с эффектом, оказываемым циклофосфамидом.

Выводы. НЧ ZnO при сходном с микроразмерным аналогом химическим составом обладают меньшим размером и большей удельной площадью поверхности (до 198,99 раза). Благодаря этому НЧ ZnO при длительной ингаляционной экспозиции в течение 28 суток по 4 ч/сут в концентрации 0,5 мг/м³ вызывают развитие более выраженного (в 1,27 раза) относительно МЧ мутагенного процесса по увеличению количества ПХЭ с микроядрами. Меньшее значение изучаемого показателя (в 2,20 раза) в сравнении с эффектом циклофосфамида указывает на слабовыраженный характер мутагенного процесса. Полученные результаты позволяют повысить точность и объективность разработки мер профилактики, в том числе гигиенических нормативов содержания НЧ ZnO в атмосферном воздухе, для решения задач обеспечения гигиенической безопасности населения.

Список литературы

1. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties [Электронный ресурс] / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // *Nanoscale. Res. Lett.* – 2018. – Vol. 13. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-018-2457> (дата обращения: 10.10.2024)

2. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Hibiscus subdariffa* leaf extract: effect of temperature on synthesis, anti-bacterial activity and anti-diabetic activity / N. Bala, S. Saha, M. Chakraborty [et al.] // *RCS Advances*. – 2015. – Vol. 5. – P. 4993–5003.
3. Adil M., Bashir Saf., Bashir Saq. Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress [Электронный ресурс] // *Front Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35991444/> (дата обращения: 10.10.2024).
4. The versatility of green synthesized zinc oxide nanoparticles in sustainable agriculture: A review on metal-microbe interaction that rewards agriculture [Электронный ресурс] / A. Gauba, S.K. Hari, V. Ramamoorthy [et al.] // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. – 2023. – Vol. 125. – URL: <https://www.peeref.com/works/27583772> (дата обращения: 10.10.2024).
5. Youn S.-M., Choi S.-J. Food additive zinc oxide nanoparticles: dissolution, interaction, fate, cytotoxicity, and oral toxicity [Электронный ресурс] // *Int J Mol Sci*. 2022. – Vol. 23, № 11. – URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/11/6074> (дата обращения: 29.10.2024).
6. Espitia P.J.P., Otoni C.G., Soares N.F.F. Zinc oxide nanoparticles for food packaging applications // *Antimicrobial Food Packaging* / eds. J. Barros-Velázquez. – Elsevier, 2016. – P. 425–431.
7. Zinc oxide nanostructures in the textile industry / H.M.D. Nisansala, G.K.M. Rajapaksha, D.G.N.V Dikella [et al.] // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2021. – Vol. 14, № 46. – P. 3370–3395.
8. Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ [Электронный ресурс] / НИИЦ РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. – URL: <https://rpoхv.ru/online/detail.html?id=60> (дата обращения: 10.10.2024).
9. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М: Мир, 1984. – 306 с.
10. Sharma V., Anderson D., Dhawan A. Zinc oxide nanoparticles induce oxidative DNA damage and ROS-triggered mitochondria mediated apoptosis in human liver cells (HepG2) // *Apoptosis*. – 2012. – Vol. 17, № 8. – P. 852–870.
11. Zhuo L.-B., Liu Y.-M., Jiang Y. [et al.]. Zinc oxide nanoparticles induce acute lung injury via oxidative stress-mediated mitochondrial damage and NLRP3 inflammasome activation: In vitro and in vivo studies [Электронный ресурс] // *Environmental Pollution*. – 2024. – Vol. 341. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37979646/> (дата обращения: 24.09.2024).
12. Husk-like zinc oxide nanoparticles induce apoptosis through ROS generation in epidermoid carcinoma cells: effect of incubation period on sol-gel synthesis and anti-cancerous properties [Электронный ресурс] / W.A. Alhoqail, A.S. Alothaim, M. Suhail [et al.] // *Bio-medicines*. – 2023. – Vol. 11, № 2. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36830857/> (дата обращения: 24.09.2024).
13. Nanosized zinc oxide induces toxicity in human lung cells / D. Sahu, G.M. Kannan, R. Vijayaraghavan [et al.] // *ISRN Toxicology*. – 2013. – Vol. 2013. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23997968/> (дата обращения: 24.09.2024).
14. Zinc oxide nanoparticle induced autophagic cell death and mitochondrial damage via reactive oxygen species generation / K.-N. Yu, T.-J. Yoon, A. Minai-Tehrani [et al.] // *Toxicology in vitro*. – 2013. – Vol. 27, № 4. – P. 1187–1195.

15. Attia H., Nounou H., Shalaby M. Zinc oxide nanoparticles induced oxidative DNA damage, inflammation and apoptosis in rat's brain after oral exposure [Электронный ресурс] // *Toxics*. – 2018. – Vol. 6, № 2. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29861430/> (дата обращения: 24.09.2024).

16. Zinc oxide nanoparticles induce DNA damage in sand dollar *Scaphechinus mirabilis* sperm [Электронный ресурс] / S.P. Kukla, V.P. Chelomin, A.A. Mazur [et al.] // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10, № 7. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35878253/> (дата обращения: 24.09.2024).

17. Toxicity of zinc oxide nanoparticles: Cellular and behavioral effects [Электронный ресурс] / N. Fernandez-Bertolez, A. Alba-Gonzalez, A. Touzani [et al.] // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 363. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39097108/> (дата обращения: 24.09.2024).

18. An insight on the mutagenicity and cytotoxicity of zinc oxide nanoparticles in *Gallus gallus domesticus* (Phasianidae) / J.E.A. Vieira, R.D. Ferreira, D.M.R. Sampaio [et al.] // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 231. – P. 10–19.

Особенности экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели и полиморфизм гена *FAS* (rs1159120) у детей в условиях аэрогенного воздействия экзогенных химических факторов на Крайнем Севере

Н.А. Никоношина, О.В. Долгих

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Изучены особенности экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели и специфической гаптенной сенсибилизации, ассоциированные с полиморфными вариантами гена *FAS* (rs1159120), у детей в условиях аэрогенной экспозиции экзогенными химическими факторами и субарктического климатического режима Крайнего Севера (на примере бенз(а)пирена). У детей, проживающих в крупном промышленном центре на данной территории, установлены признаки контаминации крови бенз(а)пиреном, уровень которой достоверно превышает аналогичное значение у детей, живущих на условно чистой территории ($p < 0,05$). Иммунный профиль детского населения промышленного центра на Крайнем Севере отличается повышением плотности Fas-рецептора – мембранного $CD3^+CD95^+$ -маркера лимфоцитов и признаками гиперпродукции IgG к бенз(а)пирену ($OR = 1,12-2,65$; $RR = 1,09-2,27$; $p < 0,05$), что указывает на признаки активации запрограммированной клеточной гибели и формирования специфической гаптенной гиперсенсибилизации в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном. Выявленные изменения иммунного профиля (избыток $CD3^+CD95^+$ -лимфоцитов, IgG к бенз(а)пирену), ассоциированные с С-аллелем и СС-генотипом гена *FAS* (rs1159120) ($OR = 1,38-1,51$; $RR = 1,25-1,36$; $p < 0,05$), характери-

зуют особенности модификации запрограммированной клеточной гибели и ее генетическую детерминацию у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном и субарктического климата, и могут быть использованы в качестве маркеров эффекта и чувствительности к экзогенному воздействию бенз(а)пирена на промышленно развитых территориях Крайнего Севера.

Ключевые слова: дети, иммунный профиль, апоптоз, Крайний Север, бенз(а)пирен, Fas-рецептор.

Сохранение здоровья детского населения Крайнего Севера является актуальной проблемой современного здравоохранения. Известно, что субарктический климат северных территорий значительно снижает адаптационный потенциал организма. В свою очередь, хроническая экспозиция химическими соединениями с иммунотоксическими свойствами может индуцировать ранние преморбидные изменения иммунного профиля по причине того, что иммунная система крайне чувствительна к воздействию внешнесредовых факторов различной природы [1].

Апоптоз – это генетически запрограммированная и эволюционно сохраняемая гибель клеток, индуцированная экзогенными и эндогенными факторами различной природы, которая играет важную роль в процессе эмбрионального развития и для поддержания клеточного гомеостаза во взрослом целостном организме [2, 3].

Бенз(а)пирен – один из наиболее распространенных органических загрязнителей атмосферного воздуха промышленно развитых городов, отличающийся иммунотоксическим, генотоксическим и канцерогенным свойствами. Аэрогенная экспозиция бенз(а)пиреном может индуцировать дисбаланс процессов клеточной пролиферации и запрограммированной клеточной гибели, повышая риск развития иммунодефицитных состояний при гиперактивации апоптоза иммуноцитов или образования злокачественных новообразований – при угнетении запрограммированной гибели клеток с генетическими нарушениями [4].

Адаптационный потенциал организма в условиях стрессорного воздействия химических факторов окружающей среды определяется не только характеристиками иммунного профиля и особенностями запрограммированной клеточной гибели, но и зависит от их генетической детерминированности. Так, определенные полиморфные варианты кандидатных генов иммунной регуляции могут быть ассоциированы с угнетением функциональной активности продуктов экспрессии – рецепторов, транскрипционных факторов и др., что может привести к нарушениям иммунного ответа и апоптоза [5].

Следовательно, изучение молекулярных и клеточных индикаторных показателей запрограммированной клеточной гибели и ее генетических детерминант у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном, представляется актуальным направлением в аспекте идентификации иммунологических и генетических маркеров воздействия техногенных химических факторов на здоровье детского населения урбанизированных территорий с целью их дальнейшего использования в профилактике и ранней диагностике патологий, ассоциированных с нарушениями клеточного гомеостаза.

Цель исследования – изучить особенности экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели и специфической гаптенной сенсибилизации, ассоциированные с полиморфными вариантами гена *FAS* (rs1159120), у детей в условиях аэрогенной экспозиции химическими факторами и субарктического климатического режима Крайнего Севера (на примере бенз(а)пирена).

Материалы и методы. Проведено клинико-лабораторное обследование 569 детей дошкольного возраста (3–6 лет). Группу наблюдения составили 384 ребенка, проживающие в крупном промышленном центре цветной металлургии – территории, приравненной к районам Крайнего Севера. В группу сравнения включены 185 детей, проживающих на соответствующей условно чистой территории. Обследованные выборки сопоставимы по половозрастному, социальному и этническому составу.

Исследование выполнено с соблюдением этических требований Хельсинкской декларации ВМА 2000 г. и протокола Конвенции Совета Европы о правах человека и биомедицине 1999 г. Исследование одобрено ЛЭК ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровьем населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол № 23 от 20.12.2021). Для участников исследования было получено информированное согласие.

Определение концентрации бенз(а)пирена в крови обследованных детей и в атмосферном воздухе территорий их проживания проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе Agilent 1200 (Agilent Technologies Inc., США) в соответствии с МУК 4.1.3040-12 и МУК 4.1.1273-03

Определение уровня экспрессии CD95⁺-маркеров на клеточной мембране лимфоцитов проводили методом проточной цитофлуориметрии на приборе FACSCalibur с использованием панели меченых моноклональных антител к соответствующим CD-рецепторам (Becton Dickinson, USA). Уровень продукции специфического IgG к бенз(а)пирену определяли посредством аллелгосорбентного тестирования с ферментной меткой.

Идентификация однонуклеотидного полиморфизма (SNP) гена рецептора запрограммированной клеточной гибели лимфоцитов FAS (CD95+) – FAS (rs1159120) с применением методики полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени осуществлялась на приборе CFX96 Real Time System C1000 Thermal Cycler (BioRAD, Singapur).

Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 10.0. посредством однофакторного дисперсионного анализа ANOVA в программе Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Результаты статистической обработки представлены в виде среднего арифметического и его стандартной ошибки. Вид распределения данных определяли с использованием критерия Колмогорова – Смирнова. Для оценки уровня достоверности различий множественного сравнения применяли критерий Тьюки – Крамера. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$. Результаты исследования представлены в виде среднего арифметического (X) и стандартной ошибки (SE) значений проанализированных показателей. Расчет распределения частот генотипов и аллелей по равновесию Харди – Вайнберга, а также показателя отношения шансов OR , отношения рисков RR и их 95%-ного доверительного интервала (CI) в группах наблюдения и сравнения проводился с помощью унифицированных онлайн-программ SNPStat и Gen-Expert, используемых для расчета статистических параметров для исследований «случай – контроль», применяющих SNP-диагностику однонуклеотидных полиморфизмов. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. По данным сравнительной гигиенической оценки качества атмосферного воздуха на территориях проживания обследованных детей установле-

но, что концентрация бенз(а)пирена в атмосферном воздухе промышленного центра в Арктической зоне составляет $0,0006 \text{ мкг/м}^3$ ($0,6 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$), на условно чистой территории данного региона – $0,00001 \text{ мкг/м}^3$ ($0,01 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$) [6, 7]. Следовательно, концентрация бенз(а)пирена в атмосферном воздухе как урбанизированной территории, так и на условно чистой территории средней широты на Крайнем Севере соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов. Однако результаты верификации расчетных данных и аппроксимации результатов инструментальных исследований в рамках мониторинговых наблюдений на данной территории указывают на то, что среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в точках проживания населения превышают гигиенические нормативы в отношении бенз(а)пирена до $1,40 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$.

В результате проведенного химико-аналитического исследования биосред детского населения территории размещения промышленного предприятия цветной металлургии установлены признаки контаминации крови бенз(а)пиреном. Так, содержание бенз(а)пирена в крови $71,6\%$ (275) детей в группе наблюдения ($0,002306 \pm 0,000372 \text{ мкг/дм}^3$) достоверно превышает как значение данного показателя в группе сравнения ($0,001069 \pm 0,000462 \text{ мкг/дм}^3$), так и его референтный нулевой уровень ($p < 0,05$).

Результаты изучения особенностей процесса запрограммированной клеточной гибели у обследованных детей демонстрируют изменения уровней экспрессии и продукции мембранных и внутриклеточных маркеров и регуляторов апоптоза. Так, у $72,4\%$ (278) детей в группе наблюдения установлено достоверное повышение абсолютного и относительного содержания лимфоцитов с мембранным маркером индукции апоптоза $\text{CD}95^+$ – Fas-рецептора относительно соответствующих данных группы сравнения ($OR = 1,12\text{--}3,28$; $RR = 1,09\text{--}2,85$; $p < 0,05$) (табл. 1).

Таблица 1

Маркеры запрограммированной клеточной гибели и специфической гаптенной сенсibilизации у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном на Крайнем Севере

Показатель	Референтный диапазон [10]	Группа наблюдения ($n = 384$), $X \pm SE$	Группа сравнения ($n = 185$), $X \pm SE$	p
$\text{CD}3^+\text{CD}95^+$ -лимфоциты, $10^9/\text{л}$	1,5–2,5	$2,844 \pm 0,494$	$1,323 \pm 0,204$	0,005
$\text{CD}3^+\text{CD}95^+$ -лимфоциты, %	7–11	$10,327 \pm 1,038$	$8,330 \pm 0,681$	0,014
IgG к бенз(а)пирену, усл. ед.	0–0,3	$0,208 \pm 0,014$	$0,080 \pm 0,02$	0,001

Уровень продукции маркера специфической сенсibilизации – специфического IgG к бенз(а)пирену – у $89,1\%$ (342) детей в промышленном центре на Крайнем Севере достоверно превышает значение данного показателя у детей на соответствующей условно чистой территории ($OR = 2,65$ ($1,49\text{--}5,62$); $RR = 2,27$ ($1,57\text{--}4,38$); $p < 0,05$).

Генетический профиль детей, проживающих в условиях избыточной гаптенной нагрузки, включающей экспозицию бенз(а)пиреном, отличается повышенной частотой С-аллеля (мультипликативная модель: $OR = 1,38$ ($1,02\text{--}1,88$); $RR = 1,25$ ($1,09\text{--}1,67$); $p < 0,05$) и соответствующего СС-генотипа (типичная гомозигота, аддитивная модель: $OR = 1,51$ ($1,05\text{--}2,17$), $RR = 1,36$ ($1,04\text{--}1,92$); $p < 0,05$); гена мембранного Fas-рецептора – $\text{CD}95^+$ -маркера лимфоцитов, инициирующего трансдук-

цию апоптотического сигнала, *FAS* (rs1159120) по отношению к данным группы сравнения ($p < 0,05$), что соотносится с выявленной гиперэкспрессией $CD3^+CD95^+$ кластера клеточной дифференцировки лимфоцитов (табл. 2).

Таблица 2

Распределение частот аллелей и генотипов гена *FAS* (rs1159120) у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном на Крайнем Севере

SNP	Генотип / аллель /	Группа наблюдения, $n = 384$	Группа сравнения, $n = 185$	OR	
				знач.	95 % CI
<i>FAS</i> (rs1159120)	CC	0,682	0,587	1,51	1,05–2,17
	CT	0,279	0,364	0,67	0,46–0,98
	TT	0,039	0,049	0,79	0,34–1,84
	C	0,822	0,769	1,38	1,02–1,88
	T	0,178	0,231	0,72	0,53–0,98

Примечание: χ^2 ([CC]*FAS*)² = 3,88, $p = 0,049$; χ^2 ([C]*FAS*)² = 3,95, $p = 0,049$.

Установленное избыточное содержание лимфоцитов с маркером апоптоза $CD95^+$ - Fas-рецептора у обследованных детей ассоциируется с повышенной частотой С-аллеля и соответствующего СС-генотипа *FAS* (rs1159120), ассоциированного с повышенным уровнем экспрессии данного гена, что указывает на генетическую обусловленность избыточной плотности рецепторов клеточной смерти и, как следствие, повышенный уровень готовности клеток к внешнему (рецепторному) апоптозу. Fas-индуцированный апоптоз является приоритетным механизмом поддержания иммунного гомеостаза в нестабильных условиях среды [8]. Следовательно, генетически обусловленное повышение уровня экспрессии Fas-рецептора на мембране лимфоцитов может являться маркером избыточности запрограммированной гибели иммунных клеток в условиях избыточной техногенной нагрузки, результатом которого может стать бенз(а)пирен-индуцированный клеточный иммунодефицит и иммуносупрессия.

Выводы. По результатам гигиенической оценки качества атмосферного воздуха на территориях проживания обследованных детей установлено, что содержание бенз(а)пирена в атмосферном воздухе промышленного центра на Крайнем Севере составляет 0,6 ПДК_{сс}, на условно чистой территории данного региона – 0,01 ПДК_{сс}. Уровень контаминации крови бенз(а)пиреном у детей в группе наблюдения достоверно превышает его значение у детей, живущих на условно чистой территории данного региона ($p < 0,05$). Иммунный профиль детского населения промышленного центра на Крайнем Севере характеризуется повышением плотности Fas-рецептора – $CD3^+CD95^+$ -маркера лимфоцитов – и признаками гиперпродукции IgG к бенз(а)пирену ($OR = 1,12–2,65$; $RR = 1,09–2,27$; $p < 0,05$), что указывает на признаки активации запрограммированной клеточной гибели и формирования специфической гаптенной гиперсенсibilизации в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном. Выявленные изменения иммунного профиля (избыток $CD3^+CD95^+$ -лимфоцитов, IgG к бенз(а)пирену), ассоциированные с С-аллелем и СС-генотипом гена *FAS* (rs1159120) ($OR = 1,38–1,51$; $RR = 1,25–1,36$; $p < 0,05$), характеризуют особенности модификации запрограммированной клеточной гибели и ее генетическую детерминацию у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном, и могут быть использованы в качестве иммунологических и гене-

тических маркеров эффекта и чувствительности к бенз(а)пирену детского населения урбанизированных территорий для задач ранней диагностики нарушений клеточного гомеостаза, ассоциированных с аутоиммунными и онкопролиферативными состояниями.

Список литературы

1. Early life exposure to air pollution and cell-mediated immune responses in preschoolers / Y.-L. Deng, J.-Q. Liao, B. Zhou, W.-X. Zhang, C. Liu, X.-Q Yuan. [et al.] // *Chemosphere*. – 2022. – Vol. 286, I. 3. – P. 131963.
2. Environmental pollutants and the immune response / T. Suzuki, T. Hidaka, Y. Kumagai, M. Yamamoto // *Nat Immunol*. – 2020. – Vol. 21, I. 12. – P. 1486–1495.
3. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампеисов Т.М. Современные представления о клеточной гибели // *Гены и клетки*. – 2018. – № 1. – С. 6–19.
4. Abd El-Fattah E.E., Abdelhamid A.M. Benzo[a]pyrene immunogenetics and immune archetype reprogramming of lung // *Toxicology*. – 2021. – Vol. 463. – P. 152994.
5. Долгих О.В., Никоношина Н.А. Аэрогенная экспозиция бенз(а)пиреном детей как фактор модификации генетически детерминированной клеточной гибели // *Гигиена и санитария*. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 482–487.
6. Об утверждении Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования «Город Дудинка»: решение Дудинского городского совета депутатов от 14.09.2017 № 10-0358 [Электронный ресурс] // Официальный сайт правовой информации города Дудинки. – URL: http://www.pravo-dudinka.ru/download/rgs/rgs_2017-09-14_10-0358.pdf (дата обращения: 21.02.2024).
7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019.
8. Wang M., Su P. The role of the Fas/FasL signaling pathway in environmental toxicant-induced testicular cell apoptosis: An update // *Syst Biol Reprod Med*. – 2018. – Vol. 64, I. 2. – P. 93–102.

Авторский указатель

Алексеев В.Б.	5	Мухачева Е.А.	120
Аликина И.Н.	309	Нгуен Тни Хонг Нгок	220
Бабина С.В.	140	Недошитова А.В.	245
Барг А.О.	54	Никифорова Н.В.	127, 215
Буи Цао Тиен.	220	Николаева А.Е.	245
Булатова Н.И.	313	Никоношина Н.А.	334
Валина С.В.	93, 100, 117	Новикова Т.А.	165
Вековщинина С.А.	60	Носов А.Е.	175
Воробьева А.А.	155	Нурисламова Т.В.	294, 301
Гилева К.О.	245	Ошева Л.В.	117
Глухих М.В.	50	Пермякова Т.С.	252
Голева О.И.	46	Пескова Е.В.	313
Горбушина О.Ю.	155	Поздняков М.В.	269
Долгих О.В.	120, 195, 208, 309, 320, 334	Пономарев М.Д.	183
Должич В.Н.	165	Пономарева Т.А.	155, 183
Ефремова О.В.	195	Попова Е.В.	85
Загороднов С.Ю.	71	Редько С.В.	107
Зайцева Н.В.	5, 15	Савинков М.А.	175
Зеленкин С.Е.	220, 240	Седусова Э.В.	132
Землянова М.А.	15	Сирковская Т.В.	229
Казакова О.А.	208	Ситчихина Л.А.	140
Камалтдинов М.Р.	289	Спирин В.Ф.	165
Карнажицкая Т.Д.	252, 301	Старкова К.Г.	320
Кирьянов Д.А.	140	Старчикова М.О.	252, 301
Клейн С.В.	50, 145	Стенно Е.В.	245
Клячин А.А.	35, 60, 145	Степанков М.С.	313, 325, 329
Кольдибекова Ю.В.	26, 272	Суворов Д.В.	220, 240
Комлева Н.Е.	165	Сухих Е.А.	245
Корнилицына М.Д.	54	Темаев Т.В.	204
Кузьянов Д.А.	285	Тран Цао Сон.	220
Ле Тхи Хонг Хао	220	Устинова О.Ю.	93, 100
Лебедева-Несевря Н.А.	229	Фадеев А.Г.	188
Легостаева Т.А.	320	Филичева Ю.В.	204
Лешкова И.В.	155	Фокин В.А.	188
Лужецкий К.П.	5, 263	Хасанова А.А.	65
Мазилов С.И.	165, 269	Хисматуллин Д.Р.	112
Май И.В.	5, 40, 71	Цинкер М.Ю.	140
Макарова В.Г.	93	Челакова Ю.А.	195
Маклакова О.А.	93, 100	Чигвинцев М.В.	26, 112, 215
Максимова Е.В.	40, 78	Чинько Т.В.	294
Мальцева О.А.	294	Ширинкина А.С.	120, 309
Маркович Н.И.	240	Штина И.Е.	93, 107, 117
Микеров А.Н.	285	Щербаков А.А.	175, 200
Моисеева Е.М.	285	Эрдниев Л.П.	285
Мурзина А.Е.	285	Ярома А.В.	208

Содержание

Юбилейные даты. Федеральному научному центру медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения – 30 лет

В.Б. Алексеев, Н.В. Зайцева, И.В. Май, К.П. Лужецкий
30 лет в сфере гигиены и профилактической медицины.....5

Раздел I. Методические подходы, практика оценки, прогнозирования и верификации рисков здоровью населения при воздействии внешнесредовых факторов

Н.В. Зайцева, М.А. Землянова
Модификация развития и течения риск-ассоциированных нарушений здоровья в условиях воздействия химических факторов среды обитания 15

Ю.В. Кольдибекова, В.М. Чигвинцев
Оценка дополнительного риска развития заболеваний, ассоциированных с комбинированным воздействием загрязняющих веществ, взрослого населения трудоспособного возраста26

А.А. Клячин
Оценка риска для здоровья населения в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере малого города Сибирского федерального округа)35

Е.В. Максимова, И.В. Май
Объекты накопленного вреда окружающей среде: оценка риска для здоровья граждан на региональном уровне40

О.И. Голева
О результативности и эффективности в анализе управления рисками здоровью: бюджетный и макроэкономический подходы46

М.В. Глухих, С.В. Клейн
Факторы риска заболеваемости ОРВИ: роль погодно-климатических факторов и санитарно-эпидемиологического состояния территорий.....50

А.О. Барг, М.Д. Корнилицына
Климатические изменения в субъективных оценках населения России.....54

С.А. Вековщина, А.А. Клячин
Анализ риска здоровью населения в задаче обоснования перечня приоритетных загрязняющих веществ для десяти новых городов-участников федерального проекта «Чистый воздух»60

А.А. Хасанова
Оценка экспозиции метеорологических факторов.....65

С.Ю. Загороднов, И.В. Май
Мониторинг качества атмосферного воздуха как инструмент оценки результативности мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ (на примере г. Красноярска)..... 71

Е.В. Максимова
Оценка динамики изменения загрязнения воздуха г. Братска в ходе выполнения мероприятий комплексного плана Иркутской области..... 78

Е.В. Попова
Динамика качества атмосферного воздуха г. Читы за период 2020–2024 гг. в ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух»..... 85

Раздел II. Факторы риска для здоровья детей и подростков: оценка и пути снижения

С.Л. Валина, О.Ю. Устинова, И.Е. Штина, О.А. Маклакова, В.Г. Макарова
Напряженность гуморального иммунитета к вакциноуправляемым инфекциям в условиях воздействия современного образовательного процесса и факторов среды обитания 93

О.А. Маклакова, С.Л. Валина, О.Ю. Устинова
Особенности развития респираторной патологии у детей с персистирующей герпетической инфекцией в условиях аэрогенного воздействия химических веществ 100

С.В. Редько, И.Е. Штина
Анализ многолетней динамики уровня заболеваемости болезнями глаза и его придаточного аппарата у детей в возрасте 0–14 лет в Пермском крае..... 107

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев
Количественная оценка вкладов алиментарных факторов в нарушение концентрации билирубина общего в крови детей школьного возраста 112

И.Е. Штина, Л.В. Ошева, С.Л. Валина
Половые особенности показателей школьной тревожности теста Филлипса 117

А.С. Ширинкина, О.В. Долгих, Е.А. Мухачева
Оценка особенностей иммунорегуляции у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции алюминием 120

Раздел III. Развитие риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического контроля

Н.В. Никифорова
Структура и динамика нарушений обязательных требований технических регламентов к качеству и безопасности пищевой продукции в Российской Федерации (2019–2023 гг.)..... 127

Э.В. Седусова

Сравнительный анализ структуры нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей на федеральном и региональном уровне..... 132

Д.А. Кирьянов, Л.А. Ситчихина, С.В. Бабина, М.Ю. Цинкер

Методические подходы к определению стоимости потребительской корзины недовольственных товаров для задач категорирования объектов надзора..... 140

А.А. Клячин, С.В. Клейн

К вопросу выбора оптимальных химико-аналитических методов контроля содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе 145

Раздел IV. Научно-методические основы и практика оценки рисков при воздействии факторов трудового процесса

А.А. Воробьева, О.Ю. Горбушина, Т.А. Пономарева, И.В. Лешкова

Оценка риска развития сердечно-сосудистой патологии и эффективности методов ее коррекции у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, на примере титаномагниевого предприятия 155

В.Ф. Спириин, Т.А. Новикова, Н.Е. Комлева, В.Н. Долгич, С.И. Мазилев

Распространенность алиментарно-зависимых факторов развития хронических неинфекционных заболеваний у работников, подвергающихся воздействию производственного шума..... 165

М.А. Савинков, А.Е. Носов, А.А. Щербаков

Когнитивный скрининг машинистов горных выемочных машин с различным стажем работы на предприятии по производству калийных удобрений как индикатор диагностики ранних проявлений патологии центральной нервной системы..... 175

Т.А. Пономарева, М.Д. Пономарев

Сравнительная характеристика условий труда работников горнодобывающей и металлургической промышленности 183

В.А. Фокин, А.Г. Фадеев

Загрязнение воздуха рабочей зоны как фактор риска для здоровья горнорабочих 188

Ю.А. Челакова, О.В. Долгих, О.В. Ефремова

Идентификация маркеров клеточной дифференцировки и генетического полиморфизма у работающих в условиях экспозиции редкоземельными элементами..... 195

А.А. Щербаков

Нарушения артериального давления у горняков: роль изношенной техники в угнетении адаптационных резервов организма 200

Т.В. Темаев, Ю.В. Филичева

Субъективная оценка факторов трудового долголетия представителей профессиональных групп, работающих во вредных условиях труда..... 204

<i>А.В. Ярома, О.В. Долгих, О.А. Казакова</i> Иммунный статус и полиморфизм гена <i>eNOS</i> rs1799983 у работников химической промышленности с новообразованиями гепатобилиарной системы	208
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Раздел V. Обеспечение качества и безопасности пищевой продукции по критериям рисков для здоровья населения

<i>В.М. Чигвинцев, Н.В. Никифорова</i> Контаминация пищевых продуктов как фактор риска заболеваний: количественная оценка и управление рисками	215
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>С.Е. Зеленкин, Д.В. Суворов, Ле Тхи Хонг Хао, Тран Цао Сон, Нгуен Тхи Хонг Нгок, Буи Цао Тиен</i> Оценка риска здоровью населения Социалистической Республики Вьетнам, обусловленного потреблением мясных продуктов, содержащих N-нитрозоамины	220
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Н.А. Лебедева-Несевря, Т.В. Сирковская</i> Качество пищевых продуктов в субъективных оценках потребителей (на примере отдельных групп продуктов)	229
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Д.В. Суворов, С.Е. Зеленкин, Н.И. Маркович</i> Система анализа опасностей и критических контрольных точек для безопасного производства мяса <i>in vitro</i>	240
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>К.О. Гилева, Е.В. Стенно, А.В. Недоштова, Е.А. Сухих, А.Е. Николаева</i> Содержание токсичных элементов в зерне и крупах в различных регионах произрастания	245
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Т.Д. Карнажицкая, М.О. Старчикова, Т.С. Пермякова</i> Миграция стирола в пищевые продукты и модельные среды. Обзор	252
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Раздел VI. Совершенствование аналитической и информационной поддержки анализа рисков здоровью

<i>К.П. Лужецкий</i> К цифровой трансформации информационно-справочных систем профилактики распространения инфекционных болезней для безопасной организации трудовых процессов	263
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>С.И. Мазилев, М.В. Поздняков</i> Использование больших данных в прогнозе и управлении санитарно-эпидемиологической ситуацией на примере центров по контролю и профилактике заболеваний США	269
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Ю.В. Кольдибекова</i> Опыт визуализации числовых значений биомаркеров экспозиции и негативных эффектов с помощью тепловых карт для детализации факторов риска по степени их управляемости	272
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Д.А. Кузянов, А.Н. Микеров, Л.П. Эрдниева, Е.М. Моисеева, А.Е. Мурзина
 Применение многокомпонентной системы биотестов для выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения285

М.Р. Камалтдинов
 Алгоритмы оцифровки изображений и видеозаписей ультразвукового исследования для анализа влияния рациона питания на биомеханические параметры моторной и эвакуаторной функции желудка289

Т.В. Нурисламова, О.А. Мальцева, Т.В. Чинько
 Разработка газохроматографических методик определения органического цианида (акрилонитрил) в выдыхаемом воздухе и крови для диагностических исследований.....294

М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.В. Нурисламова
 Изучение параметров твердофазной экстракции сульфаниламидов из питьевой воды301

Раздел VII. Клеточные и геномные технологии в задачах формирования доказательной базы негативного влияния факторов риска на здоровье населения

И.Н. Аликина, О.В. Долгих, А.С. Ширинкина
 Особенности иммунного профиля у детей в условиях биоэкспозиции амфотерными металлами (на примере алюминия)309

Е.В. Пескова, Н.И. Булатова, М.С. Степанков
 Прогноз риск-индуцированных нарушений здоровья человека при воздействии химических веществ на основе исследования изменений протеомного профиля плазмы крови в экспериментальных и натуральных условиях313

К.Г. Старкова, О.В. Долгих, Т.А. Легостаева
 Полиморфизм Q279R гена матричной металлопротеиназы-9 MMP9 как генетический маркер формирования иммунного фенотипа у детей с аллергическими заболеваниями в условиях биоэкспозиции бензолом320

М.С. Степанков
 Сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при экспозиции нано- и микрочастицами оксида цинка в эксперименте325

М.С. Степанков
 Сравнительная оценка мутагенной активности нано- и микрочастиц оксида цинка при ингаляционной экспозиции в эксперименте329

Н.А. Никоношина, О.В. Долгих
 Особенности экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели и полиморфизм гена FAS (rs1159120) у детей в условиях аэрогенного воздействия экзогенных химических факторов на Крайнем Севере334

Авторский указатель.....340

Научное издание

**АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ – 2025.
К НАУЧНОМУ СУВЕРЕНИТЕТУ РОССИИ**

Сборник материалов, посвященный 30-летию
образования Федерального научного центра
медико-профилактических технологий управления рисками
здоровью населения

*Под редакцией д-ра мед. наук В.Б. Алексеева,
д-ра мед. наук, профессора, академика РАН Н.В. Зайцевой*

Корректор *М.Н. Афанасьева*

Подписано в печать 16.06.2025. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 25,0. Тираж 22. Заказ № 097.

Издательство Пермского национального
исследовательского политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.