МАТЕРИАЛЫ
всероссийской научно-практической
интернет-конференции молодых ученых
и специалистов Роспотребнадзора
с международным участием

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2022

Пермь,
10–14
октября
2022 г.

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
Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека по Пермскому краю
Отделение медицинских наук Российской академии наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Пермский государственный
медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2022

Материалы
всероссийской научно-практической интернет-конференции
молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора
с международным участием

(Пермь, 10–14 октября 2022 г.)

Под редакцией профессора А.Ю. Поповой,
академика РАН Н.В. Зайцевой

Пермь 2022

УДК 614.2
Ф94

Ф94 **Фундаментальные** и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2022: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – 459 с.

ISBN 978-5-398-02803-4

Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2022» отражают наиболее актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения страны и защиты прав потребителей. В год 100-летия санитарно-эпидемиологической службы России представлен вклад молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора в опыт решения актуальных гигиенических и эпидемиологических задач страны. Участие молодого поколения обеспечивает новый взгляд на проблемы и разработку инновационных путей ответов на современные угрозы и вызовы в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и увеличения продолжительности жизни.

В представленных докладах молодых ученых и специалистов особое внимание уделено вопросам комплексного планирования профилактических мероприятий, оценки эффективности применяемых мер в субъектах Российской Федерации, совершенствованию методических подходов по доказательству вреда здоровью человека, ассоциированного с вредными факторами воздействия.

Рассмотрены вопросы обеспечения населения качественной питьевой водой в субъектах Российской Федерации, оценки риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных и поверхностных источников. Представлен опыт формирования и актуализации программ мониторинга качества атмосферного воздуха на примере пилотных территорий федерального проекта «Чистый воздух». Уделено внимание вопросам оптимизации межведомственного взаимодействия в рамках социально-гигиенического и экологического мониторинга.

В материалах конференции ряд докладов посвящен вопросам безопасности качества продуктов питания, определению вредных загрязнителей в пищевых продуктах и упаковке. Рассмотрена структура питания как отправной точки негативного влияния некачественной пищевой продукции на здоровье населения.

Материалы содержат результаты исследований по диагностике профессиональных патологий и возможных рисков нарушений здоровья в условиях производственной среды. В части докладов описано влияние отдельных производственных факторов на состояние сердечно-сосудистой, опорно-двигательной и иммунной системы человека. Важная роль отведена новым знаниям по диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции (COVID-19).

В секции оценки и управления рисками для здоровья детей и подростков представлен широкий спектр материалов по гигиенической оценке воздействия режима и условий учебного процесса, влиянию физических, химических и инфекционных факторов на здоровье подрастающего поколения.

Традиционно одним из приоритетных направлений научно-практической конференции являлось совершенствование математического моделирования и использования информационных технологий при проведении исследований в области гигиены и эпидемиологии. Рассмотрены возможные пути совершенствования единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан с использованием интернет-платформы, критерии верификации данных информационных систем анализа санитарно-эпидемиологического благополучия, а также опыт оценки эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности с использованием искусственной нейронной сети.

Редакционная коллегия:
д-р мед. наук, проф. А.Ю. Попова, акад. РАН Н.В. Зайцева,
д-р биол. наук, проф. И.В. Май, д-р мед. наук, доц. К.П. Лужецкий, Д.Н. Кошурников

УДК 614.2

ISBN 978-5-398-02803-4

© ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2022

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель

Попова Анна Юрьевна	Руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Заместители преседателя

Алексеев Вадим Борисович	Директор ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Зайцева Нина Владимировна	Научный руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора

Члены организационного комитета

Смоленский Вячеслав Юрьевич	Заместитель руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Кирьянов Дмитрий Александрович	Заведующий отделом математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Кошурников Дмитрий Николаевич	Председатель Совета молодых ученых и специалистов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Летюшев Александр Николаевич	Начальник Управления научно-аналитического обеспечения и международной деятельности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Лужецкий Константин Петрович	Заместитель директора по организационно-методической работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Май Ирина Владиславовна	Заместитель директора по научной работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Мустафина Илина Закарияновна	Помощник руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Шевкун Ирина Геннадьевна	Начальник Управления санитарного надзора Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Технический секретариат конференции

Сергеева Елена Васильевна	Заведующий отделением внешних связей и международных отношений ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
Цинкер Мария Михайловна	Заведующий отделением научной и патентной информации ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора

Раздел I

Совершенствование научно-методических и правовых аспектов оценки, прогнозирования и управления рисками здоровью населению. Развитие подходов по доказательству вреда здоровью человека, ассоциированного с факторами среды обитания

Особенности анализа мониторинговых исследований атмосферного воздуха при оценке рисков и ущербов здоровью населения

А.В. Воронова

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Для проведения оценки рисков и ущербов здоровью населения в ходе мониторинговых исследований определяются максимальные разовые, среднесуточные и среднегодовые концентрации. Цель данного исследования – показать особенности анализа мониторинговых исследований атмосферного воздуха при оценке рисков и ущербов здоровью населения. В рамках федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» [5] на маршрутных постах Роспотребнадзора 12 городов-участников проводятся исследования 64 приоритетных химических веществ в атмосферном воздухе по 155 методикам определения разовых концентраций. В ходе модернизации системы социально-гигиенического мониторинга качества атмосферного воздуха в городах-участниках возникла необходимость обсудить особенности анализа мониторинговых исследований атмосферного воздуха при оценке рисков и ущербов здоровью населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух, оценка риска, кратковременное (острое) воздействие, ущерб здоровью, методика, нижний предел определения, нулевые значения, федеральный проект.

В процессе мониторинга качества атмосферного воздуха в зависимости от программы наблюдения оценку риска и ущерба здоровью рекомендуется проводить при следующих вариантах осреднения экспозиции:

– разовая концентрация (максимальная и 95-ный перцентиль) используется при оценке кратковременной экспозиции: расчет острого неканцерогенного риска (коэффициентов опасности и индексов опасности по влиянию на критические органы и системы);

– суточная (среднесуточная) концентрация используется при оценке кратковременной 24-часовой экспозиции: расчет показателей ущерба здоровью (дополнительного числа случаев неблагоприятных исходов) при суточном воздействии;

– среднегодовая концентрация и ее верхняя 95%-ная доверительная граница используется при оценке долговременной экспозиции: расчет канцерогенного риска, хронического неканцерогенного риска, расчет показателей ущерба здоровью (дополнительного числа случаев неблагоприятных исходов) минимум при годовом, но как правило, трехлетнем наблюдении [2].

Особенность анализа разовых концентраций при оценке острого неканцерогенного риска заключается в следующем.

Результаты натурных мониторинговых исследований (за исключением результатов непрерывного автоматического контроля) отражают 20-минутную ингаляционную экспозицию, а безопасные уровни воздействия – референтные концентрации для оценки острых ингаляционных рисков (ARFC), приведенные в табл. 2.1 прил. 2 Руководства по оценке риска Р 2.1.10.1920-04 [6], относятся к одночасовой экспозиции.

Согласно универсальному правилу методологии оценки риска (п. 7.3.3. Руководства Р 2.1.10.1920-04) период осреднения экспозиций и соответствующих безопасных уровней воздействия при расчете коэффициента опасности для условий кратковременных (острых), подострых и длительных воздействий химических веществ должен быть аналогичным. Для соблюдения вышеуказанного правила при оценке острого неканцерогенного риска здоровью на основе данных мониторинговых исследований качества атмосферного воздуха предлагается осуществлять пересчет 20-минутных разовых концентраций в одночасовые концентрации.

Общий вид известной зависимости концентрации от времени ингаляционного воздействия представлен в формуле (1):

$$C^n \cdot T = K, \tag{1}$$

где n – эмпирически полученный коэффициент, C – концентрация, T – длительность воздействия, K – постоянная величина.

На основе анализа данных по обоснованию величин референтных концентраций для оценки острых ингаляционных воздействий (ARFC) в отделе анализа риска здоровью населения ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора собраны величины коэффициента «n» для большинства веществ, имеющих значения ARFC (табл. 2.1 прил. 2 Руководства Р 2.1.10.1920-04 [6]).

Для веществ, у которых отсутствует параметр n, рекомендуется применение значений «по умолчанию» для экстраполяции на одночасовые концентрации: $n = 1$ для перехода от времени экспозиции менее часа, и $n = 2$ для перехода от времени экспозиции более часа.

В формулах (2) и (3) приводится вариант записи формулы (1), удобный для пересчета 20-минутных концентраций на одночасовые.

$$\ln C1 = (n \cdot \ln(C) + \ln(T) - \ln(T1))/n \tag{2}$$

$$C1 = \exp(\ln C1), \tag{3}$$

где $C1$ – искомая концентрация при времени экспозиции $T1$ (60 мин), $T1$ – время, на которое проводиться экстраполяция 60 мин; C – концентрация, с которой проводится экстраполяция при времени T (20 мин); T – время, с которого проводится экстраполяция 20 мин; n – коэффициент для экстраполяции времени экспозиции при кратковременном ингаляционном воздействии с 20-минутного на одночасовое осреднение.

При оценке результатов мониторинговых исследований с преобразованием 20-минутных осреднений в одночасовые осреднения разовых концентраций наименьшие неопределенности возникают при использовании всех первичных данных за анализируемый период наблюдения в точке воздействия с расчетом 95-го перцентиля.

В отношении ряда химических веществ, относящихся к наиболее распространенным загрязнениям городской среды, количественная оценка ущерба здоровью оценивается при помощи среднесуточных и среднегодовых концентраций в виде натуральных показателей (число дополнительных случаев смерти, заболеваний, госпитализаций и других эффектов воздействия). При оценке ущерба здоро-

вью населения критериями выступают значения показателей функции зависимости «концентрация – эффект» (значения относительного риска «*RR*»), полученные в эпидемиологических исследованиях и клинических наблюдениях, рекомендованных международными организациями и правительственными учреждениями, наиболее часто выраженные в величинах относительного риска *RR*.

Относительный риск (*RR*) – отношение вероятности возникновения какого-либо заболевания у лиц, подвергавшихся воздействию изучаемого фактора, к вероятности заболевания у лиц, не подвергавшихся этому воздействию. Для оценки значимости относительного риска рассчитываются границы 95%-го доверительного интервала (ДИ). Отношение рисков, составляющее менее единицы, свидетельствует об отсутствии влияния исследуемого фактора на развитие ответа (неблагоприятного эффекта). Чем больше эта величина превышает единицу, тем более сильное влияние данный фактор оказывает на риск возникновения нарушений состояния здоровья.

Для методического обеспечения проведения федерального проекта «Чистый воздух» в 2019 г. были утверждены МР 2.1.10.0156-19 [2] и МР 2.1.10.0157-19 [3], в которых наряду с различными аспектами практического применения методологии оценки риска атмосферных загрязнений уделено особое внимание оценке ущербов здоровью при ведении санитарно-гигиенического мониторинга качества атмосферного воздуха на постах Роспотребнадзора в городах-участниках. В МР 2.1.10.0156-19 [2] приведены наиболее надежные зависимости «концентрация – эффект», выраженные в величинах относительного риска *RR*, исходы неблагоприятного воздействия на различные группы населения, соотнесённые с кодами групп заболеваний в соответствии с международной классификацией болезней (МКБ-10), источники исходных данных о здоровье, используемые для оценки ущерба при кратковременной (среднесуточной) и долговременной (среднегодовой) экспозиции для мелкодисперсных взвешенных частиц ($PM_{2.5}$ и PM_{10}), озона, азот диоксида.

В МР 2.1.10.0157-19 [3] отмечено, в частности, при выполнении каких задач социально-гигиенического мониторинга (СГМ), виде обследования атмосферного воздуха (в соответствии с РД 52.04.186-89 [7]) и реализуемой программе наблюдения возникают условия получения среднесуточных и среднегодовых концентраций наиболее распространенных загрязнений городской среды, которые могут быть использованы при оценке ущербов здоровью.

В процессе выполнения федерального проекта «Чистый воздух» в 12 городах-участниках проводятся мониторинговые исследования 64 приоритетных химических веществ в атмосферном воздухе по 155 методикам определения разовых концентраций. В связи с обнаружением значительного количества нулевых проб у определенных веществ при использовании отдельных методик возникла необходимость коррекции полученных результатов разовых замеров для уточнения значений среднегодовых концентраций.

На примере трех городов – участников федерального проекта «Чистый воздух» (Липецк, Новокузнецк, Череповец) – апробировались пять способов учета величин, лежащих ниже предела количественного определения используемых методик, так называемых «нулевых значений», с целью получения наиболее достоверных данных мониторинга. Указанные способы изложены в справочном документе по общим принципам мониторинга 2003 г. и в справочном отчете о мониторинге выбросов в атмосферу и воду 2018 г. Комиссии Европейского сообщества [1, 8] (в переводе) представляются так:

Способ 1. Измеренная величина используется в расчетах, даже если она ненадежна. Такая возможность существует лишь для некоторых методов измерения.

Способ 2. Для расчетов используется предел обнаружения. В этом случае результирующее среднее значение обычно указывается в виде «<» («меньше, чем»). Для данного подхода характерна тенденция к завышению результата.

Способ 3. Для расчетов используется половина (или, возможно, другая заранее оговоренная доля) величины предела обнаружения. При таком подходе возможно как завышение, так и занижение результата.

Способ 4. Процентный метод с предварительным вычислением процента значений, меньших предела количественного определения, от общего числа определений для расчета средней величины.

Способ 5. Всем значениям, меньшим предела количественного определения, присваивается значение «0».

Стоит отметить, что третий способ подробно описан в монографии Г.Г. Онищенко и соавт. по основам оценки риска [4]. Однако уточнения, приведенные в данной монографии, о необходимости исключения из анализа проб, за счет которых рассчитываемая среднегодовая концентрация может достичь уровня максимальной разовой концентрации, определяемой в точке мониторинга, не вошли в текст действующего Руководства по оценке риска Р 2.1.10.1920-04 [6], что осложняет выполнение на практике оценки экспозиций и рисков здоровью.

Данные мониторинговых исследований качества атмосферного воздуха в вышеуказанных городах были занесены в таблицы формата Excel с использованием следующих характеристик: место, дата и время отбора пробы воздуха, результат измерения разовой концентрации по протоколу лабораторного исследования, нижний предел количественного определения, ссылка на используемую методику, формулы для коррекции разовых концентраций по пяти предлагаемым способам.

Наиболее эффективным способом снижения неопределенности количественной оценки экспозиции по данным мониторинга качества атмосферного воздуха с использованием химико-аналитических методов является переход на более чувствительные методики определения веществ в атмосферном воздухе, что поможет уменьшить число проб, лежащих ниже предела количественного определения.

Так, при одновременном использовании двух анализаторов взвешенных частиц PM_{10} в г. Череповце снижение нулевых значений в 2021 г. по сравнению с 2020 г. с 75 до 40 % было достигнуто за счет увеличения в 2,5 раза количества измерений на анализаторе пыли Dusttrak 8533, который в 10 раз более чувствителен относительно анализатора пыли «АТМАС». Другим примером является снижение количества нулевых проб в г. Липецке при переходе с методики РД 52.04.186-89 [7] определения взвешенных веществ с нижним пределом 0,26 мг/м^3 на более чувствительную – анализатор пыли Dusttrak 8533 с нижним пределом 0,01 мг/м^3, что привело к снижению количества нулевых проб в 2021 г. по сравнению с 2020 г. с 98 до 25 %.

Более чем для половины веществ, анализируемых в атмосферном воздухе, использовалось одновременно в течение года от 2 до 7 методик. Для 48 % мониторируемых веществ, определяемых по одной методике в год, построены графики по пяти способам расчета нулевых значений разовых концентраций для уточнения значений среднегодовых концентраций. В дальнейшем все полученные в графическом виде результаты были сгруппированы по трём характерным видам графиков с конкретными диапазонами нулевых значений разовых концентраций, выраженных в процентах.

Содержание нулевых проб в первой группе составило не более 5 %. Такое низкое содержание нулевых проб не влияет на способ расчета результата и не нуждается в коррекции исходных данных.

Вторая группа имела диапазон нулевых проб от 49 до 62 %. На графиках данной группы было выявлено наиболее типичное соотношение среднегодовых концентраций, полученное при применении всех пяти расчетных способов коррекции нулевых значений.

Третья группа имела наибольшее количество нулевых проб от 90 до 100 %, что привело к значительному искажению соотношения среднегодовых концентраций, рассчитанных из скорректированных нулевых проб по пяти способам расчета.

В большинстве случаев, когда число методик измерения для одного вещества больше двух, происходит искажение данных при использовании методик разной степени чувствительности. В отдельных случаях, когда методики подобраны с оптимальным диапазоном измерения, искажения правильного соотношения между значениями среднегодовых концентраций, посчитанных пятью способами, не происходит даже при анализе данных разовых концентраций, полученных с использованием в течение года до 4 методик. Эти обнадеживающие результаты позволяют продолжить поиск приемлемых условий для уточнения среднегодовых концентраций в выборке веществ с одновременным использованием нескольких методик определения разовых концентраций в течение года.

Выводы. Основная цель мониторинговых исследований – получение наиболее достоверных сведений о состоянии атмосферного воздуха, максимально пригодных для оценки рисков и ущербов здоровью как при кратковременных (острых), так и долговременных (хронических) воздействиях на население.

Предложенный способ пересчета разовых концентраций с 20-минутного в одночасовое осреднение позволяет минимизировать неопределенности использования данных мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью химико-аналитических методов исследования, для оценки острых неканцерогенных рисков здоровью населения.

При использовании среднесуточных и среднегодовых концентраций применение показателей относительного риска, основанных на зависимостях «концентрация – эффект», полученных в корректно проведенных эпидемиологических исследованиях и клинических наблюдениях, позволяет осуществлять оценку ущерба здоровью населения по целому ряду показателей нарушения здоровья (смертности, госпитализации и т.д.) при кратковременном и долговременном воздействии атмосферных загрязнений.

Апробация пяти способов расчета среднегодовых концентраций определила пути коррекции данных мониторинга при использовании методик различной чувствительности и показала, что выбор методики играет основную роль в получении достоверной информации. С целью снижения неопределенности количественной оценки длительной (хронической) экспозиции необходим переход на более чувствительные методики на уровне не менее 0,5 $ПДК_{сг}$/RFC.

Таким образом, представленные особенности анализа мониторинговых исследований атмосферного воздуха, проводимых в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения

России» позволяют значительно снизить неопределенности оценки рисков и ущербов здоровью при воздействии атмосферных загрязнений и способствовать оптимизации программ социально-гигиенического мониторинга, направленных на снижение заболеваемости и смертности населения, обусловленных влиянием химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в городах-участниках федерального проекта «Чистый воздух».

Список литературы

1. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям. Справочный документ по общим принципам мониторинга [Электронный ресурс] // Европейская комиссия генеральная дирекция. Институт по исследованию перспективных технологий. Отдел конкурентоспособности и устойчивого развития Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды / пер. с англ. Гармонизация Экологических Стандартов II (Harmonisation of Environmental Standards II). – 2003. – URL: https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/fd7/monitoring_1303.pdf (дата обращения: 26.08.2022).

2. 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 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415503/ (дата обращения: 18.08.2022).

3. МР 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293719/4293719768.htm (дата обращения: 18.08.2022).

4. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева / под. ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

5. Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/ (дата обращения: 31.08.2022).

6. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М: Федеральный Центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 146 с.

7. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1991. – 694 с.

8. JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations / T. Brinkmann, R.Both, B.M. Scalet, S. Roudier, L.D. Sancho. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. – 196 p.

Использование оценки риска как инструмента гигиенической оценки уровня загрязнения объектов окружающей среды в районе расположения полигона захоронения пестицидов

О.Д. Климушин[2], М.Л. Ковальчук[1], К.В. Гребенюков[1], С.И. Шумаков[1]

[1]ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Курской области»,
[2]Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Курской области,
г. Курск, Россия

Проведена работа по санитарному обследованию полигона захоронения пестицидов, расположенного на территории Курской области. С целью оценки загрязнения района расположения полигона проведены отбор проб воздуха, воды, почвы, растительности и их лабораторные исследования. На основе полученных результатов лабораторных исследований рассчитаны значения канцерогенных и неканцерогенных рисков для здоровья. Результаты расчетов риска использованы для оценки потенциального риска для здоровья, а также гигиенической оценки ненормируемых показателей.

Ключевые слова: полигон, пестициды, загрязнение среды обитания, канцерогенный риск, неканцерогенный риск.

Пестициды (особенно группы хлорорганических соединений) являются стойкими соединениями, длительное время сохраняющимися в объектах среды обитания человека. Наряду со стойкостью широкое применение различных ядохимикатов в хозяйственной деятельности для получения урожая способствует их накоплению в объектах окружающей среды. Ослабление контроля за оборотом пестицидов в поздние годы существования СССР способствовало загрязнению среды обитания человека, появлению «стихийных» и малоконтролируемых мест захоронения пестицидов.

Подобного рода полигон захоронения пестицидов размещен в урочище «Волкова Дубрава» Солдатского сельсовета Фатежского района Курской области. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Курской области» проведено обследование полигона, отбор проб объектов окружающей среды (вода, почва, атмосферный воздух, продовольственное сырье и растительность) и их исследование на наличие пестицидов.

Цель исследования – оценка потенциальной опасности полигона на основании его санитарно-гигиенического обследования, оценка загрязнения факторов среды обитания на содержание пестицидных препаратов и потенциального риска их воздействия на здоровье.

Исходными материалами для оценки состояния захоронения пестицидов явились данные экспертизы рабочего проекта по захоронению полигона пестицидов [2], результаты мониторинга территории размещения полигона [1].

При оценке состояния полигона использован метод санитарного обследования, при оценке загрязнения факторов среды обитания – метод лабораторных исследований, при оценке потенциального риска их воздействия на здоровье – методология оценки риска.

По данным агрохимических служб Курской области за период с 1976–1983 гг. на полигоне было захоронено 659,1 т пестицидов (около 30 наименований), в том числе стойкие органические загрязнители гексахлорциклогексан и его изомеры (включая линдан), гексахлорбензол, дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ), ртутьорганические пестициды и другие. Точные сведения о количестве захороненных ядохимикатов, а также их номенклатура и способы захоронения отсутствуют.

В 1995 г. постановлением главы администрации области были начаты работы по проектированию и строительству консервации (захоронения) полигона и предотвращению воздействия разлагающихся пестицидов на окружающую среду. Завершение строительных работ по консервации объекта захоронения произошло в 2009 г.

Полигон занимает участок размером 80×70 м, расположен на склоне юго-западной экспозиции в верховье балки Жигаевской, переходящей в долину р. Жигаевки, в зоне стока дождевых и талых вод. На юго-востоке в 3100 м расположен населенный пункт Волково, на северо-востоке в 4000 м расположена д. Жигаево.

Полигон покрыт асфальтобетоном, частично видна сетчатая структура армирующего слоя. Тело полигона на своей поверхности в местах перехода в боковые грани кровли имеет трещины глубиной до 10 см. В трещинах произрастает травянистая растительность, имеются единичные деревья (береза). На поверхности имеются три вентиляционные трубы, являющиеся частью газосборной системы полигона.

В западном направлении расположена наблюдательная скважина, оборудованная на первый от поверхности турон-сантонский водоносный комплекс, далее – сельскохозяйственные поля.

Территория вокруг полигона – густо заросшая сорной травянистой растительностью. В непосредственной близости от полигона на расстоянии порядка 50 м от тела полигона в северном и восточном направлении расположены распаханные поля. В южном направлении расположено кукурузное поле.

Для оценки загрязнения среды обитания определены контрольные точки. Расположение точек контроля было выбрано с учетом анализируемого фактора среды обитания и возможного контакта населения и контролируемого фактора.

В целях оценки загрязнения атмосферного воздуха отбор проб проведен в пяти точках: непосредственно над местом захоронения пестицидов (тело полигона) и на расстоянии 500 м от места захоронения пестицидов (ограждения полигона).

Отбор проб почвы проведен в точках на расстоянии 50 м в северном, восточном и южном направлениях, в непосредственной близости от наблюдательной скважины, на расстоянии 100 м от тела полигона (50 м от наружной обваловки полигона) в западном направлении.

Для оценки загрязнения подземных и поверхностных вод проведен отбор проб из наблюдательной скважины, из р. Жигаевки. Отбор проб подземных вод проводился батометром в наблюдательной скважине, расположенной к западу от тела полигона. Отбор проб воды у истока р. Жигаевки проведен в месте перехода

заболоченного ручья, протекающего в Жигаевской балке в долину р. Жигаевки. Расстояние от полигона до точки отбора воды в истоке р. Жигаевки (точка 1) составляет 4,0 км. Расстояние от полигона до точки отбора воды в р. Жигаевке (точка 2) составляет 5,0 км. В непосредственной близости от места отбора воды в р. Жигаевке проведен отбор воды из трубчатого колодца на подворье жителя д. Жигаево, используемого для хозяйственно-бытовых нужд.

В целях оценки возможного перехода захороненных пестицидов в продовольственное сырье проведен отбор проб сырья. Были отобраны следующие пробы: кукуруза с поля, расположенного в южном направлении от полигона, грибы, собранные в просеке к востоку от полигона.

Также была исследована растительность с тела полигона.

Отбор проб проведен дважды в теплый и холодный периоды года согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].

Исследования отобранных проб проводились методом газожидкостной хроматографии с использованием комплекса «Хроматек-Кристалл». Исследовалось содержание фосфор- и хлорорганических пестицидов как наиболее интенсивно применявшихся на территории региона [7], а также симм-триазинов, прометрина, полихлорированных бифенилов.

При интерпретации результатов исследований содержание пестицидов в количестве, меньше нижнего диапазона чувствительности методики определения, принималось равным нулю, то есть пестициды в отобранных и исследованных пробах фактически не обнаруживались.

Максимальное содержание пестицидов в исследованных образцах (в количествах выше нижнего диапазона чувствительности методики определения) составляет:

– ДДТ (метаботиты): в атмосферном воздухе – 0,001–0,06 мг/м^3, в почве – 0,001–0,01 мг/кг, в воде р. Жигаевки – 0,0001 мг/дм^3 (не нормируется СанПиН 1.2.3685-21 [4]), в пробах растительности с тела полигона – 0,001 мг/кг (показатель не нормируется), в пробах кукурузы – 0,02 мг/кг (допустимый уровень согласно ТР ТС 021/2011 [6], ТР ТС 015/2011 [5] – 0,02 мг/кг), в грибах – 0,008 мг/кг (допустимый уровень согласно ТР ТС 021/2011 – 0,1 мг/кг);

– дельтаметрин в атмосферном воздухе – 0,009 мг/м^3 (0,9 ОБУВ);

– циперметрин в атмосферном воздухе – 0,006–0,03 мг/м^3 (0,15–0,75 ПДК$_{мр}$);

– перметрин в атмосферном воздухе – 0,006 мг/м^3 (0,09 ПДК$_{мр}$);

– гексахлорциклогексан (ГХЦГ) в воде первого от поверхности турон-сантонского водоносного комплекса (наблюдательная скважина) – 0,00015 мг/дм^3 (0,08 ПДК воды водоемов), в пробах растительности с тела полигона – 0,016 мг/кг (показатель не нормируется);

– алдрин: в воде наблюдательной скважины – 0,00015 мг/дм^3 (0,08 ПДК воды водоемов), в р. Жигаевке – 0,0001 мг/дм^3 (0,05 ПДК воды водоемов), в пробах растительности с тела полигона – 0,004 мг/кг (показатель не нормируется);

– прометрин в воде р. Жигаевки – 0,0015 мг/дм^3 (0,75 ПДК воды водоемов);

– диметоат в почве – 0,001 мг/кг (0,01 ОДК);

– налед в почве – 0,048–0,12 мг/кг (не нормируется СанПиН 1.2.3685-21).

Содержание пестицидов в исследованных образцах в величинах, превышающих установленные нормативные требования, не обнаружено.

Не были обнаружены в исследованных пробах:

– гексахлорциклогексан, гексахлорбензол лямбда-цигалотрин, фенвалерат, эсфенвалерат, пропиконазол, малатион, диметоат, фозалон, диазинон, фоксим в исследованных пробах атмосферного воздуха;

– гептахлор, гексахлорбензол, полихлорированные бифенилы (ПХБ), атразин, симазин, хлорпирифос (дурсбан), фоксим, диазинон, диметоат (фосфамид), малатион, налед, паратионметил (метафос), пиримифосметил (актеллик), фталофос, фозалон в исследованных пробах воды;

– гексахлорциклогексан (альфа-, бета-, гамма-изомеры), гептахлор, гексахлорбензола, паратионметил (метафос), пиримифосметил (актеллик), малатион, хлорпирифос (дурсбан), фосмет (фталофос), фозалон, фоксим, диазинон, дельтаметрин, циперметрин (включая альфа-, бета- и зета-), перметрин, лямбда-цигалотрин, бифентрин, пропиконазол (тилт), полихлорированные бифенилы (ПХБ), фенвалерат в исследованных пробах почвы;

– паратионметил (метафос), пиримифосметил (актеллик), малатион, хлорпирифос (дурсбан), фозалон, фоксим, диазинон, дельтаметрин, циперметрин (включая альфа-, бета- и зета-), перметрин, лямбда-цигалотрин, пропиконазол (тилт), фенвалерат, налед в исследованных пробах растительности с тела полигона;

– гексахлорциклогексан (альфа-, бета-, гамма-изомеры), ртутьорганические пестициды, 2,4-Д (кислота, соли, эфиры), дельтаметрин, диазинон, диметоат (фосфамид), лямбда-цигалотрин, малатион, паратионметил (метафос), перметрин, пиримифосметил (актеллик), пропиконазол, фенвалерат, хлорпирифос (дурсбан), фозалон, фоксим, циперметрин (включая альфа-, бета- и зета-) в исследованных продуктах питания (кукуруза).

Несмотря на отсутствие постоянно проживающего в местах отбора проб атмосферного воздуха, почвы населения, проведен расчет показателей индивидуального канцерогенного риска, неканцерогенных рисков для оценки потенциальной опасности полигона захоронения пестицидов.

Безопасные значения и факторы канцерогенного риска приняты согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04 [3]. Показатели для оценки острых ингаляционных воздействий по исследованным показателям в Руководстве Р 2.1.10.1920-04 отсутствуют. Для оценки риска использованы референтные концентрации и дозы при хроническом воздействии, а также факторы канцерогенного потенциала при ингаляционном и пероральном поступлении. При расчете использованы стандартные параметры экспозиции согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04 для ингаляционного поступления, случайного заглатывания воды водоемов, при пероральном поступлении веществ из почвы. Потребление кукурузы на продовольственные нужды оценено по данным Министерства сельского хозяйства США (USDA): на 2021 г. в РФ потребление составляет 1 100 тыс. тонн; потребление на человека в год составило 7,54 кг. Уровень потребления грибов принят равным 3,0 кг на человека в год.

Канцерогенным действием с достоверно установленным фактором канцерогенного потенциала обладают ДДТ, алдрин, циперметрин, перметрин [3]. Рассчитаны значения индивидуального канцерогенного риска. Популяционные канцерогенные риски в связи с отсутствием экспонируемого населения не рассчитывались.

Среднее значение канцерогенного риска воздействия ДДТ при ингаляционном воздействии составляет 2,84E-03 (от 9,32E-05 до 5,59E-03), среднее значение соответствует 4-му диапазону риска (неприемлемый риск).

Среднее значение канцерогенного риска воздействия циперметрина при ингаляционном воздействии составляет 9,37E-05 (от 3,12E-05 до 1,56E-04), что соответствует 2-му диапазону риска (допустимый риск).

Канцерогенный риск воздействия перметрина при ингаляционном воздействии составляет 3,02E-05 – 2-й диапазон риска (допустимый риск).

Канцерогенные риски при заглатывании воды во время купания в р. Жигаевке отнесены к 1-му диапазону риска (минимальный риск), составляют: для ДДТ – 1,28E-09, для алдрина – 6,42E-08, суммарное значение – 6,54E-08, и не требуют дополнительных мероприятий по их снижению.

Канцерогенные риски за счет перорального поступления веществ из почвы крайне малы и составляют для ДДТ 1,74E-12 (1-й диапазон, минимальный риск). Прочих пестицидов, обладающих канцерогенным действием, в исследованных пробах почвы обнаружено не было.

Риск развития злокачественных новообразований при употреблении продуктов, произрастающих в районе проведения работ, также обусловлен наличием ДДТ. При содержании ДДТ в количествах, равных установленным по результатам исследований, канцерогенный риск потребления кукурузы составляет 2,01E-06 (2-й диапазон риска, допустимый), потребления грибов – 3,19E-07 (1-й диапазон, минимальный риск).

Суммарный канцерогенный риск при поступлении найденных в результате исследований пестицидов всеми проанализированными путями составляет 2,97E-03 и обусловлен, прежде всего, потенциальным ингаляционным поступлением ДДТ (95,8 %).

Неканцерогенный риск при ингаляционном поступлении (*HQi*) ДДТ составил 17,43, что превышает приемлемые уровни. Неканцерогенные риски при ингаляционном поступлении дельтаметрина, циперметрина, перметрина не превышают приемлемые уровни ($HQi < 1,0$).

Неканцерогенный риск при случайном заглатывании воды во время купания в р. Жигаевке формируется за счет наличия в воде ДДТ, алдрина, прометрина; уровень риска существенно ниже допустимого ($HI_{сумм} = 0,00034$).

Уровень неканцерогенного риска при пероральном поступлении веществ (ДДТ, диметоат (фосфамид), налед (дибром)) из почвы также существенно ниже приемлемого ($HI_{сумм} = 7,57E-09$).

Некацерогенный риск потребления отобранной кукурузы в пищу составляет 0,0118, грибов – 0,0018; *HQ* ДДТ при потреблении продуктов, отобранных в районе размещения полигона, не превышает приемлемый уровень и составляет 0,014.

Суммарный индекс опасности поступления ДДТ всеми проанализированными путями составил 17,44, что превышает приемлемые уровни.

Индекс опасности воздействия на печень составил 17,44 (обусловлен возможным поступлением ДДТ ингаляционным путем).

Индекс опасности воздействия на ЦНС составил 2,94E-04 (обусловлен поступлением алдрина при случайном заглатывании воды во время купания).

Индекс опасности воздействия на биохимические показатели составил 6,13E-09 (обусловлен пероральным поступлением наледа с почвой – 89,36 %).

Риск воздействия гексахлорциклогексана не оценивался в связи с отсутствием даже потенциального контакта населения с водой наблюдательной скважины и растительностью с тела полигона, риск воздействия алдрина в тех же объектах не оценивался по аналогичным причинам.

К неопределенностям полученных результатов следует отнести малое количество проведенных исследований, допущение, что измеренная концентрация будет оставаться стабильной в течение длительного времени. Для снижения данных неопределенностей предполагается дальнейшее наблюдение за состоянием загрязнения в районе размещения объекта, формирование достаточной выборки результатов исследований для получения статистически достоверных уровней загрязнения.

Таким образом, установлено, что, несмотря на отсутствие реального риска в связи с отсутствием проживающего населения в точках мониторинга в районе расположения полигона пестицидов, объект остается потенциально опасным. Опасность обусловлена в основном наличием в атмосферном воздухе в районе размещения полигона ДДТ.

Представляется целесообразным проведение мониторинга объектов среды обитания в районе размещения захоронения пестицидов, прежде всего долгоживущих хлорорганических соединений (ДДТ). В связи с отсутствием в настоящее время гигиенических нормативов содержания ДДТ в окружающей среде оценку результатов предлагается проводить с использованием методологии оценки рисков воздействия химических веществ на здоровье.

Мероприятия административного характера по снижению риска: ограничение доступа в урочище «Волкова Дубрава» с целью сбора дикорастущих грибов и ягод, контроль содержания в выращиваемых вблизи полигона сельскохозяйственных культурах пестицидных препаратов в соответствии с требованиями ТР ТС.

Выводы. С учетом полученных результатов можно сделать вывод об эффективности мероприятий по консервации полигона и сохранению защитных свойств примененных при консервации полигона материалов. Однако с учетом начинающегося разрушения защитных конструкций рекомендуется осуществление мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, воды наблюдательной скважины, поверхностного водоема, источников нецентрализованного водоснабжения в населенных пунктах ниже по течению грунтовых вод, а также выращиваемой в непосредственной близости от полигона сельскохозяйственной продукции выявленными пестицидами. На основании результатов проведенных лабораторных исследований и оценки риска приоритетным загрязнителем района размещения полигона пестицидов является ДДТ.

Список литературы

1. Ведение мониторинга территории дислокации полигона захоронения пестицидов в урочище «Волкова Дубрава» Фатежского района Курской области: информационный отчет. – Черницыно, Курск: ТЦ «Курскгеомониторинг», 2014.

2. Заключение экспертной комиссии государственной экологической экспертизы по рабочему проекту по захоронению полигона пестицидов в урочище «Волкова Дубрава» Фатсжского района Курской области № 94 от 28 апреля 2001 г.

3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный

фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 23.08.2022).

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 23.08.2022).

5. ТР ТС 015/2011. О безопасности зерна (с изменениями на 15 сентября 2017 года) / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 874 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902320395 (дата обращения: 27.08.2022).

6. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 14 июля 2021 года) / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения: 27.08.2022).

7. Черных А.М., Ковальчук М.Л., Мальцева И.С. Мониторинг применения пестицидов и выявления их остаточных количеств в объектах окружающей среды Курской области // Пест-Менеджмент. – 2010. – № 2. – С. 20–24.

Особенности решения задач при расчете экспозиции в рамках оценки риска здоровью

Н.Н. Рыжаков, В.А. Кислицин, Н.С. Додина

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Рассмотрены методические подходы к решению практических задач на этапе количественной характеристики экспозиции при расчете концентраций выбросов с использованием УПРЗА «Эколог-Город», обеспечивающие получение необходимых данных для выполнения оценки риска здоровью. Согласно методическому подходу к расчету приземных концентраций с применением УПРЗА «Эколог-Город» после ввода данных и расчета концентраций осуществляется экспорт файлов концентраций в формат электронных таблиц, из которых выбираются точки воздействия с концентрациями из жилых районов для использования их в оценке риска. Программа Surfer применяется для получения карты местности и нанесения информации об уровне рисков и загрязнения местности, оцифровки координат точек воздействия для ввода в модель. Предложены способы расчета численности населения.

Ключевые слова: оценка риска здоровью, оценка экспозиции, УПРЗА «Эколог-Город», программа Surfer, расчет численности населения.

Количественная характеристика экспозиции представляет собой один из важнейших этапов анализа и управления риском, в процессе которого устанавливается количественное поступление загрязняющих химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, в организм человека.

В анализе риска здоровью оценка экспозиции может использоваться для [1, 2]:

– определения концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) во времени и в пространстве окружающей среды;

– выявления популяций с различными уровнями риска;

– выявления эффективных мероприятий по снижению риска.

Процесс оценки экспозиции в общем случае состоит из трех основных этапов [2]:

1) анализ основных физических параметров исследуемой территории и характеристик популяций, потенциально подверженных воздействию;

2) определение маршрутов воздействия, источников загрязнения и точек воздействия;

3) получение количественной характеристики экспозиции.

Рассматриваются методические подходы к решению практических задач на этапе количественной характеристики экспозиции при расчете концентраций выбросов химических веществ в атмосферном воздухе с использованием УПРЗА «Эколог-Город», обеспечивающие получение необходимых данных для выполнения оценки риска.

Расчеты с использованием компьютерного моделирования процесса рассеивания базируются на данных об объеме и составе выбросов, характеристиках источников выбросов, а также на метеорологической и пространственной информации. Точность расчетов зависит от качества исходной информации, совершенства моделирования физических и химических процессов и изменчивости состояния атмосферы. Часто указанную выше совокупность данных называют моделью рассеивания [3].

Моделирующей программой (моделью) называют компьютерную программу, которая рассчитывает приземные концентрации в заданных точках местности на основе математических формул, описывающих процессы рассеивания химических веществ в приземном слое атмосферы. Она является неотъемлемой частью модели рассеивания, поскольку последняя всегда использует специфику компьютерной программы [2].

Достоинства и недостатки применения компьютерных моделей, по сравнению с применением результатов мониторинга, часто обсуждаются при анализе вариантов реализации этапа оценки экспозиции [4, 6, 7]. Наиболее важным, на наш взгляд, достоинством компьютерного моделирования является возможность выполнять ретроспективные и перспективные исследования и проводить выбор оптимального режима работы источников выбросов с целью снижения риска [2]. Главным недостатком применения моделирующих программ является более низкая точность расчетов по сравнению с качественным мониторингом, что вносит дополнительные неопределенности в величины оцениваемых рисков.

В рамках выполнения федеральной программы «Чистый воздух» нами проводилась оценка риска здоровью населения ряда городов. Расчеты концентраций от вредных воздушных выбросов всех городских объектов (предприятий, организаций, автотранспорта и автономного индивидуального теплоснабжения) выполнялись с применением унифицированной программы расчета

загрязнения атмосферы «Эколог-Город», версия 4.6 [3], входящей в серию программ «Эколог».

Эта программа является одной из немногих программ, позволяющих одновременно рассчитывать концентрации химических веществ от всех стационарных источников города и автотранспорта без каких-либо ограничений на объем вычислений.

УПРЗА «Эколог-Город» имеет ряд существенных достоинств:

– позволяет учитывать влияние застройки на рассеивание выбросов;

– дает возможность рассчитывать концентрации от различных типов источников по всему городу с нужным шагом расчетной сетки;

– вычисляет вклады отдельных предприятий и их источников в суммарные концентрации в заданных точках исследуемой территории;

– позволяет сформировать ряд нужных в работе отчетов, в частности, отчет по суммарным выбросам веществ в городе и отчет по вкладам отдельных предприятий по каждому анализируемому веществу.

К серьезным недостаткам УПРЗА «Эколог» необходимо отнести:

– отсутствие возможности рассчитать концентрации химических веществ одночасового осреднения, что увеличивает неопределенность оценки риска кратковременных воздействий из-за того, что приходится использовать максимально-разовые концентрации длительностью 20–30 мин;

– отсутствие учета временных режимов работы источников выброса, что вносит дополнительные неопределенности при расчете краткосрочных концентраций.

Последовательность выполнения задач при расчете приземных концентраций следующая.

На первом шаге проводится ввод данных, необходимых для проведения расчетов. На втором – выполняется расчет концентраций в штатном режиме работы. На третьем шаге проводится экспорт файлов концентраций в один из форматов электронных таблиц (xls, csv и др.) по каждому веществу. Затем из полученных файлов отбираются точки воздействия, попадающие на жилые районы. Экспортируемые таким образом значения концентраций в нужных точках являются основными исходными данными для последующей оценки риска здоровью.

Широкое применение в работе по расчетам экспозиции находит программа Surfer [5, 8], разработанная компанией Golden Software. Она используется при обработке графических материалов и картографических данных. Surfer – средство для моделирования и анализа поверхностей, визуализации ландшафта, генерирования сетки, разработки карт и других графических операций. Она легко импортирует готовые изображения, полученные в других ГИС. Surfer обладает многими функциями ГИС, но значительно проще в работе.

При расчете концентраций и на этапе оценки риска эта программа применяется для решения следующих задач:

– оцифровки точек воздействия для ввода координат в модель рассеивания;

– получение ситуационных карт местности из имеющихся отмасштабированных карт в электронном виде и на бумажном носителе (предварительно отсканированных);

– нанесение на карту информации об уровне загрязнения местности выбросами и рисках в виде изолиний и / или цветовой растровой заливки;

– добавление на карту необходимых надписей и различных графических фигур.

При расчете показателей, характеризующих численность населения, находящуюся под воздействием факторов риска[1], необходимо знать общую численность населения в точке воздействия или в жилой зоне, что часто вызывает трудности из-за отсутствия нужных данных в органах муниципальных образований.

Обычно при оценке риска требуется довольно детальная информация о численности населения: плотность населения (человек на $м^2$), подомовая, в пределах улиц или в крайнем случае численность населения в жилой зоне.

Можно применять наиболее приемлемый из приведенных ниже вариантов или их комбинацию.

Такой способ, как официальный запрос в администрацию территориального образования о количестве проживающего населения в жилых зонах, может дать недостаточную полноту, низкую точность или вообще «нулевой» результат. Неудовлетворительная точность полученных данных может также возникнуть из-за того, что область оценки риска не совпадает с границами территориальных образований или включает их не полностью.

Если известна плотность населения (например, из ГИС), то число жителей под воздействием в точке легко рассчитать как плотность населения в рассматриваемой части жилой зоны, умноженную на площадь, отнесенную к рассматриваемой точке.

При отсутствии данных о плотности населения, но наличии карты с жилой застройкой можно использовать приближенный метод определения численности населения с применением комбинации следующих подходов в зависимости от типа застройки.

Информация по числу жителей домов в зонах многоэтажной жилой застройки может быть получена с портала государственного ЖКХ (ГосЖКХ: https://gosjkh.ru), в котором приведены сведения о домах, управляемых ЖКХ в городах России. Там же для многих домов указана численность проживающего в них населения. Можно также использовать данные с порталов МинЖКХ (https://mingkh.ru) и Dominfo (https://dominfo.ru). При обработке данных рекомендуется соблюдать следующий порядок.

Определить улицы и номера домов на них, после чего с помощью портала ГосЖКХ найти информацию о количестве жителей каждого дома. При отсутствии искомых данных их можно рассчитать, сравнив с похожими домами на улице, где такая информация указана.

Численность населения жилой зоны с многоэтажной застройкой рассчитывается как сумма жителей всех домов в ней.

Для индивидуальной жилой застройки численность населения определятся следующим образом:

– подсчитывается число домов в жилых зонах с помощью, например, сервиса «Яндекс. Карты»;

– количество жителей каждого дома принимается равным трем (среднестатистическое значение).

[1] Расчет показателей, характеризующих численность населения под воздействием факторов потенциального риска причинения вреда здоровью человека объектами санитарно-эпидемиологического надзора: методические рекомендации / утв. приказом Роспотребнадзора от 07 октября 2015 г. № 1025. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. – 31 с.

Предложенные подходы к решению ряда практических задач при расчете концентраций выбросов химических веществ в атмосферном воздухе позволяют эффективно выполнить этап количественной оценки экспозиции с использованием УПРЗА «Эколог-Город». Они дают возможность формировать необходимые данные для выполнения этапа оценки риска здоровью. Предложенные подходы позволяют учесть специфику этапа оценки риска при выполнении расчетов концентраций, подготовке необходимой графической информации и оптимизации плотности расчетных точек, предоставляют различные способы расчета численности населения. Этим они ощутимо облегчают выполнение оценки риска и позволяют проводить ее более качественно и быстро.

Рассмотренные задачи можно также успешно использовать с другими версиями УПРЗА серии «Эколог», что подтверждает их применение в работах по оценке риска здоровью населения, проводимых в ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана.

Список литературы

1. Основные элементы оценки риска для здоровья: пособие для семинаров / С.М. Новиков, С.Л. Авалиани, М.М. Андрианова [и др.]. – М.: КЦ по оценке риска, 1998. – 112 с.

2. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин [и др.]; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

3. Программный комплекс «Эколог-Город»: руководство пользователя. – СПб.: Интеграл, 2020.

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

5. Эколого-геологическое картирование: учебно-методическое пособие для вузов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского ГУ, 2009. – 69 с.

6. Guidelines for Human Exposure Assessment [Электронный ресурс] // U.S. EPA. – 2019. – URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/guidelines_for_human_exposure_assessment_final2019.pdf (дата обращения: 14.03.2022).

7. Science and Decisions: Advancing Risk Assessment. – Washington, DC: National Academies Press (US), 2009. – 422 p.

8. Surfer 12. Powerful Contouring, Gridding, and Surface Mapping. Full User's Guide [Электронный ресурс] // Golden Software Inc. – URL: http://downloads.goldensoftware.com/guides/Surfer12_Users_Guide_Preview.pdf (дата обращения: 14.06.2022).

Методологические исследования оперативного анализа для применения в ГИС «Эпидемиологический атлас России»

С.А. Сарсков, Г.Г. Побединский, М.В. Вьюшков

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени академика И.Н. Блохиной», г. Нижний Новгород, Россия

Рассмотрен опыт по оперативному мониторингу заболеваемости на примере мониторинга заболеваемости COVID-19.

Ключевые слова: медицинская география, оценка эпидемиологической ситуации, оперативный анализ.

В эпидемиологии принято различать ретроспективный и оперативный эпидемиологический анализ. Ретроспективный эпидемиологический анализ включает анализ уровня, структуры и динамики инфекционной заболеваемости, которая проводится с целью обоснования перспективного планирования профилактических и противоэпидемических мероприятий. Как правило, его проводят по итогам календарного года. Оперативный эпидемиологический анализ является логическим продолжением ретроспективного эпидемиологического анализа и представляет собой динамическую оценку состояния и тенденций развития эпидемического процесса для уточнения мероприятий по профилактике. В оперативном эпидемиологическом анализе выделяют два направления, предусматривающие анализ информации, непосредственно отображающей состояние и тенденции развития эпидемического процесса, и информации, содержащей опосредствованные признаки проявления эпидемического процесса.

Наиболее часто встречающимся методом статистического анализа в эпидемиологии является ретроспективный анализ случаев инфекционной заболеваемости. До недавнего времени аналитико-прогностическая информация в геоинформационных системах эпидемиологической направленности основывалась на ретроспективных данных о количестве заболевших, с временной детализацией один месяц и пространственной детализацией до административных (муниципальных) районов. Для реализации методов оперативного эпидемиологического анализа требуется принципиальное изменение структуры информации о заболеваемости в части повышения пространственной и временной детализации, разработка новой структуры баз данных и новой системы получения оперативной информации об инфекционных и паразитарных заболеваниях. На сегодняшний день оперативный анализ эпидемиологической ситуации, особенно связанной с COVID-19, является важнейшей задачей современной эпидемиологии на ближайшее время.

Одним из примеров оперативного анализа является картографическое представление случаев заболеваний, смерти и процента подходящего населения, полностью вакцинированного против COVID-19 в США на официальном сайте Центров по контролю и профилактике заболеваний Министерства здравоохранения и соци-

альных услуг США (Centers for Disease Control and Prevention – CDC of the U.S. Department of Health and Human Services) [6]. Этот сайт предоставляет собой интегрированный обзор ключевых данных для мониторинга пандемии COVID-19 в Соединенных Штатах за последние 7 дней. Он позволяет исследовать стандартизованные данные по всей стране. При наведении курсора на конкретный штат всплывает число случаев заболевания в возрастных группах старше 12 лет, старше 18 лет и старше 65 лет и случаев смерти, зарегистрированных в каждой юрисдикции, а также общее количество введённых доз и скорость введения доз на 100 тыс. населения. Национальная программа CDC по геномному надзору COVID-19 выявляет и отслеживает варианты SARS-CoV-2, циркулирующие в Соединенных Штатах, и рассчитывает долю вариантов, вызывающих инфекции, на национальном уровне и по регионам. Другими примерами картографического представления и мониторинга случаев заболеваний среди зарубежных ГИС является Web-ГИС «WHO European Region COVID19 Subnational Explorer (Европейский регион ВОЗ COVID-19 субнациональный исследователь)», которая позволяет представить в табличном и картографическом виде ситуацию по заболеваемости за 7 или 14 дней, а также совокупную по всему Европейскому региону ВОЗ или по отдельным странам [7].

На сегодняшний день в нашей стране проводится все больше исследований при помощи ГИС, методов моделирования, прогнозирования и, что особенно важно, поиск обоснований для принятия оперативных и стратегических решений на уровне территориального управления здравоохранением от отдельного города до масштабов всей страны. Все больше появляется эпидемиологических атласов и результатов НИР в этой области [1].

Среди отечественных примеров по визуальному (картографическому) отображению ситуации, связанной с COVID-19, существует ряд работ [2–4]. Все существующие тематические карты объединяет способ предоставления информации, а именно отображение на картографической основе общего количество случаев заболевания в стране, регионах страны или административно-территориальных образованиях без детализации до улиц и домов, возрастного состава и лабораторной диагностики. Отличительной особенностью тематического экспериментального раздела атласа «Мониторинг заболеваемости COVID-19» ГИС «Эпидемиологический атлас Российской Федерации» было предоставление информации с детализацией до улицы и дома, что дает возможность оценивать эпидемиологическую ситуацию в конкретной местности, знать активные эпидемиологические очаги и проводить на основе оперативного эпидемиологического анализа необходимые санитарно-эпидемиологические мероприятия [5]. В локальную базу данных «Мониторинг заболеваемости COVID-19» были включены следующие данные: координаты места нахождения инфицированного, описание места локализации, включающее наименование области, района, населенного пункта, улицы, дома, эпидномер, дата заболевания и дата подтверждения. Координаты места нахождения инфицированного определяются по почтовому адресу (без указания квартир) с использованием функции геокодирования.

В ходе работы экспериментального раздела атласа были выявлены проблемы с достоверностью данных. Представляемые в ННИИЭМ данные в формате Microsoft Excel формировались вручную, что приводило к дублированию уже зарегистрированных лиц, указанию некорректных данных по адресам и эпидномерам. Например, приводятся адреса регистрации инфицированных, а не адреса

фактического проживания, вследствие чего геокодирование выдает координаты за границей Нижегородской области, и процедура, соответственно, некорректно отражает реальную ситуацию по инфицированным. В ряде случаев адрес фиксируется неполным, вследствие чего функция геокодирования относит значительное число инфицированных к географическим центрам области, районов, а не к фактическому адресу.

Экспериментальные работы показали, что временная детализация должна быть не менее одной недели, а в идеальном случае – один день. Система получения оперативной информации о заболеваниях также должна быть существенно изменена в части сокращения времени поступления информации. Кроме того, выявлена существенная зависимость качества работы модуля картографической визуализации от полноты исходных данных. Искажения и пропуски в почтовом адресе приводят к непредсказуемым последствиям в работе функции геокодирования и, соответственно, модуля картографической визуализации.

Опыт эксплуатации прототипа раздела эпидемиологического атласа «Мониторинг заболеваемости COVID-19» [5] дает возможность оценивать эпидемиологическую ситуацию в конкретной местности в полной мере только после доработки и использования корректной информации. Выходом из сложившийся ситуации с некорректными данными может стать использование исходных данных из Центров гигиены и эпидемиологии и территориальных управлений Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации, представленных в «Единую информационно-аналитическую систему Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека» (ЕИАС Роспотребнадзора) ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора в виде электронных экстренных извещений в ежедневном режиме. Обработка данных в Роспотребнадзоре всегда основывалась на разных платформенных решениях, что затрудняло обработку в информации и принятие решений. ЕИАС Роспотребнадзора позволит унифицировать и центрировать информацию. На данный момент Центры гигиены и эпидемиологии и территориальные Управления Роспотребнадзора постепенно переходят на работу в системе ЕИАС Роспотребнадзора с целью унификации статистической отчетности, с помощью которой можно формировать как ежемесячную статистическую отчетность, так и осуществлять оперативный анализ заболеваемости COVID-19 и иной инфекционной и паразитарной патологии.

Список литературы

1. ГИС в здравоохранении РФ: данные, аналитика, решения: Всероссийская конференция [Электронный ресурс]. – URL: http://gishealth.ru/?page_id=441 (дата обращения: 02.02.2021).

2. Карта заразившихся коронавирусом в Нижегородской области [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vgoroden.ru/mesta/mesto/kartazarazivshihsya-koronavirusom-v-nizhegorodskoy-oblasti (дата обращения: 24.07.2020).

3. Коронавирус-монитор – интерактивная карта распространения и статистика COVID-19 [Электронный ресурс]. – URL: https://coronavirusmonitor.info/ (дата обращения: 24.07.2020).

4. Онлайн-карта распространения коронавируса по городам и районам Нижегородской области [Электронный ресурс]. – URL: https://pravda-nn.ru/news/opublikovana-

onlajn-karta-rasprostraneniya-koronavirusapo-gorodam-i-rajonamnizhegorodskoj-oblasti/ (дата обращения: 24.07.2020).

5. Побединский Г.Г., Сарсков С.А., Вьюшков М.В. Прототип раздела эпидемиологического атласа «Мониторинг заболеваемости COVID-19» // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием, Пермь, 05–09 октября 2020 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – С. 394–402.

6. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/cases-in-us.html (дата обращения: 08.09.2022).

7. WHO European Region COVID-19 Subnational Explorer [Электронный ресурс]. – URL: https://who.maps.arcgis.com/apps/dashboards/9cc5ff7e69bb465bb917605e6c0db4f9 (дата обращения: 09.09.2022).

Влияние перепадов атмосферного давления на здоровье населения Арктических регионов Российской Федерации

А.А. Хасанова

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

Установлено, что для оценки влияния суточных перепадов атмосферного давления на здоровье человека в качестве приоритетных ответов целесообразно рассматривать возникновение острых заболеваний сердечно-сосудистой системы. В качестве значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению данных ответов, может быть использована величина суточных перепадов атмосферного давления, составляющих 7,5 мм рт. ст. и менее. На примере одного из Арктических регионов Российской Федерации установлено, что количество дней с перепадами атмосферного давления, превышающими данную величину, может достигать 80,4 в год. Для населения, проживающего на данной территории, установлены высокие (неприемлемые) уровни риска по классу болезней системы кровообращения ($6{,}33 \cdot 10^{-3}$), ассоциированные с влиянием атмосферного давления.

Ключевые слова: атмосферное давление, суточные перепады атмосферного давления, оценка риска, Арктические регионы Российской Федерации, адаптация, сердечно-сосудистая система.

Арктическая зона Российской Федерации охватывает девять регионов: четыре относятся к ней полностью (Мурманская область, Ямало-Ненецкий, Ненецкий и Чукотский автономные округа), пять – частично (Республики Саха (Якутия), Красноярский край, Архангельская область, республики Коми и Карелия) [2]. Площадь

арктических территорий составляет 4,8 млн км^2 (28 % территории страны). Здесь проживает 2,6 млн человек, что составляет более половины населения мировой Арктики [2, 16, 17].

Данные регионы характеризуются комплексом природно-климатических факторов, создающих риск возникновения нарушений здоровья населения [18–20]. Колебания атмосферного давления, наряду с изменениями фотопериодизма и факторами электромагнитной природы, относятся к специфическим климатическим факторам северных широт [11, 15]. Амплитуда перепадов атмосферного давления на данной территории достигает 52,5–63,7 мм рт. ст. зимой и 30,0–37,5 мм рт. ст. – летом. Скорость изменения давления может достигать 6,7–9,0 мм рт. ст. за 3 ч [6, 16]. Всё это может служить причиной формирования риска для здоровья населения, так как изменения атмосферного давления способны вызывать различные метеотропные реакции, способствуя нарушению функционирования некоторых органов и систем организма [1, 3].

Для адаптации населения, проживающего на данной территории, к сложившимся условиям целесообразно провести оценку рисков, использование которой позволит дать количественную характеристику и прогноз последствий влияния перепадов атмосферного давления на здоровье населения [7, 12, 13].

Цель исследования – оценка уровней риска для здоровья населения, ассоциированных с влиянием перепадов атмосферного давления, в условиях Арктических регионов Российской Федерации.

Материалы и методы. В качестве показателя, по которому целесообразно оценивать влияние атмосферного давления на здоровье человека, была использована величина суточных перепадов атмосферного давления [19].

Для достижения поставленной цели:

– установлены вероятные ответы со стороны здоровья населения, ассоциированные с действием суточных перепадов атмосферного давления;

– определено значение экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению и развитию установленных эффектов;

– проведена оценка фактических уровней экспозиции, характерных для анализируемой территории;

– выполнен расчёт дополнительной вероятности заболеваемости, ассоциированной с действием фактора атмосферного давления, и формируемых уровней риска, с их последующей характеристикой.

Для установления вероятных ответов со стороны здоровья населения, ассоциированных с влиянием суточных перепадов атмосферного, и значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению и развитию установленных эффектов, было проанализировано более 80 отечественных и зарубежных исследований в базах данных CyberLeninka, eLibrary, Google Scholar, NCBI PubMed, ResearchGate и соответствующих критериям релевантности.

Для уточнения нозологических форм, установленных в качестве ответов, по данным анализа научной литературы была использована Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10).

Расчёт и оценка уровней риска здоровью населения, ассоциированных с влиянием фактора атмосферного давления, были проведены на примере населения, проживающего на территории одного из промышленных городов, расположенного в Арктическом регионе Российской Федерации.

Для расчёта уровней риска, ассоциированных с действием фактора атмосферного давления, была рассчитана дополнительная вероятность заболеваемости населения. В основе расчета лежала система параметризированных зависимостей среднемесячной заболеваемости населения по указанным причинам от количества дней в месяц с суточными перепадами атмосферного давления выше значения экспозиции, не вызывающего развития неблагоприятных эффектов. В качестве исходных данных по климатическим параметрам были использованы результаты наблюдений на метеорологических станциях исследуемой территории в период с 01.01.2014 по 31.12.2018 на уровне станции по фактору «Атмосферное давление (гПа) с суточным осреднением».

Для определения величины экспозиции фактора атмосферного давления для исследуемой территории было рассчитано количество дней за 2014–2018 гг. с перепадами выше значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению и развитию установленных эффектов.

В качестве исходных данных по заболеваемости населения использовались данные фонда обязательного медицинского страхования (ФОМС) о количестве обратившихся за медицинской помощью и застрахованных на исследуемой территории за 2014–2018 гг. по причинам болезней отдельных нозологических форм по классу болезней сердечно-сосудистой системы.

Моделирование причинно-следственных связей между атмосферным давлением и заболеваемостью населения выполнялось с использованием методов математической статистики. Общий вид причинно-следственных связей был представлен линейной регрессионной моделью. Все модели проходили проверку на статистическую значимость установленных связей ($p < 0{,}05$) и экспертную оценку соответствия медико-биологическим представлениям. Дополнительная вероятность заболевания, ассоциированная с воздействием фактора атмосферного давления, определялась как разность оценок заболеваемости при фактическом уровне действия фактора и уровне, при котором, вероятно, не происходит возникновения неблагоприятных эффектов для здоровья населения, обусловленных его действием. Расчёт уровней риска выполнялся как произведение дополнительной вероятности заболеваемости, ассоциированной с действием фактора атмосферного давления, и средневзвешенной тяжести заболеваний, используемых в качестве ответов. Тяжесть заболеваний определялась в соответствии с публикацией Всемирной организации здравоохранения WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019 и измерялась в виде безразмерного коэффициента из диапазона от 0 до 1 [30].

Результаты. Уставлено, что суточные перепады атмосферного давления могут способствовать формированию риска для здоровья населения, обусловленного нарушением функций сердечно-сосудистой системы, а именно – обострения течения её ведущих болезней – артериальной гипертензии, поражений сосудов мозга, цереброваскулярных заболеваний, стенокардии [4, 9, 10]. Так, в исследовании В.И. Хаснулина определена корреляционная зависимость между увеличением случаев обострений артериальной гипертензии и увеличением суточной амплитуды атмосферного давления [8]. По данным исследования Т.А. Бережновой с соавт. установлены статистически значимые коэффициенты парной корреляции перепадов атмосферного давления и числа случаев обращений за медицинской помощью с диагнозом стенокардия [14]. Беляевой В.А. также было установлено, что суточная изменчивость атмосферного

давления вносит существенный вклад в увеличение частоты возникновения приступов стенокардии [5]. В работе N. Boussoussou и др. установлена достоверная корреляционная связь между суточными перепадами атмосферного давления и частотой возникновения острых сердечно-сосудистых заболеваний [24]. В исследованиях P.D. Houck выявлена достоверная связь между снижением атмосферного давления и возникновением острого инфаркта миокарда [26]. В работе S. Goerre et al. также установлено статистически значимое влияние перепадов атмосферного давления на увеличение частоты случаев инфаркта миокарда [23]. Десятилетнее лонгитюдное исследование S. Danet et al. по изучению влияния суточного атмосферного давления на частоту инфаркта миокарда и коронарной смертности позволило установить V-образную зависимость с минимумом дневной частоты событий при 1016 мбар. Так, снижение атмосферного давления на 10 мбар < 1016 мбар и увеличение на 10 мбар > 1016 мбар были связаны с увеличением частоты событий на 12 и 11 % соответственно [29]. В работе J. Dawson падение атмосферного давления за предшествующие 48 ч было связано с увеличением частоты госпитализаций по поводу геморрагического инсульта [21]. В исследовании X. Qi et al. была выявлена достоверная положительная корреляционная связь между возникновением ишемического инсульта и атмосферным давлением [25]. Систематический обзор литературы и метанализ исследований, проведённые в рамках работы W.A. Piters et al. по оценке взаимосвязи между атмосферным давлением и возникновением субарахноидального кровоизлияния, показали, что лишь в 7 из 17 исследований были обнаружены значимые связи, при этом направления этих связей были различны [27, 28]. В связи с этим нецелесообразно рассматривать возникновение субарахноидального кровоизлияния в качестве ответа со стороны здоровья населения, ассоциированного с действием перепадов атмосферного давления.

Проведённый анализ позволяет рассматривать артериальную гипертензию, стенокардию, острый инфаркт миокарда и инсульт в качестве приоритетных видов нарушений со стороны здоровья населения, ассоциированных с суточными перепадами атмосферного давления.

Установленные по результатам анализа данных научной литературы виды нарушений здоровья, ассоциированные с действием суточных перепадов атмосферного давления, для проведения дальнейшей оценки риска были соотнесены с нозологическими формами в соответствии с МКБ-10. Определено, что для оценки влияния суточных перепадов атмосферного давления на здоровье населения в качестве эффектов в рамках влияния на сердечно-сосудистую систему целесообразно рассматривать следующие нозологические формы: острый инфаркт миокарда (I21), инсульт, не уточненный как кровоизлияние или инфаркт (I64), стенокардия (грудная жаба) (I20), эссенциальная (первичная) гипертензия (I10) и гипертензивная болезнь сердца (I11).

По данным ряда релевантных зарубежных исследований, к возникновению острых заболеваний сердечно-сосудистой системы (в том числе острого инфаркта миокарда, гипертонических кризов, острых нарушений мозгового кровообращения, острых заболеваний коронарных сосудов и др.) приводят перепады атмосферного давления составляющие 7,5 мм рт. ст. в сутки [22, 29]. В связи с этим данное значение может быть использовано в качестве значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению неблагоприятных эффектов для здоровья населения, ассоциированных с фактором атмосферного давления.

По результатам расчёта фактического уровня экспозиции, характерного для одного из городов Арктического региона Российской Федерации, установлено, что при осреднении за 5 лет количество дней с суточными перепадами атмосферного давления, составляющих 7,5 мм рт. ст. и более, – 80,4 дня в год.

Установлено, что дополнительная вероятность заболевания населения, проживающего на анализируемой территории, по классу болезней системы кровообращения в рамках выделенных нозологических форм составляет $1{,}1 \cdot 10^{-2}$. Уровень риска развития болезней системы кровообращения в рамках выделенных нозологических форм составил $6{,}33 \cdot 10^{-3}$.

Для характеристики рассчитанных уровней риска была использована следующая классификация:

1) $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ и менее – минимальный уровень риска;
2) $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ – $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ – допустимый (приемлемый) уровень риска;
3) $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ – $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ – настораживающий уровень риска;
4) $>10^{-3}$ – высокий уровень риска.

Настораживающий и высокий уровни риска характеризуются как неприемлемые, при установлении которых целесообразно рекомендовать разработку мер по предупреждению нарушений и созданию условий сохранения здоровья населения. При этом они должны быть направлены на те органы и системы, для которых были установлены неприемлемые уровни риска.

В соответствии с предложенной классификацией установленный уровень риска для населения, проживающего на территории одного из Арктических регионов Российской Федерации, по классу болезней системы кровообращения (в рамках выделенных нозологических форм), ассоциированный с влиянием атмосферного давления, характеризуется как высокий (неприемлемый) уровень риска. Полученные результаты могут послужить ориентиром для разработки мер по адаптации к сложившимся условиям для населения, проживающего в условиях Арктических регионов Российской Федерации.

Выводы. Установлено, что для оценки влияния суточных перепадов атмосферного давления на здоровье человека в качестве приоритетных ответов целесообразно рассматривать возникновение острых заболеваний сердечно-сосудистой системы. В качестве значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению данных ответов, может быть использована величина суточных перепадов атмосферного давления, составляющих 7,5 мм рт. ст. и менее. На примере одного из Арктических регионов Российской Федерации установлено, что количество дней с перепадами атмосферного давления, превышающими данную величину, может достигать 80,4 в год. Для населения, проживающего на данной территории, установлены высокие (неприемлемые) уровни риска по классу болезней системы кровообращения, составляющие $6{,}33 \cdot 10^{-3}$, ассоциированные с влиянием атмосферного давления

Список литературы

1. Алтаева Н.К. Батыргалиева М.С. Влияние атмосферного давления на организм человека // Молодой ученый. – 2019. – № 20. – С. 160–161.

2. Арктические регионы России [Электронный ресурс] // Арктический совет. Председательство Российской Федерации 2021–2023. – URL: https://arctic-council-russia.ru/useful/ (дата обращения: 08.09.2022).

3. Аскерова А.А., Храпов П.В. Анализ комфортности регионов мира для метеозависимых людей // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – № 9. – С. 46–57.

4. Беляева В.А. Влияние факторов космической и земной погоды на частоту вызовов скорой медицинской помощи к пациентам с острым нарушением мозгового кровообращения // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 4. – С. 76–82.

5. Беляева В.А. Особенности сезонной динамики частоты вызовов скорой медицинской помощи к пациентам со стенокардией // Сеченовский вестник. – 2019. – С. 5–10.

6. Бойко Е.Р. Метеотропные реакции и природа адаптивных процессов у человека на Севере // Гелиогеофизические факторы и здоровье человека: материалы междунар. симп. − Новосибирск, 2005. − С. 46−48.

7. Васильев М.П. Изучение международного опыта по разработке национальных планов адаптации к изменению и изменчивости климата (структура, цели, ожидаемые результаты, исполнители) // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2017. – № 585. – С. 110–125.

8. Влияние метеорологических факторов в различные сезоны года на частоту возникновения осложнений гипертонической болезни у жителей Новосибирска / В.И. Хаснулин, В.В. Гафаров, М.И. Воевода [и др.] // Экология человека. – 2015. – № 7. – С. 3–8.

9. Галичий В.А. Сезонный фактор в проявлениях сердечно-сосудистой патологии // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – № 1 (51). – С. 7–17.

10. Григорьева Е.А., Кирьянцева Л.П. Кардиореспираторная патология, вызываемая сезонными изменениями погоды, и меры по её профилактике // Информационный бюллетень «Здоровье населения и среда обитания». – 2016. – № 2. – С. 7–10.

11. Гудков А.Б., Попова О.Н. Пульмонотропные факторы Европейского Севера (обзор) // Arctic Environmental Research. – 2008. - № 2. – С. 15–22.

12. Метелица Н.Д., Носков С.Н. Мероприятия по адаптации к изменению климата в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону, 21–22 октября 2020 г. / под ред. А.Ю. Поповой, А.К. Носкова. – Ростов-на-Дону: Издательство ООО «МиниТайп», 2020. – 444 с.

13. 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.

14. Оценка вероятной взаимосвязи обострений болезней сердечно-сосудистой системы с метеорологической обстановкой / Т.А. Бережнова, Я.В. Кулинцова, О.В. Маслов [и др.] // Здоровье и образование в XXI веке. – 2021. – № 8. – С. 63–69.

15. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические проблемы в Арктике // Известия Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 32. – С. 33–40.

16. Талыкова Л.В., Быков В.Р. Исследование эффектов профессионального воздействия в условия Арктической зоны (обзор литературы) // Российская Арктика. – 2021. – № 14. – С. 41–53.

17. Фаузер В.В. Население и демографическое развитие Севера России // Север как объект комплексных региональных исследований. – Сыктывкар, 2005. − С. 96−101.

18. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике / В.П. Чащин, А.Б. Гудков, О.Н. Попова, Ю.О. Одланд, А.А. Ковшов // Экология человека. – 2014. – № 1. – С. 3–12.

19. Хасанова А.А. Выделение приоритетных климатогеографических факторов для включения в дальнейшую оценку риска здоровью населения (на примере территорий Крайнего Севера) // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой, Пермь, 5-9 октября 2020 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – Т. 1. – С. 123–130.

20. Щербина Ю.Ф., Попова О.Н. Характеристика резервных возможностей и эффективности вентиляции легких у жителей Крайнего Севера в контрастные сезоны года // Экология человека. – 2012. – № 12. – С. 10–15.

21. Associations between meteorological variables and acute stroke hospital admissions in the west of Scotland / J. Dawson, C. Weir, F. Wright [et al.] // Acta Neurol. Scand. – 2008. – Vol. 117, № 2. – P. 85–89. DOI: 10.1111/j.1600-0404.2007.00916.x

22. Complex effects of atmospheric parameters on acute cardiovascular diseases and major cardiovascular risk factors: data from the CardiometeorologySM study / N. Boussoussou, M. Boussoussou, G. Merész, M. Rakovics // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. Article number: 6358. DOI: 10.1038/s41598-019-42830-6

23. Impact of weather and climate on the incidence of acute coronary syndromes / S. Goerre, C. Egli, S. Gerber [et al.] // Int J Cardiol. – 2007. – Vol. 118, № 1. – P. 36–40. DOI: 10.1016/j.ijcard.2006.06.015

24. Occurrence of acute cardiovascular diseases under different atmospheric parameters / N. Boussoussou, M. Boussoussou, L. Entz, A. Nemes // Orv Hetil. – 2014. – Vol. 155, № 27. – P. 1078–1082. DOI: 10.1556/OH.2014.29926

25. Potential Impacts of Meteorological Variables on Acute Ischemic Stroke Onset / X. Qi, Z. Wang, X. Xia [et al.] // Risk Management and Healthcare Policy. – 2020. – № 13. – P. 615–621. DOI: 10.2147/RMHP.S253559

26. Relation of atmospheric pressure changes and the occurrences of acute myocardial infarction and stroke / P.D. Houck, J.E. Lethen, M.W. Riggs [et al.] // Am J Cardiol. – 2005. – Vol. 96, № 1. – P. 45–51. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.02.042

27. Relationship of aneurysmal subarachnoid hemorrhage to changes in atmospheric pressure: results of a prospective study / N. Buxton, C. Liu, D. Dasic [et al.] // J. Neurosurg. – 2001. – Vol. 95, № 3. – P. 391–392. DOI: 10.3171/jns.2001.95.3.0391

28. Seasonal and meteorological determinants of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a systematic review and meta-analysis / W.A. Piters, A. Algra, M.F. Broek [et al.] // J Neurol. – 2013. – Vol. 260, № 2. – P. 614–619. DOI: 10.1007/s00415-012-6687-z.

29. 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 [et al.] // Circulation. – 1999. – Vol. 100, № 1. – P. 101–107.

30. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019. Global Health Estimates Technical Paper WHO/ DDI/DNA/GHE/2020.3. – Geneva: World Health Organization, 2020. – 47 p.

Краткий обзор совеременных подходов к оценке степени неопределенности при разработке гигиенических стандартов

К.В. Четверкина[1,2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»,
г. Пермь, Россия

Представлен краткий обзор методических подходов, используемых при разработке гигиенических стандартов за рубежом. Актуальность изучения данной темы обусловлена тем, что существующая система гигиенических стандартов, применяемых в процедуре оценки риска здоровью, характеризуется наличием различных неопределенностей, которые могут оказать значительное влияние на конечный результат. При этом отсутствие системы учета неопределенностей может привести как к «ужесточению», так и «смягчению» величины гигиенических стандартов. Изучение зарубежного опыта позволит сформировать отечественные методические подходы к установлению степени неопределенности (достоверности) гигиенических критериев безопасности содержания химических веществ в объектах среды обитания.

Ключевые слова: оценка степени неопределенности, гигиенические стандарты, степень достоверности, аналитический обзор, степень достоверности.

В рамках проведения работ по оценке опасности химических веществ для здоровья человека чаще всего используется оценка степени токсичности, представленная в виде таких параметров, как, например, RFC, MRL, REV и др. Данные показатели применяются специалистами для проведения точечной оценки риска здоровью человека. Методологии, которые применяются при установлении данных параметров, как правило, используют имеющиеся в общем доступе научные данные (научные статьи и обзоры, экспертные мнения, рецензии, токсикологические профили, монографии т.д.), полученные из релевантных источников. Нередко эти данные недостаточны по своему наполнению и качеству. В этом случае экспертами применяются факторы неопределенностей, которые снижают или нивелируют «несовершенства» исследования.

С другой стороны, при использовании одних и тех же ресурсов эксперты могут приходить к разным результатам. В некоторых случаях различия могут объясняться появлением и использованием новых научных данных. В других случаях могут применяться различные методы обработки информации. В третьих – даже при условии использования одной и той же исходной информации и методов, различный ход суждений экспертов может привести к отличающимся друг от друга результатам.

Вышепредставленные ситуации подтверждают необходимость определения степени достоверности (неопределенности) гигиенических стандартов при их обосновании, что позволит получить более полную картину об уровне достоверности

полученного показателя, а также оценить необходимость и определить очередность его пересмотра.

Учитывая факт отсутствия в российской гигиенической науке разработок данной направленности, необходимость и актуальность изучения зарубежного опыта позволит сформировать в большей степени усовершенствованные отечественные методические подходы к установлению степени неопределенности (достоверности) гигиенических критериев безопасности содержания химических веществ в объектах среды обитания.

В связи с этим **цель исследования** – проведение аналитического обзора имеющихся зарубежом методических подходов к установлению степени неопределенности (достоверности) гигиенических стандартов при их разработке.

Материалы и методы. При проведении исследования использовались элементы систематического обзора научной литературы, полученной из релевантных зарубежных источников.

Результаты. По результатам анализа установлено, что наиболее детально изучением данного вопроса занимались в США (Integrated Risk Information System – IRIS), Texace (Texas Commission on Environmental Quality – TCEQ) и Австралии (Department of Health, Western Australia). При этом более широкое распространение за рубежом получило понятие «степень (уровень) достоверности».

Специалисты IRIS являются основоположниками в разработке данной темы и придерживаются мнения, что определение уровня достоверности подразумевает процесс, который включает в себя субъективную оценку имеющихся качественных и количественных данных при установлении гигиенического стандарта, и на основании этого выделяют три степени (уровня) достоверности: высокую, среднюю и низкую.

Считается, что уровень достоверности определяется качеством исследования и полнотой вспомогательных данных, на основании которых установлен гигиенический стандарт. При этом уровень достоверности, установленный по показателю «Полнота вспомогательных данных», имеет приоритет над показателем «качество исследования».

Высокий уровень достоверности указывает, что исходная база данных включала в себя исследование с полным набором конечных точек токсичности, установленных на различных видах млекопитающих, с последующим определением уровня $NOAEL_{HEC}$. Низкая степень достоверности, как правило, устанавливается для гигиенического стандарта, установленного посредством применения ряда эстраполяционных действий.

Эксперты отмечают, что степень достоверности выше для гигиенических стандартов, установленных на основе эпидемиологических данных, результаты которых подтверждаются данными при проведении токсикологических исследований [2].

Определение степени достоверности осуществляется в большей степени экспертно и включает в себя следующие показатели:

1) полнота дизайна исследования;
2) оценка зависимости «доза – ответ»;
3) учет межвидового различия;
4) другие факторы.

В основе определения степени достоверности специалисты из Техаса и Австралии придерживаются основных положений IRIS EPA. Но есть некоторые различия. Так, TCEQ при установлении степени достоверности учитывает все показате-

ли, на основании которых рассчитан гигиенический стандарт. Таким образом, уровень достоверности устанавливается путем оценки всех элементов. Выделяют также три степени достоверности: высокий, средний и низкий.

Помимо этого, TCEQ отдельно присваивает уровни достоверности ключевым исследованиям. Ключевое исследование имеет более высокий рейтинг достоверности, если оно основано на данных, полученных в эпидемиологических исследованиях, и подтверждается результатами токсикологических исследований. В то же время учитывается качество исследования. Так, ключевое исследование отличного качества получит высокий рейтинг достоверности, даже если его продолжительность не соответствует той, которая является определяющей при разработке соответствующего гигиенического стандарта. Качественная оценка исследования включает в себя оценку достаточности дизайна исследования; использованных методов статистической обработки; соблюдения принципов надлежащей лабораторной практики; выбора точек отправления, результатов полученных в других исследований и др.

В общей сложности TCEQ выделяют 10 основных показателей для установления степени достоверности:

– полнота базы данных;
– систематический обзор;
– качество ключевого исследования;
– оценка неблагоприятного действия (adverse effect);
– релевантность возникновения неблагоприятного действия относительно человека (relevance of adverse effect);
– выбор отправной точки (POD);
– наличие отправной точки, эквивалентной для человека (POD_{HEC});
– наличие чувствительных групп населения;
– наличие экспертной оценки (рецензии);
– сравнение показателей токсичности.

Важно отметить, что эксперты TCEQ считают, что применяемые подходы при оценке степени достоверности гигиенического стандарта достаточно универсальны и применимы к любому химическому веществу, но при этом по необходимости они могут быть пересмотрены [3].

Департамент здоровья правительства Западной Австралии в свои документах также определяет три степени достоверности – высокую, обоснованную (reasonable) и низкую. Более подробная характеристика каждого уровня представлена в таблице.

Характеристика степеней достоверности по данным департамента здоровья правительства Западной Австралии

Степень достоверности	Характеристика
Высокая	Наличие большого числа исследований по изучаемой теме; –качественно проведенное исследование и достаточность полученной информации высокого качества; – использование мониторинговых данных, полученных в течение длительного времени; – соответствие результатов математического моделирования реальным условиям; – наличие убедительных доказательств, свидетельствующих о формировании неблагоприятных последствий здоровью при воздействии изучаемого показателя

Окончание таблицы

Степень достоверности	Характеристика
Обоснованная (reasonable)	Информация носит ограниченный характер; – результаты проведенных исследований носят общий характер; – использование мониторинговых данных, полученных в течение непродолжительного (короткого) времени; – результаты математического моделирования не полностью соответствует реальным условиям; – наличие некоторого числа исследований, подтверждающих возможность формирования неблагоприятных последствий здоровью при воздействии изучаемого показателя
Низкая	– отсутствие данных обследования; – отсутствие возможности проведения математического моделирования и / или невозможность верификации полученной модели; – имеющаяся в доступе информация не является достаточной; – недостаточность информации о возможности формирования неблагоприятных последствий здоровью при воздействии изучаемого показателя

Исследователи считают, что на практике не представляется возможным установить высокий уровень достоверности полученных результатов, поэтому используется адаптивный подход, который направлен на описание проведения необходимых действий, способствующих снижению уровня неопределенности и, как следствие, повышению уровня достоверности [1].

Выводы. Проведенный обзор показал, что вопрос установления степени неопределенности (достоверности) гигиенических стандартов является актуальным и давно изучается учеными. В то же время разработка отечественных методических подходов к оценке степени неопределенности при разработке гигиенических стандартов позволила дать более углубленное понимание безопасности нормативов.

Список литературы

1. Health Risk Assessment (Scoping) Guidelines A health risk assessment process for risk assessors for use within the scoping stages of environmental and health impact assessments [Электронный ресурс]. – URL: https://ww2.health.wa.gov.au/~/media/Files/Corporate/general-documents/Environmental-health/Health-risk-assesment/HRA-Scoping.pdf (дата обращения: 20.09.2022).

2. Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentrations and Application of Inhalation Dosimetry [Электронный ресурс]. – URL: https://www.epa.gov/risk/methods-derivation-inhalation-reference-concentrations-and-application-inhalation-dosimetry (дата обращения: 20.09.2022).

3. TCEQ guidelines for systematic review and evidence integration. – TCEQ, 2017. – 53 p.

Обоснование ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования риска для здоровья

К.В. Четверкина[1,2], А.А. Хасанова[1], П.З. Шур[1]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»,
г. Пермь, Россия

Актуальность темы обусловлена тем, что химические вещества являются неотъемлемым компонентом повседневной жизни, обеспечивающим значительный вклад в функционирование и развитие экономики. Некоторые химические вещества способны формировать неприемлемые для здоровья человека риски. Для минимизации химических рисков, рационального управления и предотвращения рисков для здоровья человека, обеспечения химической безопасности населения необходимо их детальное изучение с целью выделения ключевых моментов, что позволит свести к минимуму негативные последствия для здоровья человека. В связи с этим проведены анализ и обоснование ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования риска для здоровья.

Ключевые слова: оценка риска, ключевые показатели, количественный анализ, ранжирование риска, здоровье.

Анализ и оценка химического риска с целью его минимизации служат инструментом, который позволяет проводить оценку, обеспечивающую научную поддержку процесса принятия решений [4]. Использование показателей химического риска здоровью населения позволяет оценить канцерогенный и неканцерогенный риск (в том числе для отдельных органов и систем организма человека). Методология оценки риска позволяет выявлять приоритетные вещества при различных маршрутах воздействия, приоритетные загрязненные среды и основные пути поступления химических веществ в организм человека [3].

Установление ключевых показателей является одной из основных задач процесса оценки и анализа риска. Ключевые показатели для количественного анализа и ранжирования химических рисков определяются одновременно на нескольких этапах методологии оценки риска (идентификации опасности, оценки экспозиции, оценки зависимости «экспозиция – ответ»).

Помимо этого необходимо учитывать имеющиеся маршруты воздействия химических веществ через приоритетные загрязненные среды, возможные пути поступления химических веществ в организм человека, а также продолжительность экспозиции.

Кроме того, необходимо выделить отдельно ряд вспомогательных показателей, часть которых может быть как измерена, так и представлена в виде стандартных величин.

Сложность и актуальность темы определила основную **цель исследования** – установление ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования химических рисков для здоровья.

Объектом исследования являлись научные публикации и нормативно-методические документы, посвященные проблемам выбора ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования химических рисков для здоровья.

Предметом исследования являлись результаты научных исследований, опубликованные в научной литературе, содержащие научно обоснованные методические подходы к выбору ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования химических рисков для здоровья.

Материалы и методы. В работе использован комплекс общенаучных методов исследования – анализ, синтез, системный и функциональный подходы, а также сравнительный, структурно-функциональный и другие методы исследования.

Результаты. ***Обоснование ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования канцерогенного риска для здоровья.*** Для решения задачи выделения ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования химического риска для здоровья первым шагом является выявление химических веществ, обладающих канцерогенными свойствами для человека. Международная научно-исследовательская организация, часть Всемирной организации здравоохранения – Международное агентство по изучению рака (МАИР, англ. – International Agency for Research on Cancer (IARC)), – членом которой является Российская Федерация, представляет собой одну из наиболее достоверных организаций, занимающихся исследованием причин онкологических заболеваний у людей и механизмов канцерогенеза, и активно участвует в проведении эпидемиологических и лабораторных исследований и распространении научной информации по данной теме. Согласно классификации МАИР выделяют пять основных групп канцерогенной опасности: «канцерогены для человека» (группа 1), «вероятные канцерогены для человека» (группа 2А), «возможные канцерогены для человека» (группа 2В), «не классифицируемые как канцерогены для человека» (группа 3) и «вероятные неканцерогены для человека» (группа 4).

Альтернативным вариантом получения информации о наличии канцерогенных свойств у химического вещества является классификация канцерогенности Агентства по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)), которая включает в себя следующие группы:

1) «канцерогены для человека» (группа А);

2) «вероятные канцерогены для человека» (группа В):

– имеется достаточно доказательств наличия канцерогенных свойств у изучаемого агента по данным экспериментов на животных, но ограничены доказательства канцерогенности для человека, т.е. они указывают на возможную причинно-следственную связь, но не исключают альтернативные объяснения – группа В1;

– незначительное количество или отсутствие данных о канцерогенности изучаемого агента для человека – группа В2;

3) «возможные канцерогены для человека» (группа С): имеются ограниченные свидетельства о наличии канцерогенных свойств у изучаемого агента по данным исследований на животных и незначительное количество или отсутствие данных по результатам эпидемиологических исследований;

4) «не классифицируемые как канцерогены для человека» (группа D): отсутствие достаточной информации, подтверждающей или опровергающей наличие канцерогенных свойств изучаемого агента для человека;

5) «доказательства наличия только неканцерогенного действия для человека» (группа Е): отсутствие доказательств канцерогенности изучаемых агентов, по крайней мере в двух компетентных тестах на животных на разных видах или в компетентных эпидемиологических исследованиях.

Для обеих классификаций термины «вероятный канцероген» и «возможный канцероген» не имеют количественного значения и используются как описание различных уровней доказательств канцерогенности для человека, где «вероятный канцероген» означает более высокий уровень доказательств, чем «возможный канцероген».

Несмотря на то что определение групп канцерогенности является вспомогательным показателем для выбора веществ, обладающих канцерогенным действием, приоритетными группами канцерогенности для задачи выделения ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования химического риска считаются 1, 2А, 2В по классификации МАИР и А, В, С по классификации EPA. Если по обеим классификациям химическое вещество относится к несопоставимым (отличающимся) группам канцерогенности, то следует ориентироваться на группу, химические вещества которой характеризуются более высоким уровнем доказательств наличия канцерогенного эффекта.

Необходимыми для количественной оценки канцерогенного риска показателями, численно отражающими вероятность развития канцерогенного эффекта на единицу экспозиции изучаемого химического вещества для человека, являются фактор канцерогенного потенциала (фактор наклона – *SF*) и единичный риск (*UR*).

Установление величины фактора канцерогенного потенциала проводится на основе данных, полученных в результате эпидемиологических исследований или при проведении исследований на животных, у которых механизм ответа на воздействие физиологически совпадает с механизмом ответа у человека.

Основным источником получения данных о величине фактора наклона является справочник факторов канцерогенного потенциала химических веществ, представленный в Руководстве Р 2.1.10.1920-04 [3].

Альтернативным количественным показателем вероятности развития канцерогенного эффекта на единицу экспозиции химического вещества для человека является единичный риск, который рассчитывается с учетом стандартных значений массы тела человека (70 кг) и суточного потребления исследуемого химического вещества (с питьевой водой – 2 л в сутки, из атмосферного воздуха – 20 $м^3$ в сутки) также в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 [3].

Предпочтительным вариантом использования количественных показателей, отражающих вероятность развития канцерогенного эффекта на единицу экспозиции, является фактор канцерогенного потенциала, однако допустимо использование единичных рисков.

Важным показателем для количественного анализа и ранжирования химического риска для здоровья населения является уровень экспозиции исследуемого химического вещества на человека, так как она является неотъемлемым элементом количественной оценки вероятности развития канцерогенного эффекта.

Экспозиция представляет собой величину (меру) воздействия изучаемого агента на организм. Для оценки канцерогенного действия используются среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы.

Не менее важной составляющей экспозиции является время воздействия. С учетом характера формирования злокачественных новообразований при расчете

канцерогенного риска здоровью рассматривается период длительного (хронического) воздействия. Для сценариев воздействия на человека в течение всей жизни преобладающей практикой является оценка воздействия путем расчета среднего суточного воздействия (или дозы) в течение жизни (*LADD*) в соответствии с прил. 3 Руководства Р 2.1.10.1920-04 [3]. Стандартное уравнение для расчета *LADD* имеет следующий вид (1):

$$LADD = [C \cdot V \cdot ED \cdot EF] / [BW \cdot AT \cdot 365], \quad (1)$$

где *LADD* – доза исследуемого вещества, поступающего в организм при пероральном / ингаляционном поступлении, мг/ (кг в день);

C – концентрация вещества в исследуемой среде;

V – скорость поступления вещества, содержащегося в исследуемой среде;

ED – продолжительность воздействия, лет;

EF – частота воздействия, дней в год;

BW – масса тела человека, кг;

AT – период усреднения экспозиции, для канцерогенов – 70 лет;

365 – число дней в году.

При расчете *LADD* необходимо учитывать особенности, характерные для разных путей поступления и связанные с воздействием на различные возрастные группы.

Текущие значения по умолчанию для некоторых параметров основаны на данных, полученных от взрослых. В то же время для детского и взрослого организма наблюдаются некоторые отличия и, например, при вдыхании одной и той же концентрации исследуемого химического вещества в организм ребенка и взрослого человека могут поступать разные дозы. В связи с этим при расчете средней суточной дозы необходимо учитывать особенности для детского и взрослого населения (различия по величине и продолжительности воздействия, массе тела и др.).

Непосредственно для количественной оценки канцерогенного риска используются средние суточные воздействия в течение жизни. Формулы расчета вероятности развития канцерогенных эффектов с использованием фактора канцерогенного потенциала и единичного риска имеют следующий вид (2) и (3) в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 [3]:

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (2)$$

$$CR = LADC \cdot UR, \quad (3)$$

где *CR* – уровень вероятности развития канцерогенных эффектов у населения;

LADD – средняя доза исследуемого вещества, попадающего в организм при пероральном / ингаляционном поступлении;

LADC – средняя концентрация исследуемого вещества, попадающего в организм при пероральном / ингаляционном поступлении;

SF – величина фактора канцерогенного потенциала при пероральном (*SFO*) / ингаляционном (*SFI*) поступлении;

UR – величина единичного риска при пероральном (*URO*) / ингаляционном (*URI*) поступлении (риск на 1 мг/л для воды или риск на 1 мг/м^3 для воздуха).

При проведении оценки канцерогенного риска следует рассчитывать суммарный канцерогенный уровень риска от всех веществ-канцерогенов, поступающих при одном пути поступления из одного объекта среды, с использованием формулы (4):

$$CRm = \sum CR, \quad (4)$$

где *CRm* – суммарный уровень канцерогенного риска; *CR* – канцерогенные риски, обусловленные разными компонентами химических веществ, поступающих из одного объекта среды при условии одного пути поступления.

Учитывая тот факт, что величина экспозиции, выраженная в виде дозы, изначально пересчитывается из величины концентрации, можно сделать вывод, что еще одним ключевым показателем для количественного анализа и ранжирования химического риска для здоровья населения является концентрация веществ, обладающих канцерогенным действием, в изучаемых объектах среды обитания. Вспомогательными показателями являются те, которые используются при расчете средней суточной дозы (*LADD*) или концентрации (*LADC*).

Еще одними из ключевых показателей для количественного анализа риска для здоровья населения являются показатели тяжести злокачественных новообразований, которые используются при расчете количественного уровня канцерогенного риска здоровью населения. Показатели тяжести злокачественных новообразований характеризуют степень изменения эффекта (от 0 до 1). Рекомендованные значения величин тяжести ответов приведены в документе ВОЗ «WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019» (Annex Table C Health state weights used in WHO Global Health Estimates) [5].

При оценке количественного уровня канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного воздействием химических веществ, загрязняющих окружающую среду, целесообразно ориентироваться на систему критериев приемлемости, рекомендуемых «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [3], где верхняя граница предельно допустимого риска не превышает уровень $1 \cdot 10^{-6}$.

Популяционный риск, который рассчитывается при проведении количественной оценки, отражает дополнительное число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия изучаемого фактора, и вычисляется с применением формулы (5) в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 [3]:

$$PCR = CR \cdot POP, \quad (5)$$

где *PCR* – уровень популяционного риска; *POP* – численность исследуемой популяции, количество человек.

В этом случае ключевым показателем для количественного анализа и ранжирования химического риска является численность населения, находящегося под воздействием, с учетом возрастной дифференциации групп населения.

Обоснование ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования неканцерогенного риска для здоровья. В рамках проведения полуколичественной оценки неканцерогенного риска устанавливаются химические вещества и вероятные ответы со стороны здоровья населения для обоснования параметров зависимости «экспозиция – ответ».

Для этого выполняется расчет таких показателей, как коэффициент опасности (*HQ*) и индекс опасности (*HI*). В качестве экспозиции используются концентрации (при ингаляционном поступлении) или дозы (при пероральном и накожном поступлении) химических веществ, которые определяются на основе результатов

мониторинга объектов окружающей среды, моделирования распространения и поведения химических веществ в окружающей среде, комбинации результатов мониторинга с данными, полученными с применением моделирования, моделей экспозиции.

Расчет поступления химических веществ проводится с учетом воздействующих концентраций, а также величины контакта, частоты и продолжительности воздействий, массы тела и времени осреднения экспозиции, которые установлены для каждого пути поступления. Общая формула расчета величины поступления химического вещества имеет следующий вид (6):

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \qquad (6)$$

где I – поступление (количество химического вещества на границе обмена), мг/кг массы тела в день;

C – концентрация химического вещества – средняя концентрация, воздействующая в период экспозиции (например, мг/л воды);

CR – величина контакта – количество загрязненной среды, контактирующей с телом человека в единицу времени или за один случай воздействия (например, л/день);

EF – частота воздействий, число дней в году;

ED – продолжительность воздействия, число лет;

BW – масса тела – средняя масса тела в период экспозиции, кг;

AT – время осреднения – период осреднения экспозиции, число дней.

При расчете доз используются вспомогательные показатели, которые делятся на две группы: общие (используются во всех формулах – частота воздействия, продолжительность воздействия, масса тела, период осреднения экспозиции) и специфичные (характеризуют величину контакта).

Из вышеизложенного очевидно, что концентрация химического вещества является ключевым показателем для количественного анализа и ранжирования неканцерогенного риска для здоровья.

После установления уровней экспозиции осуществляется расчет коэффициентов и индексов опасности путем их сопоставления с безопасными уровнями воздействия, в качестве которых выступают референтные дозы и концентрации (*ARfC*, *RfC*, *RfD*). Расчет *HQ* осуществляется в соответствии с формулой (7):

$$HQ = AD/RfD \text{ или } HQ = AC/RfC, \qquad (7)$$

где HQ – коэффициент опасности;

AD – средняя доза, мг/кг;

AC – средняя концентрация, мг/м^3;

RfD – референтная (безопасная) доза, мг/кг;

RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м^3.

HQ рассчитывается для различных путей поступления (ингаляционный, пероральный, накожный), а при ингаляционном пути – также отдельно для острого (кратковременного) и хронического (длительного) периода поступления.

Для расчета коэффициента опасности при кратковременном поступлении анализируемого химического вещества необходимы разовые концентрации хими-

ческого вещества в атмосферном воздухе и их 95-й процентиль. В этом случае в качестве безопасного (референтного) уровня используется показатель референтной концентрации для острых ингаляционных воздействий (*ARfC*, мг/м^3).

Для расчета коэффициента опасности при длительном (хроническом) поступлении химических веществ применяются среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы. В качестве референтного уровня используется показатель референтной концентрации для хронического ингаляционного воздействия (*RfC*, мг/м^3).

При пероральном поступлении химического вещества в качестве экспозиции при расчете коэффициента опасности используется средняя доза. Для расчета доз используется концентрация вещества в воде, мг/л.

Рекомендованные величины *ARfC*, *RfC*, *RfD* представлены в Р 2.1.10.1920-04 [3].

Из вышенаписанного следует, что при расчете коэффициентов опасности на этапе полуколичественной оценки неканцерогенного риска ключевыми показателями, помимо концентраций химических веществ в объектах окружающей среды, будут являться референтные концентрации и дозы (*ARfC*, *RfC*, *RfD*).

Для определения ответов со стороны здоровья населения для обоснования параметров зависимости «экспозиция – ответ» проводится расчет индекса опасности (*HI*), который характеризует комбинированное и комплексное воздействие химических веществ. Он рассчитывается для веществ, обладающих однонаправленным действием на одни и те же органы или системы (например, легкие, печень, центральную нервную систему, процессы развития организма и т.д.), с целью установления органов и систем, со стороны которых вероятно развитие неблагоприятных эффектов у населения. Индекс опасности (*HI*) рассчитывается по формуле (8):

$$HI = \Sigma HQi, \tag{8}$$

где *HQi* – коэффициенты опасности для отдельных химических веществ.

Вспомогательными являются показатели, которые используются при расчете средней суточной дозы (частота воздействия, продолжительность воздействия, масса тела, период осреднения экспозиции, а также специфические показатели, характеризующие величину контакта).

На основе полученных данных для дальнейшего количественного анализа и ранжирования химических рисков для здоровья проводится количественная оценка неканцерогенного риска.

Расчет вероятности развития ответов со стороны здоровья населения осуществляется на основе показателей, характеризующих величину экспозиции, и параметров зависимости «экспозиция – ответ». Показатели экспозиции определяются и / или рассчитываются на этапе полуколичественной оценки риска (для атмосферного воздуха – концентрации химических веществ, для воды и почвы – средние суточные дозы).

Для количественной оценки риска проводится анализ зависимости «экспозиция – ответ» для тех химических веществ и органов и систем, для которых на этапе полуколичественной оценки риска были установлены недопустимые уровни риска, с целью установления количественных связей между экспозицией химических факторов и ассоциированными ответами со стороны здоровья населения.

Показателями зависимости «экспозиция – ответ» будут являться величины наклона, отражающие возрастание вероятности развития вредного эффекта при увеличении дозы (концентрации) на 1 мг/кг или 1 мг/м^3, а также уровень воздействия, связанный с определенной вероятностью эффекта.

Количественный показатель индивидуального уровня риска определяется как произведение дополнительной вероятности заболеваемости, ассоциированной с действием химических факторов, и тяжести негативных ответов [2].

Для целей количественного анализа и ранжирования химических рисков для здоровья целесообразно провести оценку популяционного риска, представляющего собой дополнительное количество заболевших вследствие воздействия химических факторов окружающей среды. Его величина рассчитывается как произведение индивидуального уровня риска и численности населения, проживающего в условиях заданного уровня экспозиции факторов окружающей среды. Ключевым показателем для расчета популяционного риска будет являться численность населения, находящегося под воздействием, позволяющая перейти от индивидуальных к популяционным уровням риска.

Также количественная оценка риска здоровью может осуществляться с применением ранее установленных показателей зависимости «экспозиция – ответ» [1]. Однако в том случае, если показатели не установлены, они могут быть разработаны с использованием методов математического моделирования.

Для проведения моделирования зависимости «экспозиция – ответ» необходимыми параметрами экспозиции при остром воздействии химических веществ будут являться максимальные концентрации химического вещества за день в объектах окружающей среды, а ответов – информация о суточной заболеваемости населения в разрезе нозологических форм. При хроническом поступлении химических веществ необходимыми параметрами экспозиции будут являться среднегодовые концентрации химических веществ по объектам окружающей среды, а в качестве ответов – информация о заболеваемости и смертности населения в разрезе классов и нозологических форм (годовая в динамике).

Выводы. Таким образом, по результатам проведенного анализа установлено, что ключевыми показателями для количественного анализа и ранжирования химического канцерогенного риска являются:

– концентрации химических веществ, обладающих канцерогенным действием, в объектах окружающей среды;

– фактор канцерогенного потенциала или показатель единичного риска при изучаемом пути поступления химического вещества;

– показатели тяжести злокачественных новообразований;

– численность населения для расчета популяционного риска.

Ключевыми показателями для количественного анализа и ранжирования химических неканцерогенных рисков для здоровья являются:

– концентрации химических веществ в объектах окружающей среды;

– референтные дозы и концентрации (на этапе полуколичественной оценки риска);

– параметры зависимости «экспозиция – ответ»;

– показатели тяжести заболеваний;

– численность населения, находящегося под воздействием (для расчета популяционного риска).

Список литературы

1. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М.; Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 738 с.

2. МР 2.1.10.0062-12. Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 2 мая 2012 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 36 с.

3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

4. Сердюков С.И., Макарова А.С. Оценка и управление рисками при обращении с композиционными материалами и их компонентами: уч. пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. – 58 с.

5. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019. – Geneva: WHO, 2020. – 47 p.

К вопросу оценки риска для здоровья населения, формируемого компонентами жесткости воды хозяйственно-питьевого водоснабжения

П.З. Шур, Д.В. Суворов, В.А. Фокин, С.Е. Зеленкин

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

Проведена оценка риска для здоровья населения, обусловленного компонентами способными формировать жесткость воды хозяйственно-питьевого водоснабжения (ионы кальция, магния, железа, цинка, марганца, алюминия) и загрязняющими веществами, обладающими с ними однонаправленным действием, на примере одного из предприятий Сибири. В результате оценки риска превышений коэффициентов опасности как для загрязняющих веществ, так и для компонентов жесткости не установлено. Вместе с тем вклад компонентов жесткости в величину индекса опасности достигал 100 % для некоторых критических орга-

нов и систем. В связи с этим при проведении оценки риска для здоровья населения, связанного с потреблением воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, следует учитывать вклад компонентов жесткости в величину риска.

Ключевые слова: вода, жесткость, риск для здоровья, оценка риска.

Вода как часть среды обитания является одним из потенциальных источников риска для здоровья человека. В Российской Федерации, как и в других странах, благоприятные условия питьевого водопользования населения обеспечиваются за счет нормативно-правовой базы (на территории России – за счет использования санитарных правил и гигиенических нормативов) [4]. Согласно нормативно-правовым документам питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства [2]. При этом обеспечение безопасности в соответствии с действующим в Российской Федерации СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» предусматривает возможность временного отступления от гигиенических нормативов при условии отсутствия риска для здоровья населения [5]. Следовательно, возникает необходимость оценки безопасности показателей, косвенно свидетельствующих об уровне загрязнения воды, в частности об ее жесткости. Жесткостью воды называется совокупность свойств, обусловленных концентрацией в ней щелочноземельных элементов, преимущественно катионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}) и анионов – сульфатов (SO_4^{2-}), карбонатов (CO_3^{2-}, HCO_3^-) и хлоридов (Cl^-) [5, 8]. Жесткость воды определяет не столько влияние на здоровье, сколько санитарные условия жизни населения. Поскольку для жесткости воды как санитарного показателя отсутствуют параметры для оценки риска здоровью населения, целесообразно проводить оценку риска для здоровья населения, обусловленного жесткостью воды, для отдельных компонентов и определить их возможный вклад в формирование риска здоровью населения, формируемого при употреблении воды, содержащей загрязняющие вещества.

В связи с этим становится актуальной оценка риска для здоровья населения, формируемого веществами с регистрируемыми отклонениями от установленных гигиенических нормативов, в том числе для компонентов жесткости воды.

Цель исследования – оценка риска для здоровья населения, обусловленного компонентами жесткости воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, находящейся в пределах гигиенических нормативов.

Анализ литературных данных о компонентах, формирующих жесткость воды, и их действии на организм был проведен с использованием методов научного познания – анализа, синтеза, аналогии, группировки, обобщения и сравнения.

Оценка риска для здоровья населения, формируемого в том числе компонентами жесткости воды, проводилась в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» Р 2.1.10.1920-04 (далее – Руководство) и на основании данных протоколов лабораторных испытаний. В качестве примера была проведена оценка риска для здоровья в отношении воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, подаваемой одним из предприятий Сибири, содержащей загрязняющие вещества, а также ионы – компоненты жесткости. Всего проведено 30 контрольных испытаний проб воды.

Для оценки неканцерогенных эффектов на этапе идентификации опасности проводился анализ наличия данных о референтных дозах для соединений, формирующих жесткость воды. Одновременно определяли критические органы, системы и эффекты, которые соответствуют установленным референтным дозам. Этапы оценки экспозиции, оценки зависимости «экспозиция – ответ» и характеристики риска были проведены в соответствии с Руководством.

По результатам анализа литературных данных установлено, что употребление питьевой воды повышенной жесткости может привести к развитию патологий для ряда критических органов и систем. Так, при употреблении жесткой воды наиболее часто формируются патологические состояния, обусловленные повышенным содержанием в воде ионов кальция, магния, железа, со стороны выделительной системы, желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, а также кожи [10].

Ряд авторов отмечает, что общая жесткость воды формируется не только ионами Ca^{2+} и Mg^{2+}, но и другими щелочноземельными элементами [6–11], такими как Al^{3+}, Fe^{2+}, Ba^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+} и др. Согласно Руководству ионы жесткости воды имеют однонаправленное действие с рядом загрязняющих веществ. Следовательно, следует оценивать вклад ионов, формирующих жесткость воды, в формирование риска для здоровья населения при употреблении воды, содержащей загрязняющие вещества. При этом следует учитывать, что компоненты, формирующие жесткость, могут отличаться для того или иного региона.

В качестве апробации предлагаемого подхода была проведена оценка риска для здоровья населения при употреблении воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, подаваемой одним из предприятий Сибири. Всего было исследовано 30 проб воды, отобранных в 2020 г. в разные сезоны года. Результаты лабораторных испытаний представлены в табл. 1.

В результате лабораторных испытаний жесткости воды было установлено превышение нормативов, регламентированных в СанПиН 1.2.3685-21, по показателю «Железо», что потребовало проведения оценки риска для здоровья населения.

На этапе идентификации опасности были установлены критические органы и системы для загрязняющих веществ, а также определены компоненты жесткости, обладающие однонаправленным действием с загрязняющими веществами. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Ввиду отсутствия канцерогенных эффектов со стороны изучаемых веществ оценка канцерогенного риска не проводилась.

Был проведен расчет среднесуточных доз, позволяющий непосредственно оценить количество загрязнителя, обладающего потенциальным эффектом в отношении органа-мишени.

В результате оценки экспозиционной нагрузки на детское и взрослое население при употреблении воды, содержащей загрязняющие вещества и ионы, формирующие жесткость, были рассчитаны среднесуточные дозы (табл. 3).

В результате расчета коэффициентов опасности (Hazard Quotient – *HQ*) превышения *HQ* по всем исследуемым веществам (в том числе формирующим жесткость воды) не установлено (табл. 4).

При расчете индексов опасности (Hazard Index – *HI*), учитывающих однонаправленное действие загрязняющих веществ, в том числе формирующих жесткость воды, был рассчитан вклад компонентов жесткости в формирование *HI* как для взрослого, так и для детского населения. Результаты расчета *HI* и оценки вклада представлены в табл. 5.

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний 30 проб воды централизованного водоснабжения, подаваемой одним из предприятий Сибири в 2020 г.

Показатель	Средняя концентрация веществ, мг/л	Нормирование по СанПиН 1.2.3685-21
Жесткость воды* (°Ж)	13,70	14
Al^{3+}	0,005	0,2
Fe^{2+}	0,379	0,3
Ca^{2+}	239,0	Не нормируется
Mg^{2+}	25,90	50
Mn^{2+}	0,022	0,1
Mo^{2+}	0,007	0,07
As	0,002	0,01
Нитраты	0,631	45,0
Нитриты	0,026	3,0
Фториды	0,191	1,5
Zn^{2+}	0,006	5,0

Примечание: * – в нормирующем документе СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания показатель «Жесткость (общая жесткость)» регламентируется в мг-экв/дм^3 1 °Ж соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной 0,5 его моля, выраженной в мг/дм^3 (1 °Ж = 1 мг-экв/дм^3)[1].

Таблица 2

Критические органы и системы загрязняющих веществ и компонентов жесткости воды согласно Руководству по оценке риска

Критический орган (система)	Загрязняющие вещества, оказывающие негативный эффект	Компоненты жесткости, обладающие однонаправленным действием
Почки	Молибден	Кальций
Слизистые оболочки	–	Железо
Кожа	Мышьяк	Железо
Кровь	–	Железо, цинк, марганец
Метгемоглобинемия (MetHb)	Нитраты, нитриты	–
Иммунная система	Мышьяк	Железо
ЦНС	Мышьяк	Алюминий, марганец

Таблица 3

Результаты оценки экспозиционной нагрузки на детское и взрослое население загрязняющих веществ и ионов, формирующих жесткость воды

Вещество	$M + m$, мг/дм^3	Доза (взрослое население), мг/кг массы тела	Доза (детское население), мг/кг массы тела	Референтная доза, мг/кг массы тела
Al^{3+}	0,005	$1{,}37 \cdot 10^{-4}$	$3{,}20 \cdot 10^{-4}$	1
Fe^{2+}	0,379	$1{,}04 \cdot 10^{-2}$	$2{,}42 \cdot 10^{-2}$	0,3
Ca^{2+}	239,0	6,55	15,3	41,4

[1] ГОСТ 31865-2012. Вода. Единица жесткости [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: https://meganorm.ru/Index2/1/4293785/4293785579.htm (дата обращения: 28.06.2022).

Окончание табл. 3

Вещество	$M + m$, мг/дм^3	Доза (взрослое население), мг/кг массы тела	Доза (детское население), мг/кг массы тела	Референтная доза, мг/кг массы тела
Mg^{2+}	25,9	$7{,}10 \cdot 10^{-1}$	1,66	11
Mn^{2+}	0,022	$6{,}03 \cdot 10^{-4}$	$1{,}41 \cdot 10^{-3}$	0,14
Mo^{2+}	0,007	$1{,}84 \cdot 10^{-4}$	$4{,}30 \cdot 10^{-4}$	0,005
As	0,002	$5{,}55 \cdot 10^{-5}$	$1{,}29 \cdot 10^{-4}$	0,0003
Нитраты	0,631	$1{,}73 \cdot 10^{-2}$	$4{,}03 \cdot 10^{-2}$	1,6
Нитриты	0,026	$7{,}08 \cdot 10^{-4}$	$1{,}65 \cdot 10^{-3}$	0,1
Фториды	0,191	$5{,}22 \cdot 10^{-3}$	$1{,}22 \cdot 10^{-2}$	0,06
Zn^{2+}	0,006	$1{,}59 \cdot 10^{-4}$	$3{,}72 \cdot 10^{-4}$	0,3

Таблица 4

Результаты оценки неканцерогенного риска для детского и взрослого населения для отдельных загрязняющих веществ и ионов, формирующих жесткость воды

Вещество	*HQ* (взрослое население)	*HQ* (детское население)
Al^{3+}	< 0,01	< 0,01
Fe^{2+}	0,03	0,08
Ca^{2+}	0,02	0,04
Mg^{2+}	0,06	0,15
Mn^{2+}	< 0,01	0,01
Mo^{2+}	0,04	0,09
As	0,19	0,43
Нитраты	0,01	0,03
Нитриты	0,01	0,02
Фториды	0,09	0,20
Zn^{2+}	< 0,01	< 0,01

Таблица 5

Результаты оценки риска для взрослого и детского населения при комбинированном действии загрязняющих веществ и компонентов жесткости и вклада компонентов жесткости в величину риска

Критический орган (система)	*HI* общий		*HI* для жесткости		Вклад ионов жесткости, %	
	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети
Почки	0,19	0,46	0,16	0,37	84,2	80,4
Слизистые оболочки	0,03	0,08	0,03	0,08	100,0	100,0
Кожа	0,22	0,51	0,03	0,08	13,6	15,7
Система крови	0,04	0,09	0,04	0,09	100,0	100,0
Иммунная система	0,22	0,51	0,03	0,08	13,6	15,7
ЦНС	0,19	0,44	0,005	0,01	2,6	2,3
MetHb	0,02	0,04	0	0	0,0	0,0

Таким образом, проведенная оценка риска для здоровья населения в отношении воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, подаваемой одним из предприятий Сибири и содержащей загрязняющие вещества, а также ионы – компоненты жесткости, не выявила опасных уровней их содержания в воде (величина *HQ* для отдельных компонентов жесткости составляла от 0,01 до 0,19 для взрослого и от 0,01 до 0,43 для детского населения), что соответствует требованиям санитарного законодательства.

Таким образом, проведенная оценка риска для здоровья населения в отношении воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, подаваемой одним из предприятий Сибири и содержащей загрязняющие вещества, а также ионы – компоненты жесткости, не выявила опасных уровней их содержания в воде (величина *HQ* для отдельных компонентов жесткости составляла от 0,01 до 0,19 для взрослого и от 0,01 до 0,43 для детского населения), что соответствует требованиям санитарного законодательства.

Вместе с тем вклад компонентов жесткости в величину *HI* достигал 100 % для некоторых критических органов и систем. В связи с этим при проведении оценки риска для здоровья населения, связанного с потреблением воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, следует учитывать вклад компонентов жесткости в величину риска.

Наряду с этим оценка риска для здоровья населения, формируемого компонентами жесткости воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеет неопределенности. Так, ввиду отсутствия критических органов и систем при пероральном поступлении Mg^{2+} с водой [3] его включение в оценку риска для здоровья нецелесообразно. Вместе с тем фактором неопределенности может выступать потребление населением бутилированной или фильтрованной воды, которая может отличаться от подаваемой в сети хозяйственно-питьевого водоснабжения по ионному составу (в таком случае при использовании стандартных величин потребления воды, подаваемой в сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеет место переоценка риска).

Оценка риска для здоровья населения, формируемого загрязняющими веществами, а также ионами-компонентами жесткости воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, на примере одного из предприятий Сибири показала отсутствие риска для здоровья населения при приемлемом уровне жесткости (верхняя граница нормы).

Вместе с тем оценка вклада компонентов жесткости в формирование индекса опасности имеет практическое значение, поскольку позволяет устранить неопределенности, связанные с оценкой риска для здоровья при употреблении воды хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако оценка риска для компонентов жесткости имеет свои неопределенности, связанные с объемом потребления воды, подаваемой в сети хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Таким образом, предложенный методический подход позволяет оценить уровень риска для здоровья населения, формируемого компонентами жесткости воды. В ходе апробации установлено, что при величине жесткости на уровне верхней границы допустимого значения риск здоровью не формируется. Однако следует учитывать, что возможно сохранение опасности высокого уровня жесткости, выраженного в ухудшении санитарных условий жизнедеятельности (ухудшение состояния водопроводной сети, нарушение работы бытовых приборов и т.д.).

Список литературы

1. Егорова А.Г., Гаснер Г.А., Кривошапкина З.Н. Минеральный состав питьевой воды как один из факторов риска формирования патологии сердечно-сосудистой системы // Якутский медицинский журнал. – 2012. – № 3 (39). – С. 66–69.

2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ [Электронный ресурс] // Консультант Плюс. – URL: http: //www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/ (дата обращения: 30.08.2022).

3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https:// docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 30.08.2022).

5. Arthur D. Temporary And Permanent Hardness of Water [Электронный ресурс]. – URL: http://watertreatmentbasics.com/temporary-and-permanent-hardness-of-water/ (дата обращения: 02.08.2022).

6. Bioluminescent Ratiometric Indicator for Analysis of Water Hardness in Household Water / M.N. Hossain, R. Ishida, M. Hattori [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 11. – P. 3164. DOI: 10.3390/s20113164

7. Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance // World Health Organization. – 2009. – 194 p.

8. Casiday R., Frey R. Water Hardness. Inorganic Reactions Experiment [Электронный ресурс]. – URL: https://128.252.127.90/~edudev/Water/hardness.html (дата обращения: 02.08.2022).

9. Chatterjee S. Encyclopedia of Inorganic Chemistry. – New-Delhi: Kolkata Institute for Natural Sciences, 2012. – 370 p.

10. Health hazard assessment of water hardness and cardiovascular diseases. Case study from port-au-prince (Haiti) (Poster) / Y. Simon, F. Alfred, T. Charles [et al.] // Fifth Annual International Conference on Medical Geology. – August 25–29, 2013. – № 18–1.

11. Huang S., Miskelly D. Hardness // Steamed Breads: Ingredients, Process and Quality. – USA, UK: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2016. – Chapter 3. Major Ingredients for Dough. – P. 23–46. DOI: 10.1016/B978-0-08-100715-0.00003-3

Раздел II

Региональный опыт оценки рисков здоровью населения в системе социально-гигиенического мониторинга и санитарно-эпидемиологического надзора. Лучшие практики оценки рисков здоровью в рамках национальных проектов «Экология», «Жилье и городская среда», «Генеральная уборка»

Предварительная оценка радиационного риска населения Российской Федерации в 2021 г. по данным радиационно-гигиенической паспортизации

Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», г. Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты оценки радиационного риска населения Российской Федерации по данным содержащихся в радиационно-гигиенических паспортах территорий за 2021 г. Расчет показателей риска производился с использованием специализированного программного обеспечения. Исследование показало, что наибольший вклад в величину среднего индивидуального пожизненного радиационного риска для населения Российской Федерации в 2021 г. внесло облучение радоном и дочерними продуктами его распада. Второй по значимости ситуацией облучения является медицинское облучение пациентов.

Ключевые слова: радиационный риск, радиационно-гигиеническая паспортизация, медицинское облучение, природное облучение, техногенное облучение, профессиональное облучение.

Система радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий, функционирующая в Российской Федерации, является источником наиболее полной и объективной информации о состоянии радиационной безопасности населения в стране [2]. Оценка радиационного риска по данным радиационно-гигиенических паспортов территорий позволяет дать краткую количественную характеристику негативного воздействия источников ионизирующих излучений на здоровье населения различных субъектов Российской Федерации на популяционном уровне. Для обеспечения комплексной сравнительной оценки состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева на основе методологии оценки риска были разработаны методические рекомендации 2.6.1.0145-19 «Расчет показателей радиационного риска по данным, содержащимся в радиационно-гигиенических паспортах территорий». В дальнейшем с целью автоматизации расчета показателей радиационного риска цели было разработано специальное программное обеспечение [1].

В данной работе представлены результаты предварительной сравнительной оценки средних индивидуальных пожизненных радиационных рисков у населения субъектов Российской Федерации по данным радиационно-гигиенических паспортов территорий за 2021 г., поступивших в Федеральный банк данных в 2022 г.

Расчет радиационных рисков осуществлялся для следующих ситуаций облучения:

– природное облучение от радона;
– медицинское облучение пациентов;
– техногенное облучение населения за счет деятельности радиационных объектов;

– техногенное облучение населения радиоактивно загрязнённых территорий;

– техногенное облучение персонала радиационных объектов.

Наиболее значительный вклад в величину среднего индивидуального пожизненного радиационного риска для населения Российской Федерации в 2021 г., как и в предыдущие годы, внесло облучение радоном и дочерними продуктами его распада.

Во всех субъектах Российской Федерации (за исключением Чукотского автономного округа, Орловской и Псковской областей) средний по субъектам Российской Федерации индивидуальный пожизненный радиационный риск за счет облучения радоном составил не менее 10^{-4}. При этом самые высокие значения данного показателя отмечаются в Республиках Тыва – $9{,}51 \cdot 10^{-4}$, Алтай – $8{,}64 \cdot 10^{-4}$ и Башкортостан – $8{,}47 \cdot 10^{-4}$.

Второй по значимости ситуацией облучения является медицинское облучение пациентов. Динамика изменения среднего индивидуального пожизненного радиационного риска Российской Федерации за счет медицинского облучения пациентов за последние 10 лет представлена на рисунке.

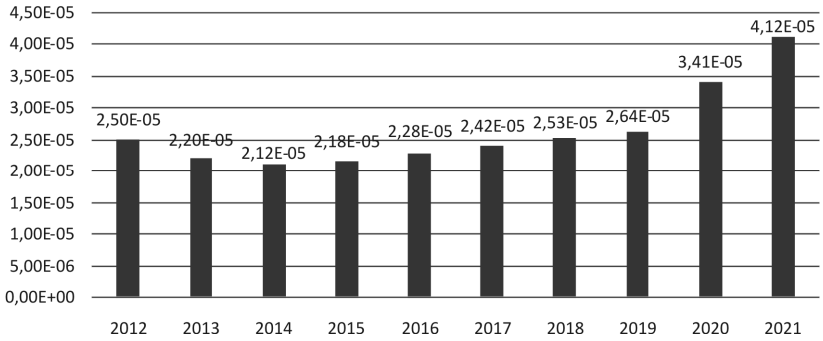


Рис. Средний индивидуальный пожизненный риск в расчете на одного жителя Российской Федерации в 2012–2021 гг. за счет медицинского облучения пациентов

В связи с широким использованием компьютерной томографии в качестве метода диагностики COVID-19 средний индивидуальный пожизненный риск в расчете на одного жителя Российской Федерации по данным радаиционно-гигиенических паспортов территорий вырос с $2{,}64 \cdot 10^{-5}$ в 2019 г. до $4{,}12 \cdot 10^{-5}$ в 2021 г.

В 2021 г. пожизненный индивидуальный радиационный риск для населения, проживающего в зонах наблюдения радиационных объектов, был рассчитан для 16 субъектов, представивших в радиационно-гигиенических паспортах территорий данные, необходимые для расчетов. Наиболее высокое значение пожизненного индивидуального радиационного риска для населения, проживающего в зонах наблюдения радиационных объектов, получено для Новосибирской области – $1{,}80 \cdot 10^{-5}$. В прочих субъектах Российской Федерации риск находится на уровне пренебрежимо малого риска.

В 2021 г. во всех субъектах Российской Федерации, предоставивших сведения о дозах облучения населения на радиоактивно-загрязненных территориях, среднее значение индивидуального пожизненного радиационного риска для такого

населения за счет техногенного облучения не превышало уровень пренебрежимо малого риска (10^{-6}), кроме Брянской и Калужской областей, где среднее значение составило $2{,}58 \cdot 10^{-5}$ и $1{,}25 \cdot 10^{-5}$ соответственно, что не превышает уровень приемлемого радиационного риска за счет техногенного облучения при нормальной эксплуатации радиационных объектов ($5{,}0 \cdot 10^{-5}$).

Средний индивидуальный пожизненный радиационный риск для всего населения, проживающего на радиационно-загрязненных территориях Российской Федерации, за счет техногенного облучения за прошедшее десятилетие лет снизился с $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ до $8{,}43 \cdot 10^{-6}$, что свидетельствует о постепенной нормализации радиационной обстановки на загрязненных территориях. Нормализация связана с физическим процессом распада радионуклидов, а также их миграцией и фиксацией в почве. Снижение данного компонента радиационного риска у населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, ожидается и в дальнейшем.

Средний индивидуальный радиационный риск у персонала радиационных объектов в 2021 г. находился на значительно меньшем, чем допустимые значения, уровне. Следует отметить, что на протяжении всего периода существования системы радиационно-гигиенической паспортизации показатели пожизненного индивидуального радиационного риска персонала значительно меньше предельно допустимого значения радиационного риска (10^{-3} для персонала группы А и $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ для персонала группы Б), что свидетельствует о высоком уровне радиационной безопасности персонала в Российской Федерации.

Таким образом, предварительная оценка радиационного риска населения Российской Федерации в 2021 г. по данным радиационно-гигиенической паспортизации показала, что наибольший вклад в риск вносит облучение за счет радона. Второй по значимости ситуацией облучения является медицинское облучение пациентов. Индивидуальный пожизненный радиационный риск за счет медицинского облучения пациентов с момента начала распространения COVID-19 вырос за счет распространенности компьютерной томографии как метода диагностики.

Список литературы

1. Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Репин Л.В. Разработка автоматизированной системы оценки радиационных рисков населения Российской Федерации по данным радиационно-гигиенической паспортизации территорий // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 114–121. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-114-121

2. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович [и др.] // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 7–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-7-17

Пробоподготовка аэрозольных фильтров для определения меди и цинка в атмосферном воздухе методом масс-спектроскопии с индуктивно связанной плазмой

К.О. Гилева, А.Е. Николаева, А.В. Недошитова

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

Для обеспечения контроля гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (СанПиН 1.2.3685-21) необходима разработка селективных высокочувствительных методов определения химических соединений и веществ. Цель данной работы – оптимизация пробоподготовки аэрозольных фильтров для расширения диапазона определения концентраций меди и цинка в атмосферном воздухе. Приведены условия пробоподготовки аэрозольных фильтров АФА-ХА и АФА-ХП с известными навесками оксидов меди и цинка с использованием муфельной печи ПДП-18М, кислотного растворения в лабораторной системе HotBlock и микроволновой системе Multiwave Go. Анализ выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Ключевые слова: атмосферный воздух, пробоподготовки, медь, цинк, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Развитие и совершенствование методов контроля атмосферного воздуха на содержание вредных примесей представляет собой актуальную задачу. Следует отметить, что переход на современные физико-химические приборы позволит существенно повысить эффективность, надежность и воспроизводимость аналитических методик.

В состав атмосферных аэрозолей входит множество канцерогенных и токсичных веществ, значительную часть которых составляют тяжелые металлы. В РФ существует не менее 12 методик определения металлов в атмосферном воздухе, однако они не обладают достаточной чувствительностью и диапазоном определяемых концентраций для контроля среднегодовых и максимальных разовых значений ПДК [3, 5, 6, 8].

В настоящее время в лаборатории методов элементного анализа ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» разработана и утверждена методика определения 19 приоритетных элементов в атмосферном воздухе методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) МУК 4.1.3481–17 [1, 2]. Методика позволяет выполнять измерения содержания на уровне референтных концентраций для хронического ингаляционного воздействия *RfC* для всех элементов с показателем точности измерений от 14 до 21 %. Данная методика позволяет проводить измерения массовой концентрации меди и цинка в диапазоне 0,00002–0,03 и 0,00005–0,03 мг/м^3 с показателем точности 20 и 21 %. В новых санитарных правилах СанПиН 1.2.3685-21 среднегодовая ПДК для оксида меди (в пересчете на медь) составляет 0,00002 мг/м^3, а среднесуточная и среднегодовая ПДК для оксида цинка (в пересчете на цинк) 0,05 и 0,035 мг/м^3 соответственно [7]. Поэтому не-

обходимо расширение диапазонов определения концентраций меди и цинка в атмосферном воздухе для обеспечения контроля гигиенических нормативов, содержащихся в СанПиН 1.2.3685-21.

Пробоподготовка аэрозольных фильтров является ключевым этапом в общем аналитическом процессе, нередко определяющим погрешность полученных результатов.

Цель исследования – оптимизация пробоподготовки аэрозольных фильтров для расширения диапазона определения концентраций меди и цинка в атмосферном воздухе.

Материал для сбора аэрозольных частиц выбирают в зависимости от метода анализа и применяемого пробоотборника [4]. При использовании стандартных пробоотборников аэрозоли улавливают чаще с помощью фильтров из стекловолокна, тонковолокнистого перхлорвинилового волокна, ацетилцеллюлозы, полистирола, мембранных фильтров из нитроцеллюлозы и других полимеров. В отечественной практике при контроле содержания металлов в атмосфере и воздухе рабочей зоны в основном применяют аналитические фильтры аэрозольные (АФА): АФА-ХА, АФА-ХП, АФА-ВП и ФПП в виде дисков с рабочей поверхностью 20 или 36 см^2. Фильтрующим материалом в фильтрах АФА-ХА является ацетилцеллюлоза, в остальных – предельные углеводороды. Подготовка проб к анализу определяется типом фильтра: фильтры АФА-ХА разрушаются при «мокром» озолении, а АФА-ВП, АФА-ХП и ФПП – при «сухом».

При «сухом» озолении разложение проб проводили в муфельной печи ПДП-18М, ТУ 3443-001-3630408 (Россия). Неэкспонированные фильтры АФА-ХП с точными навесками CuO (чда, ГОСТ 16539-79) и ZnO (хч, ГОСТ 10262-73) помещали в кварцевые стаканчики, приливали 0,1 мл этилового спирта, добавляли около 10 мг сухого аммония сульфата (хч, ГОСТ Р 51652-2000) или 0,5 мл 20%-ного раствора аммония сульфата в деионизованной воде, вносили разные навески оксидов меди и цинка. Стаканчики устанавливали в холодную муфельную печь. Выдерживали при температуре около 100 ^{o}C 40–60 мин, далее при температуре 250 ^{o}C – 40–60 мин, далее озоляли при температуре 450–500 ^{o}C – 3–3,5 ч. Образовавшуюся золу смачивали 0,3–0,5 мл концентрированной азотной кислоты (плотность 1,415 г/см^3), нагревали на песчаной бане и упаривали до состояния влажных солей. После охлаждения остаток растворяли в 5 мл 1%-ной азотной кислоты, переносили в мерную полипропиленовую пробирку вместимостью 15 мл, 2–3 раза ополаскивали стаканчик 1 мл 1%-ной азотной кислоты, перенося каждый смыв в пробирку, объем доводили до 10 мл 1%-ной азотной кислоты, закрывали пробирку, перемешивая пробу.

Кислотное растворение с применением лабораторной системы HotBlock (USA) в закрытых пробирках использовали для разложения фильтров типа АФА-ХА при анализе элементов. Неэкспонированные фильтры АФА-ХП с точными навесками CuO и ZnO помещали в полипропиленовые пробирки, добавляли 1,0 мл концентрированной азотной кислоты. Пробирки закрывали крышками и выдерживали в системе HotBlock при температуре около 90 ºС в течение 15–60 мин. Затем пробирки вынимали из системы, охлаждали до комнатной температуры и разбавляли деионизованной водой до 10 мл.

Микроволновое разложение проб использовали для разложения фильтров АФА-ХА. Подготовку проб проводили в системе микроволнового разложения Multiwave Go (Austria-Europe). Разложение осуществляли в реакционных сосудах вы-

сокого давления HVT50, изготовленных из PTFE-TFM, рассчитанных на максимальное давление 20 бар и температуру 250 ºС. Фильтры с навесками оксидов металлов помещали в реакционные сосуды, добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и минерализовали пробы 40 мин при температуре не менее 180 ºС (этап нагревания 20 мин, этап поддержания рабочей температуры – 10 мин, этап охлаждения – 10 мин). Минерализованную пробу переносили в мерную полипропиленовую пробирку вместимостью 15 мл, 2–3 раза ополаскивали, встряхивая с 1 мл деионизованной воды, и переносили каждый смыв в пробирку. Объем пробы доводили до 10 мл деионизованной водой.

Растворы проб, полученные после минерализации в муфельной печи, в лабораторной системе HotBlock или после микроволнового разложения, готовили к измерению на приборе масс-спектрометре Agilent 7500_{cx} с использованием реакционно-столкновительной ячейки при пропускании через нее гелия в качестве газа-реактанта, проводя разбавление.

Сопоставление способов подготовки проб при определении меди и цинка, методом ИСП-МС показало, что степень их извлечения (%) составляет соответственно при «сухом» озолении – 80–100 % и 60–86 %; при «мокром» в системе HotBlock – по 90–100 %; при разложении в микроволновой системе – по 90–100 %. Следует отметить, что применение микроволнового разложения проб увеличивает производительность анализа, минимизирует потери определяемых металлов и обеспечивает безопасность воздуха лабораторных помещений. Отработанные оптимальные условия пробоподготовки аэрозольных фильтров с известными навесками оксидов металлов позволяют расширить диапазоны определения концентраций меди и цинка в атмосферном воздухе методом ИСП-МС для обеспечения контроля гигиенических нормативов, содержащихся в СанПиН 1.2.3685-21.

Список литературы

1. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды / В.К. Карандашев, А.Н. Туранов, Т.А. Орлова [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 12–22.

2. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой в современных гигиенических исследованиях атмосферного воздуха / Т.С. Уланова, Г.А. Вейхман, Е.В. Стенно [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98 (4). – С. 461–467. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-461-467

3. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью / Е.Л. Овчинникова, С.В. Никитин, А.С. Колчин [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – № 3. – С. 36–43. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43

4. Определение неорганических загрязнителем в аэрозолях воздуха / Е.Н. Коржова, О.В. Кузнецова, А.Н. Смагунова [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 3. – С. 228–246.

5. Оценка комбинированной и сравнительной токсичности наночастиц оксида цинка и оксида меди в эксперименте *in vivo* / И.А. Минигалиева, М.П. Сутункова, Б.А. Кацнельсон [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – № 6. – С. 34–40. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-339-6-34-40

6. Родионов А.С., Егорова М.В. Совершенствование методических аспектов определения низких концентраций тяжелых металлов в атмосферном воздухе для повышения достоверности оценки рискогенных факторов внешней среды // Анализ риска здоровью – 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 2021. – Т. 2. – С. 319–325.

7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Глава I. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений – М.: Минздрав России, 2021.

8. Сравнительная оценка качества аэрозольных фильтров для анализа загрязнений атмосферного воздуха / М.В. Егорова, В.В. Коротков, А.С. Родионов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – Т. 29 (8). – С. 33–38. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-8-33-38

Предикторы отношения населения к измерению содержания радона в воздухе помещений и радонозащитным мероприятиям

А.А. Давыдов, А.М. Библин, Д.В. Кононенко

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», г. Санкт-Петербург, Россия

В 2020 г. был проведен всероссийский опрос общественного мнения о радоне. В опросе приняло участие 1500 респондентов, которым была предоставлена краткая информационная справка о радоне. Анкета содержала вопросы о готовности респондентов провести измерение содержания радона в воздухе их жилых помещений и принять радонозащитные меры, а также о признании этих мер приоритетными перед другими факторами риска. Установлено, что социально-демографические характеристики практически не оказывают влияния на отношение к радонозащитным мероприятиям. Усвоение сведений из информационной справки, убеждение в простоте и доступности процедуры измерения содержания радона, наличие финансовой возможности для проведения радонозащитных мероприятий и признание их приоритетности перед другими факторами риска оказывают значительное влияние.

Ключевые слова: риск-коммуникация, радонозащитные мероприятия, измерение содержания радона в воздухе, жилые помещения, радон.

Основной целью профилактических мероприятий и кампаний по борьбе с вредными привычками, проводимых органами здравоохранения, является снижение заболеваемости и смертности населения Российской Федерации от различных факторов риска. Следует, однако, отметить тот факт, что на данный момент из поля зрения ответственных за подобные мероприятия и кампании выпал такой неочевидный для них и населения в целом фактор риска, как радон – природный радиоактивный газ, не имеющий органолептических свойств. В списке причин смертности от рака легких радон занимает второе место после табакокурения, а для некурящего населения – первое [3–5].

Далее кратко представлены некоторые результаты исследования, проведенного в Российской Федерации в рамках международного проекта «STEAM», представляющего собой кросс-культурный многоязычный опрос общественного мнения о радоне, координатором которого выступил Институт общественного здоровья (Бухарест, Румыния). Исследование было инициировано в рамках проекта технического сотрудничества МАГАТЭ RER9153 «Развитие региональных возможностей по контролю долгосрочных рисков для населения в связи с облучением радоном в жилых домах и на рабочих местах». Контекст исследования, а также основные результаты были представлены ранее в публикации [1]. Среди основных итогов необходимо выделить следующие два:

– население имеет низкий уровень знаний о радоне, в связи с чем очевидна необходимость проведения информационной кампании по этому вопросу;

– население при информировании о рисках для здоровья больше всего доверяет врачам и медицинским организациям, но при этом им удобнее всего использовать в качестве источников информации интернет и СМИ, вследствие чего риск-коммуникацию по вопросам, связанным с радоном, медицинским организациям предпочтительнее осуществлять именно с помощью социальных сетей и СМИ.

Осенью 2020 г. был проведен интернет-опрос 1500 респондентов, который репрезентировал население Российской Федерации по полу, возрасту, региону проживания. Ошибка для случайной выборки такого размера не превышает 2,5 % для доверительной вероятности 95 %. Участники опроса были подобраны на добровольной основе. Квоты для исследования были рассчитаны на основе данных Росстата. Вначале ссылка на онлайн-анкету распространялась в популярных в России социальных сетях «Вконтакте», «Одноклассники» и др., затем респонденты дополнительно подбирались с помощью сервиса «Анкетолог.ру», на котором и был организован интернет-опрос. Детальная информация о материалах и методах представлена в статье [1]; там же можно ознакомиться с информационной справкой о радоне, которая была предоставлена респондентам в ходе опроса.

Цель исследования – определение предикторов положительного отношения к измерению содержания радона в воздухе помещений и радонозащитным мероприятиям среди населения.

Для достижения цели исследования авторами были построены три статистические модели бинарных логистических регрессий, в которых в качестве зависимых переменных выступили ответы на вопросы о готовности респондентов измерить содержание радона в воздухе жилого помещения, предпринять радонозащитные меры, отдать им приоритет перед другими факторами риска, а в качестве независи-

мых переменных (предикторов) – социально-демографические характеристики, установки респондентов по отношению к собственному здоровью, радиационным рискам, практике здоровьесберегающего поведения и потребления информации о рисках для здоровья.

Проведенный анализ показал, что переменные-предикторы объясняют 21–29 % вариаций зависимых переменных.

На приоритетность принятия мер по защите от радона, по сравнению с другими факторами риска, оказывают наибольшее влияние оценка респондентами своих финансовых возможностей, а на готовность к проведению измерений содержания радона в воздухе жилых помещений – убежденность в простоте этой процедуры.

Также выявлено, что доверие к медицинским источникам информации о рисках для здоровья – врачу в поликлинике, семейному врачу, региональным или местным органам здравоохранения – увеличивает готовность к проведению радонозащитных мероприятий и вероятность признания их приоритетности перед другими факторами риска.

Использование сети Интернет как источника информации о рисках для здоровья положительно влияет на готовность к проведению измерений содержания радона в воздухе жилых помещений, принятию мер по защите от радона и признанию их приоритетности перед другими факторами риска. Здесь необходимо напомнить, что опрос респондентов был организован именно в сети Интернет. В то же время доверие неформальным источникам информации (друзьям, родственникам) также увеличивает готовность к проведению измерений содержания радона и вероятность признания приоритетности мер по защите от радона перед другими факторами риска.

Согласие с утверждением «Нет смысла измерять содержание радона у меня дома, потому что дома всегда хорошо проветрено» ожидаемо уменьшает вероятность того, что респондент признает для себя приоритетность задачи по проведению измерений содержания радона в воздухе жилого помещения. Надо отметить, что проветривание традиционно считается самым простым и фактически бесплатным способом снизить содержание радона в воздухе помещений. Однако в целом ряде случаев этот способ не только не нормализует обстановку, но и может привести к ее ухудшению. В первую очередь это касается частных малоэтажных домов, не имеющих фундамента в виде сплошной бетонной плиты (а при наличии подвала, погреба или подпола – еще и ограждающих подземное пространство конструкций из бетона или иных материалов с нанесенным на них гидрогазоизоляционным покрытием): в подавляющем большинстве случаев в таких домах источником поступления радона в воздух жилых помещений являются подстилающие породы и грунты, на которых возведен дом, а перекрытия и полы устроены таким образом, что радон в смеси с грунтовым воздухом свободно переносится конвективными потоками в вышележащие помещения. В данной ситуации открытие окон (особенно на втором, третьем этажах или чердаке) приводит к усилению стек-эффекта (так называемого «эффекта печной трубы») из-за разницы атмосферного давления на уровне земли и уровне открытого окна, в результате чего поступление воздушно-радоновой смеси из-под дома в жилые помещения усиливается. В холодное время года из-за значительной разницы температуры воздуха снаружи и внутри дома (и, как следствие, допол-

нительной разницы давлений) описанный эффект еще более усиливается. Таким образом, проветривание как мера по защите от радона может быть эффективно только в жилых помещениях, где источником поступления радона в воздух являются материалы строительных конструкций (что возможно установить только после проведения специального обследования). В остальных случаях проветривание не может заменить специальных инженерно-строительных радонозащитных мероприятий и выполняет исключительно санитарно-гигиеническую функцию, не связанную с радоном.

Восприятие радона как фактора риска для здоровья, например, усвоение установки о том, что радон является проблемой в районе проживания респондента, увеличивает вероятность его убежденности в том, что измерение содержания радона в воздухе жилого помещения является приоритетной задачей. Усвоение установки о том, что радон представляет риск для здоровья (сведения об этом были включены в информационную справку, предоставленную респондентам в процессе анкетирования), увеличивает вероятности и проведения измерений содержания радона в воздухе жилого помещения, и готовности принимать меры по защите от радона, и признания этих мер приоритетными перед другими факторами риска. Усвоение сведений о том, что радон является одной из важнейших причин развития рака легких, повышает вероятность признания мер по защите от радона приоритетными перед другими факторами риска.

Убежденность респондента в том, что он контролирует и защищает себя от любых факторов риска для своего здоровья, повышает вероятность принятия решения о проведении радонозащитных мероприятий и признания их приоритетности. Данный вывод можно использовать при разработке различных буклетов, плакатов и т.п. в рамках планирования тематических информационных кампаний в виде тезиса о том, что если человек считает, что он контролирует свою жизнь и свое здоровье, то проведение измерений содержания радона в своем жилище и, при необходимости, принятие мер по защите от радона – это очевидная необходимость. При этом смена контекста, в котором упоминается радон, со сферы «радиоактивности» на сферу «качества воздуха в доме», может дополнительно способствовать росту заинтересованности населения в проведении измерений и при необходимости дальнейших радонозащитных мероприятий [2].

Статистически значимой связи зависимых переменных со значительной частью независимых переменных, включенных в модели, найдено не было. К ним относятся почти все социально-демографические характеристики (пол, возраст, уровень образования, работа с источниками ионизирующего излучения, место проживания – город или сельская местность), а также самооценка здоровья, оценка своего здоровья по сравнению с окружающими, оценка факторов риска для здоровья; переменные, измеряющие доверие и использование следующих источников информации: телевидение, радио, газеты и журналы, социальные сети, региональные и местные органы здравоохранения; переменные, измеряющие согласие (или оценку) со следующими утверждениями:

«Решение о принятии мер, направленных на снижение содержания радона у меня дома, зависит не только от меня»;

«Решения, касающиеся рисков для моего здоровья, должны принимать эксперты»;

«Качество воздуха у меня дома очень важно для моего здоровья»;

«Я всегда забочусь о том, чтобы дома было хорошо проветрено вне зависимости от погодных условий»;

«Как много, по Вашему мнению, Вы знаете о радоне?»;

«Как много, по Вашему мнению, Вы знаете о риске для здоровья из-за воздействия радона?»;

«Радон – это радиоактивный газ»;

«Если сравнивать с другими рисками, то облучение радоном в помещениях не представляет серьезного риска для моего здоровья».

Таким образом, оценка респондентами своих знаний о радоне, усвоение некоторых дополнительных важных сведений о нем, приведенных в информационной справке, делегирование или отсутствие делегирования решений, касающихся здоровья, экспертам, субъектность в принятии решений, важность качества воздуха будут играть второстепенную роль при принятии решений о проведении измерений содержания радона в воздухе жилого помещения, принятии мер по защите от радона и признании их приоритетности перед другими факторами рисками для здоровья.

Список литературы

1. Давыдов А.А., Библин А.М., Кононенко Д.В. Проблемы риск-коммуникации по вопросу облучения радоном: результаты всероссийского социологического исследования // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 29–41. – DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.03

2. Кононенко Д.В. Анализ возможностей и путей повышения заинтересованности населения в обеспечении собственной радиационной безопасности при облучении радоном // Радиационная гигиена: Итоги и перспективы: сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию курса «Радиационная гигиена» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, 18 мая 2022 г.). – СПб.: ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2022. – С. 55–57.

3. Радиологическая защита от облучения радоном / под ред. М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселева. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2015. – 92 с.

4. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. – 90 p.

5. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. – Geneva: WHO Press, 2009. – 110 p.

Определение мелкодисперсных фракций взвешенных частиц в атмосферном воздухе территорий с различной антропогенной нагрузкой

А.С. Зорина, А.А. Крылов, Е.А. Сухих, Т.С. Уланова

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

Приведены результаты исследований по определению максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4, PM_{10}, Total в атмосферном воздухе территорий с различной антропогенной нагрузкой. Измерения выполняли с помощью анализатора аэрозолей DustTrak мод. 8533. Проведен анализ процентной доли каждой фракции взвешенных частиц в составе общей пыли. Оценен вклад исследуемых мелкодисперсных фракций в загрязнение атмосферного воздуха.

В результате исследований превышений предельно допустимых максимальных разовых концентраций нормируемых мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} на территориях наблюдения и сравнения не выявлено.

Ключевые слова: мелкодисперсные фракции, атмосферный воздух, предельно допустимая концентрация (ПДК).

По данным ВОЗ, болезни органов дыхания, связанные с воздействием загрязнений атмосферного воздуха, являются наиболее распространенной причиной ухудшения здоровья населения. Показано, что одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха во всех городах являются взвешенные вещества. Особый интерес вызывают частицы микронного диапазона PM (от англ. particulate matter – «взвешенные частицы»), так как они могут длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии и имеют негативное воздействие на качество атмосферного воздуха и на здоровье населения.

Эпидемиологические исследования во всем мире показали, что длительное пребывание в воздухе, загрязненном взвешенными мелкодисперсными частицами, ухудшает дыхательную систему, вызывает респираторные заболевания, сердечно-сосудистые заболевания, аллергические реакции, астму [3–8].

В условиях комплексного поступления вредных веществ в организм актуальной является проблема выделения приоритетных видов загрязнителей, их количественного определения и оценки опасности воздействия с целью обоснования рисков, оптимизации наблюдений в рамках социально-гигиенического мониторинга и принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения. В связи с этим важным направлением исследований является контроль качества атмосферного воздуха, в том числе содержания мелкодисперсных фракций взвешенных частиц (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4, PM_{10}, Total), территорий с различной антропогенной нагрузкой.

Согласно СанПиНу 1.2.3685-21 [2] в Российской Федерации нормируется содержание мелкодисперсных взвешенных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические стандарты представлены в табл. 1.

Принимая во внимание доказанную опасность мелкодисперсных фракций взвешенных частиц, а также их распространенность, можно заключить, что актуальной является проблема оценки качества атмосферного воздуха с точки зрения загрязнения его мелкодисперсными частицами.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе населенных мест (СанПиН 1.2.3685-21)

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м^3		
	максимальная разовая	среднесуточная	среднегодовая
PM_{10}	0,3	0,06	0,04
$PM_{2.5}$	0,16	0,035	0,025

Цель исследования – определение концентраций мелкодисперсных фракций взвешенных частиц $PM_{2.5}$, PM_{10}, а также PM_1, PM_4, Total (фракции пыли от 10 до 15 мкм) и их процентной доли в атмосферном воздухе территорий с различной антропогенной нагрузкой.

Материалы и методы. Определение мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе выполнялось с помощью лазерного анализатора аэрозолей DustTrak мод. 8533 в режиме реального времени. Принцип работы прибора – лазерная нефелометрия, основанная на регистрации рассеянного оптического излучения. Согласно техническим характеристикам анализатора диапазон массовых концентраций анализатора – 0,01–150 мг/м^3, диапазон размеров регистрируемых частиц – 0,1–15 мкм.

Согласно программе натурных исследований и измерений качества атмосферного воздуха исследование выполняли в теплое время года на двух территориях с различной антропогенной нагрузкой. Территория наблюдения характеризуется многокомпонентным воздействием химических веществ техногенного происхождения, территория сравнения – относительным санитарно-гигиеническим благополучием. Отборы проводили на 4 и 3 точках на территориях наблюдения и сравнения соответственно. На каждой точке было проведено по три максимальных разовых замера.

Исследования атмосферного воздуха проводили в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» [1]. Анализатор пыли DustTrak устанавливали на высоту 1,5 м от поверхности земли. Длительность измерений максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц составляла 30 мин. Измерения проводили по три раза (утром, днем, вечером) на каждой точке.

Результаты. Результаты исследования максимальной разовой концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе территорий сравнения и наблюдения представлены в табл. 2.

По данным табл. 2, превышений максимальных разовых ПДК мелкодисперсных частиц на территориях наблюдения и сравнения на момент исследования не зафиксировано. В результате проведенных исследований установлено, что на территории наблюдения содержание PM_1 обнаружено в диапазоне концентраций 0,010–0,016 мг/м^3, $PM_{2.5}$ – в диапазоне 0,010–0,016 мг/м^3, PM_4 – 0,010–0,023 мг/м^3,

PM_{10} – 0,010–0,054 мг/м^3, Total – 0,010–0,109 мг/м^3. На территории сравнения содержание PM_1 обнаружено в диапазоне концентраций 0,010–0,025 мг/м^3, $PM_{2.5}$ – в диапазоне 0,010–0,027 мг/м^3, PM_4 – 0,010–0,029 мг/м^3, PM_{10} – 0,012–0,044 мг/м^3, Total – 0,023–0,067 мг/м^3. Наибольшая концентрация определяемых частиц зафиксирована в утреннее и дневное время. Пик пришелся на частицы размером 10 мкм и выше для обеих территорий.

Посчитаны средние арифметические максимальные разовые концентрации взвешенных частиц на территориях наблюдения и сравнения. Данные приведены в табл. 3.

Таблица 2

Максимальные разовые концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе на двух исследованных территориях

Точка измерений	Время отбора	Максимальная разовая концентрация ± Δ, мг/м^3				
		PM_1	$PM_{2.5}$	PM_4	PM_{10}	Total
Территория наблюдения						
Точка № 1	Утро	0,014 ± 0,003	0,014 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,017 ± 0,003
	День	0,013 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,023 ± 0,005	0,054 ± 0,011	0,109 ± 0,022
	Вечер	0,013 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,020 ± 0,004	0,040 ± 0,008	0,075 ± 0,015
Точка № 2	Утро	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,019 ± 0,004	0,025 ± 0,005
	День	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Вечер	0,016 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,019 ± 0,004	0,029 ± 0,006
Точка № 3	Утро	0,014 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,017 ± 0,004	0,023 ± 0,005
	День	<0,01	<0,01	<0,01	0,014 ± 0,003	0,024 ± 0,005
	Вечер	0,011 ± 0,002	0,011 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,015 ± 0,003	0,022 ± 0,004
Точка № 4	Утро	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,016 ± 0,003
	День	<0,01	<0,01	<0,01	0,011 ± 0,002	0,018 ± 0,004
	Вечер	0,011 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,013 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,023 ± 0,005
Территория сравнения						
Точка № 1	Утро	0,017 ± 0,003	0,019 ± 0,004	0,020 ± 0,004	0,024 ± 0,005	0,032 ± 0,006
	День	<0,01	<0,01	<0,01	0,015 ± 0,003	0,028 ± 0,006
	Вечер	0,015 ± 0,003	0,017 ± 0,003	0,019 ± 0,004	0,030 ± 0,006	0,053 ± 0,011
Точка № 2	Утро	0,025 ± 0,005	0,027 ± 0,005	0,029 ± 0,006	0,044 ± 0,009	0,067 ± 0,013
	День	<0,01	<0,01	<0,01	0,012 ± 0,002	0,023 ± 0,005
	Вечер	<0,01	<0,01	<0,01	0,012 ± 0,002	0,023 ± 0,005
Точка № 3	Утро	0,024 ± 0,005	0,026 ± 0,005	0,027 ± 0,005	0,030 ± 0,006	0,035 ± 0,007
	День	<0,01	<0,01	0,012 ± 0,002	0,027 ± 0,005	0,050 ± 0,010
	Вечер	<0,01	<0,01	0,012 ± 0,002	0,027 ± 0,005	0,052 ± 0,010

Таблица 3

Средние значения концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе на двух исследованных территориях

Территория	Максимальная разовая концентрация ± Δ, мг/м^3				
	PM_1	$PM_{2.5}$	PM_4	PM_{10}	Total
Наблюдения	0,012 ± 0,002	0,013 ± 0,003	0,014 ± 0,003	0,020 ± 0,004	0,033 ± 0,006
Сравнения	0,012 ± 0,002	0,014 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,025 ± 0,005	0,040 ± 0,008

В среднем на территории наблюдения полученные значения концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе находятся на том же уровне, что и на территории сравнения. Это связано с тем, что содержание мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе может быть обусловлено не только наличием промышленных предприятий, но и таких факторов, как открытые места хранения строительных и сыпучих материалов, строительные и ремонтные работы, землеройные работы, незадернованные участки почв городской территории и, в особенности, выбросы автотранспорта.

Анализ процентной доли каждой фракции в общей пыли на территориях наблюдения и сравнения показан на рисунке.

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют, что процентное содержание измеряемых мелкодисперсных фракций тем выше, чем больше размер частиц. Разницы в процентном вкладе каждой фракции в общий объем пылевых частиц между территориями наблюдения и сравнения не установлено. При этом содержание PM_{10} в среднем было выше содержания $PM_{2.5}$ в 1,6 и 1,8 раза на территориях наблюдения и сравнения соответственно.

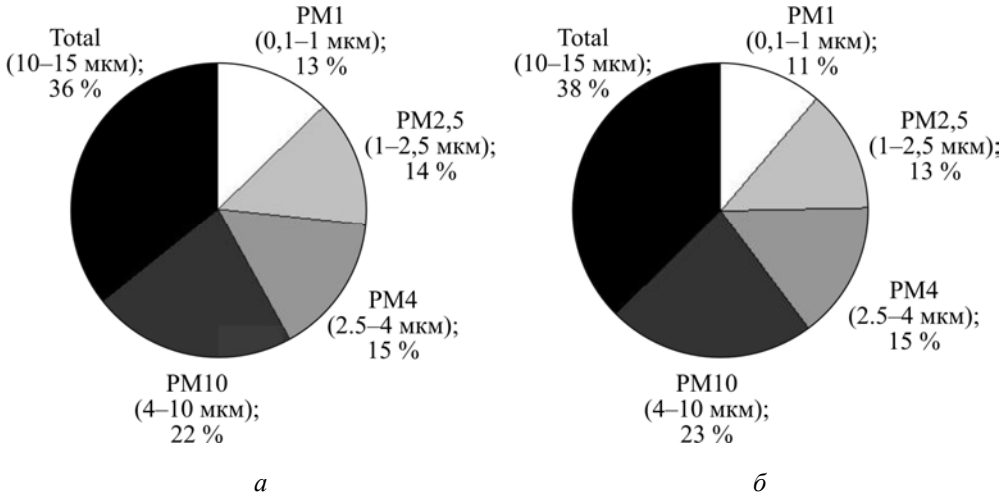


Рис. Процентная доля измеряемых мелкодисперсных фракций:
а – на территории наблюдения; *б* – на территории сравнения

Рисунок иллюстрируют, что процентное содержание измеряемых мелкодисперсных фракций тем выше, чем больше размер частиц. Разницы в процентном вкладе каждой фракции в общий объем пылевых частиц между территориями наблюдения и сравнения не установлено. При этом содержание PM_{10} в среднем было выше содержания $PM_{2.5}$ в 1,6 и 1,8 раза на территориях наблюдения и сравнения соответственно.

Выводы. Таким образом, в результате проведенного исследования атмосферного воздуха территории с многокомпонентным воздействием химических веществ техногенного происхождения и территории с относительным санитарно-гигиеническим благополучием превышений предельно допустимых максимально-разовых концентраций нормируемых мелкодисперсных частиц в атмосферном воз-

духе не обнаружено. В среднем разница в концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе и их процентном соотношении на территориях наблюдения и сравнения не обнаружена, что связано с многофакторным поступлением мелкодисперсных частиц в атмосферный воздух.

Таким образом, в связи с опасностью загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными фракциями взвешенных частиц даже на территориях относительного санитарно-гигиенического благополучия проведение мониторинга атмосферного воздуха является актуальным.

Список литературы

1. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов / утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3395 (дата введения установлена 01.01.87) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200012789 (дата обращения: 02.09.2022).

2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 06.09.2022).

3. Air pollution and arterial hypertension. A new risk factor is in the air / E.J. Sanidas, P.D. Papadopoulos, H. Grassos [et al.] // J. Am. Soc. Hypertens. – 2017. – Vol. 11, № 11. – P. 709–715. DOI: 10.1016/j.jash.2017.09.008

4. Differential toxicities of fine particulate matters from various sources / M. Park, H.S. Joo, K. Lee, M. Jang, S.D. Kim, I. Kim, L.J.S. Borlaza, H. Lim [et al.] // Scientific reports. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 1–11.

5. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease / D.E. Newby, P.M. Mannucci, G.S. Tell [et al.]. // Eur. Heart J. – 2015. – Vol. 36, № 2. – P. 83–93b. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu458

6. Fine Dust Creation during Hardwood Machine Sanding / M. Pędzik, T. Rogoziński, J. Majka, K. Stuper-Szablewska, P. Antov, L. Kristak, R. Kminiak, M. Kucerka [et al.] // Appl. Sci. – 2021. – Vol. 11, № 14. – P. 6602. DOI: 10.3390/app11146602

7. Gupta S., Soni P., Gupta A.K. Optimization of WD-XRF analytical technique to measure elemental abundance in $PM_{2.5}$ dust collected on quartz-fibre filter // Atmospheric Pollution Research. – 2021. – Vol. 12, № 3. – P. 345–351. DOI: 10.1016/j.apr.2021.01.001

8. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Joint WHO / Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution // European Centre for Environment and Health Bonn Office. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. – 113 p.

Освещенность как фактор риска усиления свободнорадикальных процессов в организме человека в условиях мегаполиса

А.М. Иркаева[1], Е.С. Жукова[1], Л.В. Полякова[1], В.В. Чернов[2], Т.Г. Щербатюк[1,3], М.А. Позднякова[1]

[1]ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии»,
[2]ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»,
[3]ФГБОУ ВО «Пущинский государственный естественно-научный институт», г. Нижний Новгород, Россия

Избыточное влияние освещенности, являясь атрибутом жизни человека в мегаполисах, способствует циркадной асинхронности организма, приводящей к развитию ряда патологических нарушений. Рассматривается адаптивная реакция организма со стороны про- и антиоксидантных систем на естественные световые характеристики.

Ключевые слова: естественная освещенность, умеренно-климатическая зона, рискогенный фактор, свободнорадикальные процессы, ТБК-активные продукты, супероксиддисмутаза, каталаза.

На сегодняшний день одной из широко обсуждаемых проблем в мире является световое загрязнение в крупных городах, представляющее большую угрозу для окружающей среды и здоровья человека [3, 8].

Оптимальный световой режим важен для всех живых организмов, поскольку протекающие в них физиологические и биохимические процессы подвержены закономерным циклическим колебаниям, биологическим ритмам, которые являются генетически запрограммированными и самоподдерживающимися [2]. Биоритмы обеспечивают живые системы способностью к адаптации и выживанию в постоянно меняющихся условиях окружающей среды [5].

Сильные колебания освещенности, вызывающие нарушение цикличного функционирования систем организма, могут способствовать развитию ряда патологических состояний, таких как: ускоренное старение, сахарный диабет второго типа, ожирение, сердечно-сосудистые и онкологические заболевания [6, 10].

Необходимо отметить, что большая часть исследований посвящена изучению влияния избыточной искусственной освещенности на живые организмы [3, 4, 7, 11], однако в научной литературе недостаточно данных о механизмах адаптации организма человека к сезонным изменениям естественной освещенности. На наш взгляд, установление особенностей формирования адаптационного ответа организма на колебания освещенности естественного фона поможет более детально разобраться в вопросе воздействия искусственной освещенности на живые системы.

Цель исследования – оценка изменения показателей свободнорадикального окисления организма человека в зависимости от колебаний естественной освещенности в зоне умеренно-континентального климата.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 72 волонтера, проживающие на территории Нижнего Новгорода, в возрасте от 19 до 60 лет. Критериями включения добровольцев в исследование были: отсутствие острых и хронических соматических и инфекционных заболеваний, неврологических расстройств, отсутствие приема антиоксидантов минимум за один месяц до исследования. Забор периферической крови осуществлялся в период с сентября 2019 г. по декабрь 2021 г. Все участники исследования предоставили письменное информированное согласие на участие и обработку данных. Для оценки влияния естественной освещенности на состояние про- и антиоксидантной систем организма были выбраны вторичные продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантные ферменты первой линии защиты: супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза. Содержание вторичных метаболитов ПОЛ (ТБК-активных продуктов) определяли по тесту с тиобарбитуровой кислотой в плазме крови. Активность СОД определяли по ингибированию скорости восстановления нитросинего тетразолия в неэнзиматической системе феназинметасульфата и никотинамидадениндинуклеотида (НАДН) [1]. Активность каталазы определяли спектрофотометрически в эритроцитах крови по изменению оптической плотности в области поглощения пероксида водорода [9]. Исходные данные о суммарной и рассеянной солнечной радиации, а также облачности на территории Нижнего Новгорода в период 2019–2021 гг., используемые для расчета естественной освещенности, были получены из базы данных Всемирной метеорологической организации. Расчет производился с помощью программного обеспечения Smarts 295. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0. Взаимосвязь данных оценивали при помощи корреляционного анализа по Спирмену.

Результаты. В ходе исследования обнаружена статистически значимая слабая положительная корреляционная связь между показателями естественной освещенности и содержанием ТБК-активных продуктов (ТБК-ап.) в плазме крови, при этом выявлена обратная корреляция с активностью эритроцитарной каталазы (таблица).

Данные корреляционного анализа по Спирмену

Показатель	ТБК-ап., мкМ	Активность СОД, ед. акт./г Hb	Активность каталазы, ед. акт./г Hb
Суммарная освещенность, кЛюк	**0,274; 0,020**	-0,215; 0,072	**-0,370; 0,0015**

Примечание: в каждой ячейке первое значение – коэффициент корреляции Спирмена (ρ); второе значение – уровень значимости (*p*).

Полученные данные свидетельствуют, что сезонное возрастание естественной освещенности в зоне умеренно-континентального климата активирует процессы перекисного окисления липидов и ингибирует работу антиоксидантных ферментов.

Выводы. Таким образом, выявлена адаптивная реакция организма человека на освещенность естественного фона, увеличение которой сопровождается усилением процессов липопероксидации и снижением активности антиоксидантной системы защиты в крови. Основываясь на этой закономерности, можно предпо-

ложить, что усиление искусственной освещенности в мегаполисе (особенно в осенне-зимний период) может привести к сбоям в сезонной регуляции свободнорадикальных процессов в организме. Для подтверждения данной гипотезы целесообразно провести дополнительные исследования, которые в дальнейшем помогут в разработке профилактических мероприятий для сохранения здоровья населения мегаполисов.

Список литературы

1. Арутюнян А.В., Дубинина Е.Е., Зыбина Н.Н. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма: методические рекомендации. – СПб.: Фолиант, 2000. – 104 с.

2. Биологические ритмы организма млекопитающих и человека / Л.Г. Сентюрова, Х.М. Галимзянов, Ю.В. Шерышева [и др.] // Астраханский медицинский журнал. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 54–64.

3. Световое загрязнение, десинхроноз и старение: состояние проблемы и пути решения / И.А. Виноградова, В.А. Илюха, Е.А. Хижкин [и др.] // Успехи геронтологии. – 2014. – Т. 27, № 2. – С. 265–268.

4. Скрипчинская Е.А., Романенко К.И. Динамика светового загрязнения Ставропольского края (2012–2020 гг.) // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. – 2021. – № 3. – С. 98–105. DOI: 10.24412/2412-2025-2021-3-98-105

5. Физиологическая характеристика лиц с различными хронотипами / С.В. Глуткин, Ю.Н. Чернышева, В.В. Зинчук [и др.]. // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 48–58.

6. Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment / Y.M. Cho, S.-H. Ryu, B.R. Lee [et al.] // Chronobiol. Int. – 2015. – Vol. 32, № 9. – P. 1294–1310. DOI: 10.3109/07420528.2015.1073158

7. Haim A., Zubidat A.E. Artificial light at night: melatonin as a mediator between the environment and epigenome // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. – 2015. – Vol. 370, № 1667. – P. 20140121. DOI: 10.1098/rstb.2014.0121

8. Menéndez-Velázquez A., Morales D., García-Delgado A.B. Light pollution and circadian misalignment: a healthy, blue-free, white light-emitting diode to avoid chronodisruption // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 3. – P. 1849. DOI: 10.3390/ijerph19031849

9. Progressive increases in serum catalase activity in advancing human immunodeficiency virus infection / J.A. Leff, M.A. Oppengard, T.J. Curiel [et al.] // Free Radic. Biol. Med. – 1992. – Vol. 13, № 2. – P. 143–149. DOI: 10.1016/0891-5849 (92) 90076-s

10. Stebelova K., Roska J., Zeman M. Impact of dim light at night on urinary 6-sulphatoxymelatonin concentrations and sleep in healthy humans // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – Vol. 21, № 20. – P. 7736. DOI: 10.3390/ijms21207736

11. Zubidat A.E., Haim A. Artificial light-at-night – a novel lifestyle risk factor for metabolic disorder and cancer morbidity // J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol. – 2017. – Vol. 28, № 4. – P. 295–313. DOI: 10.1515/jbcpp-2016-0116

Оценка неканцерогенного риска здоровью населения от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе городов Волгоградской агломерации

Д.К. Князев, Н.В. Аброськина

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Волгоградской области, г. Волгоград, Россия

Проанализировано состояние атмосферного воздуха городов Волгоградской агломерации (Волгоград, Волжский); освещены динамика и структура вредных выбросов в атмосферный воздух; проведена оценка риска здоровью населения от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе; выявлены приоритетные поражаемые органы и системы организма человека; сформулированы рекомендации по снижению риска здоровью населения от выявленных приоритетных загрязнителей.

Ключевые слова: социально-гигиенический мониторинг, риск здоровью населения, чистый воздух.

В настоящее время атмосферный воздух является ведущим фактором среды обитания, находящимся в постоянном контакте с организмом человека и способным оказывать существенное влияние на его здоровье. В связи с этим в системе социально-гигиенического мониторинга уделяется особое внимание оценке влияния на здоровье населения качества атмосферного воздуха [2, 5].

Существующее гигиеническое нормирование и санитарное законодательство учитывают краткосрочное воздействие химических веществ, содержащихся в объектах окружающей среды, на организм человека [1, 3]. Однако зарубежными учеными и специалистами в области здравоохранения доказано, что при пожизненном воздействии химических агентов в концентрациях ниже предельно допустимой (ПДК) тоже могут развиваться неблагоприятные эффекты. В связи с этим актуальность получила методология оценки риска здоровью человека при действии вредных веществ.

В рамках применения элементов оценки риска в деятельности Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области и получения наиболее объективной картины о потенциальном вреде здоровью населения выполнена работа по оценке неканцерогенного риска при воздействии химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, здоровью населения административных районов Волгограда (Дзержинского, Кировского, Красноармейского, Краснооктябрьского, Советского, Центрального и Тракторозаводского) и его города-спутника Волжского [6].

Цели исследования:

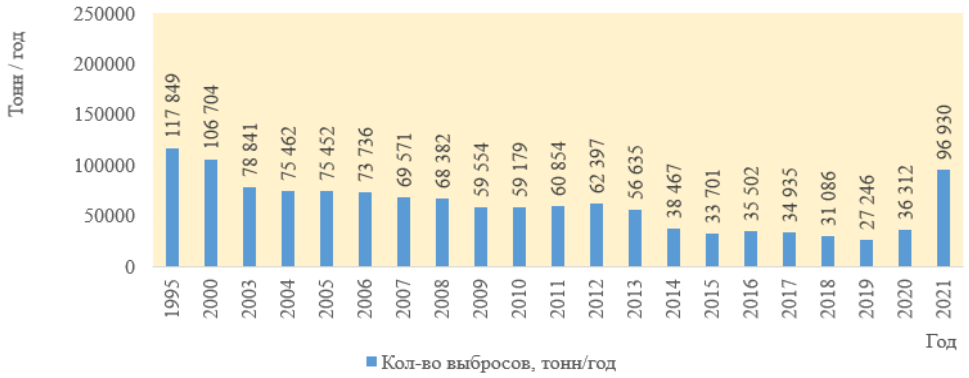
– количественная оценка неканцерогенных рисков развития неблагоприятных эффектов и определение вклада конкретных веществ в формирование показателей здоровья;

– выявление систем организма, в наибольшей степени подверженных риску вредного воздействия;

– определение приоритетов в принятии управленческих решений, направленных на оздоровление населения.

В результате анализа государственного доклада о состоянии окружающей среды в Волгоградской области [4] выделены крупнейшие стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха Волгограда (ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», Филиал АО «Каустик» «Волгоградская ТЭЦ-3», ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго» Волгоградская ТЭЦ-2, «РУСАЛ Волгоград», АО «КАУСТИК», АО «ВМК «Красный Октябрь», «Волгоградский завод тех. углерода») и Волжского (ОАО «Волжский абразивный завод», АО «Волжский Оргсинтез», ООО «Тепловая генерация г. Волжского» Волжская ТЭЦ, АО «Волжский трубный завод», ООО «Тепловая генерация г. Волжского» Волжская ТЭЦ-2, АО «Волтайр-ПРОМ», ОАО «Эктос-Волга», ОА «Текскор», ОАО «ЕПК Волжский»).

По сравнению с прошлым годом, в 2021 г. наблюдается увеличение количества выбросов в атмосферу Волгограда на 167 % (в 2,67 раза) и сохранение выбросов на уровне прошлого года в Волжском (рис. 1).



а

б

Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Волгограда за период 1995–2021 гг.: *а* – Волгоград, *б* – Волжский

В структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов преобладают газообразные и жидкие вещества: Волгоград – 98,6 %; Волжский – 96,9 % (рис. 2).

Рис. 2. Структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов (2021 г.): *а* – Волгоград, *б* – Волжский

Доля выбросов в атмосферу г. Волгограда в общем валовом выбросе загрязняющих веществ региона составляет 43,6 % (первое ранговое место), г. Волжского – 22,7 % (второе ранговое место).

В выбросах автомобильного транспорта присутствуют такие вредные примеси, как оксид углерода, диоксид азота, бензин, сажа, керосин, диоксид серы, формальдегид, бенз(а)пирен и др. Данные о количестве выбросов в атмосферу от автотранспорта экологическими службами не приводятся.

В качестве параметров для оценки неканцерогенного риска здоровью населения использовалась референтная концентрация для ингаляционного способа поступления

(*RfC*). Превышение референтной концентрации не обязательно связано с развитием вредного эффекта. Однако чем выше воздействующая концентрация и чем больше она превышает референтную, тем выше вероятность развития вредных эффектов.

Оценить точно вероятность развития вредного эффекта невозможно, в связи с чем для характеристики риска здоровью использовались коэффициенты и индексы опасности (*HQ* и *HI*).

Если рассчитанный коэффициент опасности (*HQ*) для условий действия одного вещества или индекс опасности (*HI*) для группы веществ однонаправленного действия не превышает единицу, то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни несущественна, и такое воздействие характеризуется как допустимое.

Если коэффициент / индекс опасности превышает единицу, то вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению отношения *HQ* / *HI*.

Величина средней суточной концентрации вещества в атмосферном воздухе, усредненной с учетом ожидаемой продолжительности жизни человека, приравнивалась к среднегодовой концентрации соответствующего вещества в воздухе, полученной на основе натурных замеров ГУ «Волгоградский ЦГМС», Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» на соответствующих стационарных и маршрутных постах (табл. 1).

Определение численности населения, подвергающегося воздействию, проведено следующим образом: на электронной карте Волгограда и Волжского (М 1:10000) выделены кварталы селитебных зон, расположенные в радиусе 2,5 км от постов наблюдения. Качество атмосферного воздуха каждого условного ареала характеризуют замеры концентраций химических веществ на соответствующих постах выше указанных учреждений. Соответственно, сделано допущение, что измеренная концентрация химического вещества распространяется на всю популяцию равномерно (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации веществ и численность популяции, потенциально подверженной воздействию

Рецепторные точки	Исследуемый химический агент	Фактическая концентрация С, мг/м³	Популяция под воздействием, количество человек	Частота воздействия
1	2	3	4	5
ВОЛГОГРАД				
Красноармейский район				
Пост № 36 – ЦГМС, пр-т Канатчиков 20	Взв. вещества Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Сажа Углерода оксид Фенол Водорода хлорид Водорода фторид Аммиак	0,059 0,002 0,006 0,001 0,003 0,500 0,001 0,065 0,006 0,028	Около 70 000	Ежедневно

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Пост № 340101, ФБУЗ, ул. 40 лет ВЛКСМ, 31б (Красноармейский район) Селитебная территория	Взв. вещества Азота диоксид Диоксид серы Сероводород Углерода оксид Фенол Водорода хлорид Аммиак	0,160 0,029 0,029 0,004 3,590 0,002 0,053 0,025	Около 70 000	Ежедневно
Кировский район				
Пост № 5 – ЦГМС, ул. 64-й Армии, 24	Взв. вещества Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Фенол Водорода хлорид	0,089 0,002 0,015 0,000 0,002 0,086	Около 75 000	Ежедневно
Пост № 340102, ФБУЗ, ул. Армавирская, 13а	Азот оксид Диоксид серы Азота диоксид Аммиак Фенол Водорода хлорид Оксид углерода	0,042 0,029 0,028 0,024 0,002 0,054 2,197	Около 20 000	Ежедневно
Советский район				
Пост 2С, Облкомприроды, ул. Тимирязева, 9	Взв. вещества Диоксид серы Азота диоксид Углерода оксид Азота оксид	0,0033 0,0121 0,0183 0,2737 0,0048	Около 70 000	Ежедневно
Центральный район				
Пост № 35, ЦГМС, ул. Гагарина, 14	Взв. вещества Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Сажа Формальдегид Углерода оксид	0,042 0,002 0,014 0,000 0,002 0,007 0,300	Около 120 000	Ежедневно
Дзержинский район				
Пост 4Д, Облкомприроды, БСМП 25	Взв. вещества Серы диоксид Азота диоксид Углерода оксид Азот оксид	0,0195 0,0052 0,0308 0,148 0,0186	Около 140 000	Ежедневно
Краснооктябрьский район				
Пост № 3, ЦГМС, пр-т Ленина, 69	Взв. вещества Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Формальдегид Углерода оксид Фенол Водорода фторид Азота оксид	0,059 0,002 0,015 0,000 0,006 0,600 0,002 0,004 0,009	Около 50 000	Ежедневно

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Пост № 340105, ФБУЗ, ул. Базарова, 4	Азота диоксид Оксида углерода Диоксид серы Формальдегид Фенол Взв.вещества Водорода фторид	0,029 1,962 0,026 0,003 0,002 0,228 0,003	Около 50 000	Ежедневно
Тракторозаводский район				
Пост 1Т, Облкомприроды, ул. Мясникова, 12	Взв.вещества Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Углеродаа оксид Азота оксид	0,0045 0,003 0,0293 0,000 0,3758 0,0173	Около 90 000	Ежедневно
Пост 340108, ФБУЗ, ул. Костюченко, 7б	Азота диоксид Диоксид серы Углерода оксид Азота оксид Формальдегид Фенол Водорода фторид Бенз(а)пирен Хлор	0,031 0,034 2,097 0,032 0,002 0,002 0,003 0,000001 0,015	Около 10 000	Ежедневно
ВОЛЖСКИЙ				
Пост № В5 – ЦГМС (ул. Набережная, 13)	Взвешенные в-ва Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Сажа Формальдегид Углерода оксид Фенол Аммиак Азота оксид Метилмеркаптан	0,081 0,001 0,017 0,000 0,002 0,006 0,600 0,002 0,006 0,006 0,0002	Около 60 000	Ежедневно
Пост № В3 – Облкомприроды (ул. Свердлова, 2б)	Взвешенные в-ва Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Углерода оксид Азота оксид	0,0149 0,0106 0,0212 0,0024 0,3995 0,0049	Около 50 000	Ежедневно
Пост № В4 – Облкомприроды (пересечение ул. Пушкина и Пионерской)	Взвешенные в-ва Диоксид серы Азота диоксид Сероводород Углерода оксид Азота оксид	0,0267 0,0166 0,0377 0,0004 0,4667 0,0124	Около 70 000	Ежедневно

В результате оценки неканцерогенного риска здоровью населения Волгограда наибольший риск отмечен для жителей Краснооктябрьского (*HI* = 2,27…10,85 – первое ранговое место), Кировского (*HI* = 8,54 – второе ранговое место), Красноармейского (*HI* = 6,25 – третье ранговое место) районов города (табл. 2). При этом для исследуемых популяций приоритетными поражаемыми системами организма являются органы дыхания, система крови, центральная нервная система, система кровообращения, иммунная система, нарушения в развитии.

Таблица 2

Сводная таблица неканцерогенных рисков здоровью населения Волгограда

Район города	Ориентировочная численность исследуемой популяции, количество человек	Значение риска	Ранг	Приоритетные поражаемые системы организма человека
Красноармейский	70 000	5,67	5	1. Органы дыхания
Красноармейский	70 000	8,67 1,93 1,53 1,53 1,20	2 13 16 16 19	1. Органы дыхания 2. Система крови 3. Система кровообращения 4. ЦНС 5. Системы развития
Кировский	75 000	6,24	3	1. Органы дыхания
Кировский	20 000	5,25 2,13 1,06 1,06	6 10 23 23	1. Органы дыхания 2. Кровь 3. Система кровообращения 4. ЦНС
Советский	70 000	–		–
Центральный	120 000	3,32 2,33 2,33	8 9 9	1. Органы дыхания 2. Иммун.система 3. Глаза
Дзержинский	140 000	1,44 1,13	17 22	1. Органы дыхания 2. Кровь
Краснооктябрьский	50 000	3,98 2,00 2,00	7 12 12	1. Органы дыхания 2. Иммун.сист. 3. Глаза
Краснооктябрьский	50 000	5,83 1,38	4 18	1. Органы дыхания 2. Кровь
Тракторозаводский	90 000	1,15 1,14	20 21	1. Кровь 2. Органы дыхания
Тракторозаводский	10 000	78,2 2,01 1,70 1,67 1,03 1,03	1 11 14 15 24 24	1. Органы дыхания 2. Кровь 3. Системы развития 4. Иммун.система 5. Система кровообращения 6. ЦНС
ИТОГО	765 000			

В результате оценки неканцерогенного риска здоровью населения Волжского наибольший риск отмечен для жителей, проживающих вблизи поста по ул. Набережной, 13 (*HI* = 4,46 – первое ранговое место), далее в районе размещения поста по ул. Свердлова, 2б (*HI* = 2,36 – второе ранговое место) и по ул. Пушкина – Пио-

нерской (*HI* = 2,19 – третье ранговое место) (табл. 3). При этом для исследуемых популяций приоритетными поражаемыми системами организма являются органы дыхания, глаза, иммунная система, система крови.

Основной вклад в риск здоровью населения (соответственно для постов наблюдения) вносят такие вещества, как формальдегид (вклад в неканцерогенный риск составляет 44,9 %), взвешенные вещества (16,2…24,2 %), диоксид азота (22,5…43,0 %), сероводород (50,9 %). Вероятным источником образования формальдегида, диоксида азота является автотранспорт, взвешенных веществ и сероводорода – Волжский абразивный завод.

Таблица 3

Сводная таблица неканцерогенных рисков здоровью населения Волжского

Ориентировочная численность исследуемой популяции, количество человек	Значение риска	Ранг	Приоритетные поражаемые системы организма человека
60 000 ул. Набережная, 13	4,26 2,00 2,00	1 4 4	Органы дыхания. Глаза. Иммунная система
50 000 ул. Свердлова, 2б	2,22	2	Органы дыхания
70 000 пересечение ул. Пушкина – Пионерская	2,04 1,31	3 5	Органы дыхания. Система крови
ИТОГО 180 тыс.			

С целью снижения риска здоровью населения от выявленных приоритетных загрязнителей, содержащихся в атмосферном воздухе, рекомендуется проведение следующих мероприятий по улучшению состояния среды обитания:

<u>в отношении предприятий:</u>

– продолжение работы по установлению / уточнению санитарно-защитных зон;

– установление единой санитарно-защитной зоны для групп промышленных объектов и производств с учетом суммарных выбросов в атмосферный воздух источников промышленных объектов и производств, входящих в единую зону;

– снижение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за счет технического перевооружения, реконструкции и модернизации производств;

– увеличение площади озеленения городских территорий.

<u>в отношении автотранспорта:</u>

– дополнительное научно обоснованное озеленение примагистральных территорий;

– перераспределение транспортных потоков, строительство объездной дороги для транзитного транспорта;

– усиление контроля за состоянием транспортных средств;

– оптимизация работы светофоров с целью создания «зеленой волны».

Кроме того, для улучшения показателей здоровья населения необходимы разработка и проведение целенаправленной профилактики заболеваний, возникающих вследствие вредного воздействия факторов окружающей среды на системы организма, в наибольшей степени подверженные риску.

Список литературы

1. Выбор приоритетных загрязняющих веществ атмосферного воздуха г. Новокузнецка для контроля в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» / Е.И. Окс, Е.С. Парамонова, А.В. Бачина, О.Н. Брагина, Л.А. Глебова, Е.Д. Стребкова, В.В. Беккер // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – С. 24–29.

2. Горбушина О.Ю. Влияние качества атмосферного воздуха на развитие патологии органов дыхания у населения субъекта Восточно-Сибирского экономического района // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – С. 59–63.

3. Максимова Е.В., Май И.В., Вековшинина С.А. Мониторинг качества атмосферного воздуха в задачах управления химическими рисками здоровью населения в крупном промышленном центре // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – С. 39–44.

4. О состоянии окружающей среды в Волгоградской области в 2021 году: доклад // Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград: «ТЕМПОРА», 2022. – 300 с.

5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области в 2021 году: государственный доклад // Управление Роспотребнадзора по Волгоградской области. – Волгоград, 2022. – 282 с.

6. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. И введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 02.07.2022).

Оценка рисков здоровью населения при употреблении воды из поверхностных источников питьевого водоснабжения левобережных районов Саратовской области

И.С. Кошелева, Д.А. Кузянов, К.А. Савина, Ю.С. Гусев

Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Саратов, Россия

Представлены результаты санитарно-химического анализа проб воды малых рек Большой Караман, Большой Узень, Малый Узень, Еруслан, Нахой за 2020–2022 гг. На основании полученных данных произведена оценка рисков здоровью населения левобережных районов Саратовской области, обусловленных химическим составом воды поверхностных источников питьевого водоснабжения.

Ключевые слова: качество воды, поверхностные водоисточники, оценка рисков, аридизация.

Левобережье Саратовской области относится к регионам с неблагоприятными климатическими условиями, что обусловлено комплексом природных факторов, в том числе процессами аридизации климата. Это существенным образом сказывается на качестве питьевой воды. Из-за высокой степени минерализации подземных вод большинство жителей левобережных районов вынуждены использовать для хозяйственно-питьевых нужд воду поверхностных источников: малых рек, оросительно-обводнительных систем, водохранилищ. Ввиду отсутствия централизованных водоочистных сооружений, перед подачей населению воду из исследуемых рек не очищают и не обеззараживают [1, 2, 6, 8].

Малые реки Заволжья характеризуются небольшой глубиной, низкой скоростью течения и малой водообеспеченностью, что в совокупности приводит к слабой самоочищающейся способности. Высокий уровень зарегулированности малых рек превращает их в цепь слабопроточных водохранилищ, а высокая летняя температура способствует их эвтрофикации. Поскольку водоисточники аридных зон особенно чувствительны к антропогенной нагрузке со стороны населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий, контроль качества воды в них должен осуществляться особенно тщательно [7, 11].

Цель исследования – оценка рисков здоровью населения левобережных районов Саратовской области, обусловленных химическим составом воды поверхностных источников питьевого водоснабжения.

Материалы и методы. В рамках исследования акцент сделан на санитарно-гигиеническом качестве воды малых рек Большой Караман, Большой Узень, Малый Узень, Еруслан, Нахой, поскольку данные водоисточники являются объектами водозабора для населенных пунктов.

Пробоотбор осуществлялся в 2020–2022 гг. и регламентировался ГОСТ [3]. Исследования проб воды проводились в лаборатории физико-химического анализа

Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора с применением титриметрического, спектрофотометрического методов анализа, а также атомно-абсорбционной спектроскопии. Выбор контролируемых показателей обусловлен требованиями, предъявляемыми к качеству водоисточника СанПиН 1.2.3685-21 [10].

На основе установленных среднегодовых концентраций химических веществ рассчитаны среднесуточные дозы, коэффициенты и индексы токсической опасности, значения канцерогенного риска для двух возрастных категорий: дети (1–18 лет) и взрослые (18 лет и более). При расчетах использовались следующие значения экспозиции: масса тела – 42 кг (дети), 70 кг (взрослые); потребление воды – 1,5 л (дети), 2 л (взрослые). Для расчета неканцерогенного риска использовано 24 показателя, для расчета канцерогенного риска – 4. Данные о численности экспонированного населения получены из материалов интернет-ресурса www.statdata.ru [12]. Оценка рисков здоровью населения, обусловленного потреблением питьевой воды, осуществлялась в соответствии с Руководством [9].

Статистическая обработка данных была проведена с помощью пакета программных средств MS Excel.

Результаты. Санитарно-химический анализ проб воды, отобранных из рек Большой Караман, Большой Узень, Малый Узень, Еруслан, Нахой, показал, что средние концентрации в ряде случаев не выходят за пределы нормативов. Тем не менее максимальные уровни нередко в несколько раз выше предельно допустимых. Так, для рек Большой и Малый Узень отмечено превышение ПДК по органолептическим показателям (цветность, мутность) и перманганатной окисляемости (табл. 1). Кроме того, в пробах воды, взятых из реки Малый Узень, фиксировалось повышенное содержание свинца.

Таблица 1

Химический состав воды рек Большой Узень и Малый Узень

Показатель	ПДК*	Большой Узень		Малый Узень	
		сред. знач.	диапазон концентраций	сред. знач.	диапазон концентраций
1	2	3	4	5	6
Мутность, мг/дм^3	2	**5,5**	0,58–**7.2**	**16,1**	**3–59,7**
Цветность, градусы	30	24,22	20,4–**32,5**	34,7	24,2–**43**
Минерализация, мг/дм^3	1500	426,4	208–418	588,3	268–1171
Перманганат. окисл, мгO_2/дм^3	7	6,8	5,84–**8,29**	**15,5**	5,7–**21,9**
Жесткость, ºЖ	10	5,2	3,3–7,8	4,9	3,8–6,1
Нитраты, мг/дм^3	45	0,165	0,08–0,2	0,181	0,12–2,1
Нитриты, мг/дм^3	3	0,361	0,08–1,3	0,537	0,02–0,09
Аммиак, мг/дм^3	1,5	0,386	0,1–0,5	0,350	0,1–0,5
Железо, мг/дм^3	0,3	0,068	0,05–0,16	0,025	0,01–0,05
Сульфаты, мг/дм^3	500	84,25	49,4–151	81,03	30–150
Фосфаты, мг/дм^3	3,5	0,25	0,25–0,25	0,4	0,23–0,7
Хлориды, мг/дм^3	350	148,8	46–**403**	121,3	64–170
Фториды, мг/дм^3	1,5	0,244	0,2–0,33	0,308	0,21–0,5
Марганец, мг/дм^3	0,1	0,042	0,01–0,08	0,044	0,01–0,09
Медь, мг/дм^3	1	0,002	0,002–0,006	0,017	0,001–0,01
Никель, мг/дм^3	0,02	0,002	0,001–0,003	0,006	0,05–0,02

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Кадмий, мг/дм^3	0,001	0,0001	0,001–0,001	0,0001	0,001–0,001
Свинец, мг/дм^3	0,01	0,001	0,001–0,001	0,002	0,01–**0,02**
Хром, мг/дм^3	0,05	0,0003	0,0002–0,0005	0,004	0,001–0,004
Мышьяк, мг/дм^3	0,01	0,002	0,002–0,004	0,003	0,003–0,004
Барий, мг/дм^3	0,7	0,0002	0,0001–0,0007	0,02	0,001–0,1
Магний, мг/дм^3	50	24,82	11,9–46	22,92	16–28,3
Стронций, мг/дм^3	7	0,638	0,47–0,59	0,703	0,5–0,93
Натрий, мг/дм^3	200	80,08	25–186	64,4	35–85
Литий, мг/дм^3	0,03	0,02	0,02–0,02	0,02	0,02–0,02

Примечание: * – для поверхностных водоисточников.

Тенденция к превышению ПДК по органолептическим показателям сохраняется для рек Большой Караман, Нахой и Еруслан (табл. 2). Кроме того, пробы воды, взятые из вышеуказанных водоисточников, не соответствуют санитарно-химическим нормативам по следующим показателям: перманганатная окисляемость, жесткость (р. Большой Караман, р. Нахой), сульфаты (р. Еруслан, р. Нахой), хлориды (р. Большой Караман, р. Нахой), марганец (р. Еруслан, р. Нахой), свинец (р. Еруслан) и литий (р. Большой Караман).

Таблица 2

Химический состав воды рек Большой Караман, Еруслан и Нахой

Показатель	ПДК*	Большой Караман		Еруслан		Нахой	
		сред. знач.	диапазон конц.	сред. знач.	диапазон конц.	сред. знач.	диапазон конц.
1	2	3	4	5	6	7	8
Мутность, мг/дм^3	2	**23,1**	**3,2–51,6**	**32,7**	0,58–**198,4**	**68,7**	6,3–**192,6**
Цветность, градусы	20	**34,9**	19,6–**50,2**	**31,0**	1–**49,4**	**36,2**	3,2–**45**
Минерализация, мг/дм^3	1500	855,3	268–1378	382,3	232–503	1156	1014–1351
Перманганат. окисл., мгO_2/дм^3	7	**20,04**	6,81–**33,26**	**10,6**	3,92–**16,79**	**15,3**	**11,5–25,98**
Жесткость,	10	7,1	3,0–**11,8**	4,8	3,03–6,2	**10,5**	8,2–**13,4**
Нитраты, мг/дм^3	45	0,148	0,1–0,2	0,61	0,1–1,7	2,036	0,1–6,3
Нитриты, мг/дм^3	3	0,167	0,04–0,2	0,175	0,08–0,2	0,158	0,07–0,2
Аммиак, мг/дм^3	1,5	0,373	0,12–0,5	0,427	0,1–0,5	0,386	0,1–0,5
Железо, мг/дм^3	0,3	0,057	0,05–0,07	0,07	0,02–0,13	0,067	0,05–0,1
Сульфаты, мг/дм^3	500	267	259–485	97,0	165–**500**	449,2	230,4–**630**
Фосфаты, мг/дм^3	3,5	0,45	0,25–0,65	0,22	0,07–0,25	0,42	0,25–0,45
Хлориды, мг/дм^3	350	248	296–**385**	114,6	45–178	356,9	132,6–**449**
Фториды, мг/дм^3	1,5	0,298	0,2–0,46	0,24	0,17–0,34	0,432	0,2–0,61
Марганец, мг/дм^3	0,1	0,034	0,01–0,08	0,044	0,01–**0,14**	0,113	0,01–**0,31**
Медь, мг/дм^3	1	0,021	0,001–0,006	0,02	0,001–0,1	0,018	0,0001–0,069
Никель, мг/дм^3	0,02	0,005	0,004–0,006	0,01	0,001–0,07	0,006	0,0001–0,002
Кадмий, мг/дм^3	0,001	0,0001	0,001–0,001	0,0001	0,001–0,001	0,0001	0,001–0,001
Свинец, мг/дм^3	0,01	0,002	0,002–0,004	0,002	0,01–**0,02**	0,0004	0,0001–0,002
Хром, мг/дм^3	0,05	0,006	0,001–0,02	0,007	0,0004–0,02	0,011	0,0003–0,002
Мышьяк, мг/дм^3	0,01	0,004	0,003–0,005	0,003	0,001–0,005	0,005	0,0038–0,009

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Барий, мг/дм^3	0,7	0,033	0,001–0,1	0,0002	0,0001–0,0007	0,029	0,0001–0,1
Магний, мг/дм^3	50	50,05	17,1–83	23,413	15,1–29,3	54,05	61–80
Стронций, мг/дм^3	7	0,94	0,45–1,93	0,648	0,43–0,78	1,205	0,71–1,7
Натрий, мг/дм^3	200	228,8	48,6–409	64,775	32,2–91	269,4	1,6–428
Литий, мг/дм^3	0,03	**0,037**	0,02–0,037	0,02	0,02	0,02	0,02–0,02

Примечание: * – для поверхностных водоисточников.

Токсическую опасность воды для населения определяли на основании анализа значений коэффициента опасности (*HQ*) и суммарного индекса опасности (*HI*). Показатели вычислены для всех возрастных групп (табл. 3). Высокие значения (> 0,1) коэффициентов опасности *HQ* установлены для мышьяка, фторидов, хрома, кальция и магния.

Индекс опасности *HI* для рек Большой Караман, Большой Узень, Еруслан и Малый Узень находится в допустимых пределах в возрастных категориях «взрослые» и «дети», а для реки Нахой превышен в возрастной категории «дети».

Таблица 3

Значения коэффициентов опасности (*HQ*) и суммарного индекса опасности (*HI*)

Показатель	Б. Караман		Б. Узень		Еруслан		М. Узень		Нахой	
	В*	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д
HQ										
Нитраты	0,042	0,053	0,047	0,059	0,050	0,062	0,052	0,019	0,016	0,020
Нитриты	0,003	0,004	0,006	0,008	0,011	0,014	0,010	0,004	0,013	0,016
Аммиак	0,011	0,014	0,011	0,014	0,012	0,016	0,010	0,004	0,004	0,005
Железо	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
Фториды	0,142	0,177	0,116	0,145	0,115	0,143	0,147	0,055	0,072	0,090
Марганец	0,007	0,009	0,008	0,011	0,009	0,011	0,009	0,003	0,007	0,009
Алюминий	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Медь	0,032	0,040	0,002	0,003	0,028	0,035	0,027	0,010	0,010	0,012
Никель	0,007	0,009	0,002	0,003	0,015	0,019	0,008	0,003	0,003	0,004
Кадмий	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Свинец	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Хром	0,034	0,043	0,001	0,002	0,040	0,050	0,023	0,008	0,024	0,027
Мышьяк	0,340	0,425	0,156	0,194	0,253	0,316	0,326	0,122	0,177	0,221
Барий	0,014	0,017	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,003	0,002	0,005
Кальций	0,030	0,038	0,024	0,037	0,031	0,039	0,031	0,014	0,008	0,011
Магний	0,087	0,108	0,046	0,058	0,044	0,055	0,050	0,019	0,028	0,035
Стронций	0,030	0,037	0,017	0,022	0,017	0,021	0,017	0,006	0,006	0,007
Натрий	0,127	0,159	0,048	0,060	0,039	0,049	0,045	0,017	0,045	0,056
Литий	0,018	0,022	0,016	0,020	0,008	0,010	0,010	0,004	0,001	0,002
	HI									
	0,255	0,318	0,321	0,406	0,702	0,877	0,430	0,539	0,838	1,046

Примечание: В – взрослые; Д – дети.
Допустимые значения:
HQ < 0,1 – допустимый риск
HI: < 1 – приемлемый риск; *HI* = 1 – допустимый риск; *HI* > 1 – высокий риск

В пробах воды, отобранных из рек Большой Караман, Большой Узень, Малый Узень, Еруслан и Нахой, присутствует ряд веществ, обладающих канцерогенными эффектами – это кадмий, свинец, хром и мышьяк. Согласно информационно-методическому письму Госсанэпидемнадзора [4], в качестве величины приемлемого пожизненного канцерогенного риска для условий населенных мест рекомендуется использовать величину 10^{-5}, тогда как уровень 10^{-4} сигнализирует о существовании потенциальной опасности для здоровья человека. Значения индивидуального канцерогенного риска, обусловленного употреблением воды поверхностных источников, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Индивидуальный канцерогенный риск

Показатель	Большой Караман	Еруслан	Малый Узень	Большой Узень	Нахой
Кадмий	2,38095E–06	8,86061E–06	1,11952E–05	2,57143E–07	9,65714E–06
Свинец	7,52381E–05	0,000103758	0,000039	2,13878E–05	0,000008
Хром	0,00017219	0,000469806	0,000117476	0,000006	0,000342571
Мышьяк	0,000101905	0,00017703	9,78095E–05	4,66531E–05	0,000151306

Популяционные канцерогенные риски (*PCR*) определены на основании индивидуальных канцерогенных рисков (*CR*) с учетом численности населения, потребляющего воду из исследуемых рек без централизованной водоподготовки. Индивидуальные канцерогенные риски для смеси веществ (CR_T) определены суммированием индивидуальных канцерогенных рисков (*CR*) для каждого канцерогенного вещества. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Популяционный канцерогенный риск

Водоисточник	Населенные пункты	Числ. насел., тыс. человек	CR_T	*PCR*
Большой Караман	Советский район – с. Пионерское	781	0,000351714	0,28
Еруслан	Федоровский район – с. Долина, с. Семеновка Краснокутский район – пос. Ждановка	4295	0,000759455	3,26
Малый Узень	Федоровский район – с. Борисоглебовка Питерский район – с. Новотулка	2907	0,000265481	0,77
Большой Узень	Ершовский район – пос. Орлов Гай, пос. Большеузенка Новоузенский район – пос. Куриловка р. п. Александров Гай	20936	7,4298E–05	0,17
Нахой	Советский район – с. Розовое	1336	0,000511535	0,68

По результатам расчетов количество случаев новообразований, способных возникнуть вследствие воздействия вышеуказанных канцерогенов, варьируется в пределах от 0,17 (Большой Узень) до 3,26 (Еруслан). Высокие значения *PCR* для реки Еруслан могут быть связаны с высоким содержанием марганца и свинца.

Выводы:

1. Санитарно-химическая оценка проб воды, отобранных из рек Большой Караман, Большой Узень, Малый Узень, Еруслан и Нахой, показала, что наибольший

вклад в качество воды вносит несоответствие гигиеническим нормативам по органолептическим показателям, сульфатам, хлоридам и марганцу.

2. Индекс опасности для рек Большой Караман, Большой Узень, Еруслан и Малый Узень находится в допустимых пределах для возрастных категорий «взрослые» и «дети», для реки Нахой превышен в возрастной категории «дети».

3. Значения популяционных канцерогенных рисков (*PCR*), обусловленных потреблением воды из исследуемых рек без централизованной водоподготовки, варьируется в пределах от 0,17 (Большой Узень) до 3,26 (Еруслан). Высокие значения *PCR* для реки Еруслан могут быть связаны с высоким содержанием марганца и свинца.

Список литературы

1. Барьерная роль сооружений, расположенных в агропромышленных районах Саратовской области на поверхностных водоисточниках / Ш.Ж. Мусаев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 575.

2. Гигиенические аспекты использования малых водотоков Нижнего Поволжья для сельского водоснабжения / С.А. Мосияш [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 11. – С. 27–29.

3. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. – М: Стандартинформ, 2019. – 36 с.

4. Информационно-методическое письмо Департамента Госсанэпиднадзора МЗ РФ № 1100731-01-111 от 26.03.01. Оценка риска многосредового воздействия химических веществ (расчет дозовой нагрузки, критерии оценки риска канцерогенных и неканцерогенных эффектов)

5. Лаврентьев М.В., Орлов А.А., Елисеев Ю.Ю. Гигиеническая оценка качества питьевой воды, полученной с использованием локальных систем очистки // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 9-3. – С. 421–425.

6. Мусаев Ш.Ж. Гигиеническая характеристика химического загрязнения водоисточников хозяйственно-питьевого водоснабжения, используемых в Саратовской области // Актуальные проблемы гигиены и медицины труда в АПК и смежных отраслях промышленности. – 2016. – 206 с.

7. Мухамеджанова Е.Я., Коньшин Д.В. Мониторинг среды обитания: учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 110 с.

8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 254 с.

9. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

10. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] // Консультант Плюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11fcfeeaca/ (дата обращения: 01.09.2022).

11. Эльпинер Л.И. Медико-экологические аспекты кризиса питьевого водоснабжения // Гигиена и санитария – 2013. – № 6. – С. 38–44.

12. Statdata.ru – Сайт о странах и городах [Электронный ресурс]. – URL: http://www.statdata.ru (дата обращения 29.08.2022).

Мониторинг демографической ситуации в задачах изучения эколого-гигиенических и социально-экономических детерминант здоровья населения промышленного города

Б.И. Марченко, К.С. Тарасенко

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Анализируется мониторинг параметров медико-демографической ситуации, рассмотрен унифицированный алгоритм комплексного анализа, применяемый при ведении социально-гигиенического мониторинга в Ростовской области. Обоснован дифференцированный подход для регионального и муниципального уровней при формировании перечня маркерных показателей медико-демографической ситуации, используемых аналитических методов. Представлены результаты ретроспективного и среднесрочного проспективного анализа рождаемости, смертности, естественного прироста; младенческой, неонатальной и перинатальной смертности, мертворожденности, средней продолжительности предстоящей жизни. Проведена оценка реального (эпидемиологического) риска общей и младенческой смертности в г. Таганроге. Аналитические материалы о демографическом статусе являются важным компонентом датчиковой среды для характеристики эколого-гигиенических и социально-экономических детерминант при изучении причинно-следственных связей в системе «среда обитания – здоровье населения».

Ключевые слова: демографическая ситуация, рождаемость, смертность, естественный прирост, средняя продолжительность предстоящей жизни, социально-гигиенический мониторинг.

Медико-демографический мониторинг представляет собой одну из ключевых подсистем национальной системы социально-гигиенического мониторинга, а показатели демографического статуса – комплекс высокоинформативных индикаторов социально-экономической ситуации, характеризующих состояние функциональных резервов здоровья населения на популяционном уровне. Так, медико-демографические показатели в статике и динамике позволяют с высокой степенью объективности характеризовать качество и безопасность среды обитания, в том числе эколого-гигиенические и социально-экономические детерминанты здоровья населения; уровень и доступность медико-профилактической помощи населению; потенциальные перспективы развития демографической ситуации и ряд других значимых параметров.

Именно поэтому уже на первых этапах создания национальной системы социально-гигиенического мониторинга, наряду с использованием категорированных данных государственной и ведомственной статистики о заболеваемости населения, социально-экономической ситуации и санитарном состоянии объектов окружающей среды, в перечень показателей федерального, регионального и муниципального уровней были включены сведения об основных демографических процессах [1, 5]. В России сохраняется негативная демографическая ситуация, что обусловливает приоритетную значимость решения стратегической задачи сохранения здоровья на-

селения, снижения уровня смертности, увеличения продолжительности жизни, создания и формирования мотивации для ведения здорового образа жизни и преодоления демографического спада в стране, поставленной в «Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 09.12.2007 г. № 1351 (редакция от 01.07.2014 г.) [3, 4, 7, 8, 10, 11].

Цель исследования – комплексный анализ медико-демографической ситуации в г. Таганроге за период 2002–2021 гг. в соответствии с унифицированным алгоритмом, применяемым при ведении социально-гигиенического мониторинга в Ростовской области на региональном уровне и уровне муниципальных образований.

Материалы и методы. При анализе медико-демографической ситуации использованы специализированные базы данных системы социально-гигиенического мониторинга Ростовской области за период 2002–2021 гг. и материалы персонифицированного учета по Таганрогу – городу областного подчинения с населением около 250 тыс. человек. При проведении исследований применены: профессиональный пакет статистических программ IBM SPSS Statistics (Statistical Package for Social Science), version 19.0, база данных информационно-аналитического программного комплекса «Криста» системы социально-гигиенического мониторинга, а также авторское программное обеспечение, включая многофункциональный программный комплекс Turbo demographer, version 10.0w (ретроспективный анализ медико-демографических показателей, расчет кратких таблиц дожития и средней продолжительности предстоящей жизни новорожденных, оценка реального риска общей и младенческой смертности) и универсальную программу Turbo Dynamics, version 1.02 (статистический анализ многолетней динамики, среднесрочное экстраполяционное прогнозирование и моделирование).

Результаты. Проведенный анализ динамики основных показателей естественного движения населения по Ростовской области в целом и по г. Таганрогу свидетельствует о существенном ухудшении демографической ситуации. Так, за последние 15 лет сформировались тенденции к снижению рождаемости при среднегодовых темпах прироста -1,29 и -0,21 % соответственно. При этом среднемноголетний уровень рождаемости ($p < 0,05$) за период 2007–2021 гг. в г. Таганроге (10,42 ± 0,77 ‰) оказался несколько ниже аналогичного областного показателя (10,60 ± 0,66 ‰). Наиболее интенсивное снижение рождаемости отмечено за последнее пятилетие при среднегодовых темпах прироста тенденций и среднемноголетнем уровне по Таганрогу -6,58 % и 9,62 ± 1,31 ‰, по Ростовской области – -4,83 % и 9,25 ± 0,92 ‰. Одновременно сформировались тенденции к росту общей смертности как населения Таганрога (среднегодовой темп прироста +0,39 % при среднемноголетнем уровне 16,45 ± 0,28 ‰), так и Ростовской области (+0,22 %; 14,48 ± 0,73 ‰). Особенно неблагоприятная ситуация по общей смертности населения диагностирована в последние 5 лет при среднегодовых темпах прироста +8,79 и +9,02 % соответственно, ее среднемноголетних уровнях 17,76 ± 3,25 и 14,82 ± 2,92 ‰. Наиболее высокие уровни общей смертности населения приходятся на период пандемии новой коронавирусной инфекции с максимальными показателями в 2021 г.: 22,09 ‰ – в Таганроге, и 18,75 ‰ – по области в целом. Таким образом, сложившиеся уровни рождаемости и общей смертности не обеспечивают простое воспроизводство поколений. Как по Таганрогу, так и по Ростовской области в целом с 2016 г. отмечается крайне неблагоприятная тенденция к снижению показа-

телей естественного прироста населения, находящихся в зоне отрицательных значений при их среднемноголетних уровнях -6,03 и -3,88 ‰. На основе построенных нелинейных регрессионных моделей выполнен проспективный анализ основных показателей естественного движения населения с расчетом экстраполяционных прогнозов на 2022 и 2023 гг. (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Динамика основных показателей естественного движения населения по Ростовской области и г. Таганрогу за период 2002–2021 гг. Среднесрочный прогноз на 2022 и 2023 гг.

Годы наблюдения	Ростовская область			г. Таганрог		
	Рождаемость, ‰	Смертность, ‰	Естественный прирост, ‰	Рождаемость, ‰	Смертность, ‰	Естественный прирост, ‰
2002	8,82	16,11	-7,29	8,41	17,56	-9,15
2005	9,24	16,34	-7,10	8,43	17,72	-9,29
2005	9,53	15,77	-6,24	9,69	16,96	-7,27
2005	9,11	15,84	-6,73	9,34	17,18	-7,84
2006	9,54	15,37	-5,83	9,29	16,74	-7,45
2007	10,12	14,79	-4,67	8,95	15,74	-6,79
2008	10,69	14,88	-4,19	9,67	16,94	-7,27
2009	10,78	14,54	-3,76	10,20	16,77	-6,58
2010	10,93	14,69	-6,66	10,16	16,82	-6,66
2011	10,95	14,33	-3,38	10,42	16,34	-5,93
2012	11,72	14,04	-2,32	11,66	16,18	-4,52
2013	11,69	13,84	-2,15	11,49	16,06	-4,57
2014	12,09	14,11	-4,67	12,16	16,83	-4,67
2015	12,14	13,94	-1,80	14,53	17,17	-2,64
2016	11,63	13,89	-2,26	13,07	16,55	-3,48
2017	10,31	13,33	-3,03	11,23	15,61	-4,38
2018	9,73	13,46	-3,73	10,04	16,43	-6,39
2019	8,98	13,27	-4,29	9,45	16,36	-6,91
2020	8,69	15,30	-6,61	8,81	18,29	-9,48
2021	8,56	18,75	-10,19	8,61	22,09	-13,48
Темп прироста, %	*-1,54*	*22,50*	н/о	*-2,27*	*20,78*	н/о
Среднемноголетний уровень за период 2007–2021 гг., ‰	**10,60**	**14,48**	**-3,88**	**10,42**	**16,45**	**-6,03**
Среднегодовой темп прироста тенденций за период 2007–2021 гг., %	**-1,29**	**0,39**	н/о	**-0,21**	**0,22**	н/о
Прогноз на 2022 г., ‰	**9,50**	**14,93**	**-5,43**	**8,76**	**17,14**	**-8,38**
Прогноз на 2023 г., ‰	**9,37**	**14,98**	**-5,61**	**8,06**	**17,18**	**-9,12**

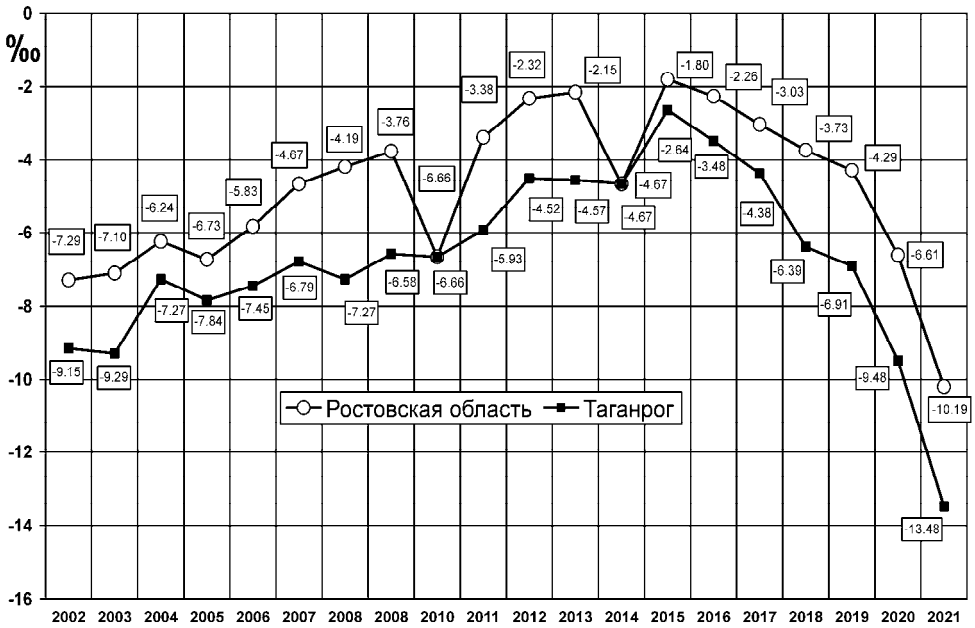


Рис. 1. Динамика показателей естественного прироста населения в Ростовской области и г. Таганроге за период 2002–2021 гг.

Результаты анализа специальных показателей смертности свидетельствуют об относительно благополучной ситуации по младенческой смертности. Так, ее среднемноголетний показатель по Таганрогу за 2007–2021 гг. составляет 5,54 ± 1,19 ‰, что в 1,3 раза ниже, чем младенческая смертность по Ростовской области (7,15 ± 1,02 ‰). За последние 15 лет сформировались благоприятные тенденции к снижению младенческой смертности при среднегодовых темпах прироста соответственно -7,64 и -5,04 % (табл. 2).

При ведении социально-гигиенического мониторинга на муниципальном уровне в Таганроге применяется расширенный перечень показателей, включающий дополнительно к региональному по Ростовской области коэффициенты перинатальной, ранней и поздней неонатальной, постнеонатальной смертности, а также среднюю продолжительность предстоящей жизни (СППЖ) для различных возрастно-половых групп населения, определяемую путем построения кратких таблиц дожития.

За период 2007–2021 гг. по г. Таганрогу диагностированы благоприятные тенденции к снижению показателей мертворожденности (среднегодовой темп прироста -4,93 %), неонатальной смертности (-9,05 %) и перинатальной смертности (-6,64 %); среднемноголетние уровни которых составляют соответственно 4,23 ± 0,69, 3,51 ± 0,85 и 6,74 ± 1,21 ‰. Прогнозируется дальнейшее снижение данных показателей в 2022 и 2023 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Динамика специальных показателей смертности и средней продолжительности предстоящей жизни новорожденных за период 2002–2021 гг. Среднесрочный прогноз на 2022 и 2023 гг.

Годы наблюдения. Наименования показателей	Ростовская область	г. Таганрог						
	Специальные показатели смертности, ‰					Средняя продолжительность предстоящей жизни новорожденных (СППЖ), лет		
	Младенческая смертность	Младенческая смертность	Мертво-рожденность	Неонатальная смертность	Перинатальная смертность	Оба пола	Мужчины	Женщины
2002	10,14	9,92	6,85	6,61	11,56	66,65	60,86	72,69
2003	11,31	10,53	5,44	5,05	9,63	66,25	60,78	72,15
2004	12,15	11,16	4,81	6,69	10,37	66,23	60,02	72,65
2005	10,12	9,80	7,40	7,45	12,85	66,88	60,48	73,38
2006	13.14	10.42	7.16	8.41	13.92	67,13	61,09	73,20
2007	12.41	5.92	4.63	3.80	7.99	68,23	62,38	73,94
2008	10.01	7.93	7.87	6.35	12.99	68,81	63,16	74,21
2009	9.06	8.37	6.43	5.33	10.97	68,42	62,65	73,96
2010	7.60	5.79	3.84	5.02	8.07	69,15	63,38	74,65
2011	7.57	8.24	6.70	5.65	9.36	69,53	63,81	75,05
2012	8.91	7.34	4.32	4.00	6.98	69,88	64,07	75,51
2013	9.54	6.49	6.45	3.76	8.49	70,41	64,59	76,00
2014	7.84	7.13	3.55	2.92	5.49	70,75	65,17	75,95
2015	6.56	6.10	3.72	2.51	7,04	71,01	65,45	76,20
2016	6,31	4,88	4,85	1,90	6,37	71,14	65,33	75,53
2017	6,46	3,51	3,71	2,17	4,92	71,52	65,38	75,98
2018	5,11	3,22	3,44	2,97	6,01	72,01	67,18	75,87
2019	4,77	4,31	2,88	2,78	5,22	72,25	67,22	76,64
2020	5,46	1,42	3,03	1,04	3,49	72,70	68,41	76,92
2021	4,86	2,74	2,56	1,91	4,01	72,48	68,11	77,01
Темп прироста, %	**-10,99**	**92,96**	**-15,51**	**83,65**	**14,90**	**-0,30**	**-0,44**	**0,12**
Среднемного-летний уровень за период 2007–2021 гг., ‰	**7,15**	**5,54**	**4,23**	**3,51**	**6,74**	**70,52**	**65,09**	**75,56**
Среднегодовой темп прироста тенденций за период 2007–2021 гг., %	**-5,04**	**-7,64**	**-4,93**	**-9,05**	**-6,64**	**0,52**	**0,65**	**0,28**
Прогноз на 2022 г., ‰	**5,40**	**2,34**	**2,68**	**1,18**	**3,44**	**73,27**	**68,44**	**77,24**
Прогноз на 2023 г., ‰	**5,26**	**1,94**	**2,47**	**0,89**	**2,99**	**73,63**	**68,86**	**77,45**

Высокую актуальность использования в системе социально-гигиенического мониторинга средней продолжительности предстоящей жизни обусловливает то, что данный показатель наиболее объективно характеризует жизнеспособность населения в целом, не зависит от особенностей возрастно-половой структуры населения и удобен для анализа в динамике и при сравнении административных территорий. Установлено, что период 2007–2021 гг. характеризуется тенденциями к увеличению средней продолжительности предстоящей жизни новорожденных как в целом для населения г. Таганрога при среднегодовом темпе прироста +0,52 %, так и для мужчин (+0,65 %) и женщин (+0,65 %). Среднемноголетние уровни данного показателя для мужчин составляют 65,09 ± 1,07 г., для женщин – 75,56 ± 0,56 г., для населения в целом – 70,52 ± 0,89 г. В 2021 г. средняя продолжительность предстоящей жизни новорожденных в Таганроге достигла 72,48 г. (в том числе для мужчин 68,11 г., для женщин 77,01 г.). Среднесрочные экстраполяционные прогнозы предполагают увеличение средней продолжительности предстоящей жизни новорожденных до 73,27 ± 0,14 г. ($p < 0,05$) в 2022 г., и до 73,63 ± 0,14 г. в 2023 г., в том числе для мужчин – соответственно до 68,44 ± 0,27 г. и 68,86 ± 0,27 г., и для женщин – до 77,24 ± 0,22 г. и 77,45 ± 0,22 г. (табл. 2, рис. 2).

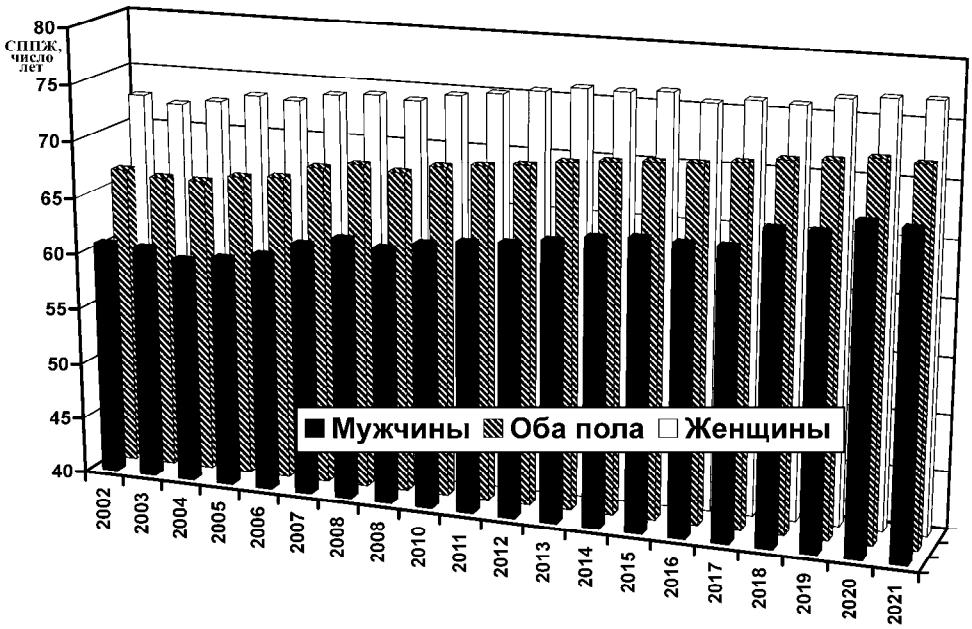


Рис. 2. Динамика показателей средней продолжительности предстоящей жизни (СППЖ) новорожденных в г. Таганроге за период 2002–2021 гг.

Наряду с традиционными методами сравнительного анализа медико-демографической ситуации [2, 9] в Таганроге с 2001 г. в качестве базиса ее категориальной оценки применяется метод определения реального (эпидемиологического) риска с расчетом показателей реального риска (W_i) – непосредственного риска (НР), нор-

мированного по его предельной ошибке (ПО, $p < 0,05$): Wi = НР/ПО. Предполагается, что показатели реального риска (Wi) количественно характеризуют вероятность развития неблагоприятных эффектов, обусловленных воздействием всего комплекса факторов природного и антропогенного техногенного происхождения. При этом мерой реального риска выступает непосредственный риск (НР) – относительный показатель (P) дополнительного числа случаев негативных явлений (общая смертность, младенческая, неонатальная и перинатальная смертность, мертворожденность и других), обусловленных избыточным, по сравнению с фоновым (фоновый риск, F), общим для ранжируемых территорий, неблагоприятным воздействием факторов среды обитания: НР = P–F. Результаты оценки реального риска здоровью населения представляют собой формально-статистический базис для последующих аналитических обобщений и экспертных гигиенических оценок как при медико-гигиеническом ранжировании административных территорий, так и в целях динамического наблюдения [3]. На основе показателей реального риска, рассчитанных по исходным данным не менее чем за десятилетний период значений, исчисляются региональные критерии оценки реального риска раздельно для городов и сельских районов (табл. 3).

Фоновый риск (F) общей смертности для городского населения Ростовской области, рассчитанный за период 2007–2021 гг., составляет 13,925 ‰ при его предельной ошибке (ПО, $p < 0,05$) – 1,147 ‰, а соответствующие величины в отношении младенческой смертности – 5,211 и 2,472 ‰. Таким образом, в 2021 г. риск общей смертности населения Таганрога (22,09 ‰) оценивается как очень высокий (W_i = 7,119), а в отношении младенческой смертности (2,74) – как низкий (W_i = -0,999).

Таблица 3

Региональные критерии для оценки реального риска общей и младенческой смертности в городах Ростовской области по данным за период 2007–2021 гг.

Критериальная оценка реального риска	Общая смертность, ‰	Младенческая смертность, ‰
Низкий (W_i < 0,000)	Менее 13,93	Менее 5,21
Умеренный (W_i от 0,000 до 0,999)	13,93–15,07	5,22–7,68
Повышенный (W_i от 1,000 до 1,999)	15,08–16,22	7,69–10,15
Высокий (W_i от 2,000 до 2,999)	16,23–17,37	10,16–12,63
Очень высокий (W_i 3,000 и более)	17,38 и более	12,64 и более

В настоящее время реализуется «Концепция демографической политики Ростовской области на период до 2025 года», которая разработана в соответствии с целями, задачами и положениями «Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 09.10.2007 № 1351 [4]. В соответствии с «Концепцией демографической политики Ростовской области на период до 2025 года», утвержденной постановлением Администрации Ростовской области от 16.12.2009 г. № 672, региональная демографическая политика ориентирована на увеличение продолжительности жизни населения, сокращение уровня смертности, рост рождаемости, регу-

лирование внутренней и внешней миграции, сохранение и укрепление здоровья населения и улучшение на этой основе демографической ситуации. В 2021 г. в Ростовской области продолжалась реализация национального проекта «Демография» по двум региональным проектам – «Финансовая поддержка семей при рождении детей» и «Разработка и реализация программы системной поддержки и повышения качества жизни граждан старшего поколения».

Список литературы

1. Боев В.М., Колесников Б.Л., Екимов А.К. Оценка демографических и социально-экономических показателей в системе социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. – 2008. – № 3. – С. 92–94.

2. Борисов В.А. Демография. – М.: Nota Bene, 2018. – 272 с.

3. Егорова И.П., Марченко Б.И. Оценка эпидемиологического риска здоровью на популяционном уровне при медико-гигиеническом ранжировании территорий: пособие для врачей / Утверждено секцией по гигиене ученого совета Минздрава РФ 24.12.1999 г., протокол № 9. – М., 1999. – 48 с.

4. Концепция демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года / Утв. указом Президента РФ от 9 октября 2007 г. № 1351.

5. Онищенко Г.Г. Актуальные задачи гигиенической науки и практики в сохранении здоровья населения // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 3. – С. 5–9.

6. Оценка вклада факторов среды обитания в формирование демографической ситуации на региональном уровне / Н.Е. Вяльцина, В.М. Боев, Н.Н. Верещагин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2009. – № 4. – С. 20–22.

7. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиций сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – № 2 (251). – С. 4–7.

8. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины // Гигиена и санитария. – 2014. – № 5. – С. 5–9.

9. Тихомиров Н.П. Демография. Методы анализа и прогнозирования. – М.: Экзамен, 2017. – 256 с.

10. Фомин Е.П. Социально-гигиенические и медико-демографические аспекты здоровья работающего населения // Здоровье населения и среда обитания. –2014. – № 10. – С. 22–25.

11. 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.

Опыт актуализации программ мониторинга качества атмосферного воздуха на примере пилотной территории федерального проекта «Чистый воздух»

Е.В. Попова, С.А. Вековшинина, С.Ю. Балашов

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

Рассматривается одна из проблем, имеющих в настоящее время важное социальное, экологическое и гигиеническое значение, – разработка и актуализация программ мониторинга на территориях городов Российской Федерации с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Город Чита является одной из таких приоритетных территорий и включен в федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология». В результате исследования определены приоритетные источники выбросов химических веществ и другие факторы, формирующие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Читы. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы по данным инструментальных исследований (измерений) показала, что за период 2018–2020 гг. наблюдались превышения гигиенических нормативов содержания в атмосферном воздухе бенз(а)пирена, взвешенных веществ, взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$, дигидросульфида, диметилбензола (ксилола), фенола и других загрязняющих веществ. Анализ существующей программы социально-гигиенического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Читы выявил целесообразность сокращения числа постов наблюдения и изменение перечня исследуемых веществ.

Ключевые слова: социально-гигиенический мониторинг, здоровье населения, среда обитания, Чистый воздух, экспозиция, риск здоровью, посты и программа наблюдения.

Основной задачей федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» является реализация комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. В перечень приоритетных территорий, на которых реализуется федеральный проект «Чистый воздух», была включена и Чита как один из городов страны с наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха[1].

Город Чита – это административный центр Забайкальского края и Читинского района. Численность населения города составляет около 351 тыс. человек. Наибольший вклад в загрязнение воздуха г. Читы вносят предприятия топливно-энергетического комплекса (Читинская ТЭЦ-1 и Читинская ТЭЦ-2 – филиалы Публичного акционерного общества «Территориальная генерирующая компания № 14», многочисленные мелкие котельные), автотранспорт и автономные источники теплоснабжения частного сектора[2]. По данным государственных докладов, основными причинами высоких призем-

[1] Паспорт национального проекта «Экология», утв. 24 декабря 2018 г. по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам. Официальный сайт правительства Российской Федерации.

[2] Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае в 2018 году. – Министерство природных ресурсов Забайкальского края, 2019. – 8 с.

ных концентраций загрязняющих веществ в городе являются: низкая эффективность пылегазоочистительных установок на промышленных предприятиях, применение устаревших технологий на тепловых электростанциях и котельных[1] [4].

Снижение выбросов загрязняющих веществ, их систематический мониторинг в целях оценки эффективности запланированных воздухоохранных мероприятий позволят адекватно оценить влияние выбросов на здоровье населения, минимизировать формируемые риски и причиненный вред здоровью населения исследуемой территории [2].

Материалы и методы. Актуализированная программа наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха г. Читы разработана в соответствии с алгоритмом, изложенном в методических рекомендациях МР 2.1.6.0157-19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга». Использована база данных, которая содержала записи о 2705 источниках выбросов, 100 наименований загрязняющих веществ в атмосферный воздух, 1204 источниках выбросов предприятий и организаций города, 1110 автономных источники теплоснабжения и 391 источнике автотранспорта. Суммарный учтенный выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников составил 40,148 тыс. т/г.

Расчеты рассеивания выполнялись с использованием УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1, реализующего положения МР-2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утвержденные приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273. Пространственно-динамический анализ результатов инструментальных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха г. Читы выполняли по данным ФГБУ «Забайкальский УГМС» (5 постов), ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Забайкальском крае» в городе Чите (2 поста) за 2018–2020 гг. по 24 веществам: железо, кадмий, магний, марганец, медь, никель, азота диоксид, аммиак, азота (II) оксид, озон, серы диоксид, дигидросульфид, свинец, углерод (сажа), углерода оксид, бенз(а)пирен, фенол, формальдегид, взвешенные вещества, взвешенные вещества PM_{10}, взвешенные вещества $PM_{2.5}$, ксилол, хром, цинк.

Результаты расчетов рассеивания отображали на векторной карте г. Читы с использованием лицензионных программных продуктов фирмы ESRI: ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1. В качестве исходной картографической информации была использована карта-схема генерального плана городского округа «Город Чита», схема границ территорий и земель (масштаб – 1:25 000).

Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ проводился в 15 126 точках, соответствующих геометрическим центрам жилых строений. Для каждой расчетной точки были определены максимальные разовые и среднегодовые концентрации загрязняющих веществ.

Расчетные и измеренные концентрации загрязняющих веществ оценивали на соответствие государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам 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, жи-

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

лым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» путем сравнения с гигиеническими нормативами ($ПДК_{мр}$, $ПДК_{сс}$ и $ПДК_{сг}$), установленными СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [6].

Приземные концентрации, полученные по данным сводных расчетов рассеивания, верифицировали данными натурных исследований (измерений) путем сопряжения расчетных и натурных данных в точках размещения постов наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Для верификации реализовывали алгоритм, изложенный в МР 2.1.6.0157-19 [3]. В результате были получены коэффициенты соответствия, которые в дальнейшем были подвергнуты линейной интерполяции и экстраполяции.

Расчетные данные верифицировали данными инструментальных измерений *разовых концентраций* 15 загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Читы: гидроксибензол (фенол); диЖелезо триоксид (железа оксид) / в пересчете на железо/; формальдегид; марганец и его соединения / в пересчете на марганец (IV) оксид/; свинец и его неорганические соединения; хром; взвешенные вещества; азота диоксид; аммиак; азота оксид; углерод (сажа); серы диоксид; дигидросульфид (сероводород); углерода оксид; бенз(а)пирен.

Верификацию *среднегодовых концентраций* выполняли с учетом измеренных концентраций в отношении 15 веществ: гидроксибензол (фенол); диЖелезо триоксид (железа оксид) / в пересчете на железо/; формальдегид; марганец и его соединения / в пересчете на марганец (IV) оксид/; свинец и его неорганические соединения; хром; взвешенные вещества; азота диоксид; аммиак; азота оксид; углерод (сажа); серы диоксид; дигидросульфид (сероводород); углерода оксид; бенз(а)пирен.

Верифицированные и расчетные концентрации загрязняющих веществ использовали для определения параметров риска здоровью населения г. Читы в каждой точке жилой застройки селитебной территории города в соответствии с требованиями руководства Р 2.1.10.1920-04[1].

Процедуру кластерного анализа полученной системы расчетных точек, характеризующихся набором параметров риска (CR_i, $HQac_i$, $HQcr_i$), выполняли с использованием программного продукта для статистического анализа Statistica (ver. 12), реализующего метод «сортировки ближайших центроид». В результате кластерного анализа система расчетных точек, расположенных в жилых массивах, была разбита на кластеры – группы «схожих» по системе параметров точек.

Количество кластеров задавали, исходя из численности населения города [3]. В каждом кластере предлагали от 1 до 5 точек размещения постов мониторинга, учитывая вероятность увеличения числа постов наблюдения при возникновении новых задач, требующих расширения сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

В каждом из полученных кластеров были выбраны реперные точки – точки, характеризующиеся плотностью населения, превышающей 75 % от максимальной плотности населения в кластере (> 75 % PNmax).

[1] Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

В каждом кластере выбирали оптимальную точку для размещения поста мониторинга, характеризующуюся с наименьшей суммой рангов параметров риска.

Далее сравнивали полученную программу наблюдений с программой экологического мониторинга, рекомендованной Росгидромету в г. Чите на период реализации федерального проекта «Чистый воздух» для адекватной оценки влияния выбросов на здоровье населения и оценки эффективности реализуемых воздухоохранных мероприятий. Программа была в 2019 г. с использованием алгоритма формирования программ наблюдения за атмосферным воздухом для СГМ при отсутствии сводных баз данных о параметрах источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух[1]. Также полученную программу сравнивали с реализуемыми в настоящее время программами СГМ, реализуемыми организациями Роспотребнадзора.

В результате получили оптимизированные (в отношении перечня исследуемых веществ и мест размещения постов) программы мониторинга атмосферного воздуха для каждого поста наблюдений в г. Чите.

Результаты. Результаты выполненного исследования подтверждают данные ранее выполненных научных исследований [1, 5, 7]. Гигиеническая оценка данных инструментальных наблюдений за 2018–2020 гг. выявила превышения гигиенических нормативов по ряду веществ: азота диоксид (до 1,52 ПДК); аммиак (до 1,2 ПДК); бенз(а)пирен (до 24,9 ПДК); взвешенные вещества (до 5,6 ПДК); взвешенные частицы PM_{10} (до 3,33 ПДК); взвешенные частицы $PM_{2.5}$ (до 3,24 ПДК); дигидросульфид (до 12,3 ПДК); диметилбензол (ксилол) (до 14,3 ПДК); серы диоксид (до 1,25 ПДК); углерода оксид (до 3,56 ПДК); углерод (сажа) (до 2,93 ПДК); фенол (до 41,1 ПДК); формальдегид (до 1,04 ПДК).

Диапазон уровней суммарного *канцерогенного риска* составил от $2{,}20 \cdot 10^{-6}$ до $5{,}74 \cdot 10^{-5}$. В условиях *острого* ингаляционного поступления формируются неприемлемые уровни *неканцерогенного риска* здоровью населения в отношении органов дыхания (до 28,33 *HI*), развития потомства (до 27,07 *HI*), функций крови и иммунной системы (до 26,89 *HI*), системных нарушений здоровья (до 27,37 *HI*). Неприемлемые уровни *неканцерогенного риска при хроническом* воздействии формируются в отношении болезней органов дыхания (до 3,74 *HI*) и развития потомства (до 23,92 *HI*).

Оценка вкладов в суммарный риск отдельных загрязняющих веществ позволила выделить приоритетные по критериям риска для здоровья населения примеси: натр едкий, азота диоксид, азота оксид, углерод (сажа), серы диоксид, углерода оксид, бензол, бенз(а)пирен, тетрахлорэтилен, проп-2-ен-1-аль (акролеин), сумма пыли (приоритет – взвешенные вещества, пыль неорганическая: 20–70 % SiO_2, пыль древесная, пыль зерновая, угольная зола), хром (6+), сероводород, формальдегид.

Для корректировки программы наблюдений была проведена верификация расчетных концентраций данными инструментальных измерений. В результате выявлены значительные расхождения между расчетными и фактически измеренными концентрациями некоторых веществ:

– аммиак (среднегодовая измеренная концентрация превышала расчетную концентрацию до $27{,}9 \cdot 10^3$ раз, максимальная разовая – до $6 \cdot 10^3$ раз);

[1] МР 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293719/4293719768.htm (дата обращения: 18.08.2022).

– бенз(а)пирен (максимальная разовая измеренная концентрация превышала расчетную концентрацию до $9{,}06 \cdot 10^5$ раз);

– фенол (среднегодовая до $1{,}01 \cdot 10^6$ раз, максимальная разовая до $1{,}49 \cdot 10^5$ раз);

– свинец (среднегодовая до $1{,}8 \cdot 10^3$ раз);

– сероводород (среднегодовая до $1{,}13 \cdot 10^4$ максимальная разовая до 738,84 раза);

– формальдегид (среднегодовая до 319,1 раза, максимальная разовая до 200,4 раза).

Вероятными причинами несоответствия измеренных и расчетных концентраций могли являться:

а) использование расчетных методов и методик определения перечня и объема выбросов загрязняющих веществ от ИЗА, в которых чаще всего указан неполный перечень выбрасываемых веществ;

б) учет не всех источников выбросов вещества;

в) особенности аппаратурного и нормативно-методического оформления, используемого для инструментального определения (измерения) уровня загрязнения атмосферного воздуха, применяемые различными организациями и ведомствами.

Далее в результате кластерного анализа на территории г. Читы были выделены четыре кластера (один кластер на 100 тыс. человек), каждый из которых обладал однородными значениями совокупности параметров риска здоровью населения. Внутри каждого кластера были выделены от 1 до 4 точек возможного размещения постов мониторинга.

Экспертным путем в каждом кластере было выбрано по одной точке, характеризующейся максимальными значениями совокупности параметров риска и плотности населения.

Анализ существующей программы наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Читы выявил целесообразность сокращения числа и / или перемещения постов наблюдения:

– кластер № 1 (сокращение числа постов с 3 до 1 ед.);

– кластер № 2 (перемещение поста в точку по адресу ул. Недорезова, 16);

– кластер № 3 (перемещение поста в точку по адресу ул. Советская, 25).

Кроме того, рекомендовано организовать дополнительный пост наблюдения в кластере № 4 в точке, расположенной по адресу: ул. 9 мкр., 11.

Предложено сокращение количества веществ, исследуемых на разных постах с 13–15 до 7–13 ед. В существующую программу наблюдений рекомендовано включить следующие вещества:

– кластер № 1 (ул. Ползунова, 31): азот (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, гидроксибензол (фенол), дигидросульфид (сероводород), марганец и его соединения, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2, сера диоксид, углерода оксид, углерод (сажа), формальдегид;

– кластер № 2 (ул. Недорезова, 16): азота диоксид, аммиак, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, гидроксибензол (фенол), дигидросульфид (сероводород), марганец и его соединения, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2, углерода оксид, углерод (сажа), формальдегид;

– кластер № 3 (ул. Советская, 25): бенз(а)пирен, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM_{10}, дигидросульфид (сероводород), озон, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2, углерода оксид;

– кластер № 4 (ул. 9 мкр, 11): аммиак, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2, формальдегид, гидроксибензол (фенол), дигидросульфид (сероводород).

Выводы. Актуализация программы мониторинга качества атмосферного воздуха г. Читы как участника федерального проекта «Чистый воздух» выявила необходимость:

– сокращения числа постов мониторинга в кластере № 1;

– перемещения постов наблюдения в точки, характеризующиеся максимальными значениями совокупности параметров риска и плотности населения, в кластерах № 2 и 3;

– организации дополнительного поста наблюдения в кластере № 4;

– сокращения перечня веществ, исследуемых на разных постах до 7–13 ед.;

– включения в программу мониторинга веществ, приоритетных по критериям риска для здоровья населения.

Список литературы

1. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух» / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 4–17.

2. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) / В.Б. Гурвич, Д.Н. Козловских, И.А. Власов, И.В. Чистякова, С.В. Ярушин, А.С. Корнилков, Д.В. Кузьмин, О.Л. Малых, Н.И. Кочнева, А.А. Шевчик, Т.М. Цепилова, Е.А. Кузьмина // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – № 9 (330). – С. 38–47.

3. МР 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: https: //files.stroyinf.ru/Index2/1/4293719/4293719768.htm (дата обращения: 16.08.2022).

4. Никифорова Н.А. К вопросу о динамике загрязнения воздушного бассейна центрального района г. Читы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 10. – С. 174–177.

5. 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.

6. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https: //docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 16.08.2022).

7. 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, С.Ю. Балашов, С.Ю. Загороднов, Д.В. Горяев, И.В. Тихонова, А.М. Андришунас // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99 (11). – С. 1196–1202.

Распространение и количественная характеристика сальмонелл в нижнем течении реки Дон

Д.А. Седова

ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

В настоящей работе приведены результаты мониторинговых исследований распространения бактерий рода *Salmonella* в нижнем течении реки Дон. Обнаружено и идентифицировано 20 серотипов сальмонелл. Показано, что наиболее распространенной серогруппой является группа B, к которой относятся наиболее часто встречающиеся серотипы *S.typhimurium* и *S.enteritidis*. Установлено снижение выявляемости сальмонелл в пробах речной воды за исследуемый период.

Ключевые слова: сальмонеллы, патогенные энтеробактерии, водные объекты, Нижний Дон, микробный риск.

Ряд отечественных и зарубежных авторов указывают на связь уровня микробиологического загрязнения поверхностных водоемов с заболеваемостью населения кишечными инфекциями. Среди многочисленных возбудителей острых кишечных заболеваний, связанных с водным фактором передачи, следует выделить сальмонеллы [1, 7].

Объектом исследования являлись культуры сальмонелл, выделенные из проб воды Нижнего Дона в период с 2016 по 2021 г. Материалом исследования послужила вода р. Дон в районе г. Ростова-на-Дону (5 биотопов) и г. Азова (3 биотопа). Пробы речной воды отбирали в местах водозаборов, зон рекреации, селитебных территорий, ниже выпусков городских канализаций [5]. Отбор проб поверхностных водоемов осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа» [2].

В исследуемых пробах определяли патогенные микроорганизмы рода *Salmonella*. Количественный учет сальмонелл осуществлялся с применением среды накопления, разработанной сотрудниками ФБУН «Ростовского НИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора лаборатории водных объектов и микробной экологии человека РНС («Питательная среда для накопления сальмонелл, готовая к применению»), а также магниевой среды [2, 7]. После инкубации в среде накопления делали посев методом штриха на дифференциально-диагностические среды XLD- и Висмут-сульфит агар. Наиболее вероятное число (НВЧ) КОЕ в 100 мл определяли по таблице индексов по Хокинсу – Муру.

Для исследования ферментативной активности *Salmonella spp*. использовались системы индикаторные бумажные (СИБ) для межродовой и видовой дифференциации энтеробактерий.

При изучении культур сначала определяли принадлежность их к роду *Salmonella* с помощью поливалентной сальмонеллезной сыворотки (ABCDE), а в случае получения отрицательного результата проводили агглютинацию с сыворотками редких групп. Если культуры реагировали в смеси, то определяли для каждой серологической группы О- и Н-антигены. Для проведения агглютинации использовали «Сыворотки диагностические сальмонеллёзные адсорбированные для реакции агглютинации лиофилизат для диагностических целей» согласно инструкции по применению. При возникновении проблем с определением Н-антигенов из-за отсутствия одной из фаз применялся метод Свен-Гарда [4, 6].

Исследование речной воды на наличие сальмонелл свидетельствует о значительном биологическом загрязнении р. Дон в его нижнем течении. В среднем в 2016–2017 гг. сальмонеллы выделялись в 68 % проб воды, причем в летний и осенний период времени процент их выделения был наибольшим (70 и 90,4 % соответственно) со средними индексами 5,0 и 5,6 микр.кл/дм^3, что мы связываем с сезонными подъемом заболеваемости острыми сальмонеллёзными гастроэнтеритами среди населения, наивысший подъем которых наблюдается в теплый период года. Весной частота выделения сальмонелл падала до 50 %, наблюдалось также снижение средних индексов до 2,7 микр.кл/дм^3, что может объясняться значительным разбавлением речной воды в связи с паводком. В холодное время года (зимой) процент выделения сальмонелл составил 57.8, индекс 4,6 микр.кл/дм^3, что свидетельствует о возможности их сохранения в воде водоисточника при низких температурах.

В контрольном створе – водозабор № 2 г. Ростова-на-Дону – сальмонеллы обнаружены в 25 % проб воды, зимой и весной находок сальмонелл не было, осенью они выделялись в 60 % проб, летом в 33 % со средним индексом 2,2. На участке в районе селитебной зоны (пляж, речной вокзал) сальмонеллы обнаружены в 42,8 %, причем воду на пляже исследовали только в период купального сезона. Средний индекс сальмонелл составил 3,4 микр.кл/дм^3. На наиболее загрязненном участке водоема (на 500 м ниже выпуска сточных вод ростовской канализации, на 500 м ниже устья р. Темерник, в устье р. Темерник) процент выделения сальмонелл – 84,6, средний индекс – 7,8 микр.кл/дм^3. В воде водозабора г. Азова, который расположен на 32 км ниже выпуска сточных вод ростовской канализации сальмонеллы обнаружены в 67 % проб воды с индексом 2,6 микр.кл/дм^3. В районе пляжа г. Азова сальмонеллы находили во всех пробах (исследования проводили в летний и осенний периоды времени), НВЧ/дм^3 равнялось в среднем 7,15. Ниже выпуска канализации г. Азова сальмонеллы выделялись в 100 % проб воды со средним индексом 7,0 микр.кл/дм^3.

На изучаемом участке водоема всего было выделено и идентифицировано 20 серотипов сальмонелл, причем из наиболее загрязненных биотопов выделялось от 3 до 5 сероваров одновременно. Преобладающими сероварами явились *S.typhimurium*, обнаруженные в 29,2 %, *S.enteritidis* – в 12,3 %, *S.virchow* – в 7,8 %, *S.derby* – в 6,1 %. Такие серовары как *S.amsterdam*, *S.lexington*, *S.london*, *S.ardwick*, *S.essen*, *S.papuana*, *S.bovis morbificans*, *S.litchfield* представлены единичными находками. *S.typhimurium* и *S.enteritidis* обнаруживались во всех изучаемых биотопах.

По данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» в этот период времени ведущим серотипами сальмонелл, вызывающими заболевания у людей и выделяемыми от бактерионосителей являлись также *S. typhimurium* и *S.enteritidis*, встречались случаи обнаружения *S.virchow*. Идентичность серотипов сальмонелл, выделяемых от людей и из воды водоемов, свидетельствует о возможной роли воды водоисточника в возникновении сальмонеллезных гастроэнтеритов.

В течение исследоуемого периода с 2018 по 2021 г. выявление сальмонелл значительно снизилось. В 2018 г. серотип *S.typhimurium* обнаруживался в 8 % проб азовского водозабора. Оценка потенциальной эпидемической опасности, связанной с состоянием воды централизованного водоснабжения, определена в 2018 в г. Азове как высокая (61 балл) согласно МР 2.1.10.0031-11 «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем» [3]. С 2020 г. сальмонеллы не выявлялись в пробах воды р. Дон и Темерник, что может быть связано со снижением микробного загрязнения изучаемых биотопов по нормируемым санитарно-бактериологическим показателям.

Список литературы

1. Алешня В.В., Панасовец О.П., Журавлёв П.В. Изучение влияния отдельных факторов окружающей среды на жизнеспособность сальмонелл в воде для определения ее эпидемического потенциала // Гигиена и санитария. – 2015. – № 7. – С. 40–41.

2. ГОСТ 31942-2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. – М., 2013. – 27 с.

3. МР 2.1.10.0031-11. Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путём. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.

4. МР. Использование готовой к применению питательной среды для выделения сальмонелл из водных объектов: методические рекомендации. – Ростов-на-Дону, 2012. – 44 с.

5. МУК 4.2.1884-04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: методические указания. – М., 2005. – 75 с.

6. Применение новой питательной среды для выделения сальмонелл из водных объектов для оценки эпидемической безопасности водопользования / Ю.А. Рахманин, П.В. Журавлёв, В.В. Алешня, О.В. Панасовец // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 483–490.

7. Санитарно-бактериологическая характеристика волы Нижнего Дона / П.В. Журавлёв, В.В. Алешня, О.П. Панасовец [и др.] // Гигиена и санитария. – 2012. – № 4. – С. 28–31.

Об итогах эпидемиологического мониторинга факторов риска хронических неинфекционных заболеваний на территории Нижнего Новгорода в 2021 г.

С.О. Семисынов[1], М.А. Позднякова[1], С.М. Лаврентьева[1], Н.Н. Савицкая[2], В.Г. Харыбин[2]

[1]ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии»,
[2]ГБУЗ НО «Нижегородский областной центр общественного здоровья и медицинской профилактики»,
г. Нижний Новгород, Россия

Сотрудниками ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора совместно с ГБУЗ НО «Нижегородский областной центр общественного здоровья и медицинской профилактики» в 2021 г. на территории Нижегородской области было проведено исследование распространенности факторов риска хронических неинфекционных заболеваний среди взрослого населения методом эпидемиологического мониторинга.

Одним из разделов исследования являлось изучение характера употребления табачной продукции, физической активности и наличия хронических неинфекционных заболеваний у опрашиваемых.

В ходе эпидемиологического мониторинга установлено, что больше половины респондентов никогда не курили. В среднем начали курить в 18 лет. Мотивация к прекращению курить слабая.

Больше половины опрашиваемых предпочитают заниматься физической культурой.

Основное число респондентов отрицают наличие хронических неинфекционных заболеваний.

Ключевые слова: эпидемиологический мониторинг, хронические неинфекционные заболевания, курение, физическая активность.

Последние десятилетия большинство развитых стран при содействии Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) большое внимание уделяют вопросам демографии, увеличению продолжительности жизни и улучшению качества жизни населения. Краеугольным камнем в увеличении продолжительности жизни является снижение бремени хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ), смертность по причине которых остается на первом месте и составляет до 70,0 % от всех причин [1].

В основе развития хронических неинфекционных заболеваний лежит единая группа факторов риска, связанных с нездоровым образом жизни (курением, низкой физической активностью, нерациональным питанием, злоупотреблением алкоголем) и заболеваниями, например, сердечно-сосудистой системы. Для успешного проведения профилактических мероприятий необходима не только осведомленность населения о факторах риска и их влиянии на развитие заболеваний, но и информированность каждого человека о параметрах своего здоровья [4].

Создание эффективного инструмента для определения частоты встречаемости факторов риска ХНИЗ является актуальной задачей, решение которой станет основой для разработки профилактических программ. На территории Нижегородской области подобным инструментом в настоящее время является эпидемиологический мониторинг, разработанный сотрудниками отдела медико-профилактических технологий управления факторами риска хронических неинфекционных заболеваний ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора и ГБУЗ НО «Нижегородский областной центр общественного здоровья и медицинской профилактики».

Цель исследования – изучение распространенности факторов риска ХНИЗ на территории Нижнего Новгорода для последующего использования полученных данных в разработке профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Всего на территории Нижнего Новгорода было обследовано 2034 человека в возрасте от 25 до 64 лет, 43,9 % составляли мужчины, 56,1 % – женщины. Средний возраст – 44,9 ± 0,3 г. (43,5 ± 1,4 г. – мужчины и 46,1 ± 1,4 г. – женщины). Статистическое наблюдение проводилось в форме опроса с помощью специально разработанных и утвержденных приказами Министерства здравоохранения Нижегородской области (№ 65 от 16.01.2014 г., № 1102 от 14.04.2016 г., № 315-30/20П/од от 23.01.2020 г.) опросников.

Результаты. Курение табачных изделий является самой распространенной вредной привычкой среди мирового населения, приносящей непоправимый вред здоровью и значительно снижающей качество и продолжительность жизни. По приблизительным данным, в мире курят около 1 млрд мужчин и 250 млн женщин [3].

В ходе опроса выявлено, что 66,3 ± 1,04 % респондентов никогда в своей жизни не курили, и гендерная разница была достоверной: 29,6 ± 1,2 % – среди мужчин, 70,4 ± 1,2 % – среди женщин, $p < 0,001$. Курят 21,7 ± 1,04 %, курили, но бросили, 12,0 ± 1,04 %.

Регулярность табакокурения была ежедневной у 83,9 ± 1,4 % курящих: у 74,9 ± 1,8 % из числа мужчин, и у 25,1 ± 1,8 % из числа женщин, $p < 0,001$.

В среднем респонденты начали употреблять табачную продукцию в 18,0 ± 5,1 г., мужчины – достоверно раньше, нежели женщины: 17,1 ± 0,2 и 18,9 ± 0,5 г. соответственно, $p < 0,05$. Средний возраст, в котором опрашиваемые бросали курить, – 34,0 ± 5,1 г. Мужчины достоверно бросали курить в более старшем возрасте, чем женщины (35,3 ± 1,0 г. – мужчины, 27,3 ± 1,0 г. – женщины, $p < 0,001$).

На вопрос «Бросали ли вы курить раньше?» 26,2 ± 2,9 % курящих опрашиваемых ответили утвердительно. Среди курящих мужчин ответили утвердительно 72,4 ± 4,1 %, среди женщин – 27,6 ± 4,1 %.

При изучении степени мотивации к отказу от курения было установлено, что у 5,9 ± 1,9 % опрошенных она была довольно высокой, низкая степень – у 80,6 ± 1,9 %, и средняя мотивация – у 13,5 ± 1,9 %.

В среднем обследованные выкуривали по 9,0 ± 0,6 сигареты в день: мужчины – 14,8 ± 0,7, женщины – 8,7 ± 1,5 сигареты в день, $p < 0,05$.

Исследование физической активности продемонстрировало следующую картину: 61,9 ± 1,7 % занимались спортом, а 38,1 ± 1,7 % не занимались. Существенной гендерной разницы не выявлено.

Средняя длительность занятий составила 45,2 ± 0,5 мин в день, и она достоверно варьировалась в зависимости от пола (42,4 ± 2,4 – мужчины, 49,5 ± 1,9 – жен-

щины, $p \leq 0{,}001$). Большинство обследованных (70,4 ± 1,1 %) тратили 30 мин и более на ходьбу.

В 2019 г. Нижегородская область относилась к территориям «риска» по первичной заболеваемости взрослого населения по четырем мониторируемым нозологическим формам из 10. Это сахарный диабет, хронический бронхит, бронхиальная астма и болезни, характеризующие повышенное кровяное давление.

Заболеваемость взрослого населения инсулиннезависимым сахарным диабетом (2-го типа) за пять лет выросла на 3,9 %. Болезни органов дыхания составляют более трети всей заболеваемости взрослого населения и наряду с болезнями кровообращения являются одним из приоритетных для Нижегородской области классов болезней. Заболеваемость взрослого населения болезнями органов дыхания за пять лет выросла в 1,2 раза [2].

Подавляющее число опрошенных нижегородцев отрицали наличие у них заболеваний. Наиболее часто (10,5 ± 0,6 %) у опрашиваемых диагностировали хронический бронхит и сахарный диабет (5,8 ± 0,6 %). На третьем месте по встречаемости находилась ишемическая болезнь сердца (4,5 ± 0,6 %).

Выводы. Таким образом, исследование показало, что:

1. Пятая часть опрошенных употребляла табачные изделия (21,7 ± 1,04 %) и имела слабую мотивацию к отказу от курения.

2. Более половины респондентов занимались физической активностью.

3. Подавляющее число опрошенных отрицали наличие у них хронических неинфекционных заболеваний. Среди выявленных случаев наиболее часто регистрировались сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца и хронический бронхит.

Список литературы

1. Апоян С.А., Гурьянов М.С., Поздеева А.Н. Распространенность факторов риска хронических неинфекционных заболеваний среди студентов медицинского университета с различным уровнем физической активности // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 940–943.

2. Кучеренко Н.С., Осипова Т.В. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Нижегородской области в 2020 году: государственный доклад. – Н. Новгород, 2021. – 207 с.

3. Силаева Н.В., Ляшенко Е.Н., Ляшенко А.С. Табакокурение и беременность // Modern Science. – 2020. – № 11–1. – С. 216–219.

4. Старовойтова Е.А., Шибалков И.П. Центры здоровья – инструмент совершенствования профилактики хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации // Менеджер здравоохранения. – 2021. – № 5. – С. 41–50. DOI: 10.21045/1811-0185-2021-5-41-50

Оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных источников в Кировском районе Ленинградской области

А.А. Степанян[1], Д.С. Исаев[1], Г.Б. Еремин[1], Н.А. Мозжухина[2], А.А. Шварц[3]

[1]ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»,
[2]ФБГОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова»,
[3]Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия

Водоснабжение многих населенных пунктов Кировского района Ленинградской области в значительной степени построено на эксплуатации подземных вод, в связи с чем проведение гигиенической оценки качества подземных вод и оценки риска здоровью населения при ее употреблении является актуальным.

Осуществлена гигиеническая оценка качества воды и оценка риска здоровью населения при ее употреблении из подземных водоисточников, используемых в целях питьевого и водоснабжения населенных пунктов Кировского района Ленинградской области, и обоснован выбор приоритетных показателей, которые должны быть включены в программы производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества и безопасности воды водоисточников.

Проанализированы результаты лабораторных исследований качества питьевой воды используемых водоносных горизонтов, выполненных в рамках производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга; научно-исследовательские работы по оценке качества воды исследуемых водоносных горизонтов; литературные источники по оценке качества питьевой воды. Выполнена гигиеническая оценка качества воды и оценка риска здоровью населения при употреблении воды подземных водоисточников в 12 населенных пунктах Кировского района Ленинградской области. Применены методы обследования, оценки, системного анализа. Для водоснабжения в основной массе используются воды, приуроченные к четвертичным, ордовикским и нерасчлененным кембро-ордовикским отложениям.

В результате исследований уточнен перечень веществ, концентрации которых превышают 1 ПДК, а также определены вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, а также вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающих 0,5 ПДК, которые должны быть включены в программы производственного контроля [4, 5]. Даны рекомендации по совершенствованию систем производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества воды подземных водоисточников, а также проведена оценка риска здоровью населения, употребляющего воду, приуроченную к конкретным водоносным горизонтам.

Ключевые слова: подземные воды, качество питьевой воды, оценка риска здоровью населения.

Водоснабжение многих населенных пунктов Кировского района Ленинградской области построено на эксплуатации подземных вод. В соответствии с гидрогеологическим районированием территория Кировского района находится в пределах Прибалтийско-Ладожского района Московского артезианского бассейна [1] и характеризуется региональным распространением подземных вод пластового типа в рыхлых четвертичных (Q), ордовикских (O) и нерасчлененных кембро-ордовикских (Є–O) отложениях. Они активно используются для централизованного водоснабжения района [6]. Ниже распространены солоноватые воды, приуроченные к нижнекембрийским (Є) и вендским (V) образованиям.

Четвертичный водоносный комплекс (Q) характеризуется резкой изменчивостью вещественного и гранулометрического составов, генезиса и возраста водовмещающих пород как в вертикальном разрезе, так и по площади. Воды комплекса приурочены в основном к межморенным отложениям, имеют гидрокарбонатный смешанного катионного состава с минерализацией от 150 до 350 мг/л. Эксплуатируются в северной части Кировского района.

Воды Ордовикского водоносного горизонта (O) в местах эксплуатации залегают на глубине 5–30 м. Водовмещающие породы горизонта представлены известняками и доломитами с редкими прослоями мергелей и глин. Уровни подземных вод в зависимости от характера рельефа устанавливаются в скважинах на глубине от 2 до 10 м. На рассматриваемой территории воды пресные с минерализацией 0,1–0,7 г/л гидрокарбонатные магниево-кальциевые. Кембро-ордовикский водоносный горизонт (Є–O) приурочен к разновозрастным песчано-глинистым породам среднего и верхнего кембрия и нижнего ордовика, залегает на глубине 10–30 м. На рассматриваемой территории воды пресные с минерализацией 0,15–0,95 г/л, гидрокарбонатные магниево-кальциевые с увеличением минерализации, переходящие в хлоридно-гидрокарбонатные натриевые.

Химический состав подземных вод определяется как природными факторами, такими как абиотические процессы внутри пород и жизнедеятельность микроорганизмов [3], так и антропогенным воздействием. На рассматриваемой территории эксплуатируемые подземные воды в большинстве населенных пунктов хорошо защищены от поверхностного загрязнения толщами глинистых отложений, поэтому качество подземных вод в основном определяется природными факторами.

В табл. 1, 2 приведены результаты анализа [2] лабораторных исследований химического состава подземных вод, использующихся для водоснабжения основных населенных пунктов района, с вычислением средних и максимальных значений показателей. Здесь и далее цветом отмечены значения, превышающие нормативные величины, регламентированные СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Раздел III. Нормативы качества и безопасности воды).

Как видно из приведенных данных, в подземных источниках района отмечается практически повсеместное превышение ПДК железа, а в ряде источников – ионов натрия, марганца, бора и общей жестокости. При этом превышение ПДК по минерализации не отмечается. Помимо этого, в источниках населенного пункта Путилово зафиксированы превышения ПДК молибдена и никеля.

Таблица 1

Содержание натрия и обобщенные показатели качества воды в подземных водоисточниках населенных пунктов Кировского района

Населенный пункт	Горизонт	Na, мг/л		Общ жестк., гр.		Сумма солей, мг/л	
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.
Валовщина	Є–О	42,1	42,1	5,8	5,8	567,5	567,5
Войбокало	Є–О	24,4	24,4	5,6	5,6	502,2	502,2
Войтолово	Є–О	5,0	8,0	4,1	4,8	277,9	391,4
Жихарево	Є–О	142,0	214,5	4,2	5,8	660,9	718,9
Малукса	О	20,0	29,0	2,6	2,7	190,8	274,1
Мга	О+Є–О	28,2	55,0	5,1	6,6	482,7	756,8
Назия	О	142,9	214,5	4,1	6,9	663,7	756,3
Новый Быт	Є–О	25,9	25,9	7,6	7,6	632,9	632,9
Путилово	Є–О	34,4	38,1	8,4	10,2	787,0	953,1
Синявино	Q	25,6	25,6	3,4	3,4	340,8	340,8
Сологубовка	О	8,4	13,8	5,2	5,7	417,8	497,3
Шум	Є–О	174,4	174,4	2,9	3,0	678,2	760,0

Таблица 2

Содержание микроэлементов в воде подземных источников населенных пунктов Кировского района

Населенный пункт	Гор.	Fe, мг/л		Mo, мг/л		Ni, мг/л		Mn,, мг/л		B, мг/л	
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.
Валовщина	Є–О	0,50	0,69	-	-	-	-	-	-	-	-
Войбокало	Є–О	3,10	3,10	-	-	-	-	0,500	0,500	0,010	0,010
Войтолово	Є–О	0,50	1,00	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011	0,013
Жихарево	Є–О	0,86	0,86	0,058	0,058	-	-	0,005	0,005	0,750	0,750
Малукса	О	1,51	2,80	0,011	0,011	0,004	0,005	0,018	0,030	-	-
Мга	О+Є–О	0,76	3,10	0,002	0,002	0,001	0,001	0,119	0,300	0,120	0,120
Назия	О	0,59	1,40	0,058	0,058	0,001	0,001	0,037	0,068	0,380	0,750
Новый Быт	Є–О	0,05	0,05	-	-	0,002	0,002	0,006	0,006	0,040	0,040
Путилово	Є–О	3,69	6,60	0,090	0,090	0,050	0,067	0,650	0,859	0,021	0,022
Синявино	Q	0,17	0,17	0,001	0,001	0,007	0,007	0,080	0,080	-	-
Сологубовка	О	0,10	0,28	0,001	0,001	0,001	0,001	0,053	0,120	0,017	0,020
Шум	Є–О	0,66	1,24	0,014	0,014	0,001	0,001	0,008	0,014	0,889	0,890

В табл. 3 представлены вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, и вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающие 0,5 ПДК, которые согласно требованиям 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» должны быть включены в программы производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга.

На основе полученных результатов лабораторных исследований качества воды подземных источников Кировского района Ленинградской области проведена оценка

риска здоровью населения в соответствии с Руководством по оценке риска[1]. В перечень оцениваемых веществ вошли все вещества, по которым проводились лабораторные исследования. Для расчета рисков использовались средние концентрации веществ.

Таблица 3

Вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, и вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающие 0,5 ПДК

Горизонт подземных вод	Вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК	Вещества 3-го и 4-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,5 ПДК
Кембро-ордовикский (Є–О)	Селен, барий, кадмий, свинец, кобальт, мышьяк, **нитриты**, фториды, натрий, бериллий, **бор**	**Марганец,** аммоний-ион, магний, **железо**
Кембро-ордовикский +ордовикский (Є–О+О)	Селен, **барий**, кадмий, свинец, мышьяк, фториды, натрий, бериллий, бор	Марганец, **железо**
Ордовикский (О)	Селен, **барий**, кадмий, свинец, мышьяк, хром, фториды, **натрий**, бериллий, **бор**	Нитраты, аммоний-ион, **железо**
Четвертичный (Q)	Селен, барий, кадмий, стронций	Марганец, магний, железо

Примечание: жирным шрифтом выделены вещества, превышающие 1 ПДК.

В табл. 4 приведен перечень веществ с их средними концентрациями в определенном горизонте, референтные дозы (*RFD*), факторы канцерогенного потенциала (*SFO*), а также критические органы и системы для каждого вещества. Информация о критических органах и системах взята из руководства и Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ.

Таблица 4

Перечень веществ, для которых проводится оценка риска

Вещество	Средняя концентрация, мг/л				*RFD*	*SFO*	Органы и системы
	О	Є–О+О	Q	Е–О			
1	2	3	4	5	6	7	8
Селен	0,002	0,002	–	0,002	0,005	–	Кожа, печень, волосы, селезенка
Барий	0,115	0,51	0,018	0,07	0,07	–	Почки, сердечно-сосудистая система (ССС)
Кадмий	0,000233	5,63E-05	0,00005	6,25E-05	0,0005	0,38	Почки, гормональная система
Свинец	0,0025	0,003	0,0005	0,00215	0,0035	0,047	ЦНС, периферическая нервная система (ПНС), кровь, биохимия крови, развитие, репродуктивная система, гормональная система

[1] Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 18.06.2022).

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Алюминий	0,0535	0,005	0,005	0,0215	1	–	ЦНС
Кобальт	0,001	0,001		0,0335	0,02	–	Кровь
Мышьяк	0,003417	0,005	0,003	0,003333	0,0003	1,5	Кожа, ЦНС, ПНС, ССС, иммунная система, гормональная система (диабет), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ)
Хром	0,005	0,001	0,0005	0,000667	0,005	–	Печень, почки, ЖКТ, слизистые
Медь	0,009283	0,002	0,023	0,001	0,019	–	ЖКТ, печень
Цинк	0,036667	0,004	0,037	0,0105	0,3	–	Кровь, биохимия крови (супероксиддисмутаза)
Молибден	0,023167	0,002	0,0005	0,052	0,005	–	Почки
Марганец	0,01	0,059	0,08	0,132286	0,14	–	ЦНС, кровь
Нефтепродукты	0,011			0,007	0,03	–	Почки
Нитраты	12,3345	0,4	0,1	4,72	1,6	–	Кровь (MetHb), ССС
Нитриты	0,073		0,1	0,393	0,1	–	кровь (MetHb)
Ион аммония	1,18		0,025	0,54	0,98	–	ЦНС, ПНС, дыхательная система, печень, почки, селезенка, ЖКТ, углеводный обмен, кровь, кожа, глаза; биохимия крови
Фторид-ион	0,65	0,5	0,05	0,65	0,06	–	Зубы, костная система
Натрий	110,4	23,3		106,2	34,3	–	ССС
Магний	18,16667	21	49	17,995	11	–	ЦНС, дыхательная, ССС, иммунная система, ЖКТ, печень, почки (Федеральный регистр)
Кальций	49,7	55,3		90,9	41,4	–	Почки, биохимия крови (алкалоз, гиперкальцинемия)
Железо	0,379	0,329	0,17	1,257333	0,3	–	Слизистые, кожа, кровь, иммунная система
Сероводород, сульфиды			0,001		0,0003	1,3	ЖКТ
Бериллий	0,0001	0,0001		0,0001	0,01	0,019	ЖКТ, масса тела
Стронций	0,26	0,3	0,99	0,415	0,003		костная система
Бор	0,385	0,12		0,455	0,002	4,3	Репродуктивная система (семенники), ЖКТ, развитие (эмбриотоксический эффект)
Формальдегид	0,002333	0,001	0,007	0,022667	0,6	–	ЖКТ, ЦНС, печень, почки
Ртуть	6,67E-06	0,00001	0,000025	0,00001	0,2	–	Иммунная система, почки, ЦНС, репродуктивная система, гормональная система

На следующем этапе произведен расчет поступления (I) химических веществ (табл. 5). Было принято, что взрослый человек будет употреблять воду из подземного водоисточника в течение всей жизни в объеме 2 л/день. На основе полученных значений поступления произведен расчет коэффициентов опасности (*HQ*) и канцерогенных рисков (*CR*), а также суммарных канцерогенных рисков.

Таблица 5

Результаты расчетов индивидуальных хронических рисков по горизонтам

Наименование	О		Є–О+О		Q		Є–О	
	HQ	*CR*	*HQ*	*CR*	*HQ*	*CR*	*HQ*	*CR*
Se	0,01142	-	0,01142	-	-	-	0,01142	-
Ba	0,04693	-	0,20816	-	0,00734	-	0,02857	-
Cd	0,01333	2,533E-06	0,00321	6,107E-07	0,00285	5,429E-07	0,00357	6,786E-07
Pb	0,02040	3,357E-06	0,02448	4,029E-06	0,00408	6,714E-07	0,01755	2,887E-06
Al	0,00152	-	0,00014	-	0,00014	-	0,00061	-
Co	0,00142	-	0,00142	-	-	-	0,04785	-
As	0,32539	0,00014	0,47619	0,00021	0,28571	0,0001286	0,31746	0,0001429
Cr	0,02857	-	0,00571	-	0,00285	-	0,00380	-
Cu	0,01395	-	0,00300	-	0,03458	-	0,00150	-
Zn	0,00349	-	0,00038	-	0,00352	-	0,001	-
Mo	0,13238	-	0,01142	-	0,00285	-	0,29714	-
Mn	0,00204	-	0,01204	-	0,01632	-	0,02699	-
Нефтепродукты	0,01047	-	-	-	-	-	0,00666	-
NO_3	0,22025	-	0,00714	-	0,00178	-	0,08428	-
NO_2	0,02085	-	-	-	0,02857	-	0,11228	-
NH_3	0,0344023	-	-	-	0,00072	-	0,01574	-
P	0,30952	-	0,23809	-	0,02380	-	0,30952	-
Na	0,09196	-	0,01940	-	0	-	0,08846	-
Mg	0,04718	-	0,05454	-	0,12727	-	0,04674	-
Ca	0,03429	-	0,03816	-	-	-	0,06273	-
Fe	0,03609	-	0,03133	-	0,01619	-	0,11974	-
H_2S	-	-	-	-	0,00952	-	-	-
Be	0,00142	1,229E-05	0,00142	1,229E-05	-	-	0,001428	1,229E-05
Sr	0,01238	-	0,01428	-	0,04714	-	0,019761	-
B	0,055	-	0,01714	-	-	-	0,065	-
Формальдегид	0,00033	-	0,00014	-	0,001	-	0,003238	-
Hg	0,00063	-	0,0009	-	0,0023	-	0,000952	-
Суммарный канцерогенный риск	0,0001646		0,0002312		0,000129786		0,000158709	

Третьим этапом было суммирование коэффициентов опасности по действию на критические органы и системы. Выбраны системы с наибольшими значениями суммарного коэффициента опасности (табл. 6).

Таблица 6

Суммарные значения коэффициентов опасности по критическим органам и системам

Критические органы и системы	Сумм. *HQ*	Ранг
O		
ССС	0,732	1
ЖКТ	0,506	2
ЦНС	0,432	3
Иммунная система	0,409	4
Кожа	0,407	5
Є–O+O		
ССС	0,765	1
ЦНС	0,569	2
Иммунная система	0,563	3
ЖКТ	0,558	4
Кожа	0,519	5
Q		
ЖКТ	0,462	1
ЦНС	0,438	2
Иммунная система	0,432	3
ССС	0,422	4
Кожа	0,303	5
Е–O		
ССС	0,566	1
Иммунная система	0,485	2
Кожа	0,464	3
ЖКТ	0,455	4
Почки	0,441	5

На последнем этапе оценки риска здоровью проведен расчет популяционных рисков в соответствии с численностью населения, употребляющего воду из рассматриваемых горизонтов (табл. 7).

Таблица 7

Популяционный канцерогенный риск

Горизонт	Численность населения	Суммарный канцерогенный риск	Популяционный риск
O	5876	0,0001646	0,967217581
Є–O+O	9854	0,0002312	2,278350379
Q	4005	0,000129786	0,519791786
Є-O	3794	0,000158709	0,60214032

Согласно полученным значениям, суммарный канцерогенный риск при употреблении вод ордовикских, кембро-ордовикских+ордовикских, кембро-ордовикских

и четвертичных отложений соответствует индивидуальному риску в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$, приемлемому для профессиональных групп и неприемлемому для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

Анализ полученных результатов популяционного канцерогенного риска свидетельствует, что вероятность развития заболеваний на протяжении всей жизни у населения, постоянно употребляющего воды ордовикских отложений, находится на уровне 0,96, что соответствует менее чем одному случаю онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды кембро-ордовикских + ордовикских отложений – на уровне 2,28, что соответствует примерно двум случаям онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды четвертичных отложений – на уровне 0,52, что соответствует менее чем одному случаю онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды кембро-ордовикских отложений – на уровне 0,60, что соответствует менее чем одному случаю онкологических заболеваний в течение 70 лет.

Для вод ордовикских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при их употреблении соответствуют допустимому уровню риска (менее единицы). Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием мышьяка (0,32). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили сердечно-сосудистая система (ССС), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) и центральная нервная система (ЦНС). Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Для вод кембро-ордовикских+ордовикских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при их употреблении соответствуют допустимому уровню риска. Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием мышьяка (0,476). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ССС, ЦНС, иммунная система. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Для вод четвертичных отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при их употреблении соответствуют допустимому уровню риска. Неканцерогенный риск в большей степени обусловлен воздействием мышьяка (0,285). Анализ хронического неканцерогенного риска здоровью населения при пероральном поступлении показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ЖКТ, ЦНС, иммунная система. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Для вод кембро-ордовикских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при употреблении соответствуют допустимому уровню риска. Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием мышьяка (0,317). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ССС, иммунная система, кожа. Суммар-

ный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Выводы. На административных территориях изученных населенных пунктов Кировского района Ленинградской области отмечается несоответствие качества воды подземных источников гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям.

Проведенная оценка риска показала, что употребление населением подземных вод Кировского района создает недопустимый канцерогенный риск здоровью населения. При расчете хронического неканцерогенного риска были получены допустимые значения. Наибольший вклад в значения канцерогенного риска и коэффициента опасности вносит воздействие мышьяка.

На территории района практически отсутствуют сооружения водоподготовки, и к большинству потребителей поступает вода с исходным составом. Таким образом, полученные значения канцерогенного и неканцерогенного рисков справедливы для поселений исследуемого района области.

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская / В.Р. Вербицкий, И.В. Вербицкий, О.В. Васильева [и др.]. − СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 510 с.

2. Гигиеническая оценка качества воды подземных источников питьевого водоснабжения населенных пунктов Кировского района Ленинградской области (ЛО): база данных / Г.Б. Еремин, С.А. Горбанев, И.О. Мясников [и др.]; свидетельство о государственной регистрации № 2021623114, РФ.

3. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987 г. – 237 с.

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 21.06.2022).

5. 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 / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf (дата обращения: 21.06.2022).

6. Создание современной гидрогеологической карты Ленинградского артезианского бассейна масштаба 1:500 000 с выявлением условий локализации питьевых подземных вод, различных по защищенности водоносных горизонтов и качеству воды: геологический отчет / Е.А. Шебеста, В.Б. Ершова, М.Л. Марков [и др.]. − СПб.: ПКГЭ, 2007. – 690 с.

Оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных источников в Ломоносовском районе Ленинградской области

А.А. Степанян[1], Д.С. Исаев[1], Г.Б. Еремин[1], С.Н. Носков[1], А.А. Шварц[2]

[1]ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»,
[2]Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия

В Ломоносовском районе Ленинградской области ведется активная эксплуатация подземных вод, которые являются основным источником водоснабжения для значительной доли населения территории. Данный факт обосновывает необходимость проведения гигиенической оценки качества подземных вод и оценки риска здоровью населения при их употреблении.

Осуществлена гигиеническая оценка качества воды и оценка риска здоровью населения при ее употреблении из подземных водоисточников, используемых в целях питьевого и водоснабжения населенных пунктов Ломоносовского района Ленинградской области, и обоснован выбор приоритетных показателей, которые должны быть включены в программы производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества и безопасности воды водоисточников.

Проанализированы результаты лабораторных исследований качества питьевой воды используемых водоносных горизонтов, выполненных в рамках производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга; научно-исследовательские работы по оценке качества воды исследуемых водоносных горизонтов; литературные источники по оценке качества питьевой воды. Выполнена гигиеническая оценка качества воды и оценка риска здоровью населения при употреблении воды подземных водоисточников в 23 населенных пунктах Ломоносовского района Ленинградской области. Применены методы обследования, оценки, системного анализа. Для водоснабжения в основной массе используются воды, приуроченные к ордовикским (О) и нижнекембрийским (Є) образованиям.

В результате исследований был уточнен перечень веществ, концентрации которых превышают 1 ПДК, а также определены вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, а также вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающие 0,5 ПДК, которые должны быть включены в программы производственного контроля [4, 5]. Даны рекомендации по совершенствованию систем производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества воды подземных водоисточников, а также проведена оценка риска здоровью населения, употребляющего воду, приуроченную к конкретным водоносным горизонтам.

Ключевые слова: подземные воды, качество питьевой воды, оценка риска здоровью населения.

Водоснабжение населения Ломоносовского района Ленинградской области в значительной степени построено на эксплуатации подземных вод. Для водоснабжения в основном используются воды, приуроченные к ордовикским (О) образовани-

ям. В северной части района в связи с отсутствием вод ордовикских образований для водоснабжения используются подземные воды четвертичных отложений (Q), кроме того, в ряде населенных пунктов эксплуатируются воды нижнекембрийских (Є) образований, а также слабосолоноватые воды вендских образований (V) после водоподготовки [6].

В соответствии с гидрогеологическим районированием территория Ломоносовского района находится в пределах Прибалтийско-Ладожского района Московского артезианского бассейна [1].

Доступные к эксплуатации объемы подземных вод четвертичных отложений (Q) распространены локально, как правило, приурочены к погребенным речным долинам. На рассматриваемой территории воды пресные с минерализацией 100–200 мг/л сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые.

Ордовикский водоносный горизонт (O), распространенный в южной части района, залегает на глубинах от 5 до 30 м. Водовмещающие породы горизонта представлены известняками и доломитами с редкими прослоями мергелей и глин. Уровни подземных вод в зависимости от характера рельефа устанавливаются в скважинах на глубине от 2–5 до 20–30 м. Неравномерная трещиноватость и закарстованность карбонатных пород обусловливает изменчивость их фильтрационных свойств по площади и в разрезе. На рассматриваемой территории воды в верхней части разреза пресные с минерализацией 350–850 г/л гидрокарбонатные магниево-кальциевые.

Нижнекембрийский (ломоносовский) водоносный горизонт (Є), эксплуатирующийся в западной части Ломоносовского района, приурочен к песчаникам и алевролитам нижнекембрийских отложений. В местах эксплуатации он залегает на глубине 50–80 м и перекрыт лонтоваскими глинами. Приуроченные воды пресные с минерализацией 350–550 мг/л гидрокарбонатные натриевые, щелочные, с pH около 8.

Вендский водоносный комплекс (V) распространен на всей рассматриваемой территории и залегает непосредственно на размытой поверхности кристаллического фундамента [4]. Несмотря на распространенность горизонта, эксплуатируется он только в северной части Ломоносовского района. Здесь он перекрыт четвертичными отложениями и толщей верхнекотлинских глин, что делает его хорошо защищенным от поверхностного загрязнения. Основную часть толщи водоносного комплекса слагают пески и песчаники, алевролиты и алевриты кварцевые и полевошпатово-кварцевые, слабо- и плотносцементированные, часто слоистые. Глубина залегания комплекса в районе эксплуатации составляет 130–150 м. Здесь распространены слабосолоноватые воды с минерализацией 900–2500 мг/л с хлоридно-натриевым составом.

На рассматриваемой территории большинство эксплуатируемых подземных источников хорошо защищены от поверхностного загрязнения толщами глинистых отложений, в связи с чем основная роль в формировании их химического состава принадлежит природным процессам – растворению, выщелачиванию и сорбции, а также жизнедеятельности микроорганизмов [3]. Однако антропогенное воздействие также отмечается в связи со слабой защищенностью ордовикского водоносного комплекса от поверхностного загрязнения, выражаемого повышенными концентрациями нитратов в содержащихся в нем водах.

В табл. 1, 2 приведены результаты анализа [2] лабораторных исследований химического состава подземных вод, использующихся для водоснабжения основных населенных пунктов района с вычислением средних и максимальных значений пока-

зателей. Здесь и далее цветом отмечены значения, превышающие нормативные величины, регламентированные СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Раздел III. Нормативы качества и безопасности воды) [4].

Таблица 1

Содержание нитратов, хлоридов, натрия и обобщенных показателей качества воды в подземных водоисточниках населенных пунктов Ломоносовского района

Населенный пункт	Горизонт	NO_3, мг/л		Cl, мг/л		Na, мг/л		О.Ж., гр.		Σ солей, мг/л	
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.
Вильповицы	O	12,0	20,0	6,9	6,9	10,7	19,1	5,4	7,1	458,4	559,4
Витино	O	6,7	8,3	21,4	26,4	60,0	60,0	5,8	5,8	656,8	656,8
Глобицы	O	62,6	93,0	9,9	16,0	24,7	30,2	7,1	10,1	557,5	830,6
Глухово	O	14,4	27,0	8,3	11,0	21,4	21,4	6,3	6,3	731,1	731,1
Глядино	O	9,7	9,7	43,4	69,2	26,1	38,8	8,2	10,5	691,2	886,8
Гора-Валдай	Q	1,0	1,0	2,6	5,0	2,7	2,7	0,3	0,3	34,0	34,2
Гостилицы	O	13,7	16,0	31,9	56,0	17,5	32,2	6,7	7,2	532,7	630,6
Заостровье	O	24,0	24,0	11,0	11,0	5,8	5,8	6,1	6,1	512,3	512,3
Извара	O	4,4	4,4	14,3	14,3	6,2	6,2	6,6	6,6	518,6	518,6
Кандикюля	V	0,4	0,4	456,0	456,0	313,0	313,0	5,3	5,3	947,8	947,8
Келози	O	18,0	19,0	10,4	12,0	4,0	4,0	7,5	7,5	589,7	591,2
Кипень	O	6,6	16,1	12,5	16,3	26,0	103,3	5,8	7,4	528,2	563,1
Копорье	O	7,6	13,8	4,4	5,6	15,7	30,0	4,3	4,9	393,7	395,6
Копорье	Є	0,4	0,4	63,0	63,0	142,4	142,5	0,7	0,7	457,5	517,5
Лебяжье	Q	0,3	0,3	35,2	35,2	18,4	18,4	2,0	2,0	200,6	200,6
Лебяжье	V	0,2	0,2	853,3	1412,5	345,0	540,0	8,1	12,5	1519,1	2431,0
Лопухинка	O	14,2	17,0	10,1	18,0	4,3	5,0	5,9	6,6	418,3	532,2
Малое Карлино	O	6,9	6,9	33,3	54,2	41,6	41,6	5,7	5,7	569,9	569,9
Михайловская	O	36,1	36,6	15,5	23,0	16,0	24,2	5,5	6,8	478,9	556,2
Новая Буря	O	-	-	17,6	17,6	4,5	4,5	6,3	6,3	511,0	535,0
Подозванье	O	36,0	36,0	3,8	3,8	1,9	1,9	5,1	5,1	458,5	465,6
Рассколово	O	61,0	68,0	29,2	34,0	18,6	18,6	8,3	8,4	708,9	712,8
Ретселя	O	19,6	48,5	8,2	11,5	1,9	1,9	7,0	7,1	488,0	565,9
Шепелево	V	0,4	0,4	754,0	754,0	474,5	474,5	9,1	9,1	1107,5	1575,4
Шундорово	O	1,2	1,8	12,2	18,0	40,0	50,0	5,7	6,0	595,1	610,1

Таблица 2

Содержание микроэлементов в воде подземных водоисточников населенных пунктов Ломоносовского района

Населенный пункт	Гор.	F, мг/л		Fe, мг/л		Mn, мг/л		Ba, мг/л		Pb, мг/л	
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вильповицы	O	-	-	0,01	0,01	-	-	0,07	0,07	0,003	0,003
Витино	O	0,86	1,52	0,19	0,3	0,025	0,048	-	-	0,007	0,014
Глобицы	O	0,3	0,3	0,07	0,19	0,003	0,005	0,06	0,07	0,003	0,008
Глухово	O	0,3	0,3	0,08	0,08	0,003	0,003	-	-	0,001	0,001
Глядино	O	1,27	1,27	0,04	0,04	0,015	0,015	-	-	0,014	0,014
Гора-Валдай	Q	0,3	0,3	0,03	0,05	0,003	0,005	-	-	0,002	0,003
Гостилицы	O	0,3	0,3	0,03	0,05	0,002	0,003	0,07	0,08	0,002	0,002
Заостровье	O	-	-	0,01	0,01	-	-	0,06	0,06	-	-

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Извара	O	-	-	0,11	0,11	0,001	0,001	-	-	0,001	0,001
Кандикюля	V	1,0	1,0	1,55	1,55	0,199	0,199	4,5	5,0	0,003	0,003
Келози	O	0,26	0,3	0,02	0,05	0,003	0,005	0,07	0,07	0,001	0,001
Кипень	O	0,11	0,11	0,05	0,05	0,005	0,005	-	-	0,001	0,001
Копорье	O	0,19	0,3	0,3	0,74	0,032	0,057	0,11	0,13	0,002	0,006
Копорье	Є	0,7	0,7	0,24	0,24	0,021	0,021	0,12	0,12	0,005	0,005
Лебяжье	Q	1,11	1,11	0,01	0,01	0,008	0,008	-	-	0,004	0,004
Лебяжье	V	1,6	1,6	0,51	0,8	0,014	0,014	-	-	0,003	0,003
Лопухинка	O	0,3	0,3	0,03	0,05	0,003	0,005	0,06	0,07	0,001	0,001
Малое Карлино	O	0,16	0,16	0,65	0,65	0,003	0,003	-	-	0,000	0,000
Михайловская	O	0,61	1,1	0,05	0,05	0,001	0,001	0,07	0,07	0,001	0,001
Новая Буря	O	-	-	0,04	0,04	0,001	0,001	0,05	0,05	0,000	0,000
Подозванье	O	0,3	0,3	0,07	0,07	0,074	0,074	0,22	0,22	0,001	0,001
Рассколово	O	0,18	0,3	0,03	0,08	0,002	0,004	0,14	0,14	0,002	0,003
Ретселя	O	0,19	0,3	0,05	0,08	0,002	0,004	0,1	0,1	0,001	0,001
Шепелево	V	0,58	0,6	1,57	1,57	0,391	0,391	13,0	13,0	0,003	0,003
Шундорово	O	0,92	0,92	0,2	0,4	0,016	0,031	0,18	0,18	0,005	0,025

Как видно из приведенных данных, для подземных вод вендских образований характерно превышение ПДК железа, бария, марганца и фтора. Для подземных вод ордовикских образований отмечается повышенное содержание фтора, свинца и нитратов, а также высокая общая жесткость. В подземных источниках отдельных населенных пунктов наблюдается превышение ПДК по азоту.

Помимо этого, в ряде населенных пунктов (н.п.) зафиксированы единичные случаи превышения установленных ПДК другими микроэлементами. В н.п. Гора-Валдай концентрация кадмия составила 0,0011 мг/л. В н.п. Кандикюля концентрация бора составила 0,85 мг/л.

В табл. 3 представлены вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, и вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающие 0,5 ПДК, которые, согласно требованиям 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», должны быть включены в программы производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга [5].

На основе полученных результатов лабораторных исследований качества воды подземных источников Ломоносовского района Ленинградской области проведена оценка риска здоровью населения в соответствии с Руководством по оценке риска[1]. В перечень оцениваемых веществ вошли все вещества, по которым прово-

[1]Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 18.06.2022).

дились лабораторные исследования. Для расчета рисков использовались средние концентрации веществ.

Таблица 3

Вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК, и вещества 3-го и 4-го классов опасности, превышающие 0,5 ПДК

Горизонт подземных вод	Вещества 1-го и 2-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,1 ПДК	Вещества 3-го и 4-го классов опасности, концентрации которых превышают 0,5 ПДК
Кембрийский (Є)	Селен, **барий**, кадмий, свинец, мышьяк, фториды, натрий, бериллий, **бор**	Железо
Ордовикский (O)	Селен, барий, кадмий, свинец, мышьяк, хром, фториды, натрий, бериллий	**Нитраты,** магний, **железо**
Четвертичный (Q)	Селен, **кадмий**, свинец, мышьяк, хром, фториды, бериллий	–
Вендский (V)	**Натрий, барий, фториды**	**Хлор, железо, марганец**

Примечание: жирным шрифтом выделены вещества, превышающие 1 ПДК.

В табл. 4 приведен перечень веществ с их средними концентрациями в определенном горизонте, референтные дозы (*RFD*), факторы канцерогенного потенциала (*SFO*), а также критические органы и системы для каждого вещества. Информация о критических органах и системах взята из руководства и Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ.

Таблица 4

Перечень веществ, для которых проводится оценка риска

В-во	Средняя концентрация, мг/л				*RFD*	*SFO*	Органы и системы
	Q	V	Є	O			
1	2	3	4	5	6	7	8
Селен	0,002		0,002	0,002	0,005		Кожа, печень, волосы, селезенка
Барий	0	8,8	0,12	0,1	0,07		Почки, сердечно-сосудистая система (ССС)
Кадмий	0,0011	0,0002	0,0006	0,0001	0,0005	0,38	Почки, гормональная система
Свинец	0,003	0,003	0,005	0,003	0,0035	0,047	ЦНС, периферическая нервная система (ПНС), кровь, биохимия крови, развитие, репродуктивная система, гормональная система
Алюминий	0,005	–	0,006	0,016	1	–	ЦНС
Кобальт	0,002	–	0,001	0,001	0,02	–	Кровь
Мышьяк	0,005	–	0,005	0,005	0,0003	1,5	Кожа, ЦНС, ПНС, ССС, иммунная система, гормональная система (диабет), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ)

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Хром	0,005	–	0,002	0,01	0,005	–	Печень, почки, ЖКТ, слизистые
Медь	0,004	–	0,001	0,016	0,019	–	ЖКТ, печень
Цинк	0,003	–	0,0049	0,026	0,3	–	Кровь, биохимия крови (супероксиддисмутаза)
Молибден	0,001	–	0,001	0,001	0,005	–	Почки
Марганец	0,005	0,2	0,021	0,01	0,14	–	ЦНС, кровь
Нефте-продукты		–			0,03	–	Почки
Нитраты	0,97	0,3	7,1	93	1,6	–	Кровь (MetHb), ССС
Нитриты		–	0,15	0,075	0,1	–	Кровь (MetHb)
Ион аммония	0,025	–	0,94	0,42	0,98	–	ЦНС, ПНС, дыхательная система, печень, почки, селезенка, ЖКТ, углеводный обмен, кровь, кожа, глаза; биохимия крови
Фторид-ион	0,3	1,1	0,7	0,3	0,06	–	Зубы, костная система
Натрий	2,7	377,5	142,4	32,2	34,3	–	ССС
Магний	1	–	4,3	47,5	11	–	ЦНС, дыхательная, ССС, иммунная система, ЖКТ, печень, почки (Федеральный регистр)
Железо	0,05	1,21	0,24	0,65	0,3	–	Слизистые, кожа, кровь, иммунная система
Бериллий	0,0001	–	0,0001	0,0001	0,002	4,3	ЖКТ, масса тела
Стронций	0,04	–	0,13	0,12	0,6	–	Костная система
Бор	0,01	0,2	0,85	0,03	0,2	–	Репродуктивная система (семенники), ЖКТ, развитие (эмбриотоксический эффект)
Никель	0,001	0,0005	0,0015	0,0038	0,02	–	Печень, ССС, ЖКТ, кровь, масса тела
Ртуть	0,00001	–	0,00001	0,00001	0,0003	–	Иммунная система, почки, ЦНС, репродуктивная система, гормональная система

На следующем этапе произведен расчет поступления (I) химических веществ (табл. 5). Было принято, что взрослый человек будет употреблять воду из подземного водоисточника в течение всей жизни в объеме 2 л/день. На основе полученных значений поступления произведен расчет коэффициентов опасности (*HQ*) и канцерогенных рисков (*CR*), а также суммарных канцерогенных рисков.

Третьим этапом было суммирование коэффициентов опасности по действию на критические органы и системы. Выбраны системы с наибольшими значениями суммарного коэффициента опасности (табл. 6).

На последнем этапе оценки риска здоровью проведен расчет популяционных рисков в соответствии с численностью населения, употребляющего воду из рассматриваемых горизонтов (табл. 7).

Таблица 5

Результаты расчетов индивидуальных хронических рисков по горизонтам

Наименование	Q		V		Є		O	
	HQ	*CR*	*HQ*	*CR*	*HQ*	*CR*	*HQ*	*CR*
Se	0,0114	-	0,000	-	0,0114	-	0,0114	-
Ba	0,0000	-	3,592	-	0,0490	-	0,0408	-
Cd	0,0629	1,19E-05	0,011	2,17E-06	0,0343	6,514E-06	0,0057	1,086E-06
Pb	0,0245	4,02E-06	0,024	4,02E-06	0,0408	6,714E-06	0,0245	4,029E-06
Al	0,0001	-	0,000	-	0,0002	-	0,0005	-
Co	0,0029	-	0,000	-	0,0014	-	0,0014	-
As	0,4762	0,0002143	0,000	-	0,4762	0,0002143	0,4762	0,0002143
Cr	0,0286	-	0,000	-	0,0114	-	0,0571	-
Cu	0,0060	-	0,000	-	0,0015	-	0,0241	-
Zn	0,0003	-	0,000	-	0,0005	-	0,0025	-
Mo	0,0057	-	0,000	-	0,0057	-	0,0057	-
Mn	0,0010	-	0,041	-	0,0043	-	0,0020	-
Нефте-продукты	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
NO_3	0,0173	-	0,005	-	0,1268	-	1,6607	-
NO_2	0,0000	-	0,000	-	0,0429	-	0,0214	-
NH_3	0,0007	-	0,000	-	0,0274	-	0,0122	-
P	0,1429	-	0,524	-	0,3333	-	0,1429	-
Na	0,0022	-	0,314	-	0,1186	-	0,0268	-
Mg	0,0026	-	0,000	-	0,0112	-	0,1234	-
Ca	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
Fe	0,0048	-	0,115	-	0,0229	-	0,0619	-
Гамма-ГХЦГ (линдан)	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
2,4-Д	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
H_2S	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
Be	0,0014	1,229E-05	0,000	-	0,0014	1,229E-05	0,0014	1,229E-05
Sr	0,0019	-	0,000	-	0,0062	-	0,0057	-
B	0,0014	-	0,029	-	0,1214	-	0,0043	-
Ni	0,0014	-	0,001	-	0,0021	-	0,0054	-
Формальдегид	0,0000	-	0,000	-	0,0000	-	0,0000	-
Hg	0,0010	-	0,000	-	0,0010	-	0,0010	-
Суммарный канцерогенный риск	0,00024		6,20E-06		0,00024		0,000232	

Таблица 6

Суммарные значения коэффициентов опасности по критическим органам и системам

Критические органы и системы	Сумм. *HQ*	Ранг
Q		
ЖКТ	0,518	1
ЦНС	0,506	2
Гормональная система	0,502	3

Окончание табл. 6

Критические органы и системы	Сумм. *HQ*	Ранг
ПНС	0,501	4
ССС	0,500	5
V		
ССС	3,912	1
Зубы	0,524	2
Костная система	0,524	2
Кровь	0,187	4
Кожа	0,115	5
Є		
ССС	0,784	1
ЖКТ	0,653	2
ЦНС	0,561	3
ПНС	0,544	4
Кожа	0,538	5
O		
ССС	2,333	1
Кровь	1,792	2
ЖКТ	0,704	3
Иммунная система	0,662	4
ЦНС	0,640	5

Таблица 7

Популяционный канцерогенный риск

Горизонт	Численность населения	Суммарный канцерогенный риск	Популяционный риск
Q	417	0,0002425	0,1011404
V	4431	6,20E-06	0,0274722
Є	1603	0,0002398	3,1334666
O	13067	0,0002317	3,0274372

Согласно полученным значениям суммарный канцерогенный риск при употреблении вод четвертичных, кембрийских и ордовикских отложений соответствует индивидуальному риску в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$, приемлемому для профессиональных групп и неприемлемому для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Суммарный канцерогенный риск при употреблении вод вендских отложений соответствует индивидуальному риску в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$ – предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска, что свидетельствует об отсутствии угрозы состоянию здоровья, однако показатели, формирующие значения канцерогенного риска, требуют постоянного контроля.

Анализ полученных результатов популяционного канцерогенного риска свидетельствует, что вероятность развития заболеваний на протяжении всей жизни у населения, постоянно употребляющего воды четвертичных отложений, находится на уровне 0,10, что соответствует менее чем одному случаю онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды вендских отложений – на уровне

0,02, что соответствует менее чем одному случаю онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды кембрийских отложений – на уровне 3,13, что соответствует примерно трем случаям онкологических заболеваний в течение 70 лет. При употреблении воды ордовикских отложений – на уровне 3,02, что соответствует трем случаям онкологических заболеваний в течение 70 лет.

Для вод четвертичных отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при их употреблении соответствуют допустимому уровню риска (допустимый уровень – менее единицы). Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием мышьяка (0,47). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ЖКТ, ЦНС, гормональная система. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Для вод вендских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при употреблении соответствуют недопустимому уровню риска. Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием бария (3,59). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ССС, зубы, костная система. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует недопустимому уровню.

Для вод кембрийских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при их употреблении соответствуют допустимому уровню риска. Неканцерогенный риск в большей степени обусловлен воздействием мышьяка (0,47). Анализ хронического неканцерогенного риска здоровью населения при пероральном поступлении показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ССС, ЖКТ, ЦНС. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует допустимому уровню.

Для вод ордовикских отложений уровни индивидуального хронического неканцерогенного риска при употреблении соответствуют недопустимому уровню риска. Наибольший вклад в неканцерогенный риск обусловлен воздействием нитратов (1,66). Анализ хронического неканцерогенного риска при пероральном воздействии на здоровье населения показал, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем выступили ССС, кровь, ЖКТ. Суммарный хронический неканцерогенный риск при действии на критические органы и системы соответствует недопустимому уровню.

Выводы. На административных территориях изученных населенных пунктов Ломоносовского района Ленинградской области отмечается высокий уровень несоответствия качества подземных вод в водоисточниках гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям.

Оценка риска здоровью показала, что употребление населением подземных вод Ломоносовского района, за исключением вод вендских отложений, создает недопустимый канцерогенный риск здоровью населения.

Были получены недопустимые значения хронического неканцерогенного риска при употреблении вод вендских и ордовикских отложений.

Основной вклад в значение коэффициентов опасности в случае употребления вод вендских отложений вносит барий, ордовикских – нитраты.

Наибольший вклад в значения канцерогенного риска и коэффициента опасности вносит воздействие мышьяка.

На территории района практически отсутствуют сооружения водоподготовки. Применяется лишь хлорирование. Таким образом, к потребителям поступает вода с исходным составом, следовательно, полученные значения канцерогенного и неканцерогенного рисков справедливы для поселений исследуемого района области.

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская / В.Р. Вербицкий, И.В. Вербицкий, О.В. Васильева [и др.]. − СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 510 с.

2. Гигиеническая оценка качества воды подземных источников питьевого водоснабжения населенных пунктов Кировского района Ленинградской области (ЛО): база данных / Г.Б. Еремин, С.А. Горбанев, И.О. Мясников [и др.]; свидетельство о государственной регистрации № 2021623114, РФ.

3. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987 г. – 237 с.

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 21.06.2022).

5. 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 / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор. – URL: https: //www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf (дата обращения: 21.06.2022).

6. Создание современной гидрогеологической карты Ленинградского артезианского бассейна масштаба 1:500 000 с выявлением условий локализации питьевых подземных вод, различных по защищенности водоносных горизонтов и качеству воды: геологический отчет / Е.А. Шебеста, В.Б. Ершова, М.Л. Марков [и др.]. − СПб.: ПКГЭ, 2007. – 690 с.

Определение концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе г. Перми

Е.А. Сухих, А.А. Крылов, А.С. Зорина, Т.С. Уланова

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

Приведены результаты исследования по определению максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4, PM_{10} в атмосферном воздухе г. Перми в теплый период. Установлено, что превышения максимальной разовой концентрации фракций $PM_{2.5}$, PM_{10} не выявлено. Однако несколько раз было зафиксировано превышение референтной концентрации $PM_{2.5}$.

Ключевые слова: атмосферный воздух, мелкодисперсные частицы, $PM_{2.5}$, PM_{10}, лазерный анализатор, референтные концентрации (*RfC*).

Одним из ведущих факторов риска для здоровья населения является загрязнение атмосферного воздуха. Установлена зависимость между загрязнением атмосферного воздуха и заболеваемостью бронхитом, пневмонией, эмфиземой легких, а также другими респираторными заболеваниями. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят взвешенные частицы [1, 2].

Рекомендациями Всемирной организации здравоохранения нормируется содержание частиц пыли $PM_{2.5}$ и PM_{10}, взвешенных частиц диаметром менее и равным 2,5 и 10 мкм соответственно. В России нормируется содержание мелкодисперсных взвешенных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} только в атмосферном воздухе населенных мест [5]. Вместе с тем в России также установлены референтные значения концентраций для $PM_{2.5}$ – 0,015 мг/м^3, для PM_{10} – 0,050 мг/м3 [4]. Гигиенические стандарты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Предельно допустимые и референтные концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе населенных мест

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м^3			Референтные концентрации, мг/м^3
	максимальная разовая	среднесуточная	среднегодовая	
PM_{10}	0,30	0,06	0,04	0,050
$PM_{2.5}$	0,16	0,035	0,025	0,015

Мелкодисперсные частицы за счет малых размеров могут глубоко проникать в легкие человека, вызывая рак, сердечно-сосудистые и респираторные заболевания [6–8]. Помимо того, что они вызывают механические повреждения тканей, они также адсорбируют на себя вредные химические вещества, находящиеся в воздухе [2].

В условиях комплексного поступления вредных веществ в организм актуальной является проблема выделения приоритетных видов загрязнителей, их количественного определения и оценки опасности воздействия с целью обоснования рис-

ков, оптимизации наблюдений в рамках социально-гигиенического мониторинга и принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения. В связи с этим важным направлением исследований является контроль качества атмосферного воздуха.

Цель исследования – определение концентраций мелкодисперсных фракций взвешенных частиц PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4, PM_{10} в атмосферном воздухе на территории г. Перми.

Материалы и методы. Исследования атмосферного воздуха проводились в период с 13 мая по 31 августа 2022 г. в г. Перми. Всего был проведен 31 отбор на двух точках: точка № 1 – г. Пермь, улица Монастырская 82; точка № 2 – г. Пермь, Сосновый бор, Комплекс ППИ.

Исследования выполнялись с использованием лазерного анализатора аэрозоля DustTrak 8533, основанного на принципе лазерной нефелометрии. Диапазон размеров регистрируемых частиц – 0,1–15,0 мкм, измерения массовой концентрации аэрозоля – 0,01–150,0 мг/м^3. Во время замера значения концентраций отображаются в онлайн-режиме, при переносе данных на компьютер программное обеспечение прибора вычисляет средние значения. Согласно техническим характеристикам анализатора, диапазон массовых концентраций анализатора – 0,01–150 мг/м^3, диапазон размеров регистрируемых частиц – 0,1 – 15 мкм.

Исследования атмосферного воздуха проводили в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» [3]. Анализатор пыли DustTrak устанавливали на высоту 1,5 м от поверхности земли. Длительность измерений максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц составляла 30 мин.

Результаты. В табл. 2 представлены результаты замеров атмосферного воздуха в двух точках, находящихся в г. Перми.

Таблица 2

Максимальные разовые концентрации взвешенных веществ $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе

№	Дата отбора	Максимальная разовая концентрация ± Δ, мг/м^3			
		PM_1 ± Δ мг/м^3	$PM_{2.5}$ ± Δ мг/м^3	PM_4 ± Δ мг/м^3	PM_{10} ± Δ мг/м^3
Точка № 1					
1	13.05.2022 г. в 14:07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2	16.05.2022 г. в 09:45	<0,01	<0,01	0,020 ± 0,004	0,030 ± 0,006
3	17.05.2022 г. в 14:28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	18.05.2022 г. в 12:28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	27.05.2022 г. в 11:39	<0,01	<0,01	<0,01	0,015 ± 0,003
6	02.06.2022 г. в 11:21	0,011 ± 0,002	0,014 ± 0,003	0,017 ± 0,003	0,048 ± 0,010
7	03.06.2022 г. в 13:28	<0,01	<0,01	<0,01	0,019 ± 0,004
8	06.06.2022 г. в 14:25	<0,01	<0,01	0,011 ± 0,002	0,018 ± 0,004
9	08.06.2022 г. в 13:57	<0,01	<0,01	<0,01	0,014 ± 0,003
10	14.06.2022 г. в 14:02	<0,01	<0,01	<0,01	0,014 ± 0,003
11	15.06.2022 г. в 14:00	<0,01	<0,01	<0,01	0,018 ± 0,004
12	20.07.2022 г. в 13:22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
13	22.07.2022 г. в 13:48	<0,01	<0,01	<0,01	0,017 ± 0,003
14	25.07.2022 г. в 13:51	0,015 ± 0,003	**0,017 ± 0,003**	0,018 ± 0,004	0,025 ± 0,005
15	27.07.2022 г. в 13:01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Окончание табл. 2

№	Дата отбора	Максимальная разовая концентрация ± Δ, мг/м^3			
		PM_1 ± Δ мг/м^3	$PM_{2.5}$ ± Δ мг/м^3	PM_4 ± Δ мг/м^3	PM_{10} ± Δ мг/м^3
16	29.07.2022 г. в 14:01	0,013 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,019 ± 0,004
17	02.08.2022 г. в 13:28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18	04.08.2022 г. в 13:08	<0,01	<0,01	0,011 ± 0,002	0,019 ± 0,004
19	08.08.2022 г. в 12:46	0,012 ± 0,002	0,013 ± 0,003	0,014 ± 0,003	0,018 ± 0,004
Точка № 2					
1	09.08.2022 г. в 14:54	0,013 ± 0,003	0,013 ± 0,003	0,014 ± 0,003	0,019 ± 0,004
2	16.08.2022 г. в 14:23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	17.08.2022 г. в 14:19	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	18.08.2022 г. в 14:27	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	19.08.2022 г. в 13:03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	23.08.2022 г. в 14:22	0,011 ± 0,002	0,011 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,014 ± 0,003
7	24.08.2022 г. в 14:24	0,011 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,013 ± 0,003	0,016 ± 0,003
8	25.08.2022 г. в 14:40	0,016 ± 0,003	**0,017 ± 0,003**	0,018 ± 0,004	0,024 ± 0,005
9	26.08.2022 г. в 13:18	0,023 ± 0,005	**0,025 ± 0,005**	0,026 ± 0,005	0,034 ± 0,007
10	29.08.2022 г. в 14:22	0,016 ± 0,003	**0,018 ± 0,004**	0,020 ± 0,004	0,030 ± 0,006
11	30.08.2022 г. в 14:23	0,012 ± 0,002	0,014 ± 0,003	0,017 ± 0,003	0,030 ± 0,006
12	31.08.2022 г. в 15:01	0,014 ± 0,003	**0,016 ± 0,003**	0,018 ± 0,004	0,022 ± 0,004

По данным табл. 2, превышений максимальных разовых ПДК нормируемых мелкодисперсных частиц на момент исследования не зафиксировано. В результате проведенных исследований установлено содержание PM_1 в диапазоне концентраций 0,010–0,023 мг/м^3, $PM_{2.5}$ – в диапазоне 0,010–0,025 мг/м^3, PM_4 – 0,010–0,026 мг/м^3, PM_{10} – 0,010–0,048 мг/м^3. При этом средняя арифметическая максимальная разовая концентрация PM_1 составила 0,008 ± 0,001 мг/м^3, $PM_{2.5}$ – 0,009 ± 0,002 мг/м^3, PM_4 – 0,011 ± 0,002 мг/м^3, PM_{10} – 0,018 ± 0,004 мг/м^3.

Анализ процентной доли каждой фракции показал, что содержание PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4, PM_{10} в общей пыли составило 18; 20; 23; 39 % соответственно.

За время проведения измерений максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц было 5 раз зафиксировано превышение референтной концентрации $PM_{2.5}$. Максимальное превышение (в 1,7 раза) наблюдалось в точке № 2. Превышения референтной концентрации PM_{10} на момент исследования не обнаружено.

Выводы. Таким образом, превышения ПДК содержания максимальных разовых концентраций мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} не выявлено. Вместе с тем при оценке полученных результатов с референтными значениями (*RfC*) для атмосферного воздуха по $PM_{2.5}$ – 0,015 мг/м^3 и PM_{10} – 0,050 мг/м^3 установлено, что в ряде замеров значения превышают (отбор 14 на точке № 1, отборы 8, 9, 10, 12 на точке № 2) референтные концентрации.

Проведенные измерения максимальных разовых концентраций взвешенных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} подтверждают актуальность их определения как для оценки качества атмосферного воздуха, так и для оценки рисков здоровью населения.

Список литературы

1. Вязовая Е.А., Орловская И.А., Козлов В.А. Влияние накожных аппликаций мелкодисперсной минеральной композиции на морфофункциональные показатели иммунной системы // Иммунология. – 2007. – Т. 28, № 6. – С. 338–342.

2. Голохваст К.С., Кику П.Ф., Христофорова Н.К. Атмосферные взвеси и экология человека (обзор литературы) // Экология человека. – 2012. – № 10. – С. 5–10.

3. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. – М.: Стандартинформ, 2005. – 4 с.

4. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 06.09.2022).

6. Differential toxicities of fine particulate matters from various sources / M. Park, H.S. Joo, K. Lee [et al.] // Scientific reports. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-018-35398-0

7. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease / D.E. Newby, P.M. Mannucci, G.S. Tell [et al.] // Eur. Heart J. – 2015. – Vol. 36, № 2. – P. 83–93b. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu458

8. Fine Dust Creation during Hardwood Machine Sanding / M. Pędzik, T. Rogoziński, J. Majka [et al.] // Appl. Sci. – 2021. – Vol. 11, № 14. – P. 6602. DOI: 10.3390/app11146602

Проблемные вопросы контроля за воздействием авиационного шума на условия проживания граждан мегаполиса

А.И. Худобородов

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Москве,
г. Москва, Россия

Описаны проблемы нормативного регулирования вопросов обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения мегаполисов, подвергающихся сверхнормативному шумовому воздействию воздушных судов, практика реализации полномочий Роспотребнадзора по согласованию с 2017 г. размещения объектов капитального строительства в приаэродромных территориях в условиях мегаполиса с плотной застройкой, предложения по совершенствованию законодательства в данной сфере.

Объектом исследования является деятельность Управления Роспотребнадзора по г. Москве по контролю за воздействием шума от воздушных судов на условия проживания

жителей г. Москвы на этапе согласования размещения объектов жилищного строительства, при рассмотрении обращений граждан на авиационный шум и при проведении контрольно-надзорных мероприятий, а также достаточность механизмов контроля в данной сфере для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в условиях активно развивающегося мегаполиса.

Осуществлена оценка полноты и достаточности существующей нормативно-правовой базы, регламентирующей вопросы размещения объектов жилищного строительства, социальных объектов в приаэродромных территориях, вопросы контроля за соблюдением санитарных норм и правил по фактору авиационного шума на приаэродромных территориях, ответственность за соблюдение нормативных значений уровней шума от воздушных судов на территории жилой застройки.

Ключевые слова: Москва, воздушные суда, самолёты, авиационный шум, шумозащитные мероприятия, приаэродромные территории, полосы воздушных подходов аэродромов, обращения граждан, контроль, надзор.

Представленная работа проведена с помощью экспериментального метода исследования (характеризующегося активным вмешательством в изучаемые процессы) с использованием социологических количественных показателей. В качестве материалов исследования использованы разделы Управления Роспотребнадзора по г. Москве за 2018–2021 гг. в Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации» за 2018–2021 гг.[1], служебная документация Управления Роспотребнадзора по г. Москве, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве», Комплекса градостроительной политики и строительства города Москвы, Комитета по архитектуре и градостроительству г. Москвы.

Для большинства мегаполисов среди всех гигиенических проблем наиболее остро стоит проблема транспортного шума, при этом негативное шумовое воздействие может оказывать автомобильный, железнодорожный и воздушный транспорт. Город Москва находится в окружении трех крупнейших международных аэропортов («Внуково», «Шереметьево», «Домодедово»), не считая ведомственных и небольших аэродромов («Остафьево», «Раменское», «Жуковский», «Черное» и др.). Значительная территория Москвы и Московской области находится в границах полос воздушных подходов данных аэропортов, в приаэродромной территории, где не исключены превышения уровней шума на земле, а также в зданиях от пролетающих воздушных судов.

Рассмотрение обращений граждан. Административная практика. В 2019 г. Росавиацией, Госкорпорацией по ОРВД и операторами аэродромов были разработаны и утверждены новые маршруты движения воздушных судов. В связи с этим резко увеличилось количество жалоб жителей северо-западных районов Москвы на шум от самолетов аэропорта «Шереметьево» (от единичных в 2018 г. до более 250 в 2019 г.). В рамках Федерального закона «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации» от 02.05.2006 № 59-ФЗ [6] по поступившим обращениям на протяжении 2019 г. Управлением организовывалась работа по контролю за уровнем шума от воздушных судов, взлетающих и идущих на посадку в аэропорт «Шереметьево», – в рамках полусотни выездов специалистов испыта-

[1] Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации» (за 2018–2021 гг.)

тельной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве». Факты, изложенные в обращениях граждан, подтвердились, были выявлены превышения гигиенических нормативов уровней шума в квартирах заявителей и прилегающей территории. Указанная информация направлялась в органы Прокуратуры, в Росавиацию для принятия мер. По инициативе Управления под председательством руководителя Росавиации было проведено совещание с приглашением представителей всех заинтересованных ведомств, по итогам которого проблема сверхнормативного шумового воздействия на жителей Северо-Западной части г. Москвы была решена, были найдены альтернативные маршруты полетов воздушных судов, «в обход» густонаселенных районов.

Благодаря вышеуказанной работе почти до конца 2020 г. обращения граждан с жалобами на авиационный шум в Управление не поступали. Однако в декабре Росавиацией, Госкорпорацией по ОРВД и оператором аэродрома «Внуково» были утверждены новые схемы движения воздушных судов: на этот раз в районе международного аэропорта «Внуково», что привело к продолжающемуся и до настоящего времени потоку обращений жителей юго-западных районов Москвы (42 – в 2020 г., 212 – в 2021 г., 143 – в первом полугодии 2022 г.).

В данном случае Управлением в 2020–2022 гг. также была организована работа, направленная на защиту прав граждан на благоприятную среду обитания:

– силами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» были организованы замеры авиационного шума на территории жилой застройки (19 – в 2020 г., 90 – в 2021 г., 21 – в первом полугодии 2022 г.), показавшие превышения гигиенических нормативов в 70 % случаев;

– с целью визуализации хода выполнения работы по контролю за авиационным шумом, оптимизации планирования выездов специалистов ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» для проведения замеров, анализа полученных результатов, принятия мер административного воздействия и управленческих решений на базе системы «Яндекс-карты» создана «шумовая карта» подверженных сверхнормативному авиационному шуму районов Москвы (рисунок).

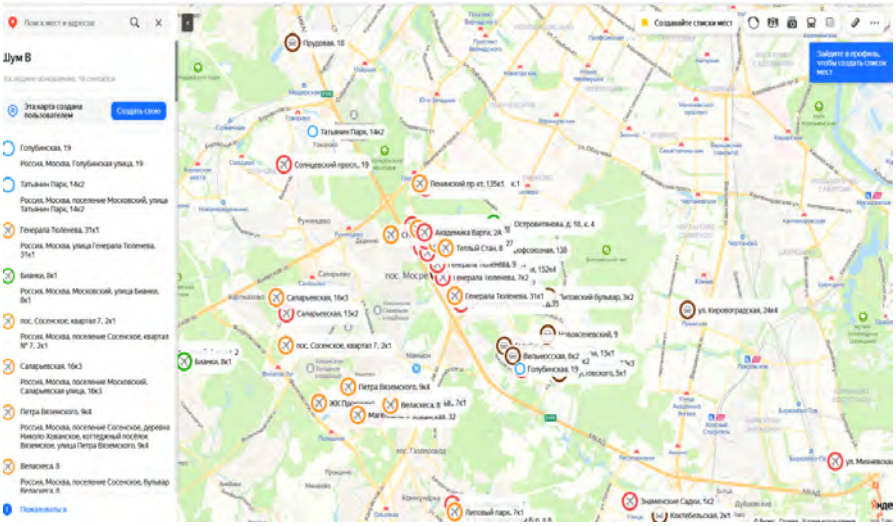


Рис. Интерактивная карта авиационного шума

– четырежды юридическое лицо – оператор аэропорта – привлекался к административной ответственности в виде штрафов [2] (кроме того, с учетом положений Постановления Правительства от 10.03.2022 № 336 в 2022 г. [8] выдавалось Предостережение о недопустимости нарушения обязательных требований) по факту сверхнормативного шумового воздействия воздушных судов, следующих по утвержденным с участием оператора аэропорта маршрутам, на территорию жилой застройки; по факту отсутствия контроля за уровнями шума в границах полос воздушных подходов аэропорта от воздушных судов в рамках производственного контроля, а также в рамках процедуры установления приаэродромной территории (в соответствии с МР 2.5/4.3.0258-21 «Методика установления (изменения) седьмой подзоны приаэродромной территории» [3]) по факту отсутствия утвержденной в установленном порядке приаэродромной территории в составе 7 подзон;

– результаты измерений и аналитическая информация о проблеме воздействия авиационного шума на жителей Москвы направлялась в Росавиацию, Госкорпорацию по ОРВД, оператору аэропорта «Внуково», в Московскую межрегиональную транспортную прокуратуру, в прокуратуру г. Москвы для принятия мер в рамках компетенции;

– в Московской межрегиональной транспортной прокуратуре в 2021 г. по инициативе Управления состоялось совещание с приглашением всех заинтересованных служб, ведомств и организаций под председательством заместителя прокурора состоялось совещание, в ходе которого Росавиации, Госкорпорации по ОРВД и оператору аэропорта «Внуково» было поручено проработать пути решения проблемы.

Следует отметить, что указанная проблема до настоящего времени не решена. Кроме плотности застройки на территории Москвы и требований обеспечения безопасности полетов, причиной этому является позиция АО «Международный аэропорт Внуково», заключающаяся в оспаривании вменяемой Управлением оператору аэропорта ответственности за соблюдением нормируемых значений шума воздушными судами на территории жилой застройки. В настоящее время определена правомочность действий Управления по привлечению оператора аэропорта к административной ответственности по факту сверхнормативного шумовового воздействия воздушных судов, следующих по утвержденным с участием оператора аэропорта маршрутам, на территорию жилой застройки; по факту отсутствия контроля за уровнями шума в границах полос воздушных подходов аэропорта от воздушных судов в рамках производственного контроля, а также в рамках процедуры установления приаэродромной территории; по факту отсутствия утвержденной в установленном порядке приаэродромной территории в составе 7 подзон поддержана Решениями районных судов Москвы, Московского городского суда и Верховным судом Российской Федерации, вследствие чего есть основания надеяться на постепенное решение возникшей на Юго-Западе Москвы проблемы.

Размещение жилой застройки в приаэродромной территории. С момента вступления в силу Федерального закона от 01.07.2017 № 135-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования порядка установления и использования приаэродромной территории и санитарно-защитной зоны» [5] органы Роспотребнадзора уполномочены на выдачу санитарно-эпидемиологических заключений о соответствии размещения объектов капитального строительства требованиям санитарных правил и норм в случае их строительства на земельных участках в пределах полос воздушных подходов аэродромов.

Большая часть ТиНАО располагается в пределах полос воздушных подходов аэропорта «Внуково», небольшая часть северо-запада Москвы – в пределах полос воздушных подходов аэропорта «Шереметьево», отдельные районы города также попадают в границы полос воздушных подходов аэропорта «Остафьево» и «Раменское».

Наличие положительного санитарно-эпидемиологического заключения является обязательным условием для выдачи Мосгосстройнадзором разрешения на строительство объектов, находящихся в границах полос воздушных подходов аэродромов.

В связи с активным строительством на территории г. Москвы, особенно на территории ТиНАО, количество заявлений на выдачу санитарно-эпидемиологических заключений ежегодно растет – в 2018 г. Управлением рассмотрено 17 таких заявлений, в 2019 г. – 43, в 2020 г. – 113, в 2021 г. – 229 таких заявлений, за 9 месяцев 2022 г. – 418.

Основным критерием, позволяющем выдать положительное санитарно-эпидемиологическое заключение на размещение объекта, является соответствие уровней шума (по результатам замеров в соответствии с МУК 4.3.3722-21 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях» [4]) на территории земельного участка, где планируется строительство объекта, гигиеническим нормативам, а именно: п. 69 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» [10], табл. 5.35 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [9].

Вместе с тем значительная часть территории ТиНАО, отдельные территории на северо-западе Москвы подвержены сверхнормативному шумовому воздействию. На большинстве данных территорий запланированы многочисленные социально значимые проекты строительства, реализация которых находится на особом контроле Правительства Москвы, а также на федеральном контроле. По этой причине для предотвращения массовых отказов в выдаче положительных санитарно-эпидемиологических заключений на размещение объектов (в случае превышения уровней шума на участке будущего строительства), которые бы привели к срыву городских программ строительства, в том числе объектов реновации, детских и социальных учреждений, Управлением совместно с ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» при поддержке Москомархитектуры был проработан алгоритм, включающий разработку заявителем шумозащитных мероприятий и оценку их эффективности с использованием методологии оценки риска.

В соответствии с п. 3.2 ст. 47 Воздушного кодекса Российской Федерации «Определение перечня ограничений использования земельных участков, предусматривающих запрет на строительство, реконструкцию, эксплуатацию отдельных видов объектов капитального строительства в седьмой подзоне приаэродромной территории, осуществляется с учетом возможности применения при строительстве, реконструкции, эксплуатации таких видов объектов мер по предупреждению и (или) устранению негативного физического воздействия и по результатам расчета

и оценки рисков для здоровья человека, проведенных в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями»[1].

Таким образом, действующее законодательство предполагает использование методологии оценки риска и оценки эффективности шумозащитных мероприятий в рамках установления 7-й подзоны приэродромной территории в целом. Однако, следует отметить, что прямых указаний в законодательстве о возможности использования подобного подхода в рамках рассмотрения вопроса о выдаче санитарно-эпидемиологических заключений о размещении объектов в границах полос воздушных подходов аэропорта до установления 7-й подзоны нет.

В связи с тем, что органы Роспотребнадзора с 2007 г. согласно изменениям, внесённым в Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [7] и от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ Градостроительный Кодекс Российской Федерации [1], не рассматривают проекты строительства, не контролируют ход строительства и не принимают участие в приемке объектов законченного строительства, Управлением было принято решение о направлении информации в Мосгосстройнадзор о выданном санитарно-эпидемиологическом заключении и необходимости контроля за выполнением и эффективностью шумозащитных мероприятий на этапе строительства и ввода в эксплуатацию объектов (в том числе посредством проведения натурных измерений уровней шума).

По информации Мосгосстройнадзора контроль за выполнением шумозащитных мероприятий на этапе строительства и ввода в эксплуатацию, проведение контрольных измерений уровней шума на этапе ввода в эксплуатацию для оценки их эффективности возможны со стороны Мосгосстройнадзора только при условии включения данных мероприятий в проект строительства объекта, однако механизм, который бы позволил Управлению обязать заявителя включить информацию о шумозащитных мероприятиях в проект строительства, отсутствует.

Контроль за полнотой информации в проекте может осуществляться на этапе строительной экспертизы, которая может осуществляться как Московской государственной экспертизой, так и многочисленными коммерческими экспертными организациями.

В августе 2022 г. заместителем мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства по инициативе Управления организовано совещания, в ходе которого ответственным структурам Правительства Москвы было поручено проработать вопрос «проверки» результатов негосударственной экспертизы проектов строительства жилых и социальной объектов, размещаемых в границах приаэродромной территории с зафиксированными сверхнормативными уровнями шума на предмет полноты включения информации о шумозащитных мероприятиях, а впоследствии – законодательной инициативы по прохождению обязательной государственной экспертизы проектов строительства в отношении объектов жилой застройки и объектов социальной инфраструктуры, находящихся в пределах границ воздушных подходов аэропортов, в приаэродромной территории.

---

[1] Воздушный кодекс Российской Федерации «Определение перечня ограничений использования земельных участков, предусматривающих запрет на строительство, реконструкцию, эксплуатацию отдельных видов объектов капитального строительства в седьмой подзоне приаэродромной территории, осуществляется с учетом возможности применения при строительстве, реконструкции, эксплуатации таких видов объектов мер по предупреждению и (или) устранению негативного физического воздействия и по результатам расчета и оценки рисков для здоровья человека, проведенных в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями».

Алгоритм согласования размещения социально значимых объектов на территориях со сверхнормативным авиационным шумом.

1. Обращение застройщика (заявителя) в экспертную организацию, уполномоченную на проведение санитарно-эпидемиологической экспертизы, на проведение замеров уровней шума.

2. Установление превышений нормативных значений уровней эквивалентного шума на территории земельного участка, где планируется строительство объекта. Информирование экспертной организацией заявителя о выявленных превышениях.

3. Проектирование заявителем конкретных шумозащитных мероприятий, исходя из степени превышений норматива шума.

4. Оценка эффективности разработанных шумозащитных мероприятий экспертной организацией с использованием методологии оценки риска.

5. Заявление в Управление Роспотребнадзора по г. Москве о выдаче санитарно-эпидемиологического заключения с приложением:

– экспертного заключения организации, уполномоченной на проведение санитарно-эпидемиологической экспертизы;

– протоколов замеров эквивалентного шума;

– тома «Оценка риска для здоровья населения», проведенной с целью оценки эффективности запроектированных шумозащитных мероприятий и акустических расчетов;

– плана реализации шумозащитных мероприятий, утвержденного руководителем ответственной за строительство и ввод в эксплуатацию объекта организации (заявителя, застройщика) и включающего в себя обязательства по включению шумозащитных мероприятий и акустических расчетов в проект строительства, по реализации их на всех этапах строительства и ввода в эксплуатацию.

– направление Управлением копии санитарно-эпидемиологического заключения с планом реализации шумозащитных мероприятий в Московскую государственную экспертизу с целью контроля полноты включения информации о шумозащитных мероприятиях в проект строительства и в Мосгосстройнадзор с целью контроля их реализации на этапах строительства и ввода в эксплуатацию (включая инструментальный контроль шума при вводе в эксплуатацию).

Выводы. Работа, проведенная Управлением Роспотребнадзора по г. Москве в 2018–2022 гг. по контролю за шумовым воздействием воздушных судов на условия проживания граждан на этапе согласования размещения объектов жилищного строительства, при рассмотрении обращений граждан на авиационный шум и при проведении контрольно-надзорных мероприятий, позволяет сделать выводы:

1. О необходимости внесения изменений в действующее законодательство:

– конкретизация ответственности оператора аэропорта за осуществление контроля авиационного шума на территории жилой застройки, за превышения гигиенических нормативов уровней шума от воздушных судов на территории жилой застройки;

– указание возможности разработки шумозащитных мероприятий и оценки их эффективности с использованием методологии оценки риска на этапе проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы размещения объектов в границах полос воздушных подходов аэропортов, в границах приаэродромных территорий в случае установления превышения гигиенических нормативов уровней шума на территории;

– обязанность прохождения государственной экспертизы проектов строительства объектов жилой застройки и объектов социальной инфраструктуры, нахо-

дящихся в пределах границ воздушных подходов аэропортов, в приаэродромной территории.

2. О необходимости продолжения работы по созданию «интерактивной карты авиационного шума» с визуализацией на карте не только информации о результатах проводимых измерений авиационного шума по обращениям граждан, но и информации о результатах измерений авиационного шума, проводимых в рамках экспертизы условий размещения объектов.

Список литературы

1. Градостроительный Кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 18.08.2022).

2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 г. № 195-ФЗ ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (дата обращения: 18.08.2022).

3. МР 2.5/4.3.0258-21. Методика установления (изменения) седьмой подзоны приаэродромной территории [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=19099 (дата обращения: 18.08.2022).

4. МУК 4.3.3722-21. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях [Электронный ресурс]. – URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=20399 (дата обращения: 18.08.2022).

5. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования порядка установления и использования приаэродромной территории и санитарно-защитной зоны: Федеральный закон от 01.07.2017 № 135-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/436745789? section=status (дата обращения: 18.08.2022).

6. О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации: Федеральный закон от 02.05.2006 г. № 59-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_59999/ (дата обращения: 18.08.2022).

7. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный Закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/ (дата обращения: 18.08.2022).

8. Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля: Постановление Правительства Российской Федерации № 336 от 10.03.2022 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411233/ (дата обращения: 18.08.2022).

9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 18.08.2022).

10. 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]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf (дата обращения: 18.08.2022).

Изучение состояния атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия

Е.В. Чекмизова[1], С.В. Райкова[1,2], С.В. Агафонов[2], В.А. Чекмизов[2], С.С. Райкин[2]

[1]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава РФ,
[2] Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Саратов, Россия

Представлены результаты по изучению состояния атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия г. Саратова. Установлено, что работники металлообрабатывающего предприятия подвергаются воздействию поллютантов атмосферного воздуха при любом направлении ветра. Приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия являлись: оксид азота, диоксид азота, бензин, озон.

Ключевые слова: поллютанты, атмосферный воздух, металлообрабатывающее предприятие.

Всемирная организация здравоохранения признаёт загрязнение атмосферного воздуха одной из самых серьёзных экологических угроз [1]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) различных веществ в атмосферном воздухе устанавливаются каждым государством самостоятельно, в России ПДК регламентируются санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685-21 [2].

Последствия для здоровья человека, вызванные как кратковременным, так и длительным воздействием поллютантов атмосферного воздуха являются глобальной проблемой общественного здравоохранения [3, 12].

В настоящее время получены данные о негативном влиянии поллютантов атмосферного воздуха практически на все системы и органы человека, также на репродуктивную, иммунную, когнитивную функции. Однако наибольшее внимание медицинского сообщество приковано к изучению воздействия загрязнителей на дыхательную систему человека [6]. Накоплена значительная информационная база, подтверждающая, что развитие и обострение течения бронхиальной астмы, нарушение вентиляционной функции лёгких может быть вызвано воздействием различных атмосферных поллютантов: диоксида азота (NO_2) [7], диоксида серы (SO_2) [8], взвешенных частиц, преимущественно диаметром $\leq$ 2,5 мкм ($PM_{2.5}$) [5]. Доказано, что вдыхание высоких концентраций NO_2 создает условия для развития респираторных заболеваний, которые сопровождаются кашлем, одышкой, бронхоспазмом, отёком лёгких [9]. Установлено, что кратковременное воздействие приземного озона (O_3) повышает риск развития трахеита, бронхита и глаукомы [11], смертельных исходов у больных хронической обструктивной болезнью лёгких, артериальной гипертонией, ишемической болезнью сердца и инсультом [4], а продолжительное воздействие O_3 может влиять на функцию легких у детей и лиц пожилого возраста [10].

Основными загрязнителями воздуха являются взвешенные частицы, образующиеся в основном в результате сжигания топлива и движения транспорта; оксиды азота (NOx), поступающие в атмосферу с выбросами промышленных предприятий, электростанций и транспорта; оксид углерода (CO), образующийся преимущественно в нефтяной промышленности и на химических предприятиях; формальдегид, поступающий в атмосферу в результате деятельности предприятий деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной, химической и нефтехимической промышленностей; SO_2, выделяющийся в результате сжигания ископаемых видов топлива; O_3, образующийся в результате реакции солнечного света с загрязнителями, выбрасываемыми автотранспортными средствами.

Дополнительными источниками загрязнения атмосферного воздуха могут являться различные промышленные предприятия, в том числе металлообрабатывающие. Особенности условий труда на данных предприятиях сопряжены с воздействием на работников ряда вредных химических веществ. Сочетанное воздействие вредных производственных химических веществ и поллютантов атмосферного воздуха может приводить к усилению негативного влияния на здоровье работников.

Цель исследования – изучение состояния атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия г. Саратова.

Материалы и методы. Оценку состояния атмосферного воздуха проводили в районе металлообрабатывающего предприятия г. Саратова, площадью 636 997 м^2, располагающего производством полного цикла (инструментальное, литейное, кузнечное, шариковое, роликовое), путем натурных исследований, выполненных лабораторией физико-химического анализа Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Пробы отбирались в четырех точках: Т.1 – фоновая (контрольная) находилась в непосредственной близости от границы промышленной территории металлообрабатывающего предприятия г. Саратова (10–100 м) с наветренной стороны; Т.2, Т.3, Т.4 – исследовательские, располагались непосредственно за территорией с подветренной стороны.

Содержание диоксида азота, оксида азота, сернистого ангидрида, аммиака, пропан-2-он (ацетон), озона и формальдегида в атмосферном воздухе определяли с помощью газоанализатора портативного «ЭКОЛАБ АР». Содержание оксида углерода определяли с помощью газоанализатора «КОЛИОН-1», модель «КОЛИОН-1В-02», общую концентрацию пыли определяли по методике ФР.1.31.2014.17903 (используемое оборудование: весы аналитические, пробоотборное устройство аспиратор ПУ-4Э, пробоотборники фильтры АФА).

Результаты. Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при западном направлении ветра представлены в табл. 1.

При западном направлении ветра в фоновой и во всех трех исследовательских точках отмечалось превышение концентраций бензина и оксида азота. При этом концентрации указанных поллютантов во всех исследовательских точках увеличились по сравнению с фоновой: бензин в 1,3–1,7 раза и оксид азота в 1,5–3,3 раза. В Т.2 отмечается повышение концентрации формальдегида в 10 раз по сравнению с результатом в контрольной точке, составив 1,2 ПДК. Во всех исследуемых точках отмечается незначительное увеличение содержания в атмосферном воздухе CO и O_3 по сравнению с контрольной точкой, а в Т.3 концентрация озона превышала ПДК.

Таблица 1

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при западном направлении ветра

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК$_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21, таблица 1.1)
1	Т.1 – фоновая (контрольная), 100 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	1,0 ± 0,2	5,0
		Бензин	9,0 ± 1,4	5,0
		Оксид азота	0,782 ± 0,0004	0,4
		Диоксид азота	Менее предела обнаружения (<0,02)	0,2
		Озон	0,019 ± 0,004	0,16
		Формальдегид	0,006 ± 0,001	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
2	Т.2 – исследовательская, 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	2,0 ± 0,3	5,0
		Бензин	16,0 ± 2,4	5,0
		Оксид азота	2,734 ± 0,547	0,4
		Диоксид азота	Менее предела обнаружения (<0,02)	0,2
		Озон	0,043 ± 0,0086	0,16
		Формальдегид	0,058 ± 0,012	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
3	Т.3 – исследовательская, 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	4,0 ± 0,6	5,0
		Бензин	12,0 ± 1,8	5,0
		Оксид азота	1,209 ± 0,242	0,4
		Диоксид азота	0,077 ± 0,0086	0,2
		Озон	0,185 ± 0,015	0,16
		Формальдегид	Менее предела обнаружения (<0,0015)	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
4	Т.4 – исследовательская, 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	4,0 ± 0,6	5,0
		Бензин	13,0 ± 2,0	5,0
		Оксид азота	1,731 ± 0,346	0,4
		Диоксид азота	Менее предела обнаружения (<0,02)	0,2
		Озон	0,035 ± 0,007	0,16
		Формальдегид	0,037 ± 0,007	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35

Примечание: * – метеорологические условия: температура воздуха – 27 °С, влажность воздуха – 58 %, атмосферное давление воздуха – 99,6 кПа, направление ветра – западное, скорость ветра – 4–5 м/с, без осадков.

Увеличение концентрации бензина, оксида азота, оксида углерода и озона в атмосферном воздухе в исследуемых точках указывает на дополнительные источники загрязнения воздуха, расположенные на территории предприятия.

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при восточном направлении ветра представлены в табл. 2.

При восточном направлении ветра в фоновой точке отмечалось превышение содержания бензина, диоксида азота, озона, формальдегида и значительное превышение содержания оксида азота (8 ПДК). Во всех трех исследовательских точках концентрация этих веществ сохранялась выше ПДК, однако концентрация изменялась незначительно как в сторону увеличения, так и снижения, по сравнению с результатами в фоновой точке.

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при южном направлении ветра представлены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при восточном направлении ветра

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК $_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21, таблица 1.1)
1	Т.1 – фоновая (контрольная), 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	11,0 ± 1,7	5,0
		Оксид азота	3,289 ± 0,658	0,4
		Диоксид азота	0,260 ± 0,052	0,2
		Озон	0,204 ± 0,041	0,16
		Формальдегид	0,054 ± 0,011	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
2	Т.2 – исследовательская, 100 м от границы предприятия	Пыль	0,0007 ± 0,00018	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	9,0 ± 1,4	5,0
		Оксид азота	1,969 ± 0,394	0,4
		Диоксид азота	0,211 ± 0,042	0,2
		Озон	0,201 ± 0,040	0,16
		Формальдегид	0,026 ± 0,005	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
3	Т.3 – исследовательская, 100 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	7,0 ± 1,1	5,0
		Оксид азота	1,293 ± 0,256	0,4
		Диоксид азота	0,225 ± 0,045	0,2
		Озон	0,331 ± 0,066	0,16
		Формальдегид	0,003 ± 0,0006	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК $_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21, таблица 1.1)
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
4	Т.4 – исследовательская, 100 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	6,0 ± 0,9	5,0
		Оксид азота	2,682 ± 0,536	0,4
		Диоксид азота	0,202 ± 0,040	0,2
		Озон	0,327 ± 0,065	0,16
		Формальдегид	0,012 ± 0,002	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (< 0,125)	0,35

Примечание: * – метеорологические условия: температура воздуха – 28 °С, влажность воздуха – 42 %, атмосферное давление воздуха – 98,6 кПа, направление ветра – восточное, скорость ветра – 2 м/с, без осадков.

Таблица 3

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при южном направлении ветра

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК $_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21, таблица 1.1)
1	Т.1 – фоновая (контрольная), 50 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (< 0,5)	0,5
		Оксид углерода	1,4 ± 0,2	5,0
		Бензин	8,6 ± 1,3	5,0
		Оксид азота	3,912 ± 0,782	0,4
		Диоксид азота	Менее предела обнаружения (< 0,02)	0,2
		Озон	Менее предела обнаружения (< 0,015)	0,16
		Формальдегид	0,062 ± 0,012	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	8,712 ± 1,742	0,35
2	Т.2 – исследовательская, 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (< 0,5)	0,5
		Оксид углерода	2,5 ± 0,4	5,0
		Бензин	12,8 ± 1,9	5,0
		Оксид азота	3,181 ± 0,636	0,4
		Диоксид азота	0,108 ± 0,022	0,2
		Озон	0,266 ± 0,053	0,16
		Формальдегид	0,026 ± 0,005	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	5,115 ± 1,023	0,35

Окончание табл. 3

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК $_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21, таблица 1.1)
3	Т.3 – исследовательская, 20 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (< 0,5)	0,5
		Оксид углерода	3,2 ± 0,5	5,0
		Бензин	10,7 ± 1,6	5,0
		Оксид азота	2,997 ± 0,599	0,4
		Диоксид азота	0,239 ± 0,048	0,2
		Озон	0,290 ± 0,058	0,16
		Формальдегид	0,031 ± 0,006	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (< 0,125)	0,35
4	Т.4 – исследовательская, 150 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (< 0,5)	0,5
		Оксид углерода	2,7 ± 0,4	5,0
		Бензин	11,5 ± 1,7	5,0
		Оксид азота	2,420 ± 0,484	0,4
		Диоксид азота	0,135 ± 0,027	0,2
		Озон	0,258 ± 0,052	0,16
		Формальдегид	0,010 ± 0,002	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (< 0,125)	0,35

Примечание: * – метеорологические условия: температура воздуха – 31°С, влажность воздуха – 23 %, атмосферное давление воздуха – 98,9 кПа, направление ветра – южное, скорость ветра – 3 м/с, без осадков.

При южном направлении ветра в фоновой точке отмечалось превышение содержания в атмосферном воздухе бензина, формальдегида и значительное превышение содержание оксида азота и ацетона (9,8 ПДК и 24,9 ПДК соответственно). Как и при западном направлении ветра, концентрация бензина во всех исследуемых точках увеличилась по сравнению с контрольной, также отмечается превышение ПДК озона в Т.2, Т.3, Т.4, хотя в контрольной точке концентрация озона была менее предела обнаружения. Отмечается увеличение концентрации оксида углерода по сравнению с контрольной пробой (в 1,8–2,2 раза), диоксида азота (не менее чем в 5–12 раз, с превышением ПДК в Т.3). Полученные результаты подтверждают, что источники загрязнения атмосферного воздуха бензином, озоном, диоксида азота и оксидом углерода располагаются на территории металлообрабатывающего предприятия.

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при северном направлении ветра представлены в табл. 4.

При северном направлении ветра в фоновой точке отмечалось превышение содержания оксида азота, диоксида азота, озона (3 ПДК, 2,6 ПДК, 1,4 ПДК соответственно). Во всех трех исследовательских точках концентрация этих веществ сохранялась выше ПДК, при этом их концентрации в исследуемых точках изменялись незначительно как в сторону увеличения, так и снижения, по сравнению с результатами в фоновой точке.

Увеличение концентраций ряда поллютантов в подветренных точках в определенные дни может быть обусловлено особенностями технологического процесса на предприятии.

Таблица 4

Результаты измерений концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в зоне металлообрабатывающего предприятия при северном направлении ветра

№ п/п	Наименование точки отбора атмосферного воздуха	Наименование вредных веществ в атмосферном воздухе	Результат измерения* (концентрация), мг/м^3	ПДК $_{А.В.}$, мг/м^3 (СанПиН 1.2.3685-21, таблица 1.1)
1	Т.1 – фоновая (контрольная), 20 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	Менее предела обнаружения	5,0
		Оксид азота	1,225 ± 0,245	0,4
		Диоксид азота	0,511 ± 0,102	0,2
		Озон	0,229 ± 0,046	0,16
		Формальдегид	Менее предела обнаружения (<0,0015)	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
2	Т.2 – исследовательская, 10 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	Менее предела обнаружения	5,0
		Оксид азота	1,387 ± 0,277	0,4
		Диоксид азота	0,576 ± 0,115	0,2
		Озон	0,290 ± 0,058	0,16
		Формальдегид	Менее предела обнаружения (<0,0015)	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
3	Т.3 – исследовательская, 50 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	Менее предела обнаружения	5,0
		Оксид азота	1,082 ± 0,216	0,4
		Диоксид азота	0,528 ± 0,106	0,2
		Озон	0,223 ± 0,045	0,16
		Формальдегид	Менее предела обнаружения (<0,0015)	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (<0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (<0,125)	0,35
4	Т.4 – исследовательская, 50 м от границы предприятия	Пыль	Менее предела обнаружения (<0,5)	0,5
		Оксид углерода	Менее предела обнаружения	5,0
		Бензин	Менее предела обнаружения	5,0
		Оксид азота	1,438 ± 0,288	0,4
		Диоксид азота	0,365 ± 0,073	0,2
		Озон	0,223 ± 0,045	0,16
		Формальдегид	Менее предела обнаружения (< 0,0015)	0,05
		Диоксид серы	Менее предела обнаружения (< 0,025)	0,5
		Пропан-2-он (ацетон)	Менее предела обнаружения (< 0,125)	0,35

Примечание: *– метеорологические условия: температура воздуха – 13 °С, влажность воздуха – 61 %, атмосферное давление воздуха – 99,6 кПа, направление ветра – северное, скорость ветра – 4 м/с, без осадков.

Выводы:

1. Сотрудники металлообрабатывающего предприятия подвергаются воздействию поллютантов атмосферного воздуха при любом направлении ветра.

2. Приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия являлись: оксид азота, диоксид азота, бензин, озон.

3. Металлообрабатывающее предприятие может являться дополнительным источником загрязнения атмосферного воздуха бензином, оксидом азота, диоксидом азота, оксидом углерода, озоном, формальдегидом, что требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Загрязнение атмосферного воздуха – WHO [Электронный ресурс]. – URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health (дата обращения: 29.08.2022).

2. СанПин 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электронный ресурс] // Консультант Плюс. – URL: http://www.consultant.ru/law/hotdocs/67487.html/ (дата обращения: 07.09.2022).

3. Association between exposure to ambient particulate matter and chronic obstructive pulmonary disease: results from a cross-sectional study in China / S. Liu, Y. Zhou, S. Liu [et al.] // Thorax. – 2017. – Vol. 72 (9). – P. 788-795. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2016-208910

4. Associations between short-term ambient ozone exposure and cause-specific mortality in rural and urban areas of Jiangsu, China / C. Lin, Y. Ma, R. Liu [et al.] // Environmental Research. – 2022. – Vol. 211. – P. 113098. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113098

5. Effect of Ambient Air Pollution and Pollen Exposure on Asthma Control: The Patient-Reported Outcomes Measurement Information System (PROMIS) Pediatric Asthma Study / Z. Li, X. Xu, L.A. Thompson [et al.] // Academic Pediatrics. – 2019. – Vol. 19. – P. 615–623. DOI: 10.1016/j.acap.2019.03.010

6. Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses / F.H. Dominski, J.H.L. Branco, G. Buonanno [et al.] // Environmental Research. – 2021. – Vol. 201. – P. 111487. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111487

7. Effects of ambient ozone concentrations with different averaging times on asthma exacerbations: A meta-analysis / X. Li, Q. Chen, X. Zheng [et al.] // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 691. – P. 549–561. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.382a

8. Effects of Environmental Air Pollution on Pulmonary Function Level of Residents in Korean Industrial Complexes / E. Hong, S. Lee, G.-B. Kim [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15. – P. 834. DOI: 10.3390/ijerph15050834

9. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos [et al.] // Frontiers in Public Health. – 2020. – Vol. 8. – P. 14. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014

10. Holm S.M., Balmes J.R. Systematic Review of Ozone Effects on Human Lung Function, 2013 Through 2020 // Chest. 2022. – Vol. 161 (1). – P. 190–201. DOI: 10.1016/j.chest.2021.07.2170

11. Kong D., Liang J., Liu C. Invisible enemy: The health impact of ozone // China Economic Review. – 2022. – Vol. 72. – P. 101760. DOI: 10.1016/j.chieco.2022.101760

12. Long-term effect of outdoor air pollution on mortality and morbidity: a 12-year follow-up study for metropolitan France / S. Sanyal, T. Rochereau, C.N. Maesano [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15 (11). – P. 2487. DOI: 10.3390/ijerph15112487

Раздел III

Оценка безопасности и качества пищевой продукции. Опыт участия в национальном проекте «Демография»

О некоторых результатах мониторинга качества пищевых продуктов на территории Омской области в рамках национального проекта «Демография» (2019–2021 гг.)

Н.В. Гогадзе[1,2], Н.Е. Анашкина[1], Ю.В. Меньщикова[3]

[1]ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»,
[2]ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет»,
[3]Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области,
г. Омск, Россия

Рассматриваются результаты мониторинга качества пищевых продуктов на территории Омской области, реализуемого в рамках национального проекта «Демография» в 2019–2021 гг. Приведены обобщенные данные лабораторных исследований 1574 проб пищевой продукции. Установлено, что 156 исследованных образцов продукции (9,9 %) не соответствовали установленным гигиеническим требованиям по показателям качества и безопасности, включая существенно отличающееся от средних величин содержание нутриентов, приводимым в таблицах химического состава пищевой продукции. Проанализированы основные несоответствия состава отдельных групп пищевых продуктов требованиям безопасности и качества.

Ключевые слова: гигиена питания, качество, безопасность, пищевые продукты, Омская область, национальные проекты, пищевая продукция, санитарно-эпидемиологический надзор.

В настоящее время распространенность алиментарно-зависимых заболеваний представляет серьезную проблему как для экономики, так и для здравоохранения нашей страны, что обусловлено высокими уровнями заболеваемости, тяжестью различных осложнений, снижением продолжительности жизни. Поэтому одними из важнейших государственных задач являются снижение смертности и заболеваемости социально значимыми алиментарно-зависимыми болезнями, увеличение продолжительности жизни, повышение ее качества у населения Российской Федерации.

В целом за последние 10–15 лет в стране отмечается улучшение структуры питания за счет увеличения потребления основных продуктов питания: мясных и молочных продуктов, фруктов и овощей. Это привело к снижению распространенности недостаточной обеспеченности некоторыми витаминами, однако не решило проблему с адекватным потреблением микронутриентов в целом. Эта проблема актуальна и для Омской области, где выявлен недостаток потребления в следующих группах продуктов: молока и молочных продуктов – на 20,6 %, овощей и бахчевых культур – на 21,4 % и фруктов – 50,0 %, картофеля – на 7,7 % (за период 2016–2020 гг. в сравнении со средними рекомендуемыми нормами потребления) [5–8].

Накопленный опыт отечественной и зарубежной науки говорит о том, что улучшение показателей здоровья, качества и продолжительности жизни возможно за

счет первичной профилактики алиментарно-зависимой патологии. В соответствии с этой задачей, поставленной Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» Правительством Российской Федерации были разработаны национальный проект «Демография», федеральный проект «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» («Укрепление общественного здоровья») (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протоколы от 03.09.2018 № 10, от 24.12.2018 № 16). Проект имеет цели: увеличение ожидаемой продолжительности здоровой жизни, снижение смертности населения старше трудоспособного возраста и увеличение доли граждан, ведущих здоровый образ жизни.

В рамках реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» с 2019 г. в Омской области, являющейся одной из пилотных территорий Российской Федерации, проводится мониторинг качества пищевых продуктов в соответствии с утвержденными Роспотребнадзором методическими рекомендациями.

Всего за период реализации национального проекта «Демография» на территории Омской области было отобрано и исследовано 1574 пробы пищевой продукции, из которых 156 исследованных образцов продукции не соответствовали установленным гигиеническим требованиям по показателям качества и безопасности, а также имели значения, превышающие / недостающие средние (-х) величины (-н) таблиц химического состава пищевой продукции [9].

Данные по выявлению продукции, не соответствующей показателям качества, представлены в таблица.

Результаты анализа данных по выявлению некачественных пищевых продуктов на территории Омской области за 2019–2022 гг.

Продукция	Нестандартные пробы, абс. (%) от числа отобранных				
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	**2019–2022 гг., %**
Хлебные продукты	0 из 60	3 из 85 (3,5)	4 из 61 (6,6)	1 из 51 (1,9)	**4,1**
Фрукты и продукты их переработки	17 из 90 (18,9)	3 из 55 (5,5)	3 из 23 (13)	2 из 16 (12,5)	**13,6**
Мясные изделия	9 из 110 (8,2)	18 из 70 (26)	13 из 55 (23,6)	5 из 30 (16,7)	**20,4**
Рыба и продукты ее переработки	1 из 50 (2,0)	5 из 33 (12,1)	6 из 25 (24)	2 из 18 (11,1)	**11,1**
Молочная продукция	13 из 220 (5,9)	16 из 170 (9,4)	19 из 58 (33)	1 из 35 (2,8)	**10,1**
Кондитерские изделия	0 из 30	0 из 20	1 из 10 (10)	0 из 10	**10,0**
Яйцо	3 из 15 (5,0)	0 из 15	3 из 3 (100)	0 из 3	**33,3**
Йодированная соль	0 из 10	0 из 10	0 из 5	-	**-**
Масложировая продукция	2 из 10 (20,0)	2 из 20 (10)	2 из 8 (25)	1 из 8 (12,5)	**15,2**
БАД	0 из 20	0 из 20	0 из 4	-	**-**
Овощи	-	1 из 15 (6,7)	-	0 из 18	**3**
Сладкие газированные напитки	-	-	-	0 из 5	**-**
ВСЕГО	45 из 615 (7,3)	48 из 513 (9,4)	51 из 252 (20,2)	12 из 194 (6,2)	**9,9**

Анализ по группам продукции выявил следующее.

В группе хлебобулочных изделий не соответствовали по показателям качества 4,1 % исследованных образцов. В основном – по обнаружению глютена в безглютеновой продукции, что составило 24,6 % из числа нестандартных проб. В этикеточных надписях содержание глютена не приводилось.

Доля некачественных образцов в целом по группе «Фрукты и продукты их переработки» составила 13,6 %, из них некачественных образцов соков – 5,4 %, консервированных фруктов и ягод – 2,7 %. Среди основных причин несоответствия – несоответствие по содержанию ключевых органических кислот (для соков), в ряде образцов консервированных фруктов и ягод обнаружены консерванты. В 2019 г. при исследовании 15 образцов проб яблок свежих в 14 пробах (93,3 %) содержание железа, а в 2 пробах (13,3 %) содержание витамина С было ниже средних величин, приведенных в таблицах химического состава пищевой продукции [9].

В группе мясных изделий пищевые красители (понсо 4R) обнаружены в продукции, где их использование не разрешено (например вареные колбасы). В ряде образцов обнаружены консерванты (сорбиновая, бензойная кислоты), микробная трансглютаминаза, незаявленная на этикетке.

Для молочной продукции в процессе исследований обнаружено, что жирнокислотный состав не соответствует составу молочного жира, что свидетельствует об использовании растительных жиров при производстве этих продуктов и подтверждено исследованием состава стеринов – 4,1 % проб. В 17 пробах, исследованных в период 2019–2020 гг., было обнаружено отклонение от средних величин, приведенных в таблицах химического состава пищевой продукции, по содержанию кальция и витамина А, как в сторону занижения, так и в сторону завышения. Также выявлено пониженное содержание белков, жиров или углеводов в молочной продукции, в отличие от заявленного содержания на этикетке этой продукции (16 проб продукции).

Доля некачественных образцов исследованной рыбной продукции составила 11,1 %, выявлены отклонения по показателю качества – подверженная замораживанию с последующим размораживанием.

Доля некачественной масложировой продукции составила 15,2 %, что связано с отклонениями по жирнокислотному составу продукции.

Среди 36 исследованных образцов яиц удельный вес нестандартных проб составил 33,3 %, из которых 47,2 % составляли яйца с заниженным содержанием витаминов А, Е и железа в сравнении со средними величинами, приведенными в таблицах [9].

Для таких видов пищевой продукции, как соль йодированная, кондитерские изделия, БАДы, овощи, некачественные образцы по показателям пищевой ценности либо отсутствовали, либо выявлялись в единичных случаях.

Таким образом, на фоне множественной витаминной и микронутриентной недостаточности населения полученные за четыре года результаты исследований качества пищевой продукции на территории Омской области не позволяют считать, что реализуемые продукты питания обеспечивают адекватный уровень потребления витаминов и микронутриентов у населения.

В настоящее время особенностью витаминного статуса населения является сочетанная недостаточность нескольких витаминов (D и B), а также ряда микронутриентов (йод, кальций, магний, цинк) [1–4].

Эффективным путем для восполнения дефицита микронутриентов в питании населения, а также экономически обоснованным способом профилактики ряда алиментарно-зависимых заболеваний является ежедневное использование в рационе обогащенной и специализированной пищевой продукции, в том числе ВМК. Производство в России обогащенных микронутриентами пищевых продуктов носит инициативный характер, в связи с этим их количество и ассортимент недостаточны. Например, в Омской области количество предприятий, вырабатывающих обогащенные продукты, – 33 объекта (2020–2021 гг.) [6, 7].

Объем выработанных обогащенных и биологически ценных продуктов питания за 2021 г. увеличился, по сравнению с предыдущим годом (2020 г. – 7096,4 т), и составил 9336,52 т, что составляет 49,1 % от годового уровня планируемого к производству показателя (19 000,0 т) [6, 7].

Выводы. Анализ результатов мониторинга позволил определить приоритетные направления профилактической работы по улучшению показателей качества и безопасности пищевой продукции в отношении конкретных групп продуктов и их характеристик. Кроме того, полученные данные позволили существенно расширить знания о пищевой ценности продукции и внести уточнения в региональную базу данных химического состава пищевых продуктов, потребляемых населением Омской области, что без данных исследований было бы крайне затруднительно.

Список литературы

1. Кодинцова В.М., Жилинская Н.В., Шпигель Б.И. Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 89–99. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10045

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

3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.

4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. – 340 с.

5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Омской области в 2019 году: Государственный доклад. – Омск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, 2020. – 249 с.

6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Омской области в 2020 году: Государственный доклад. – Омск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, 2021. – 213 с.

7. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Омской области в 2021 году: Государственный доклад. – Омск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, 2022. – 227 с.

8. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Омской области [Электронный ресурс]. – URL: https://omsk.gks.ru (дата обращения: 08.09.2022).

9. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 288 с.

Методика контроля содержания аннато (норбиксина) в молочной продукции методом ВЭЖХ

М.Ю. Карнакова, Т.А. Фёдорова, Е.И. Полянских, Д.А. Занько

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Разработана и валидирована методика определения аннато в молочной продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Разработанная методика позволяет с высокой точностью и чувствительностью осуществлять контроль содержания аннато в молочных продуктах на регламентируемом уровне. Процедура основана на экстракции аннато подкисленным раствором ацетона или ацетонитрила, очистке экстракта на картриджах для твердофазной экстракции и количественном определении аналита методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с диодно матричным детектированием. Диапазон количественного определения аннато составил 0,1–20 мг/кг. Максимальная расширенная неопределенность полученных результатов не превысила 38,2 %.

Ключевые слова: аннато, пищевой краситель, биксин, норбиксин, ВЭЖХ.

Пищевой краситель аннато – это краситель растительного происхождения. Получают его из семян дерева бикса орельяна, которое растет в тропических и субтропических лесах. Цвет его варьируется от желтого до оранжевого, но под воздействием высоких температур может давать и розовый, и красный оттенки.

Красящие свойства аннато обусловлены содержанием в нем пигментов двух типов – биксина и норбиксина. Биксин растворяется в жирах, норбиксин – в воде.

По свойствам и своему действию на организм человека краситель аннато схож с каротиноидами. Но, в отличие от них, биксин и норбиксин выдерживают высокотемпературную обработку и продолжительное нагревание в течение всего

процесса производства пищевых продуктов. Аннато обладает достаточной устойчивостью к свету и окислению, что обеспечивает их широкое применение в пищевой, косметической, фармацевтической и других отраслях промышленности. В пищевой промышленности данный краситель наиболее активно используется при производстве молочных продуктов (сыр, масло, йогурт, мороженое и др.) для придания привлекательного цвета [1].

В молочной промышленности в основном используется водорастворимый пигмент красителя аннато – норбиксин, его добавляют в молоко на ранней стадии приготовления молочных продуктов.

Хотя краситель аннато является натуральным, было установлено, что данное химическое вещество относится к группе так называемых условно безопасных и может вызвать аллергическую реакцию.

Содержание аннато в молочной продукции регламентировано в нормативных актах [2, 4] и не должно превышать от 10 до 20 мг/кг продукта в зависимости от вида пищевой продукции.

В Республике Беларусь для обнаружения, идентификации и количественного определения аннато используется метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с диодно-матричным детектированием [3].

Метод основан на экстракции аннато из пробы подкисленным ацетоном, очистке экстракта методом твердофазной экстракции и количественном определении аннато с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофотометрическим детектированием в видимой области спектра ($\lambda = 460$ нм).

Данный метод позволяет контролировать содержание аннато (норбиксина и биксина) только в сырах. Метод не распространяется на другие молочные продукты (сухая и жидкая молочная сыворотка, творожные десерты, молоко сухое, йогурт). Кроме того, в методе отсутствуют такие метрологические характеристики, как контроль стабильности градуировочного графика, точность метода, расширенная суммарная неопределенность.

Цель исследования – явилось расширение области распространения методики на другие виды молочной продукции, проведение валидационных испытаний.

Объектами исследований явились сыр сычужный, творожный десерт, молоко сухое, сыворотка молочная сухая, сыворотка молочная жидкая.

В качестве средств аттестации использовались рабочие пробы молочной продукции (сухое молоко, молочная сыворотка, творожный десерт) с добавлением норбиксина.

Было принято решение при проведении валидационных испытаний не использовать пробы с добавками дорогостоящего стандарта пищевого красителя биксина, так как данный краситель не используется при производстве молочной продукции, а содержание аннато в пробах рассчитывать по содержанию в них норбиксина.

Эффективность проводимой пробоподготовки оценивали по величине степени извлечения внесенного количества норбиксина в пробу.

Пробоподготовка анализируемых образцов осуществлялась следующим образом:

1. Сыр, творожный десерт, молоко сухое, сыворотка молочная сухая. Пробу массой (5,0 ± 0,1) г помещали в фарфоровую ступку, добавляли 10–15 г безводного сульфата натрия и перетирали до гомогенной массы. Далее содержимое из ступки количественно переносили в центрифужную пробирку вместимо-

стью 50 см^3, добавляли 20–30 см^3 ацетона подкисленного 2 М раствором соляной кислоты и встряхивали на вортоксе вертикального типа в течение 15 мин. Затем пробу центрифугировали при частоте вращения 10 000 об./мин в течение 10 мин. Полученный экстракт фильтровали через смоченный ацетоном складчатый фильтр в грушевидную колбу вместимостью 100 см^3. Фильтр промывали ацетоном. Далее экстракцию повторяли еще 2 раза. Объединенный экстракт упаривали на ротационном испарителе при 40 ºС. Полученный остаток растворяли в 5 см^3 ацетона.

Далее очистку экстракта проводили на картриджах Chromobond NH_2. Предварительно через картридж пропускали 15 см^3 н-гексана со скоростью 1 капля/с, затем пропускали полученный экстракт, картридж промывали 10 см^3 смеси «гексан: диэтиловый эфир». По окончании промывания картридж высушивали, пропуская через него воздух. Норбиксин элюировали с картриджа, пропуская через него 5 см^3 раствора «метанол: безводная уксусная кислота». Собранный элюат анализировали методом ВЭЖХ.

2. Молоко сухое, сыворотка молочная сухая. Пробоподготовка аналогична предыдущей, исключая стадию с безводным сульфатом натрия.

3. Сыворотка молочная жидкая. Пробу массой (5,0 ± 0,1) г помещали в мерную колбу вместимостью 25 см^3, доводили до метки смесью из 80 см^3 ацетонитрила и 20 см^3 0,1 % раствора муравьиной кислоты и перемешивали. При необходимости (наличие в пробе мути, осадка) пробу центрифугировали при 10 000 об./мин в течение 5 мин. Полученный экстракт анализировали методом ВЭЖХ.

Количественное определение аннато проводили с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии:

- хроматограф Agilent Technologies 1200 со спектрофотометрическим детектированием в видимой области спектра (λ = 460 нм);
- колонка HyperClone ODS (C18) (250×4,0 мм, 5 мкм);
- температура термостата 30 °С;
- подвижная фаза: ацетонитрил: уксусная кислота 5 % (75:25);
- скорость потока элюента 0,75 см^3/мин;
- объем вводимой пробы 20 мкл.

Норбиксин в образцах присутствует в виде 2 изомеров (цис- и транс-норбиксин), и его содержание определялось как суммарное количество двух форм норбиксина. Расчёт содержания проводили по предварительно построенному градуировочному графику цис-норбиксина и транс-норбиксина в диапазоне концентраций от 0,1 до 5,0 мкг/см^3. На рис. 1 и 2 представлены хроматограммы сухого молока и сыворотки молочной жидкой. Степень извлечения норбиксина из анализируемых образцов составила 95–97 %. Для установления точностных (валидационных) характеристик разработанной методики были проведены валидационные испытания.

Для установления линейности диапазона измерений строили градуировочный график зависимости площади пиков от соответствующих концентраций цис-норбиксина в градуировочных растворах № 1–5 (рис. 3). Расчёт градуировочного графика проводился методом наименьших квадратов.

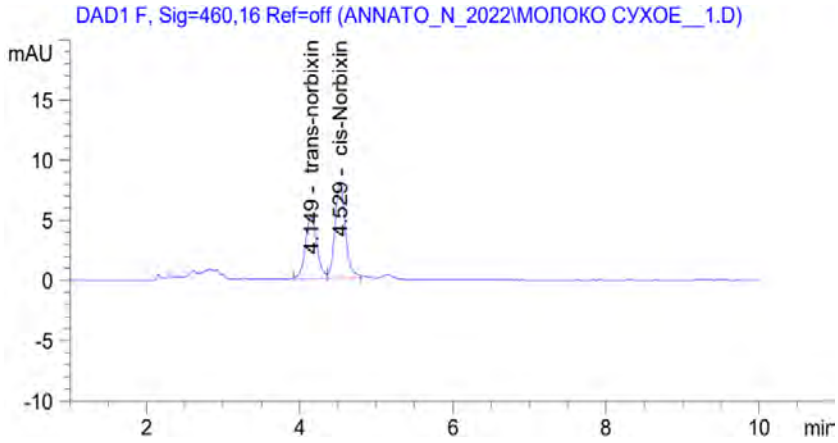


Рис. 1. Хроматограмма сухого молока с содержанием аннато (норбиксина) 0,6 мг/кг

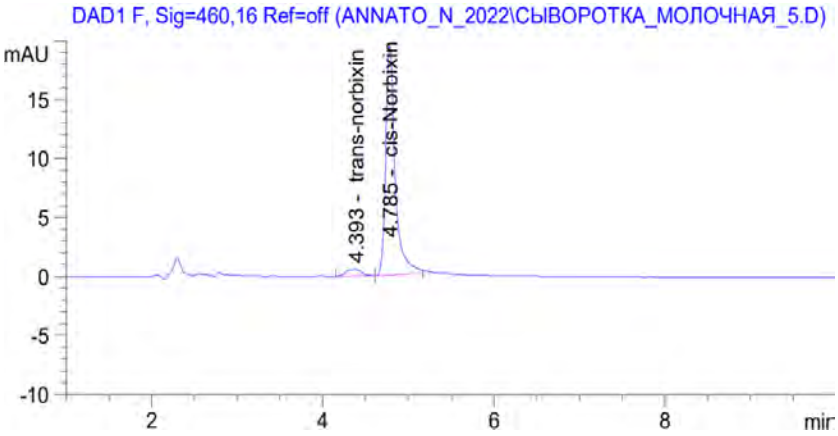


Рис. 2. Хроматограмма молочной сыворотки с содержанием аннато (норбиксина) 15,0 мг/кг

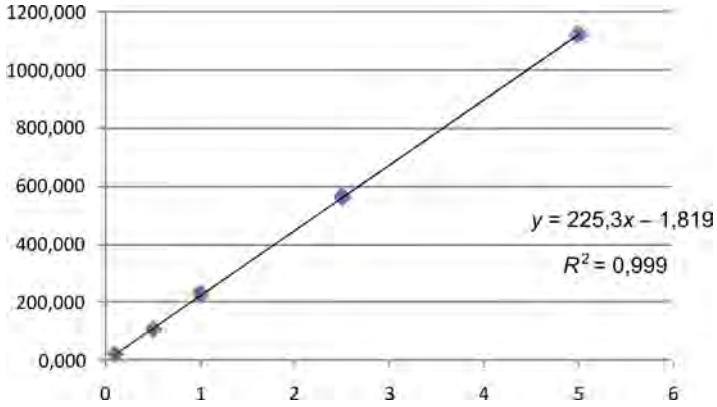


Рис. 3. Градуировочный график цис-норбиксина 0,1–5 мкг/см^3

Коэффициент корреляции R^2 составил 0,9999, что удовлетворяет критерию линейности.

Норбиксин существует в виде двух пространственных изомеров − цис-норбиксина и транс-норбиксина, отличающихся лишь пространственным расположением функциональных групп относительно двойной связи, что не оказывает влияния на коэффициент молярной экстинкции. Также, учитывая, что чистота аналитического стандарта транс-норбиксина ≤ 70 %, построение градуировочного графика затруднено из-за высокого содержания примеси цис-норбиксина (до 30 %). Поэтому было принято решение все количественные характеристики градуировочного графика для цис-норбиксина использовать и для транс-норбиксина.

По стандартному веществу транс-норбиксина с содержанием основного вещества ≤ 70 % было установлено время выхода транс-изомера.

Контроль стабильности градуировочного графика осуществляли каждый раз перед началом измерений. Для контроля стабильности градуировочного графика проводили измерение концентрации градуировочного раствора норбиксина. Расхождение между измеренной концентрацией норбиксина в выбранном градуировочном растворе и его фактической концентрацией, выраженное в процентах, не превышало норматива стабильности градуировочного графика (К, %) указанного в табл. 1.

Таблица 1

Нормативы стабильности точек градуировочного графика

Параметр	Значение				
xj, мкг/см^2	0,1	0,5	1	2,5	5
К, %	25,5	5,1	2,6	1,1	0,7

Установлен диапазон определяемых концентраций норбиксина, который составил 0,1–20,0 мг/кг. Нижний предел определения был выявлен, исходя из нижнего значения концентраций градуировочных растворов, величины навески продукта и конечного объёма экстракта, которые составили соответственно 5 г и 5 см^3.

Для оценки показателей прецизионности были использованы образцы молочной продукции с добавками цис-формы норбиксина.

Статистические данные для оценки прецизионности получены по результатам анализа образцов молочной продукции с добавками цис-норбиксина:

– сухое молоко с внесением цис-норбиксина 0,6 мг/кг (1-й уровень);

– сыр с внесением цис-норбиксина 5,0 мг/кг (2-й уровень);

– молочная сыворотка с внесением цис-норбиксина 15,0 мг/кг (3-й уровень).

Для каждой части диапазона проведены статистические исследования прецизионности.

В процессе пробоподготовки из-за неустойчивости норбиксина одна форма может переходить в другую. Поэтому в пробах с добавкой определялось суммарное количество норбиксина.

Проведено 9 определений (n = 2), выполненных с двумя изменяющимися факторами: время, оператор. Статистическая обработка полученных результатов

показала, что они достоверны при доверительной вероятности 95 %. Значения величины относительного стандартного отклонения повторяемости и относительного доверительного интервала среднего значения не превышали критериев приемлемости – 5 %, что свидетельствует о прецизионности методики в условиях повторяемости. Рассчитанные на основании полученных данных относительные стандартные отклонения повторяемости (s_r), промежуточной прецизионности ($s_{I\,(TO)}$) для различных групп продуктов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения m_j, s_{rj}, $s_{I\,(TO)\,j}$ для норбиксина

Уровень, j	p_j	$\hat{m}_j$	s_{rj}, %	$s_{I\,(TO)\,j}$, %
1	9	0,585	1,4	3,44
2	9	4,982	2,39	11,05
3	9	13,561	0,94	5,19
Принято	–	–	2,39	11,05

Установленные значения показателей повторяемости и промежуточной прецизионности определены по наибольшим рассчитанным значениям.

Величину степени извлечения метода Rec получали как отношение результатов измеренного содержания норбиксина в пробе с добавкой к расчетному количеству норбиксина в пробе с добавкой в соответствии с экспериментальными данными.

Для определения степени извлечения использовали образцы рабочих проб, которые применялись для оценки прецизионности. Было выполнено по 9 параллельных определений для каждого уровня.

Результаты исследований по изучению степени извлечения норбиксина представлены в табл. 3.

Таблица 3

Рассчитанные значения степени извлечения (Rec) норбиксина

Уровень, j	Образец	γ, мг/кг	Rec	Rec, %
1	Сухое молоко	0,6	0,9746	97,46
2	Сыр	5,0	0,9964	99,64
3	Молочная сыворотка	15,0	0,9040	90,40

Как видно из данных табл. 3, степень извлечения незначительно отличается от 1. Потери при проведении пробоподготовки незначительны, и их можно не учитывать при расчёте результата измерения.

Относительная стандартная неопределенность измерения норбиксина в пробах согласно разработанной методике включала: неопределённость, обусловленную случайными факторами (фактор повторяемости), неопределённость, обусловленную построением и использованием градуировочной характеристики и неопределённость, обусловленную подготовкой пробы, и составила 38,2 % (табл. 4).

Таблица 4

Бюджет неопределенности измерений норбиксина в молочных продуктах

Источник неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %	
Повторяемость результатов измерений массовой концентрации норбиксина в пробе	$u_{(Frep)}$	1,69
Обработка пробы	$U_п$	0,25
Извлечение	u (Rec)	2,53
Построение и использование градуировочной характеристики	$U_{гх}$	18,84
Суммарная стандартная неопределенность*)	$U_с$	19,1
Максимальная расширенная неопределенность измерения (k = 2)	U	38,2
Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле: $u_c = \sqrt{\sum u_i^2}$		

В результате проведенных исследований разработана и валидирована методика определения аннато (норбиксина) в молочной продукции методом ВЭЖХ.

Разработанная методика позволяет с высокой точностью и чувствительностью осуществлять контроль содержания аннато (норбиксина) в молочных продуктах на регламентируемом уровне.

Диапазон количественного определения аннато составил 0,1–20 мг/кг. Максимальная расширенная неопределенность полученных результатов не превысила 38,2 %.

Список литературы

1. Арнаутова Е.М., Ярославцева М.А. Пряно-ароматические растения в оранжерейной коллекции ботанического сада Петра Великого // Биологическое разнообразие и интродукция растений. – 2021. – № 1. – С. 7–11.

2. О безопасной пищевой продукции: Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012 / принят Решением Комиссии Таможенного союза 09.12.2011 № 880 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Pages/PischevayaProd.aspx (дата обращения: 09.09.2022).

3. Определение содержания аннато в сыре: DIN 10482-2: 2006-10. Ч. 2: Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. – Берлин: Beuth Verlag GmbH, 2006. – 14 с.

4. Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам: санитар. нормы и правила / утв. постановлением Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 21.06.2013 № 52 [Электронный ресурс]. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21327668p&p1=1&p5=0 (дата обращения: 09.09.2022).

Экспозиция населения Мурманской области к тяжелым металлам при употреблении в пищу ягод дикорастущих кустарничков

А.Н. Кизеев, В.Н. Федоров, Ю.А. Новикова, Н.А. Тихонова

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», г. Санкт-Петербург, Россия

Проведено подробное исследование ягод дикорастущих кустарничков в центральной части Мурманской области. Отбор растительных образцов осуществлялся в 2016–2018 гг. на сети стационарных мониторинговых площадок, расположенных вдоль градиента промышленного загрязнения по розе ветров в меридиональном (южном) направлении от одного из ведущих промышленных предприятий региона – комбината «Североникель» (АО «Кольская ГМК»). Отмечено существенное накопление никеля и меди в ягодах растений черники, брусники и вороники. Расчетные значения хронического канцерогенного и неканцерогенного рисков характеризовались неприемлемо высокими значениями, что свидетельствует о выраженном индустриальном воздействии на бореальные лесные экосистемы и диктует необходимость разработки гигиенических рекомендаций для населения, употребляющего в пищу дикорастущие ягоды черники, брусники и вороники.

Ключевые слова: ягоды дикорастущих кустарничков, тяжелые металлы, оценка риска.

Доминанты нижних ярусов бореальных лесов – дикорастущие ягодные кустарнички – характеризуются высокой экологической пластичностью и способностью сохранять свои жизненные свойства (включая плодоношение) в непосредственной близости от промышленных предприятий. Для жителей Крайнего Севера плоды дикорастущих кустарничков (брусника, черника, вороника и др.) являются традиционно одним из сезонных структурных факторов питания и пользуются большой популярностью [5, 6, 10].

В Мурманской области одним из наиболее мощных источников негативного антропогенного воздействия на окружающую среду является АО «Кольская горнометаллургическая компания» (АО КГМК) – дочернее предприятие ПАО «ГМК Норильский никель» – основной производственный комплекс региона по добыче и переработке сульфидных медно-никелевых руд и выплавке цветных металлов. Промплощадка ведущего предприятия АО КГМК – медно-никелевого комбината «Североникель» – расположена в центральной части Мурманской области и является градообразующим для г. Мончегорска [3].

Вследствие интенсивного аэротехногенного загрязнения в окрестностях комбината образовались обширные зоны деградации почвенно-растительного покрова: от угнетения лишайников до полного разрушения почв и образования техногенных пустошей. Сокращение производства и модернизация технологического оборудования, произошедшие в течение последних десятилетий, способствовали снижению объемов поступления загрязняющих веществ в окру-

жающую среду [10]. Однако, несмотря на улучшение экологической обстановки в районе расположения предприятия, многими исследователями отмечалось значительное накопление тяжелых металлов в различных компонентах наземных экосистем, в том числе в таких доминирующих на территории региона растениях, как черника обыкновенная (или черника миртолистная), брусника и вороника [9, 11, 12], что делает их малопригодными для использования в качестве продовольственного и лекарственного сырья. В то же время сведений, связанных с оценкой воздействия на здоровье населения региона содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков тяжелых металлов при возможном употреблении их в пищу, крайне мало [8].

Цель исследования – оценка воздействия на здоровье населения Мурманской области никеля и меди, содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков как местных продуктах питания.

Исходными данными для расчета риска здоровью населения послужили результаты собственных исследований, полученных на основании сбора ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.), брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и вороники (*Empetrum hermaphroditum* Lange ex Hagerup) в течение осенних периодов (август-сентябрь) 2016–2018 гг.

Отбор растительных образцов проводился согласно ГОСТ 26929-94 [2] на 10 стационарных мониторинговых площадках (точках мониторинга), расположенных вдоль градиента промышленного загрязнения по розе ветров в меридиональном (южном) направлении от комбината «Североникель». Растительный покров на площадках соответствовал различным стадиям состояния по степени нарушенности экосистем [1]: от сильно нарушенных (расположенных на расстоянии от 1 до 7 км от источника выбросов) до средне- (от 12 до 20 км) и слабонарушенных (до от 25 до 48 км), а также условно фоновых (более 60 км) биогеоценозов. Травяно-кустарничковый покров на точках мониторинга включал в себя дикорастущие кустарнички черники, брусники и вороники в количестве, достаточном для сбора их плодов с целью последующего химического анализа. Измерение концентраций тяжелых металлов (никеля и меди) в растительных образцах проводили методом атомной абсорбции [4]. Для оценки воздействия на здоровье населения тяжелых металлов, содержащихся в ягодах исследуемых видов растений, использовалась методология оценки риска для здоровья населения в соответствии с действующим Руководством Р 2.1.10.1920-04 [7]. В рамках настоящей работы рассматривался приближенный к реалистичному сценарий, при котором среднестатистический житель Мурманской области предположительно съедает около 0,1 кг (100 г) ягод один раз в три дня в течение года. Для обработки результатов исследований применялось программное обеспечение Microsoft Excel 2016 и программа ArcGIS.

Расчетные значения канцерогенного риска, обусловленного поступлением никеля из исследованных ягод, характеризовались как неприемлемо высокие (более 1,0E-03) применительно ко всем мониторинговым площадкам. Наблюдаемые неприемлемо высокие уровни риска были характерны для всех исследуемых образцов ягод, отобранных на всех точках мониторинга (в том числе на условно фоновой площадке), что свидетельствует о загрязнении растительного покрова соединениями никеля.

Расчетные значения хронического неканцерогенного риска от воздействия никеля характеризовались неприемлемо высокими значениями применительно к употреблению ягод с мониторинговых площадок, находящихся на расстоянии от 1 до 15 км от комбината. При этом значения хронического неканцерогенного риска при употреблении вороники характеризовались как неприемлемо высокие лишь от воздействия меди, в том числе применительно к площадкам, находящимся на расстоянии от 1 до 30 км от комбината. Наблюдаемое явление, по всей видимости, было обусловлено повышенным содержанием меди в пробах вороники в сравнении с другими рассматриваемыми дикорастущими ягодами.

Значения индекса неканцерогенной опасности при однонаправленном действии меди и никеля на органы пищеварительной системы и печень характеризовались как неприемлемо высокие (более 1,0) применительно ко всем мониторинговым точкам для ягод всех изучаемых растений, за исключением условно фоновой площадки, а также площадки, находящейся на расстоянии 48 км от источника промышленных эмиссий.

Полученные результаты позволяют констатировать наличие зоны влияния комбината «Североникель», распространяющейся в южном направлении более чем на 20 км. Для всех рассматриваемых сценариев поступления никеля и меди неприемлемо высокий неканцерогенный риск прогнозировался на площадках, расположенных на расстоянии от 5 до 12 км от источника выбросов. При этом на расстоянии от 15 до 25 км ожидался приемлемый уровень риска (за исключением сценария с воздействием меди при ее поступлении с ягодами вороники), что можно условно характеризовать как границу достижения приемлемого риска.

Неприемлемо высокие значения риска для здоровья населения, употребляющего в пищу ягоды дикорастущих растений черники, брусники и вороники, произрастающих на территории центральных районов Мурманской области, обусловливали необходимость разработки гигиенических рекомендаций по митигации риска. В качестве таковых было рекомендовано ограничение потребления ягод на уровне не более 6 кг в год. Также следует отказаться от сбора ягод, произрастающих на расстоянии менее 15 км от предприятия.

Таким образом, в работе впервые была проведена оценка риска для здоровья населения от систематического употребления в пищу дикорастущих ягод черники, брусники и вороники, произрастающих в зоне влияния крупного металлургического предприятия (на примере комбината «Североникель»). Прогнозируемые уровни канцерогенного риска от воздействия никеля при употреблении населением дикорастущих ягод оценивались как неприемлемо высокие во всех рассматриваемых сценариях. Уровни хронического неканцерогенного риска от воздействия меди и никеля оценивались как неприемлемо высокие применительно к мониторинговым площадкам на расстоянии 15–20 км от границ промплощадки предприятия. Необходима детальная разработка гигиенических рекомендаций для населения, употребляющего в пищу дикорастущие ягоды черники, брусники и вороники, собираемые в зоне влияния комбината «Североникель». Проблема накопления поллютантов в ягодах дикорастущих кустарничков, используемых в качестве пищевых ресурсов, предполагает проведение нами расширенных дополнительных исследований на всей территории Мурманской области.

Список литературы

1. Говорова А.Ф. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове (на примере комбината «Североникель»): автореф. дис. … канд. геогр. наук: 25.00.36 – геоэкология. – М., 2004. – 28 с.

2. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Официальное издание. Сырье и продукты пищевые. Методы определения токсичных элементов: сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 122 с.

3. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2021 году. – Мурманск, 2022. – 196 с.

4. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. – М., 1998 (2005). – 31 с.

5. Оценка свойств растений черники, произрастающей на территории с незначительно повышенным радиационным фоном / А.Н. Кизеев [и др.] // Экология человека. – 2012. – № 6. – С. 37–42.

6. Оценка воздействия на здоровье населения Мурманской области тяжелых металлов, содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков / В.Н. Федоров [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – 2022. – № 5. – С. 41–50.

7. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М., 2004. – 144 с.

8. Содержание металлов в местных продуктах питания Печенгского района Мурманской области / А.А. Дударев [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 2. – С. 35–40.

9. Сухарева Т.А. Оценка состояния сосновых лесов в зоне влияния медно-никелевых предприятий при уменьшении эмиссионной нагрузки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т.15, № 3. – С. 1072–1076.

10. Экогеосистемы горнодобывающего класса Северо-Запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область) / А.Н. Кизеев [и др.] // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И.И. Косиновой. – Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2015. – Гл. 7. – С. 282–326.

11. Barcan V.Sh., Kovnatsky E.F., Smetannikova M.S. Absorption of heavy metals in wild berries and edible mushrooms in area affected by smelter emissions // Water, Air and Soil Pollution. – 1998. – Vol.103. – P. 173–195.

12. Derome J., Myking T. & Aarrestad P.A. Current State of Terrestrial Ecosystems in the Joint Norwegian, Russian and Finnish Border Area in Northern Fennoscandia. – Rovaniemi Research Unit. Research and monitoring of arctic terrestrial ecosystems, 2008. – 98 p.

Контроль примесей в пищевых добавках для снижения веса во Вьетнаме

Ти Оан Нгуен[1,2], Хан Као Конг[3], Ти Тхан Коа Мак[3], Ти Ан Хуонг Нгуен[2], Ти Хонг Хао Ле[2,3]

[1]Департамент пищевых продуктов,
[2] Университет естественных наук, Вьетнамский национальный университет,
[3] Национальный институт контроля пищевых продуктов,
г. Ханой, Вьетнам

Избыточный вес и ожирение можно определить как чрезмерное накопление жировой ткани, отклоняющееся от нормы, которое может привести к ухудшению здоровья. Это хроническое заболевание, связанное с такими серьезными проблемами со здоровьем, как метаболический синдром, диабет, гипертония и сердечно-сосудистые заболевания.

В последние несколько лет в пищевых добавках начали обнаруживать природные ингредиенты для потери веса, не прошедшие процедуры сертификации. Они предположительно способствуют стремительной потере веса и его поддержанию на нормальном уровне и, согласно общепринятому мнению, не несут никаких рисков для здоровья. В действительности присутствие на рынке пищевых добавок с нелегальными ингредиентами для похудения является серьезным вызовом для здравоохранения. Некоторые из таких ингредиентов, призванных способствовать потере веса, являются причинами вредного воздействия на здоровье вплоть до летального исхода. Несколько традиционных и передовых аналитических методов были использованы для обнаружения и идентификации различных примесей в пищевых добавках.

Описана методология, позволяющая достичь качественного скрининга ингредиентов для снижения веса в пищевых добавках, доступных на рынке Вьетнама, путем применения высокоскоростной системы для жидкостной хроматографии с тандемным масс-спетрометрическим детектором. В 7 из 60 образцов пищевых добавок, закупленных во Вьетнаме в 2021–2022 гг., были обнаружены три различные примеси, включая сибутрамин, его аналоги, а также слабительное фенолфталеин. Подобные примеси в пищевых добавках создают наиболее высокие риски для здоровья, поскольку лекарственные препараты, обнаруженные в добавках, не упомянуты в маркировке, и потребителям не предоставлена информация о рисках, связанных с их употреблением. Более того, потребители предполагают, что они употребляют натуральный продукт, но они непреднамеренно подвергаются воздействию опасных лекарственных препаратов.

Результаты исследования показывают, что появление опасных примесей в пищевых добавках становится проблемой безопасности пищевых продуктов, и обеспечение защиты потребителей нуждается в эффективном контроле со стороны регулирующих органов.

Ключевые слова: избыточный вес, пищевые добавки, безопасность пищевой продукции.

Полногеномный анализ бактерий *Salmonella* с множественной лекарственной устойчивостью, обнаруженных в куриных тушках в Ханое

Трунг Тан Нгуен[1], Хоа Вин Ле[1], Ха Ву Ти Хай[1], Да Фам Ксуан[2], Хуен Тран Ти Тан[3]

[1] Отдел микробиологии пищевых продуктов и генетически модифицированных пищевых продуктов, Национальный институт контроля пищевой продукции,
г. Ханой, Вьетнам
[2] Центр генетического и репродуктивного здоровья, факультет медицины Вьетнамского национального университета,
г. Хо Ши Мин, Вьетнам
[3] Исследовательский институт стволовых клеток и генных технологий Vinmec,
г. Ханой, Вьетнам

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) *Salmonella enterica* принадлежит к классу наиболее опасных пищевых патогенов. Во Вьетнаме мясо домашней птицы является одним из самых распространённых мясных продуктов, а также подтверждённым источником загрязнения *S. enterica*. В данном исследовании изучались цельные тушки цыплят, закупленные на рынках пяти районов Ханоя (Вьетнам) в октябре 2019 г.

Целью исследования было микробиологическое определение заражения *Salmonella* и изучение восприимчивости обнаруженных штаммов к антибиотикам. Для этого использовались 15 типов антибиотиков, а затем применялось рандомное секвенирование 10 штаммов, включая как штаммы с множественной лекарственной устойчивостью, так и штаммы, не обладающие такой устойчивостью.

Анализировались гены устойчивости к антибиотикам, генотипы, типирование на основе мультилокусных последовательностей, факторы вирулентности и плазмиды.

Результаты тестов на определение восприимчивости к антибиотикам показали, что чаще всего наблюдалась фенотипическая устойчивость к ампициллину и цефазолину (92,3 %), тетрациклину (89,2 %), хлорамфениколу (86,2 %), цефуроксиму (84,6 %), цефотаксиму (83,1 %), цефтриаксону (83,1 %), налидиксовой кислоте (76,9 %), триметоприму (63,1 %), гентамицину (59,3 %), цефтазидиму (47,7 %) ципрофлоксацину (3,2 %). Однако все изоляты были восприимчивы к цефокситину, меропенему и имипенему. В 10 рандомно секвенированных штаммах были обнаружены 47 генов. Установлено, что определенный набор генов в штаммах был связан с устойчивостью к аминогликозидам (*aac (3), aac (6), ant (3), aph (3), aph (6), aadA*), во всех штаммах присутствовал ген *blaCTX-M-55* or *blaCTX-M-65*, связанный с устойчивостью к антибиотикам третьего поколения. Также в секвенированных изолятах часто обнаруживались гены *sul1*, *sul2*, *sul3*, *tet (A), qnrS1*, *floR*, *dfrA14* или *dfrA27*. Некоторые гены устойчивости к антибиотикам, как ожидается, могут быть расположены в плазмидах Col, IncA и некоторых мобильных генетических элементах. Помимо этого, секвенированные геномы также указывали на то, что все штаммы являлись носителями SPI 1, SPI 2, SPI 3, которые были связаны с большим количеством потенциальных триггеров. Также в некоторых штаммах были обнаружены CS54 и C63PI, SPI 9, SPI 13, SPI 14 и некоторые плазмиды, например InCA/C2, ColRNAI, Col156, IncHI2, IncHI2A, IncFIB, Col (MGD2), IncL/M и IncX1_1.

Ключевые слова: полногеномное секвенирование, *Salmonella*, множественная лекарственная устойчивость, вирулентность, плазмида, куриное мясо.

О пресечении оборота фальсифицированных биологически активных добавок к пище

М.А. Патяшина, Л.Т. Гараева, Ф.И. Серазетдинова, О.М. Закирова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан (Татарстан),
г. Казань, Россия

Подробно рассматривается проблема оборота фальсифицированных биологически активных добавок к пище (далее – БАД к пище), способы их обнаружения и идентификации, нарушения, выявленные в ходе проверок, в том числе в зарубежных странах, а также меры административного воздействия в отношении производителей и поставщиков данной продукции.

Ключевые слова: БАД к пище, фальсификация, фармакологические субстанции, дистанционная торговля, безопасность.

Миллионы людей во всем мире предпочитают использовать БАД к пище. Сегодня БАД к пище настолько популярны, что вокруг этой темы ведутся оживленные дискуссии и споры. Некоторые доказывают свою правоту, заключающуюся в том, что БАД к пище приносят организму немалый вред, другие считают, что они улучшают здоровье, поднимают жизненный тонус, излечивают многие болезни, а третьи вообще не обращают на них никакого внимания, считая их бесполезными и ни на что не влияющими [9].

В последние годы растет интерес потребителей к использованию биологически активных добавок к пище в качестве альтернативы лекарственным средствам. Пациенты считают, что БАД к пище – это более «здоровая» и «натуральная» замена лекарственным средствам, но натуральное – далеко не всегда полезное и безопасное. В последние годы особое значение приобретает дистанционная торговля БАД к пище, часть из них попадает в оборот без прохождения санитарно-эпидемиологической экспертизы, подтверждения показателей безопасности, свидетельств о государственной регистрации. В результате в свободной продаже оказываются БАД к пище, несущие риски для потребителя [3].

Огромное влияние на население при выборе тех или иных БАД к пище оказывают наружная реклама, реклама в социальных сетях и на телевидении, а также цены и скидки на эти товары [1]. В рекламе БАДы позиционируются как высокоэффективные средства для лечения практически всех заболеваний. Особенно в этой ситуации страдают люди пожилого возраста, которые постоянно пытаются вылечиться от того или иного недуга [4].

Также наши граждане приобретают БАД к пище, не прошедшие процедуру государственной регистрации, в интернете на иностранных сайтах, что создает дополнительные риски здоровью населения.

Часто потребители обращаются к БАДам к пище, но забывают, что главным их отличием от лекарственных средств является то, что они рассчитаны на исполь-

зование в принципиально иных, чем лекарственные средства, целях – для профилактики и поддержания функциональной активности органов и систем человека [6]. БАДы к пище не могут полностью заменить пищу и не предназначены для лечения заболеваний. Кроме того, они могут быть фальсифицированы фармакологическими субстанциями, что в конечном счете приводит к тяжелым, а иногда и смертельным случаям от побочных реакций на лекарственные средства.

Проблема оборота фальсифицированных БАД к пище остается актуальной не только в России, но и за рубежом. С февраля по март 2008 г. Управлением медицинских наук Сингапура проведено семь рейдов в двух районах Красных фонарей Сингапура, где в торговых точках изъято 175 товаров для улучшения «сексуального здоровья» с целью оценки их безопасности и качества. Отобранные образцы направлены в лабораторию для исследования с использованием методов высокоэффективной жидкостной хроматографии и газовой хромато-масс-спектрометрии. В 134 пробах обнаружены фармацевтические субстанции: ингибиторы фосфодиэстеразы-5, не заявленные производителем на маркировке, из них в 32 образцах выявлено более двух субстанций. 90 добавок были фальсифицированы силденафилом, 15 – тадалафилом, 2 – варденафилом, а 27 образцов содержали другие субстанции (высокие дозы глибенкламида – (гипогликемическое средство), следовые количества сибутрамина (анорексигенное лекарственное средство). В 2009 г. в Сингапуре зарегистрировано десять летальных случаев, причиной которых явилась тяжелая гипогликемия, возникшая после употребления указанных БАД к пище.

Таким образом, проблема фальсификации БАД к пище актуальна не только в России, но и в других странах мира.

Цель исследования – мониторинг ситуации по обороту фальсифицированных БАД к пище.

Материалы и методы. Изучены Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 02.01.2000 № 29-ФЗ (далее – Федеральный закон от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ), Федеральный закон от 12.04.2010 № 61-ФЗ «Об обращении лекарственных средств», Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О качестве и безопасности пищевой продукции» (далее – ТР ТС 021/2011), Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (далее – ТР ТС 022/2011), Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ (далее – КоАП РФ) в области применения мер административного воздействия в отношении нарушителей, проанализированы реестры свидетельств о государственной регистрации.

Результаты. В соответствии с нормативно-правовыми актами Российской Федерации и Евразийского экономического союза биологически активные добавки к пище относятся к пищевой продукции, и, следовательно, на них распространяются требования к пищевой продукции.

Согласно ст. 4 ТР ТС 021/2011 под пищевой продукцией понимаются продукты животного, растительного, микробиологического, минерального, искусственного или биотехнологического происхождения в натуральном, обработанном или переработанном виде, которые предназначены для употребления человеком в пищу, в том числе специализированная пищевая продукция, питьевая вода, расфасованная в емкости, питьевая минеральная вода, алкогольная продукция (в том числе пиво и напитки на основе пива), безалкогольные напитки, биологически ак-

тивные добавки к пище, жевательная резинка, закваски и стартовые культуры микроорганизмов, дрожжи, пищевые добавки и ароматизаторы, а также продовольственное (пищевое) сырье [7].

Биологически активные добавки к пище (БАД) – природные и (или) идентичные природным биологически активные вещества, а также пробиотические микроорганизмы, предназначенные для употребления одновременно с пищей или введения в состав пищевой продукции.

Согласно ст. 1 Федерального закона от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ под фальсифицированными пищевыми продуктами (в том числе биологически активными добавками) понимаются пищевые продукты (в том числе биологически активные добавки), которые являются умышленно измененными (поддельными) и (или) имеют скрытые свойства и качество и (или) информация о которых является заведомо неполной и (или) недостоверной.

Требованиями ст. 3 Федерального закона от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ установлено, что в обороте не могут находиться пищевые продукты, материалы и изделия, которые не соответствуют требованиям нормативных документов; не соответствуют представленной информации и в отношении которых имеются обоснованные подозрения об их фальсификации.

Пунктом 3 ст. 1 ТР ТС 022/2011 установлено, что настоящий ТР ТС 022/2011 устанавливает требования к пищевой продукции в части ее маркировки в целях предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей относительно обеспечения реализации прав потребителей на достоверную информацию о пищевой продукции [8].

Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в 2016 г. разработан и внедрен метод определения недекларированных лекарственных препаратов (синтетических ингибиторов фосфодиэстеразы-5) в БАД к пище. После завершения Роспотребнадзором разработки метода определения недекларированных лекарственных препаратов (синтетические ингибиторы фосфодиэстеразы-5: тадалафил, варденафил и силденафил) усилен контроль на рынке за обращением препаратов для «мужской силы». Внедрение указанной методики позволило выявить на потребительском рынке фальсифицированные БАДы.

На контроле Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан (далее – Управление) находится более двух тысяч объектов (2335), занятых в сфере обращения БАД к пище (из них: склады – 47, предприятия торговой сети – 49, объекты аптечной сети – 2239).

В 2018–2021 гг. Управлением проведено 113 проверок аптечных сетей и складов, осуществляющих оборот БАД к пище, в ходе которых отобрано 15 проб на содержание синтетических ингибиторов фосфодиэстеразы-5 (тадалафил, варденафил и силденафил), в 4 из них обнаружено наличие указанных фармакологических субстанций (26,7 %).

В 2018 г. на территории республики пресечен оборот фальсифицированных БАД к пище «Саймы» производства ООО Биоинженерная компания «Чжин Юань Тхан», г. Си Ан, ул. Тхао Юань На Лу, д. 29 (Китайская Народная Республика), серии 2017032501, дата выработки 25.03.2017, и двух серий «Инфорте» производства ООО «Meizhou Hengrun Biology Industry Co., Ltd», Lvdanlan Industrial Zone, Guangdong (Китайская Народная Республика), серия 171115, дата выработки 15.11.2017, серия 201016, дата выработки 20.10.2016, содержащих не заявленные

при государственной регистрации лекарственные субстанции (тадалафил, варденафил и силденафил).

По итогам работы в рамках программ по предотвращению причинения вреда Управлением установлены факты ввоза на территорию Российской Федерации указанных партий БАД к пище, факты поставки: ООО «Вселенная здоровья» для дальнейшей реализации фальсифицированного БАД «Саймы» серии 2017032501, дата выработки 25.03.2017, ООО «Эковэй» – БАД «Инфорте» серии 171115, дата выработки 15.11.2017, серии 201016, дата выработки 20.10.2016.

В соответствии с требованиями Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» реализация на территории Российской Федерации фальсификата в аптечных сетях была приостановлена, произведен отзыв продукции, импортером и поставщиками уничтожено более полутора тысяч (1732) упаковок фальсифицированной продукции весом более 6 кг (6,2088) [5].

По фактам выявленных нарушений в отношении ООО «Вселенная здоровья», ООО «Эковэй» Управлением возбуждены дела об административном правонарушении по ч. 1 ст. 6.33 КоАП РФ [2].

Решениями Арбитражных судов г. Москвы и г. Санкт-Петербурга импортеры привлечены к административной ответственности по ч. 1 ст. 6.33 КоАП РФ за оборот фальсифицированных БАД к пище с наложением административных штрафов на 1 млн и 500 тыс. рублей соответственно. Апелляционными инстанциями решения Арбитражных судов оставлены без изменений.

В ноябре 2019 г. в филиале ЗАО Фирма «Центр внедрения “Протек”» «Протек-10» выявлен оборот фальсифицированной БАД к пище «Ловелас® форте» по 8 капсул массой 0,65 г производства ООО НПК «Растительные ресурсы», в которой обнаружена не заявленная при государственной регистрации фармацевтическая субстанция «тадалафил».

По итогам работы в рамках программ по предотвращению причинения вреда установлены поставщик давальческого сырья ООО «Фармацевтический холдинг Джи Эл Эс Медикал», производитель ООО НПК «Растительные ресурсы», поставщики ООО «Позитив Био», ЗАО Фирма «Центр внедрения “Протек”», в отношении которых Управлением возбуждены дела об административном правонарушении по ч. 1 ст. 6.33 КоАП РФ и направлены для рассмотрения в Арбитражные суды г. Москвы и г. Санкт-Петербурга.

В 2020 г. за оборот фальсифицированной БАД к пище «Ловелас® форте» Арбитражными судами г. Москвы и г. Санкт-Петербурга на производителя, поставщиков наложено 4 штрафа на сумму 3 млн 500 тыс. руб. Апелляционными инстанциями решения Арбитражных судов оставлены без изменений. Кассационным судом отказано в удовлетворении требований об отмене вышеуказанных судебных актов.

В рамках выполнения программ мероприятий по предотвращению причинения вреда поставщиком ЗАО Фирма «Центр внедрения “Протек”» уничтожено с привлечением сторонней организации фальсифицированных БАД к пище «Ловелас® форте» в количестве 2247 упаковок (11,684 кг), изъятых из оборота по всей территории Российской Федерации.

Выводы. Государство должно защищать граждан от продукции, которая может нанести вред обществу, здоровью человека и кошельку. Право предпринимателя продавать товары доступными способами тесно связано с обязанностью делать это

по закону и добросовестно. Для реализации защиты граждан государство разрабатывает и применяет массу инструментов: проверки, лицензирование, санкции за нарушения – от штрафов и изъятия нелегального товара до закрытия торговых точек.

В 2022 г. депутаты Госдумы внесли законопроект о внесудебной блокировке сайтов, реализующих незарегистрированные БАДы. Цель закона – предотвратить распространение небезопасной продукции через интернет, прекратить рекламу опасных препаратов [3].

Вопросы качества и безопасности БАД к пище являются одними из приоритетных направлений деятельности Управления.

Список литературы

1. Исследование Mail.ru Group: 44 % пользователей рунета бронируют препараты в интернет-аптеках [Электронный ресурс] // VK. – 2019. – URL: https://vk.company/ru/press/releases/10422/ (дата обращения: 20.04.2022).

2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ / принят Государственной думой 20 декабря 2001 года (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/12125267/ (дата обращения: 21.04.2022).

3. Лазарев В. Государство проведет красную линию в онлайн-торговле БАДами [Электронный ресурс] // Независимая газета. – 2022. – URL: https://www.ng.ru/vision/2022-01-16/4_8346_vision.html (дата обращения: 19.04.2022).

4. Не покупайте БАДы «с рук»! [Электронный ресурс] // Администрация Санкт-Петербурга: официальный сайт. – 2016. – URL: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_primorsk/news/87595/ (дата обращения: 20.04.2022).

5. О техническом регулировании: Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ / принят Государственной Думой 15 декабря 2002 года (с измен. и доп.) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/12129354/ (дата обращения: 27.04.2022).

6. Тарусин Д.П. Состояние и перспективы развития рынка биологически активных пищевых добавок (БАД) // Проблемы современной экономики. – 2010. – № 4 (36). – С. 217–220.

7. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/70106650/ (дата обращения: 27.04.2022).

8. ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция в части ее маркировки / утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/70106648/ (дата обращения: 27.04.2022).

9. Что же такое БАДы, польза или вред? [Электронный ресурс] // Клиника профессора Буштыревой. – URL: https://bushtyreva-clinic.ru/informacziya/chto-zhe-takoe-badyi,-polza-ili-vred (дата обращения: 19.04.2022).

Гигиеническая оценка питания и алиментарного статуса моряков ПАО «Новошип»

М.А. Потемкина, В.Н. Елкина

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Краснодарскому краю, г. Краснодар, Россия

С целью изучения организации питания моряков и оценки его физиологической полноценности в зависимости от условий труда с определением алиментарного статуса работников основных профессий была изучена организация питания экипажа морских судов ПАО «Новошип». Исследование было проведено с помощью хронометражно-табличного метода, учитывающего вид производственной деятельности, длительность и энергетический эквивалент. Установлено, что питание моряков ПАО «Новошип» является нерациональным и создает риск формирования отклонений пищевого статуса и алиментарно-зависимых болезней.

Ключевые слова: питание моряков, алиментарный статус, организация питания.

Сбалансированное питание и соблюдение его режима способствует профилактике ряда заболеваний сердечно-сосудистой системы, включая инфаркт, инсульт, онкологических заболеваний, а также сахарного диабета 2-го типа [1].

Нерациональное питание приводит к 20%-ному снижению работоспособности [7]. Правильная организация оптимального питания работников повышает уровень производительности, предотвращает недостаток макро- и микронутриентов в рационе, снижает риск формирования хронических заболеваний и их осложнений при незначительных инвестициях работодателя, компенсирующихся сокращением дней нетрудоспособности, оплаты этих дней, а следовательно, недополученной прибыли [2].

При плавании в высоких широтах на экипаж судов действуют такие климатические факторы, как холод, недостаточная инсоляция, перепады атмосферного давления и др., адаптация к которым выражается синдромом полярного напряжения, который характеризуется осложнением течения хронических заболеваний, преждевременным старением и омоложением показателей смертности населения [3]. Зарубежные результаты исследований по оценке питания моряков показали, что метаболический синдром, развивающийся при нерациональном питании, распространен более чем у 40 % моряков США, Хорватии, Турции и других стран [4–6].

Цель исследования – изучить организацию питания экипажа морских судов ПАО «Новошип» и оценить его физиологическую полноценность в зависимости от условий труда с определением алиментарного статуса работников основных профессий.

Материалы и методы. Изучена организация питания плавсостава ПАО «Новошип», с помощью клинических и соматометрических методов дана оценка пищевого статуса отдельных групп работников, проанализированы 10 дневных меню-раскладок на весенне-зимний период на сбалансированность, соответствие энергетическим потребностям. В исследовании приняли участие 100 моряков. Средний возраст исследуемых составил 45 лет.

Результаты. Исследование было проведено с помощью хронометражно-табличного метода, учитывающего вид производственной деятельности, длительность

и энергетический эквивалент. Суточные энерготраты обследованных лиц в среднем составили 3276 ккал/сут.

Дана оценка алиментарному и биохимическому статусам по показателям: длина и масса тела, ИМТ, липидный обмен, уровень глюкозы в венозной крови.

При анализе недельной меню-раскладки было установлено, что на морских судах ПАО «Новошип» организовано трехразовое питание для экипажей. По энергетической ценности завтрак составляет 25–30 %, обед – 45–50 %, ужин – 20–30 %. Для несущих ночную вахту предусмотрен ночной перекус – 10 %, с учетом уменьшения энергетической ценности обеда и ужина.

Расчет величин потребления и обеспеченности нутриентами проводился на основе таблиц «Химического состава пищевых продуктов». Показатели химического состава и энергетической ценности среднесуточного рациона оценивали на основании меню-раскладки на 14 дней.

При углубленном изучении меню-раскладки первого дня на предмет сбалансированности рациона выявлено, что соотношение белков, жиров и углеводов за сутки составило 1:1,4:4,2 (при рекомендуемом 1:1,1:4,8), что свидетельствует о несбалансированности углеводов и жиров. Также был оценено соотношение в каждом приеме пищи, оно составило на завтрак 1:1,09:3,8, обед – 1:1,58:4,8 и ужин – 1:1,37:3,7. Таким образом, установлено, что второй прием пищи не сбалансирован по белкам, жирам, углеводам, завтрак и ужин недостаточны по содержанию углеводов. Оценка соответствия калорийности энерготратам выявила ее превышение за счет жиров. Это привело к тому, что у 25 % плавсостава определяется избыточная масса тела.

Потребление белка характеризовалось как среднее, достаточное, на уровне физиологических потребностей (109,2 %). Соотношение животного и растительного белка сбалансировано. Недостаточное употребление зерновых продуктов привело к тому, что доля моно- и дисахаридов в углеводной части исследуемого суточного рациона составила 47 %, превышая рекомендуемую на 27 %. Необходимо отметить избыточное потребление пищевого холестерина (превышение на 31 %), триглицеридов (превышение на 15 %) и недостаточное омега-6-жирных кислот (75 % от рекомендуемой нормы), при этом соотношение омега-6 / омега-3-жирных кислот (ЖК) существенно отклоняется от рекомендуемого. Также можно констатировать недостаточное потребление фолиевой кислоты – 80,5 %, в то время как ретиноловый, токофероловый, ниациновый эквиваленты превышают рекомендуемые значения. Из числа макро- и микроэлементов особо необходимо отметить недостаточное употребление кальция (68 % от нормы) и связанное с этим нарушение рекомендуемого соотношения кальция / фосфора – 1:1,4.

С учетом того, что, находясь на берегу, плавсостав питается каждый по своему усмотрению, изучены особенности их индивидуального питания.

По результатам проведенного анкетирования установлено, что 40 % респондентов предпочитают в меню жареную пищу и часто употребляют ее после рейса дома. Копченое мясо, рыбу, изделия мясные и рыбные копченые предпочитают и употребляют 32 %. У 25 % в меню редко присутствуют овощи, в том числе семейства капустных. Вредными привычками (курение, прием алкоголя) страдают 30 % респондентов. Умеренная физическая нагрузка во время плавания и на берегу отмечена у 52 % моряков.

Выводы. Фактическое питание моряков ПАО «Новошип» является нерациональным в связи с недостаточным потреблением зерновых продуктов (круп), использованием жирных сортов мяса, а также за счет технологии приготовления пи-

щи (преимущественно жарение) и создает риск формирования отклонений пищевого статуса, формирования алиментарно-зависимых болезней.

Несоответствие организации питания плавсостава гигиеническим требованиям способствует наличию более чем у четверти обследованных избыточной массы тела (у 12 % ожирение 1–2-й степени), холестеринемии (5 % экипажа судна), гипергликемии (отмечена у 1 %, страдающего сахарным диабетом).

Список литературы

1. Алексеенко С.Н., Дробот Е.В. Профилактика заболеваний: уч. пособие. – М.: Академия Естествознания, 2015. – 449 с.

2. Взгляд в будущее: итоговый документ XVII Всемирного конгресса по охране труда. – Орландо, США, 18–22 сент. 2005 г. – Женева: Международная организация труда, 2006. – 58 с.

3. Панин Л.Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюллетень СО РАМН. – 2010. – Т. 30, № 3. – С. 6–11.

4. Kendel G., Pavicic-Zezelj S., Micovic V. Evaluation of nutrition and risk of cardiovascular disease among seamen // 8th International Symposium of Maritime Health. – Rijeka, Croatia, 2005. – P. 246-253.

5. Pancic M., Ricka-Zauhar Z., Blazevic M. Analysis of risk factors and assessment of exposure to coronary diseases in seamen // 8th International Symposium of Maritime Health. – Rijeka, Croatia, 2005. – P. 11.

6. Scovill S.M., Roberts T.K., McCarty D.J. Health characteristics of inland and waterway merchant marine captains and pilots // Occup. Med. (Lond.). – 2012. – Vol. 62, № 8. – P. 638–641. DOI: 10.1093/occmed/kqs156

7. Wanjek C. Food at Work: Workplace Solutions for Malnutrition, Obesity and Chronic Diseases. – Geneva: International Labour Office, 2005. – 448 p.

К вопросу безопасности пищевой продукции, произведенной с применением фунгицидных препаратов на основе меди

А.С. Родионов

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Проведены исследования динамики накопления и выведения или перераспределения меди для установления особенностей ее гомеостаза в растениях при поступлении избыточных концентраций элемента за счет обработок агрохимическими препаратами на его основе. Исследование выполнено на образцах томатов, отбираемых в течение вегетационных периодов 2020–2021 гг. в различных почвенно-климатических зонах. Измерение концентрации меди проведено методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией после предварительного микроволнового разложения.

На основании полученных данных сделаны выводы о безопасности применения фунгицидов на основе меди при проведении агротехнических мероприятий.

Ключевые слова: медьсодержащие пестициды, гомеостаз меди в растении, атомно-абсорбционная спектрометрия, микроволновая минерализация.

В настоящее время безопасность пищевой продукции является одним из первоочередных факторов, определяющих уровень химической нагрузки и формирующих состояние здоровья населения. Даже принимая во внимание стабильное снижение доли проб отечественной продукции, не соответствующей санитарно-эпидемиологическим требованиям по химическим показателям, высокую степень риска продолжают составлять обнаруживаемые в плодовоовощной продукции превышения содержания пестицидов. Также наиболее выявляемыми контаминантами в структуре пищевой продукции наряду с антимикробными препаратами выступают токсичные элементы [2].

Наиболее популярными пестицидами из класса токсичных элементов являются препараты на основе меди. Ее уникальные химические характеристики оправдывают более чем 200-летнее ее использование в фитохимии, особенно в составе фунгицидов. Ионы меди растворимы в воде и обеспечивают противогрибковый и антибактериальный эффект при низких концентрациях, поэтому их вклад в производство фунгицидов до сих пор незаменим [6].

С другой стороны, высокие концентрации солей меди влияют на физиологические и биохимические процессы в высших организмах. Медь принимает участие в многочисленных физиологических процессах и является необходимым кофактором для многих металлопротеинов. Однако избыток меди приводит как к проблемам в функционировании клеток и метаболизме, так и подавляет рост растений и нарушает важные клеточные процессы (например, фотосинтетический транспорт электронов). Элемент необходим для всех высших организмов (растений, животных), особенно в циклах и функциях, касающихся роста и размножения. Среднесуточное рекомендуемое потребление меди должно составлять около 0,9 мг, несоблюдение которого часто приводит к повышению уровня холестерина и коронарным заболеваниям [5].

Одной из причин отклонения в содержании меди как микроэлемента в организме человека может являться ее дисбаланс в потребляемой продукции, вызванный несоблюдением технологии применения агрохимических препаратов на ее основе. С целью выявления подобных нарушений проводятся гигиенические испытания сельскохозяйственной продукции с применением физико-химических методов анализа. Процедура подобных испытаний строго регламентирована и обеспечена объемной методической базой, но на современном этапе при интерпретации результатов, полученных при помощи, казалось бы, уже ставшей рутинной процедуры гигиенического контроля, продолжают выявлять проблемы.

Одной из таких проблем является вывод о повышенном содержании меди, приобретенном в процессе обработки, а не за счет естественного уровня металла в растении. Указанная проблема осложняется недостатком данных о метаболизме меди в растении, включающих вопросы усвоения и распределения металла в различных его частях. Так, многочисленные литературные данные указывают на наличие у растений защитного механизма, способствующего депонированию избыточных концентраций меди в корнях, исключая дисбаланс металла в надземных частях растений.

Сложившаяся ситуация не дает возможности сделать однозначный вывод о безопасности применения фунгицидов на основе меди для широких масс потребителей.

Цель исследования – изучение динамики накопления меди при обработке томатов фунгицидным препаратом на ее основе в течение вегетационного периода (сезон 2020–2021 гг.) для установления закономерностей в поглощении и перераспределении элемента при его получении в избыточных концентрациях.

Материалы и методы. ***Объекты исследования.*** В качестве объектов исследования выбраны пасленовые (томаты) как культура, наиболее часто встречающаяся в детском рационе и соответственно объективно отражающая степень риска по отношению к остальным группам населения.

Отбор проб производился в течение вегетационных периодов 2020–2021 гг. в трех различных климатических зонах Российской Федерации. Обработка культур осуществлялась препаратом на основе оксихлорида меди, трехкратно, при норме расхода по действующему веществу 710,5 г/га.

Отбор образцов томатов при обработке препаратом на основе меди оксихлорида проводили через 0, 1, 2, 3 и 4 дня после 1-й обработки препаратом; через 0, 1, 2, 3 и 4 дня после 2-й обработки препаратом и через 0, 1, 2, 3, 4, 7 и 10 дней после 3-й обработки препаратом в соответствии с методическими рекомендациями [4].

Единовременно отбирались образцы растительной продукции с двух участков – обработанного пестицидом (опытные образцы) и не обработанного (контрольные пробы). До анализа образцы хранились в контролируемых условиях при температуре минус 18 ^{0}С.

Подготовка проб к анализу. Перед анализом образцы гомогенизировали методом криоизмельчения с сухим льдом при помощи куттера Robot Coupe R10 с максимальной скоростью вращения ножей 3000 об./мин и объемом чаши 11,5 л. Весь объем отобранного образца (300 г) загружался в чашу куттера в соотношении 1:2 относительно объема сухого льда. Измельчение каждой пробы проводили в течение 5 мин. Образцы после гомогенизации хранились в контролируемых условиях при температуре минус 18 °С.

Дальнейшая пробоподготовка выполнена методом микроволновой минерализации при повышенном давлении при помощи микроволновой системы пробоподготовки реакторного типа Milestone Ultra Wave. Перед разложением около 1 г гомогенизированной пробы помещали в сосуд для разложения и заливали 4 см^3 концентрированной азотной кислоты квалификации ACS (American Chemical Society). После окончания бурной реакции сосуды с образцами помещали в реактор микроволновой системы пробоподготовки. Разложение образцов выполнялось в несколько стадий в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя оборудования, по программе для разложения фруктов и овощей. Для приготовления базового раствора для микроволнового реактора использовали 130 см^3 деионизированной воды и 5 см^3 азотной кислоты высокой степени чистоты. Условия разложения и физические параметры протекания процесса минерализации представлены на рисунке. После завершения процесса минерализации сосуды с образцами вскрывали в вытяжном шкафу, к каждому образцу добавляли по 1 см^3 37%-ной перекиси водорода для ускорения процесса дегазации. Далее образцы переносили в полипропиленовую пробирку, где доводили деионизированной водой I класса чистоты по ГОСТ Р 52501-2005 [1], свежеприготовленной и полученной при помощи системы очистки воды Milli-Q Integral 5 (Merck, Германия) до объема 25 см^3.

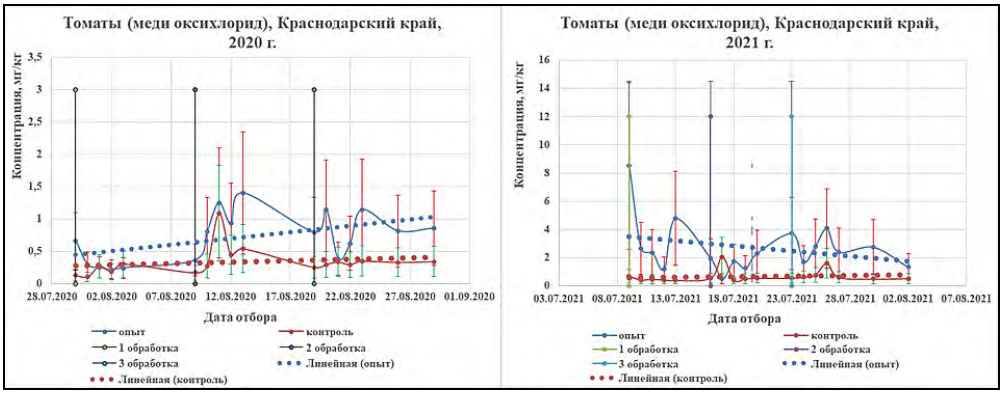


Рис. Динамика содержания меди в образцах томатов

Условия измерения. Измерения концентрации меди проводились методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией при использовании атомно-абсорбционного спектрометра Contra AA 800-D. Источником внешнего излучения служила ксеноновая короткодуговая лампа сплошного спектра. Измерения проводились на длине волны 327,3960 нм, учет неселективного поглощения осуществлялся с помощью измерения поглощения на длине волны вблизи атомной линии поглощения. Измерения проводились при использовании 3 оценочных пикселей. Ввод пробы осуществляли автоматически в кювету, объем вводимой пробы – 20 мкл. Температурный режим ЭТА: высушивание – 20 с при температуре 80 °С, 20 с при температуре 90 °С, 10 с при температуре 110 °С, озоление – 20 с при температуре 350 °С и 10 с при температуре 800 °С, атомизация – 4 с при температуре 2150 °С, отжиг – 4 с при температуре 2450 °С.

Результаты. Результаты измерения концентрации меди оксихлорида (по меди) в образцах томатов представлены на рисунке.

На графике отражены даты обработок, даты отбора проб для исследования, а также разброс в содержании меди в опытных и контрольных пробах, выраженный как величина относительного стандартного отклонения и линии тренда линейной аппроксимации.

Зависимость между содержанием меди в плодах изучаемой культуры и обработками пестицидами на ее основе, наблюдаемая при анализе томатов, отражает периодическое увеличение содержания металла в пробах, отбираемых в день обработки, относительно контрольных образцов, что, скорее всего, связано с наличием еще не смывшегося препарата на поверхности обрабатываемой культуры.

Также на графике отражены периодические всплески концентрации меди в исследуемых органах растения, не связанные с избыточным внесением микроэлемента в процессе обработок пестицидом. Наблюдаемая картина указывает на отсутствие корреляции между проведенными опрыскиваниями и ростом содержания металла в плодах. Напротив, она может быть объяснена естественными процессами формирования плода и перераспределением микроэлемента между исследуемыми плодами и другими органами растения, не попавшими в анализируемую выборку.

Для наглядности дополнительно проанализирован линейный тренд, показывающий изменение содержания меди в процессе роста, при этом четко прослеживается параллельность трендов опытных и контрольных проб. При сравнении направленности трендов в вегетационные периоды 2020 и 2021 гг. видно, что в течение 2020 г. сохраняется тенденция тренда в сторону увеличения концентрации меди и в опытных, и в контрольных пробах. В 2021 г. направление трендов меняется на противоположное и возможно наблюдать целенаправленное снижение концентрации меди. Все наблюдаемые проявления дополнительно подтверждают полное отсутствие связи обработок пестицидными препаратами на основе металла с естественными процессами его метаболизма в растении.

Выводы. Медь является незаменимым металлом в борьбе с грибковыми заболеваниями в овощеводстве, особенно в настоящее время, когда биологическое производство продуктов питания приобретает все большее значение. Медь во всех ее различных формах в ближайшем будущем останется наиболее важным агентом в борьбе с патогенами в сельском хозяйстве, поэтому ее использование должно контролироваться и с точки зрения риска в отношении потребителя, и с точки зрения биологических потребностей обрабатываемых культур.

Для изучения гомеостаза меди в растениях при поступлении избыточных концентраций микроэлемента из внешней среды проведены исследования динамики меди после обработки томатов препаратом на ее основе.

Полученные зависимости показывают отсутствие взаимосвязей между проводимыми обработками и содержанием меди в органах продуктивности растений, что указывает на согласованность имеющейся в литературе [3] информации с реально наблюдаемой картиной.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о безопасности применения медьсодержащих фунгицидов на томатах и аналогичных культурах, так как любое колебание концентрации, приобретенной из внешней среды, подавляется самостоятельно при задействовании защитных регуляторных механизмов самим растением.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52501-2005. Вода для лабораторного анализа. Технические условия = Water for analytical laboratory use. Specifications: издание официальное / утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.12.2005 г. № 544-ст, дата введения 01.01.2007. – М.: Стандартинформ. – 7 с.

2. Государственный доклад о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс]. – М., 2022. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=21796&ysclid=l7uj3ybx6m48952678 (дата обращения: 07.09.2022).

3. Иванищев В.В. Биоаккумуляция, гомеостаз и токсичность меди в растениях // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 33–41. EDN: FHWRRN

4. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть: методические указания / утв. Научно-техническим советом (секция земледелия и растениеводства) Министерства сель-

ского хозяйства Российской Федерации (протокол № 15 от 16.11.2018 г.), дата введения 16.11.2018. – М.: Минсельхоз России, 2018. – 56 с.

5. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические указания / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко, дата введения 18.12.2008. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 23 с.

6. Rusjan D. Copper in Horticulture // Fungicides for Plant and Animal Disease. – Slovenia, 2012. – P. 258–277. DOI: 10.5772/26964

Оценка доз вредных веществ, поступающих с пищевой продукцией, на примере кадмия с использованием метода Монте-Карло

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев

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

Гигиеническая безопасность продуктов питания является важнейшей проблемой, как на региональном уровне, так и в масштабах страны. Необходима оценка доз вредных веществ для выявления наиболее загрязненных продуктов и находящихся под высоким риском групп населения. С целью получения информации о потреблении пищевых продуктов использованы данные анкетирования детей и взрослых, проживающих на территории Пермского края. Больше половины детского населения Пермского края подвергается воздействию ненормативного поступления кадмия с продуктами питания. В свою очередь менее сотой доли всех опрошенных взрослых испытывает влияние ненормативного поступления кадмия в организм. Основной вклад в значение интегральной дозы кадмия вносит плодовоовощная продукция.

Ключевые слова: кадмий, здоровье, пищевые продукты.

Обеспечение гигиенической безопасности пищевой продукции является одним из первоочередных вопросов, который рассматривается на всех уровнях: национальном, региональном, международном. Современное состояние химизации сельского хозяйства, индустриализации народного хозяйства, помимо увеличения урожайности и продуктивности сельского хозяйства, создает антропогенную нагрузку на окружающую среду, главным образом, перенос в пищевые продукты посторонних химических веществ [3]. С ростом доли загрязненных продуктов увеличивается неблагоприятное воздействие на организм человека, повышается вероятность развития заболеваемости и смертности на популяционном уровне. На фоне увеличения загрязненности пищевых продуктов питания химическими веществами растет необходимость в улучшении су-

ществующих методов оценки поступающих доз. Однако классические методы математического моделирования, при всех их неоспоримых достоинствах, не позволяют учитывать различную вариацию веса, содержания и потребления.

Моделирование по методу Монте-Карло представляет собой автоматизированную математическую методику, предназначенную для учета риска в процессе количественного анализа и принятия решений [4].

Цель исследования – оценка доз вредных веществ, поступающих с пищевой продукцией, на примере кадмия с использованием метода Монте-Карло.

Материалы и методы. Для достижения цели использовались данные, полученные в результате анкетирования. Опрос проводился среди учащихся общеобразовательных учреждений и работников предприятий, проживающих на территории Пермского края. В исследовании принимали участие 172 ребенка в возрасте от 4 до 10 лет и 730 человек в возрасте от 18 до 60 лет. Благодаря проведенному анкетированию, получена информация об антропометрических характеристиках и фактическом потреблении широкого ряда распространенных продуктов питания опрошенными. Респондентами подписано добровольное согласие на обработку данных исследования.

В исследовании использованы статистические формы Роспотребнадзора, содержащие данные лабораторного контроля безопасности пищевой продукции (в том числе протоколы исследований), обращаемой на рынке Пермского края. Были включены результаты отбора проб по восьми видам продукции: плодовоовощная продукция; мясо и мясопродукты; зерно (семена), мукомольно-крупяные изделия; мясо и мясопродукты; напитки; рыба и рыбные продукты; масличное сырье и жировые продукты; сахар и кондитерские изделия.

Общая формула для расчета экспозиции контаминантами пищевых продуктов на население имеет вид:

$$\mathrm{Exp} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (C_i \cdot M_i)}{BW},$$

где Exp – значение экспозиции контаминантом, мг/кг массы тела/сут (мг/кг массы тела/неделю, мг/кг массы тела/месяц);

C_i – содержание контаминанта в i-м продукте, мг/кг;

M_i – потребление i-го продукта, кг/сут (кг/неделю, кг/г.);

BW – масса тела человека, кг (стандартное значение – 70 кг);

N – общее количество продуктов, включенных в исследование.

Величина экспозиции может быть выражена как масса вещества отнесенная к единице времени, или как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела.

Для вычисление распределения поступающих доз используется метод Монте-Карло, в котором используются функции распределения вероятностей потребления продуктов питания, веса индивидов и количества вредных веществ в продуктах питания.

Результаты. Кадмий является высокотоксичным металлом, широко распространенным в окружающей среде. Основным пищевым источником поступления кадмия является плодовоовощная продукция. Органами-мишенями выступает печень, почки, костно-мышечная система, легкие. При воздействии кадмия происходит набухание гепатоцитов и повреждение связанных с мембраной лизосом.

Кроме того, в результате воздействия кадмия происходит повреждение митохондриальных крист, гипертрофия клеток Купфера и инфильтрация смешанных воспалительных клеток [7, 8].

Для решения задач, связанных с выполнением поставленной цели, среди респондентов проведен отбор биометрических показателей. Распределение веса среди опрошенного населения представлено на рис. 1.

Для детского опрошенного населения характерен вес 23–28 кг, для взрослого населения – 72–85 кг.

Наибольшее количество проб пищевой продукции для определения кадмия за период 2007–2017 гг. отобрано по категориям: плодовоовощная продукция – 606 проб; мясо и мясопродукты – 336 проб; мукомольно-крупяные изделия – 336 проб. Меньше всего проб отобрано по категориям: сахар и кондитерские изделия – 142 пробы; масличное сырье и жировые продукты – 198 проб; рыба и рыбные продукты – 179 проб.

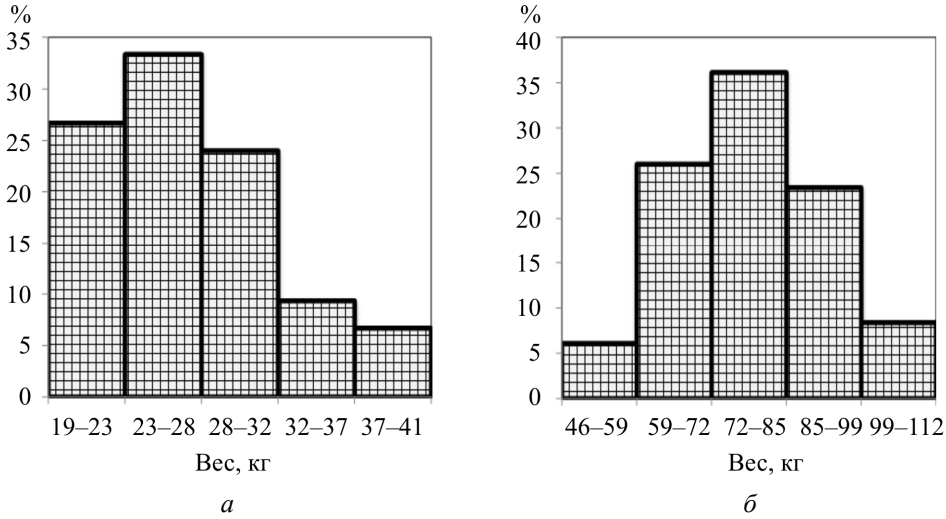
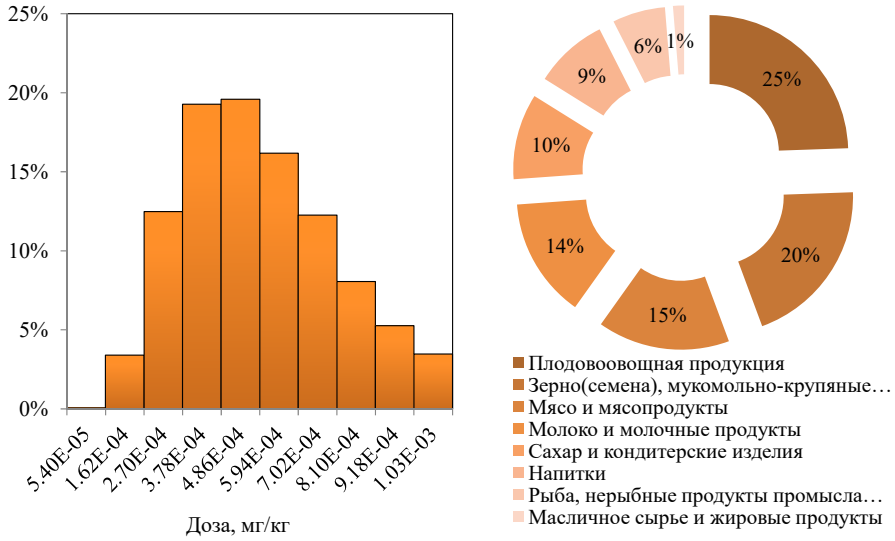


Рис. 1. Гистограмма распределения частот веса индивида в анализируемой выборке: *а* – детское население (4–10 лет); *б* – взрослое население (18–60 лет)

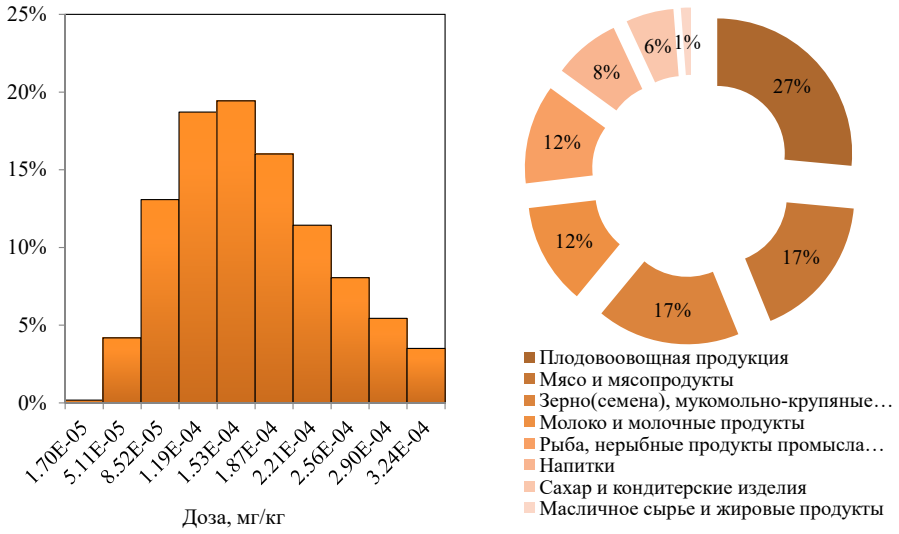
При расчёте поступающих доз из отдельных продуктов питания для детского населения превышения референтной дозы (*Rfd* = 0,0005 мг/кг) выявлены по следующим категориям пищевых продуктов: плодовоощная продукция (3,8 %), мукомольно-крупяные изделия (2,1 %) и мясо и мясопродукты (0,9 %). В ходе расчетов суммарной дозы определено, что 54 % детского населения подвергаются угрозе поступления кадмия с продуктами питания свыше нормативных значений. Распределение частот поступающих доз и доли вкладов представлены на рис. 2.

Подобный расчет для взрослого населения не выявил превышений референтной дозы ни по одной категории продуктов. В ходе расчетов суммарной дозы определено, что не более 0,32 % взрослого населения подвергаются угрозе поступления кадмия в организм свыше нормативных значений. Распределение частот поступающих доз и доли вкладов отдельных пищевых продуктов в интегральную дозу приведены на рис. 3.



а *б*

Рис. 2. Результаты анализа поступающей интегральной дозы кадмия в организм с продуктами питания для детского населения: *а* – гистограмма распределения частот поступающей дозы кадмия; *б* – структура поступления кадмия из продуктов питания



а *б*

Рис. 3. Результаты анализа поступающей интегральной дозы кадмия в организм с продуктами питания для взрослого населения: *а* – гистограмма распределения частот поступающей дозы кадмия: *б* – структура поступления кадмия из продуктов питания

При расчёте поступающих доз из отдельных продуктов питания для взрослого населения превышения референтной дозы (*Rfd* = 0,0005 мг/кг) не выявлены ни по одной категории продуктов. Распределение частот поступающих доз и доли вкладов отдельных пищевых продуктов в интегральную дозу приведены на рис. 2. Основной вклад в значение интегральной дозы вносит плодоовощная продукция (27 %).

Анализ рисков для здоровья населения Российской Федерации, обусловленной загрязнением пищевых продуктов, осуществляется в правовом поле РФ и ЕАЭС, представленном как законодательными, так и подзаконными актами, а также нормативно-правовыми и методическими документами. Математическое моделирование, необходимое для анализа риска для здоровья населения, широко применяется как в российской, так и в международной практике. В качестве примеров могут быть рассмотрены модели воздействия химических факторов риска в продуктах питания на здоровье населения различных областей Российской Федерации [1, 2, 5, 6], однако подобных исследований в Пермском крае не проводилось. Кроме того, использование методики Монте-Карло создает дополнительную возможность при оценке риска за счет того, что делает возможным создание случайных сценариев.

Выводы. Проведена апробация вероятностного подхода для оценки доз вредных веществ, поступающих с пищевой продукцией. Особенности индивидуального потребления на территории Пермского края рассчитывались на основании результатов заполнения анкетных данных. В ходе расчета суммарной дозы химических веществ, поступающих из продуктов питания, выявлено, что по ряду контаминант население Пермского края подвергается угрозе поступления химических веществ в организм свыше нормативных значений, среди которых кадмий. Основным источником ненормативного поступления химических веществ с пищей является плодоовощная продукция. Наиболее чувствительной группой, по результатам моделирования, является детское население.

В дальнейшем планируется расширение списка загрязняющих веществ, увеличение количества анкетируемого населения и детализация продуктов питания с целью уточнения данных. Полученные распределения поступающих доз контаминантов будут использованы для изучения влияния загрязняющих веществ на здоровье населения.

Список литературы

1. Агбалян Е.В. Содержание тяжелых металлов и риск для здоровья населения на Ямальском Севере // Гигиена и санитария. – 2012. – № 1. – С. 14–16.

2. Жеишева А.Н., Жуков В.В. Оценка экологического риска для здоровья населения, проживающих в Саратовской области при воздействия соединений тяжелых металлов на продукты питания // БМИК. – 2020. – № 1. – С. 6.

3. Камалова М.Б., Юлдашева Ш.Ж. Проблема загрязнения продуктов пищевого производства // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 3 (4).

4. Крохин К.А. Симуляция Монте-Карло для риск-анализа проекта // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2014. – № 29. – С. 41–43.

5. Сабирова К.М., Кислицина Л.В., Кику П.Ф. Оценка риска для здоровья населения Приморского края от воздействия мышьяка в продуктах питания // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2017. – № 3 (70).

6. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области / А.В. Лыжина, Р.В. Бузинов, Т.Н. Унгуряну, А.Б. Гудков // Экология человека. – 2012. – № 12. – С. 3–9.

7. Ciobanu C., Slencu B.G., Cuciureanu R. Estimation of dietary intake of cadmium and lead through food consumption // Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi. – 2012. – Vol. 116 (2). – P. 617–623. PMID: 23077963.

8. Toxicity of cadmium and its health risks from leafy vegetable consumption / Y. Huang, C. He, C. Shen, J. Guo, S. Mubeen, J. Yuan, Z. Yang // Food Funct. – 2017. – Vol. 8 (4). – P. 1373–1401. DOI: 10.1039/c6fo01580h. PMID: 28232985.

Снижение негативного воздействия мышьяка на организм человека при помощи корректировки рациона питания

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев

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

Антропогенная нагрузка на организм человека заключается в ненормативном поступлении в биосреды ксенобиотиков. Изучение методов снижения негативного воздействия химических веществ на здоровье человека позволит снизить заболеваемость населения и увеличить продолжительность жизни. Изучена перспектива использования ежедневного рациона питания с целью снижения негативного влияния мышьяка на здоровье организма. Проведено анкетирование, в результате которого получена информация о питании взрослого населения в возрасте 18–65 лет, обоих полов, различных по социально-экономическим показателям. Наравне с анкетированием у опрошенных отобраны пробы крови для лабораторного анализа. Установлено, что добиться снижения концентрации мышьяка в крови возможно путем увеличения доли витаминов группы В, Е, аскорбиновой кислоты в рационе питания.

Ключевые слова: питание, анкетирование, моделирование, окружающая среда.

В результате деятельности человека в биосфере образуется множество веществ – загрязнителей органической и неорганической природы (ксенобиотиков), обладающих высокой токсичностью и способных стать причиной развития множества нозологий. Попадая в природные среды, благодаря высокой подвижности и миграционной способности, они легко проникают из окружающей среды в организм человека.

Данные клинических исследований показывают, что в регионах Российской Федерации с повышенным содержанием различных химических элементов в окружающей среде уровень заболеваемости населения болезнями эндокринной, мочеполовой, нервной, сердечно-сосудистой систем, желудочно-кишечного тракта и

кожи значительно выше. Так, на территориях, с повышенным содержанием мышьяка в воде наблюдается увеличение встречаемости у населения заболеваний кожи, иммунной системы и сердечно-сосудистой патологии [1]. Снижения негативного воздействия мышьяка на организм человека возможно добиться различными способами, требующими подробного изучения.

Цель исследования – изучение способности суточного рациона питания снизить риск повышения концентрации мышьяка в крови.

Материалы и методы. С целью выполнения задач исследования опрошено взрослое трудоспособное население различных регионов Российской Федерации в возрасте 18–65 лет. С помощью анкеты, специально разработанной научным центром, получена информация о суточном рационе питания, благодаря которому появилась возможность оценить поступление в организм макро- и микронутриентов. Особенностью разработанной анкеты является широкий выбор типов приготовления продуктов питания, что позволяет скорректировать количество поступающих в организм биологически значимых веществ с учетом их потери от способа приготовления. Параллельно анкетированию у опрошенных был проведен медицинский осмотр с отбором лабораторных проб.

В исследование не включены респонденты с болезнями желудочно-кишечного тракта и принимающие дополнительные витаминно-минеральные комплексы. Все обследованные респонденты дали добровольное согласие на обработку персональных данных.

Определение показателей химических веществ в крови проводилось в лаборатории методов атомно-абсорбционного и электрохимического анализа ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Построены парные математические модели связи показателей тяжелых металлов в крови от количества поступающих в организм пищевых веществ. Для описания взаимосвязи используется следующее уравнение логистической регрессии:

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

где y – вероятность превышения концентрации химического вещества в крови; x – уровень поступления биологически значимого вещества; b_0, b_1 – параметры математической модели

Каждая модель характеризовалась уровнем значимости (p), отражающим адекватность модели, и величиной коэффициента детерминации (R^2), представляющего долю дисперсии зависимой переменной, объясненной моделью. Оба критерия отражают качество построенных моделей и свидетельствуют о статистической тесноте исследуемых зависимостей. Полученные парные модели прошли экспертизу на медицинскую достоверность.

Результаты. Мышьяк – широко распространенный в окружающий среде элемент. Мышьяк является канцерогенным агентом и вызывает множество негативных последствий для здоровья человека в краткосрочной и долгосрочной перспективе [14]. Поступление мышьяка в организм человека происходит в основном через питьевую воду. Ненормативные воздействия мышьяка способны привести к развитию ряда заболеваний, в том числе к болезням системы кровообращения, че-

рез повышение активных форм кислорода (АФК) в крови [17]. При воздействии мышьяка на организма человека происходит повышенное образование АФК, в том числе пероксильных радикалов, супероксидного радикала, гидроксильного радикала, перекиси водорода и индуцированное окислителем повреждение ДНК. Мышьяк вызывает образование окисленных липидов, которые, в свою очередь, генерирует несколько молекул АФК, основными продуктами которых являются альдегиды [2–4]. Получена модель, описывающая взаимосвязь между увеличением концентрации мышьяка в крови и повышением вероятности развития болезней системы кровообращения (b_1 = 64,34; R^2 = 0,06). В частности, повышенное поступление мышьяка в организм может привести к развитию болезней, характеризующихся повышенным давлением [9, 10]. Получена модель, описывающая взаимосвязь между повышением уровня мышьяка в крови и развитием гипертензии (b_1 = 531,35; R^2 = 0,66). Полученная модель представлена на рис. 1.

Также получены достоверные модели, описывающие связь между повышением концентрации мышьяка в крови и развитием атеросклероза (b_1 = 740,14, R^2 = 0,3). Воздействие мышьяка вызывает развитие атеросклероза за счёт увеличения агрегации тромбоцитов и снижения фибринолиза. Кроме того, воздействие мышьяка может вызвать нарушение сердечного ритма за счёт увеличения интервала QT и ускорения перегрузки клеток кальцием [7, 15].

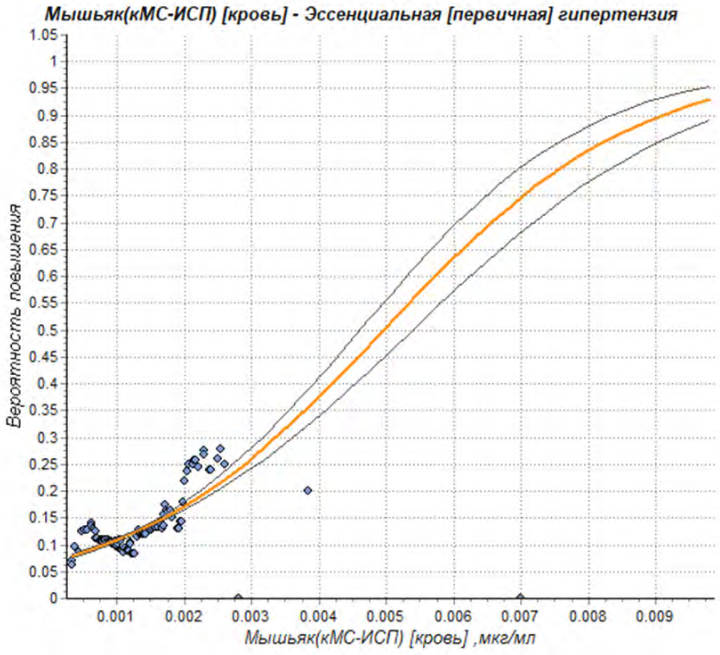


Рис. 1. Вероятность развития гипертензии от уровня мышьяка в крови

Кроме того, воздействие мышьяка повышает экспрессию интерлейкина, молекулы адгезии сосудистых клеток и фактора роста эндотелия сосудов, вызывая сердечно-сосудистый патогенез [8, 11, 13]. Таким образом, разработка методик по

снижению концентрации свинца в крови имеет первостепенную значимость в снижении заболеваемости и смертности населения.

Одним из методов по снижению концентрации мышьяка в крови является регулировки суточного рациона питания. Построены математические модели зависимости концентрации мышьяка в крови от поступающих пищевых компонентов.

Согласно полученным парным моделям, положительный эффект на снижение концентрации мышьяка в крови оказывает увеличение в суточном рационе питания содержания витамина B_{12} (b_1 = -16,51; R^2 = 0,54). Лабораторные исследования показываю, что сочетания витаминов B_{12} и B_9 повышает способность организма метилирования мышьяка [6]. Полученная модель представлена на рис. 2.

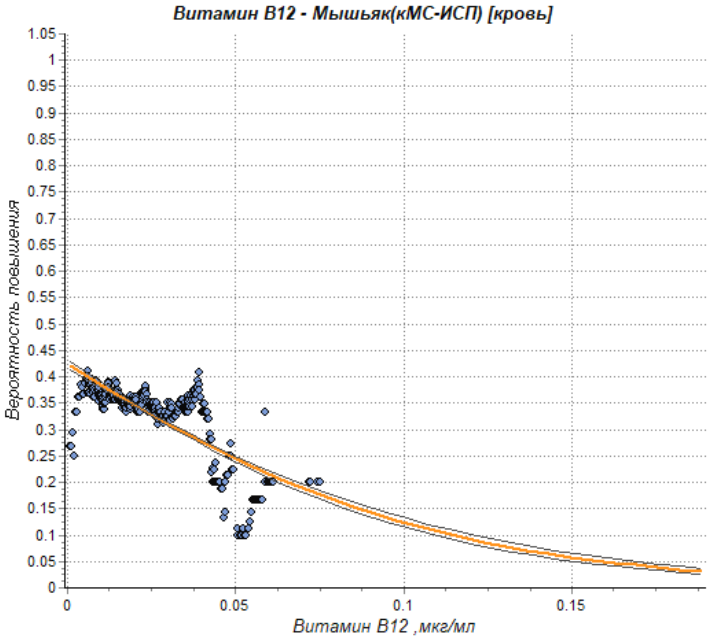


Рис. 2. Вероятность повышения мышьяка в крови от количества поступающего витамина B_{12} с пищей

Поступление витаминов B_1 и B_2 также снижает концентрацию мышьяка в крови. Параметры моделей изменения вероятности повышения концентрации мышьяка в крови для витамина B_1: b_1 = -0,22; R^2 = 0,09; B_2: -0,11; R^2 = 0,03.

Согласно проведенному математическому моделированию, повышение потребления аскорбиновой кислоты способно снизить концентрацию мышьяка в крови. Параметры полученной модели: b_1 = -0,004; R^2 = 0,34. Помимо непосредственной защиты, аскорбиновая кислота является подходящим защитным фактором против токсичности мышьяка. Аскорбиновая кислота улучшает функцию митохондрий за счет изменения тиолового статуса, тем самым предотвращая опосредованное активными формами кислорода повреждение печени и почек. Следовательно, были получены модели, описывающие снижение развития болезней системы кровообращения (b_1 = 0,001; R^2 = 0,07), гипертензии (b_1 =-0,0004; R^2 = 0,07), атеросклероза

(b_1 = 0,006; R^2 = 0,24). Согласно проведенным исследованиям, аскорбиновая кислота защищает мембраны и другие клеточные компартменты путем регенерации витамина Е [5, 16].

Защитный потенциал витамина Е от перекисного окисления липидов снижает негативные последствия воздействия окисления, вызванного поступлением в организм мышьяка. Добавление витамина Е в суточный рацион питания позволило облегчить токсическое воздействие мышьяка на аланинаминотрансферазу и аспартатаминотрансферазу и перекисное окисление липидов. Таким образом, поступление в организм с пищей витамина Е способствует снижению негативных последствий воздействия мышьяка [12, 14]. Получены модели, описывающие связь между увеличением витамина Е в рационе питания и снижением вероятности развития болезней системы кровообращения: b_1 = 0,001; R^2 = 0,04, атеросклероз: b_1 = -0,024; R^2 = 0,14.

Выводы. Проведенное математическое моделирование позволило определить протективный потенциал пищевых продуктов от негативного воздействия тяжелых металлов, в частности мышьяка. Получены достоверные математические модели, описывающие снижение вероятности развития болезней системы кровообращения, ассоциированные с увеличением содержания мышьяка в крови. Установлено, что на снижение концентрации мышьяка в крови оказывает влияние концентрация в пищевых продуктов витаминов группы В, аскорбиновой кислоты и витамина Е. В дальнейших исследованиях планируется расширить список исследуемых ксенобиотиков, а также обзор других групп населения, в частности, детского населения. Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы в качестве литературных данных для разработки программ по снижению негативных последствий для работников предприятий и лиц, проживающих в непосредственной близости к местам загрязнений.

Список литературы

1. Влияние повышенного содержания мышьяка в питьевой воде на изменения биохимических показателей негативных эффектов у детей, проживающих на территориях геохимических провинций / Ю.В. Кольдибекова, М.А. Землянова, О.В. Пустовалова, Е.В. Пескова // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 8. – С. 834–840

2. Arsenic and diabetes and hypertension in human populations: a review / C.J. Chen, S.L. Wang, J.M. Chiou, C.H. Tseng, H.Y. Chiou, Y.M. Hsueh, S.Y. Chen, M.M. Wu, M.S. Lai // Toxicol Appl Pharmacol. – 2007. – Vol. 222 (3). – P. 298–304. DOI: 10.1016/j.taap.2006.12.032. Epub 2007 Jan 8. PMID: 17307211.

3. Arsenic exposure: A public health problem leading to several cancers / I. Palma-Lara, M. Martínez-Castillo, J.C. Quintana-Pérez, M.G. Arellano-Mendoza, F. Tamay-Cach, O.L. Valenzuela-Limón, E.A. García-Montalvo, A. Hernández-Zavala // Regul Toxicol Pharmacol. – 2020. – Vol. 110. – P. 104539. DOI: 10.1016/j.yrtph.2019.104539. Epub 2019 Nov 23. PMID: 31765675.

4. Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease / K. Jomova, Z. Jenisova, M. Feszterova, S. Baros, J. Liska, D. Hudecova, C.J. Rhodes, M. Valko // J Appl Toxicol. – 2011. – Vol. 31 (2). – P. 95–107. DOI: 10.1002/jat.1649. Epub 2011 Feb 14. PMID: 21321970.

5. Ascorbic acid combats arsenic-induced oxidative stress in mice liver / P. Banerjee, S.S. Bhattacharyya, N. Bhattacharjee, S. Pathak, N. Boujedaini, P. Belon,

A.R. Khuda-Bukhsh // Ecotoxicol Environ Saf. – 2009. – Vol. 72 (2). – P. 639–649. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.07.005. PMID: 18715643.

6. Association of plasma folate, vitamin B12 levels, and arsenic methylation capacity with developmental delay in preschool children in Taiwan / Y.C. Lin, C.J. Chung, Y.L. Huang, R.L. Hsieh, P.T. Huang, M.Y. Wu, P.L. Ao, H.S. Shiue, S.R. Huang, C.T. Su, M.I. Lin, S.C. Mu, Y.M. Hsueh // Arch Toxicol. – 2019. – Vol. 93 (9). – P. 2535–2544. DOI: 10.1007/s00204-019-02540-4. Epub 2019 Aug 31. PMID: 31473767.

7. Balakumar P., Kaur J. Arsenic exposure and cardiovascular disorders: an overview // Cardiovasc Toxicol. – 2009. – Vol. 9 (4). – P. 169-76. DOI: 10.1007/s12012-009-9050-6. PMID: 19787300.

8. Cardiovascular effects of arsenic: clinical and epidemiological findings / F. Stea, F. Bianchi, L. Cori, R. Sicari // Environ Sci Pollut Res Int. – 2014. – Vol. 21 (1). – P. 244–251. DOI: 10.1007/s11356-013-2113-z. Epub 2013 Sep 10. PMID: 24019140.

9. Essential hypertension in patients exposed to high-arsenic exposed areas in western China: Genetic susceptibility and urinary arsenic metabolism characteristics / J. Cheng, Y. Li, Q. He, L. Luo, Y. Zhang, Y. Gao, H. Feng, L. Zhao, W. Wei, S. Fu, D. Sun // J Trace Elem Med Biol. – 2021. – Vol. 67. – P. 126778. DOI: 10.1016/j.jtemb.2021.126778. Epub 2021 May 21. PMID: 34087579.

10. Hypertension among adults exposed to drinking water arsenic in Northern Chile / E.M. Hall, J. Acevedo, F.G. López, S. Cortés, C. Ferreccio, A.H. Smith, C.M. Steinmaus // Environ Res. – 2017. – Vol. 153. – P. 99–105. DOI: 10.1016/j.envres.2016.11.016. PMID: 27918984; PMCID: PMC5534354.

11. Kononenko M., Frishman W.H. Association Between Arsenic Exposure and Cardiovascular Disease // Cardiol Rev. – 2021. – Vol. 29 (4). – P. 217–221. DOI: 10.1097/CRD.0000000000000357. PMID: 32941260.

12. Mohanta R.K., Garg A.K., Dass R.S. Effect of vitamin E supplementation on arsenic induced alteration in blood biochemical profile, oxidant/antioxidant status, serum cortisol level and retention of arsenic and selenium in goats // J Trace Elem Med Biol. – 2015. – Vol. 29. – P. 188–194. DOI: 10.1016/j.jtemb.2014.08.013. Epub 2014 Sep 3. PMID: 25240912.

13. Moon K., Guallar E., Navas-Acien A. Arsenic exposure and cardiovascular disease: an updated systematic review // Curr Atheroscler Rep. – 2012. – Vol. 14 (6). – P. 542–555. DOI: 10.1007/s11883-012-0280-x. PMID: 22968315; PMCID: PMC3483370.

14. Protective Effect of Azadirachta indica and Vitamin E Against Arsenic Acid-Induced Genotoxicity and Apoptosis in Rats / A.A. Oyagbemi, T.O. Omobowale, O.E. Ola-Davies, O.A. Adejumobi, E.R. Asenuga, F.K. Adeniji, A.A. Adedapo, M.A. Yakubu // J Diet Suppl. – 2018. – Vol. 15 (3). – P. 251–268. DOI: 10.1080/19390211.2017.1336147. Epub 2017 Aug 4. PMID: 28777671.

15. Simeonova P.P., Luster M.I. Arsenic and atherosclerosis // Toxicol Appl Pharmacol. – 2004. – Vol. 198 (3). – P. 444–449. DOI: 10.1016/j.taap.2003.10.018. PMID: 15276425.

16. Singh S., Rana S.V. Ascorbic acid improves mitochondrial function in liver of arsenic-treated rat // Toxicol Ind Health. – 2010. – Vol. 26 (5). – P. 265–272. DOI: 10.1177/0748233710365694. Epub 2010 Mar 31. PMID: 20356860.

17. Urinary arsenic and heart disease mortality in NHANES 2003-2014 / A.E. Nigra, K.A. Moon, M.R. Jones, T.R. Sanchez, A. Navas-Acien // Environ Res. – 2021. – Vol. 200. – P. 111387. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111387. Epub 2021 Jun 6. PMID: 34090890; PMCID: PMC8403626.

Оценка мутагенности диоксида титана, пищевой добавки Е171, в тесте Эймса

А.А. Царёва, О.В. Егорова, Н.А. Илюшина

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Диоксид титана является одним из основных многотоннажных продуктов химической промышленности. В 2021 г. Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов был поднят вопрос о безопасности пищевой добавки на основе диоксида титана Е171 с точки зрения его генотоксической активности.

Осуществлена оценка мутагенности пищевой добавки на основе диоксида титана в тесте Эймса с использованием стандартного и модифицированного протоколов. Результаты исследований показали, что образец пищевой добавки Е171 на основе диоксида титана в рутильной форме в стандартных условиях не индуцирует обратные генные мутации у бактерий *S. typhimurium*. При модификации классического протокола теста Эймса (уменьшение pH инкубационной смеси, введение 10 мМ NaCl) выявлены слабо позитивные эффекты на штаммах TA100, TA98 и TA97 в присутствии постмитохондриальной фракции печени крыс.

Для решения вопроса о генетической безопасности применения Е171 в качестве пищевой добавки будет проведена оценка мутагенности ряда образцов диоксида титана с учетом его микроструктуры, в том числе с использованием других тестов *in vivo* и *in vitro*.

Ключевые слова: мутагенность, тест Эймса, обратные генные мутации, *Salmonella*.

За последние десятилетия наблюдается неуклонный рост производства продукции на основе наноматериалов. Диоксид титана, относящийся к группе пищевых красителей с сильным отбеливающим эффектом, является одним из основных многотоннажных продуктов химической промышленности. Его используют в составе оболочек таблетированных фармакологических препаратов, косметических средств, зубных паст, а также при изготовлении упаковок и материалов, контактирующих с пищей [8].

Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в 2021 г. провело оценку безопасности применения Е171. Согласно выводам экспертной группы EFSA пищевая добавка Е171 не может считаться безопасной ввиду возможного мутагенного действия наночастиц TiO_2, присутствующих в ее составе [7].

В исследованиях генотоксической активности диоксида титана с использованием целого ряда тестов, позволяющих выявлять генные, хромосомные и геномные мутации, получены противоречивые результаты, свидетельствующие как о наличии, так и об отсутствии мутагенной активности TiO_2 [4, 8].

В связи с возникшими опасениями по поводу безопасности частиц диоксида титана в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора начат цикл научно-исследовательских работ, посвященный оценке генотоксической активности пищевых добавок на основе диоксида титана, присутствующих на рынке в Российской Федерации. На первом этапе исследований оценивали способность образца Е171 индуцировать обратные генные мутации у бактерий.

Пищевую добавку диоксида титана Е171 (Китай, содержание основного вещества – 92,0 %, содержание рутильной формы – не менее 98 %) тестировали в диапазоне концентраций 0,05–5,0 мг/чашка с использованием штаммов *Salmonella typhimurium* TA97, TA98, TA100, TA1535, TA102.

Эксперимент проводили по методу стандартного чашечного теста, без метаболической активации и в присутствии микросомной активирующей смеси [2], а также в модифицированных условиях: выращивание клеток штаммов в присутствии метилированного циклодекстрина (МЦД), предварительная инкубация в течение одного часа (37 °С, 250 об./мин) в калий фосфатном буфере, pH 5,5, содержащем 10 мМ NaCl, и / или 3 М МЦД. В качестве отрицательного контроля использовали варианты с растворителем (вода дист.). Положительными контролями служили 2-аминоантрацен (10 мкг/чашка) в условиях метаболической активации, 2-нитрофлуорен (20 мкг/чашка, TA98), азид натрия (20 мкг/чашка, TA100 и TA1535), метилметансульфонат (10 мкг/чашка, TA102) и 9-аминоакридин (50 мкг/чашка, TA97) без метаболической активации. Критерии оценки мутагенности описаны в [5].

Статистическую обработку проводили с помощью программы SPSS Statistics v.22.0. Для оценки результатов, полученных в тесте Эймса, использовали *t*-тест для независимых выборок (для сравнения двух групп), тест Даннетта (для трех групп и более). Различия между группами считали статистически значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Результаты исследований мутагенной активности с помощью стандартного протокола теста Эймса свидетельствуют об отсутствии способности исследованного образца диоксида титана индуцировать обратные генные мутации у бактерий. В модифицированных условиях с предварительной инкубацией статистически значимые и зависимые от дозы эффекты обнаружены на штаммах TA100, TA97 и TA98 в вариантах протокола с добавлением в инкубационную смесь постмитохондриальной фракции печени крыс, 10 мМ NaCl или 10 мМ NaCl с МЦД. Однако кратность увеличения числа ревертантов не превышала 1,5–1,6 раза. Полученные результаты согласуются с опубликованными ранее данными о выявлении слабых мутагенных эффектов частиц диоксида титана на штаммах TA98, TA1537 и *Escherichia coli* (WP2uvrA), которые в большей степени проявлялись в присутствии системы метаболической активации [3].

Jomini et al. во флуктуационном тесте Эймса в условиях предварительной инкубации (-S9) в 10 мМ растворе NaCl при pH 5,5 также выявили слабые позитивные эффекты, индуцированные наночастицами (НЧ) диоксида титана. На штамме TA98 выявлена позитивная мутагенная активность одного образца диоксида титана (анатаз/рутил: 80/20) в условиях прединкубации в течение 0,1, 10 и 20 ч. На штамме TA102 позитивные эффекты выявлены на всех образцах, при этом кратность превышения числа ревертантов по сравнению с отрицательным контролем не превышала 1,6 раза. Авторами был сделан вывод, что позитивные эффекты, установленные в модифицированных условиях, связаны с лучшей проницаемостью частиц через клеточную стенку бактерий [6].

Согласно обзору Ахальцевой с соавт., позитивные мутагенные эффекты в тесте Эймса, индуцированные экспозицией с непокрытыми оболочкой НЧ металлов, чаще регистрируют в условиях метаболической активации. Несмотря на то что частицы металлов практически не подвергаются метаболизму с участием печеночных монооксигеназ, полагают, что компоненты микросомной фракции печени ла-

бораторных животных могут образовывать белковый слой на поверхности НЧ (белковую корону), который способствует лучшему поглощению частиц бактериальными клетками [1].

Выводы. Полученные данные свидетельствуют, что в стандартных условиях исследованный образец пищевой добавки Е171 не индуцирует обратные генные мутации у бактерий *S. typhimurium*. При модификации классического протокола теста Эймса (уменьшение pH инкубационной смеси, введение 10 мМ NaCl) выявлены слабо позитивные эффекты на штаммах TA100, TA98 и TA97 в присутствии постмитохондриальной фракции печени крыс. Для решения вопроса о генетической безопасности применения Е171 в качестве пищевых красителей необходимо оценить мутагенность диоксида титана в других тестах *in vitro* и *in vivo* с учетом размера и формы частиц. Кроме того, полный спектр исследований будет выполнен в отношении других образцов диоксида титана, присутствующих на рынке в Российской Федерации.

Список литературы

1. Ахальцева Л.В., Журков В.С., Ингель Ф.И. Мутагенная активность наноматериалов в тесте Эймса. Обзор литературы // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 11. – С. 1309–1320. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1309-1320

2. ГОСТ 32376-2013. Методы испытания по воздействию химической продукции на организм человека. Метод оценки обратных мутаций на бактериях / принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 18 октября 2013 г. № 60-П). – М., 2013. – 11 с.

3. Cellular uptake and mutagenic potential of metal oxide nanoparticles in bacterial cells / A. Kumar, A.K. Pandey, S.S. Singh [et al.] // Chemosphere. – 2011. – Vol. 83, № 8. – P. 1124–1132. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.01.025

4. Chen T., Yan J., Li Y. Genotoxicity of titanium dioxide nanoparticles // J. Food Drug Anal. – 2014. – Vol. 22, № 1. – P. 95–104. DOI: 10.1016/j.jfda.2014.01.008

5. Egorova O.V., Ilyushina N.A., Rakitskii V.N. Mutagenicity evaluation of pesticide analogs using standard and 6-well miniaturized bacterial reverse mutation tests // Toxicol. in Vitro. – 2020. – Vol. 69. – P. 105006. DOI: 10.1016/j.tiv.2020.105006

6. Modifications of the bacterial reverse mutation test reveals mutagenicity of TiO_2 nanoparticles and byproducts from a sunscreen TiO2-based nanocomposite / S. Jomini, J. Labille, P. Bauda, C. Pagnout // Toxicol. Lett. – 2012. – Vol. 215, № 1. – P. 54–61. DOI: 10.1016/j.toxlet.2012.09.012

7. Safety and efficacy of a feed additive consisting of titanium dioxide for all animal species (Kronos International, Inc.) / E.P. Additives, V. Bampidis, G. Azimonti [et al.] // EFSA Journal. – 2021. – Vol. 19, № 6. – P. 6630. DOI: 10.2903/j.efsa.2021.6630

8. Wani M.R., Shadab G. Titanium dioxide nanoparticle genotoxicity: A review of recent in vivo and in vitro studies // Toxicol. Ind. Health. – 2020. – Vol. 36, № 7. – P. 514–530. DOI: 10.1177/0748233720936835

Подходы к моделированию потребления продуктов питания различного качества для получения популяционных оценок

Г.Д. Щербаков[1,2]

[1]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»,
[2]ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии»,
г. Москва, Россия

Рассмотрены различные подходы к моделированию потребления продуктов питания различного качества, находящихся в торговой сети в субъектах Российской Федерации, для получения значимых, с точки зрения эпидемиологии питания, оценок.

Ключевые слова: качество пищевых продуктов, состояние питания населения, цифровая нутрициология, классификация пищевых продуктов, моделирование потребления, имитационное моделирование.

Оценка состояния питания населения является важной задачей на государственном уровне, которая определяет в том числе продовольственную политику страны. Низкая физическая активность в совокупности с нездоровым питанием выделяются Всемирной организацией здравоохранения как одни из наибольших вкладчиков в риски для здоровья во всем мире [11]. В связи с этим оценка состояния питания как «здорового» определяет и общее состояние здоровья населения.

Традиционными методами оценки состояния питания населения с целью получения наиболее достоверных результатов являются анкетирование и оценка меню-раскладок для организованных коллективов [13, 15]. Оценка нутриентного состава конкретных продуктов питания и блюд, вошедших в рационы, может быть также проведена с достаточно высокой точностью в случае кодирования конкретных продуктов и блюд с целью сопоставления с базой данных по конкретному наименованию, могут быть проведены дополнительные лабораторные исследования с целью подтверждения заявленного состава, а также применены прочие справочные материалы при учете соответствующего усреднения.

Переход с персонального и группового на популяционный уровень предполагает применение методов обобщения и усреднения информации, а именно расчет потребления на основании балансового метода [9], когда анализируется поступление всех продуктов питания в регион, и потребление определяется как деление всего поступившего объема на все население, и на основании бюджетного метода [10], т.е. выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств.

В обоих указанных случаях могут быть получены усредненные характеристики питания населения для сопоставления с нормами по продуктовому набору и по нормам физиологических потребностей. Однако в данном случае не проводится разделение различных групп населения, поэтому уровень потребления будет характеризовать именно среднего потребителя.

Одновременно с этим необходимо понимание, что указанная оценка характеризует именно условный рацион как совокупность всех продуктов в него входящих. Тогда возможна оценка вклада отдельных групп продуктов или отдельных нутриентов в данный рацион. Подобные оценки не являются новыми, однако они все имеют в основе предположение о некоторой однородности продуктов по исследуемым показателям качества внутри группы. В реальности же качество пищевых продуктов может быть разнообразным и требуется определить, как именно это разнообразие, с точки зрения потребления населением, возможно оценить.

Рынок продовольственных товаров является сам по себе разнообразным, а при подобной широте выбора и покупательские предпочтения среди различных групп населения являются не только очень разнонаправленными, но и не постоянными во времени. Новейшие исследования, в которых оценивается влияние возможных факторов на процесс выбора, используют практически весь набор современных компьютерных методов моделирования, анализа данных, а также нейросетевые методы и методы машинного обучения [12, 16].

При рассмотрении вопроса выбора наиболее качественного продукта из набора альтернативных вариантов возникает дополнительная проблема, связанная с тем, что набор фактов, влияющих на процесс выбора, скрыт от конечного потребителя продукта. Несмотря на то что около 90 % населения изучают состав продуктов [3], большая часть показателей не обязательны к указанию при маркировке [4].

Таким образом, для получения популяционных оценок необходимо проводить моделирование, исходя из близкого к случайному процессу выбора пищевого продукта из ограниченного набора альтернатив известного качества.

Цель исследования – разработать модель потребления продуктов питания различного качества для получения популяционных оценок.

Материалы и методы. В качестве базы данных о химическом составе пищевых продуктов использовались сведения, полученные посредством анализа базы результатов исследований качества и безопасности пищевых продуктов, выполненных в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» в 2020–2021 гг. По результатам данного проекта также получены сведения об ассортименте пищевой продукции в торговых точках, а также об их количестве. Среднее количество торговых точек в регионе порядка 5 тыс., средняя величина ассортимента для молока составляет в среднем от 4 до 13 наименований, средняя величина ассортимента для творога – в среднем от 3 до 12 наименований.

Демографические показатели были взяты из официальных статистических сборников за 2021 г. Федеральной службы государственной статистики.

Алгоритм обработки результатов исследований аналогичен ранее представленному [5].

Исходными ограничениями, которые были установлены для моделирования, являлись следующие:

1. Потребитель является рациональным относительно исследуемого показателя качества продукции, и в условиях отсутствия каких-либо сведений о продукте его выбор определен только ценой.

2. В рамках проводимых исследований качества пищевой продукции установить корректную «стандартизованную» цену на конкретные продукты питания невозможно. Учитывая большое влияние скидок и непостоянный характер цен даже внутри одной линейки продукции, установить достоверную разницу между ценой

на разные продукты также не предоставляется возможным. В связи с этим предполагается, что выбор зависит только от характера поведения потребителя и подчиняется различного вида случайным распределениям.

3. В связи с тем что необходимо получить популяционный срез, рассматривались только группы продуктов и соответствующее им потребление.

4. Распределение продуктов в торговых точках случайно.

Результаты. Как базовый подход рассматривались два вида моделей выбора продукта:

1. Выбор характеризуется дискретной случайной величиной, то есть вероятность выбора того или иного продукта из группы равняется доле группы во всей совокупности.

2. Распределение выбора продуктов подчиняется принципу Парето, то есть, например, для трех групп продуктов вероятности будут составлять 80, 15 и 5 процентов соответственно. Для данной ситуации рассматривалось именно правило, так как распределение Парето является непрерывным, что будет нехарактерно для непересекающихся групп, как будет показано далее.

Было рассмотрено распределение содержания кальция в твороге. Для творога жирностью 9 % было получено пять групп с различным содержанием кальция (табл. 1).

Таблица 1

Содержание кальция в твороге 9%-ной жирности

Номер группы	Количество образцов в группе	Среднее	Стандартное отклонение	CV
1	16	473,59	163,15	34,45
2	48	946,05	78,67	8,32
3	26	1175,02	42,62	3,63
4	30	1375,58	57,62	4,19
5	20	1650,62	45,87	2,78

Тогда при достаточно большом ассортименте вероятность выбрать творог с содержанием кальция из заданной группы будет стремиться к соответствующим весам групп, то есть соответственно 11,4; 34,3; 18,6; 21,4; 14,3 %. При укрупнении для аппроксимации по принципу Парето были объединены кластеры со 2-го по 4-й, для которых вероятность устанавливается на уровне 80 %, по остальным группам может быть рассмотрено два случая, когда для 1-го и 5-го кластеров устанавливаются вероятности 5 и 15 % соответственно.

Данный подход ограничен тем, что не существует такой торговой точки или их совокупности, где будет одновременно представлен весь потенциальный ассортиментный ряд. Если подходить подобным образом, то при моделировании на достаточно большом объеме по закону больших чисел и центральной предельной теореме будет получено распределение, стремящееся к исходному распределению нутриента по результатам исследований, и будет получена вышеуказанная вероятность [6, 7].

Также возможно определить вероятности нахождения заданного количества образцов с малым содержанием кальция в зависимости от широты ассортимента в торговой точке, используя формулы гипергеометрической прогрессии. Полученные вероятности также будут являться не совсем показательными, так как предполагают равномерность распределения вероятностей, самих торговых точек и прочих атрибутов.

Для получения адекватной модели необходимо случайным образом получить малую выборку, которая сама по себе как раз не будет характеризовать генеральную совокупность, но может выступать как модель одной торговой точки.

Для получения оценок, которые могут быть в дальнейшем использованы для принятия управленческих решений, для имитационного моделирования был использован метод Монте-Карло, по аналогии с его применением в области установления суточных доз различных пестицидов [14] и пищевых канцерогенов [8]. Для каждой генерируемой торговой точки было определено ее нахождение – город или сельский населенный пункт. В зависимости от региона соотношение торговых точек в городе и селе варьировалось от 70:30 до 40:60. С помощью генератора случайных чисел для указанного ранее количества торговых точек был сгенерирован различный ассортимент творога. Так как сведения об ассортименте представлены суммарно для творога различной жирности, генерация производилась по всей совокупности. В торговых точках, расположенных в сельских населенных пунктах, ассортимент находился в диапазоне от 2 до 5 наименований, для городов – от 3 до 12.

Для каждой торговой точки предполагалось, что она обслуживает от 200 до 1000 человек для сельского населенного пункта и от 200 до 3000 человек для города. В сгенерированном количестве обслуживаемого населения определялась категория человека в зависимости от нормы физиологической потребности, то есть взрослый, пожилой или подросток, соответствующее соотношение принималось фиксированным – 70:30. Категория детей с меньшей нормой физиологической потребности была опущена в связи с нецелесообразностью рассмотрения одного творога как элемента рациона.

Для каждого подобного соотношения множества человек к торговой точке был сгенерирован выбор продукта из ранее определенного ассортимента. Получены элементы описательной статистики для каждого из рассмотренных факторов (табл. 2). Для каждой комбинации наблюдалось различие в средних, которое было достоверным только для различных категорий по уровню потребления, что является естественным. Полученная численность будет больше средней по субъекту в связи с тем, что на одного человека может приходиться более чем одна торговая точка.

Таблица 2

Объем творога необходимый для удовлетворения суточной потребности в кальции, кг

Категория населения	Тип населенного пункта	Число людей в группе	Минимум	Среднее	Максимум
Пожилой Подросток	Село	397 835	0,6693	1,2092	4,6512
Пожилой Подросток	Город	1 331 775	0,6693	1,2123	4,6512
Взрослый	Село	929 686	0,5577	1,0075	3,876
Взрослый	Город	3 099 295	0,5577	1,01	3,876
Взрослый	Оба типа	4 028 981	0,5577	1,0094	3,876
Пожилой Подросток	Оба типа	1 729 610	0,6693	1,2116	4,6512

При проведении группировки внутри видов населенных пунктов было получено следующее разбиение на группы (табл. 3). Данное разделение является более показательным, так как различие между группой с малым средним содержаниям кальция в твороге и максимальным будет практически в два раза.

Таблица 3

Группы торговых точек в зависимости от среднего содержания кальция в твороге на полке

Тип населенного пункта	Число торговых точек	Средний объем творога необходимый для удовлетворения суточной потребности в кальции, кг
Город	202	1,74130654
Село	282	
Город	1029	1,20436816
Село	532	
Город	1541	0,88354715
Село	1414	

В результате моделирования методом Монте-Карло была получена совокупность торговых точек, образцов творога в них и людей, потребляющих данный творог. Наблюдаются существенные различия в средних величинах объема творога, необходимого для удовлетворения суточной потребности между различными группами как населенных пунктов, так и населения. Так, меньшая широта ассортимента в сельских торговых точках увеличивает число торговых точек с творогом с наименьшим количеством кальция на 40 %.

Особенное беспокойство полученные результаты вызывают в связи с тем, что исходная частота потребления молочных продуктов является недостаточно высокой, что в комбинации с низким качеством исходного продукта может приводить к существенному дефициту кальция, что, в свою очередь, может приводить к повышению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета второго типа и некоторых онкологических заболеваний [1].

Выводы. Совмещение сведений о химическом составе пищевых продуктов и их распространенности в торговых точках позволяет получить новые оценки, которые могут быть использованы в эпидемиологии питания.

Учитывая неспособность человека органолептически определять большинство микро- и макронутриентов, можно заключить, что рациональный выбор продукта питания является практически невозможным и близок к случайному. В результате добровольности и низкой эффективности систем маркировки [2] требуется наличие системы контроля и управления качеством выпускаемой продукции.

Представленная модель имеет перспективы развития и совершенствования. Так, требуется рассмотреть влияние изменения объемов образцов различного качества, широты ассортимента и количества торговых точек, а также добавление альтернативных влияющих факторов.

Список литературы

1. Батурин А.К., Шарафетдинов Х.Х., Коденцова В.М. Роль кальция в обеспечении здоровья и снижении риска развития социально значимых заболеваний // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91, № 1. – С. 65–75. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-1-65-75

2. Борцова Е.Л., Лаврова Л.Ю., Калугина И.Ю. Изучение зависимости между системой ценности потребителя и качеством пищевой продукции // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18, № 19. – С. 2841–2848. DOI: 10.18334/rp.18.19.38356

3. Беркетова Л.В., Прошина К.Ю. Система «Светофор» в пищевой отрасли // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5, № 5. – С. 183–191. DOI: 10.33619/2414-2948/42/25

4. О необходимости совершенствования требований к маркировке пищевых продуктов в Российской Федерации и Евразийском экономическом союзе / А.К. Батурин, О.В. Арнаутов, О.В. Багрянцева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 2. – С. 192–198. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-192-198

5. Щербаков Г.Д., Бессонов В.В. Подходы к алгоритму анализа результатов исследований микро- и макронутриентного состава хлебобулочных изделий. Сообщение первое // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – № 4. – С. 44–53. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-4-44-53

6. Chen P., Sung S.H. On the Jajte strong law of large numbers // Statistics & Probability Letters. – 2021. – Vol. 176. – P. 109138. DOI: 10.1016/j.spl.2021.109138

7. Chen Z., Epstein L.G. A central limit theorem for sets of probability measures // Stochastic Processes and their Applications. – 2022. – Vol. 152. – P. 424–451. DOI: 10.1016/j.spa.2022.07.003

8. Estimation of the dietary intake and risk assessment of food carcinogens (3-MCPD and 1,3-DCP) in soy sauces by Monte Carlo simulation / S.F. Wong, B.Q. Lee, K.H. Low [et al.] // Food Chem. – 2020. – Vol. 311. – P. 126033. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.126033

9. Food counts. Measuring food consumption and expenditures in household consumption and expenditure surveys (HCES). Introduction to the special issue / A. Zezza, C. Carletto, J.L. Fiedler [et al.]. // Food Policy. – 2017. – Vol. 72. – P. 1–6. DOI: 10.1016/j.foodpol.2017.08.007

10. Grünberger K. Estimating food consumption patterns by reconciling food balance sheets and household budget surveys [Электронный ресурс]. – Rome: FAO, 2014. – URL: http://www.fao.org/3/a-i4315e.pdf (дата обращения: 01.09.2022).

11. Healthy diet [Электронный ресурс] // WHO. – 2020. – URL: https: //www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (дата обращения: 01.09.2022).

12. Jacobs B.J.D., Donkers B., Fok D. Model-Based Purchase Predictions for Large Assortments // Marketing Science. – 2016. – Vol. 35, № 3. – P. 389–404. DOI: 10.1287/mksc.2016.0985

13. Johnson R.K. Dietary intake – how do we measure what people are really eating? // Obes. Res. – 2002. – Vol. 10, Suppl. 1. – P. 63S–68S. DOI: 10.1038/oby.2002.192

14. Nishikawa H., Toyokawa H. An Improved Method for Estimating Daily Intake of Environmental Contaminants Using Monte-Carlo Simulation // Japanese Journal of Hygiene. – 1996. – Vol. 51, № 3. – P. 685–694. DOI: 10.1265/jjh.51.685 (in Japanese).

15. Shim J-S., Oh K., Kim H.C. Dietary assessment methods in epidemiologic studies // Epidemiol. Health. – 2014. – Vol. 36. – P. e2014009. DOI: 10.4178/epih/e2014009

16. Wan M., Wang D., Goldman M. [et al.]. Modeling Consumer Preferences and Price Sensitivities from Large-Scale Grocery Shopping Transaction Logs // WWW'17: Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web. – 2017. – P. 1103–1112. DOI: 10.1145/3038912.3052568

Раздел IV

Современные методы диагностики, коррекции и профилактики нарушений здоровья, ассоциированных с факторами среды обитания. Новые знания и подходы по оценке COVID-19, пути решения проблемы

Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на иммунную систему взрослого населения, проживающего на территории промышленно развитого региона Сибири

Н.А. Вдовина, О.В. Долгих

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

Иммунный статус взрослого населения характеризуется снижением фагоцитарной активности лейкоцитов (процент фагоцитоза, фагоцитарное число) ($p < 0,05$), что указывает на угнетение клеточного звена врожденного иммунитета. Одновременно гуморальный иммунный статус взрослого населения Сибирского промышленно развитого региона характеризуется избыточным содержанием сывороточных антител IgG, IgM и IgA и признаками гиперсенсибилизации к техногенным гаптенам по критерию специфических IgG к бенз(а)пирену и IgE к формальдегиду относительно группы сравнения ($p < 0,05$). Установлена достоверная положительная причинно-следственная связь активации процента фагоцитоза и фагоцитарного числа с концентрацией формальдегида в крови ($p < 0,05$). Достоверность изменений верифицирована оценкой отношения шансов с достоверной вероятностью повышения концентрации IgG к бенз(а)пирену при увеличении концентрации бенз(а)пирена в крови ($p < 0,05$).

Ключевые слова: загрязнения атмосферного воздуха, иммунный статус, формальдегид, бенз(а)пирен, взрослое население.

Ведущее место среди основных факторов риска для здоровья населения занимает загрязнение атмосферного воздуха. Треть населения России проживает в условиях загрязнения воздушной среды, обусловленного выбросами от автотранспортных средств и промышленных предприятий, приоритетными загрязнителями являются бенз(а)пирен, формальдегид, шестивалентный хром, сероводород, диоксид азота и пыль [5]. Основным путем поступления поллютантов в организм является ингаляционный [2].

Для территорий с высокой экологической нагрузкой, к которым относятся многие регионы Сибири, влияние химических техногенных факторов может быть еще более значимым, поэтому их оценка представляется наиболее актуальной [9]. По данным государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды на территории Сибирского региона уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризуется как «очень высокий» [3]. Приоритетными загрязняющими примесями в атмосфере являются бенз(а)пирен, формальдегид (среднегодовая концентрация превысила гигиенический норматив в 3,4 и 6,40 раза соответственно), взвешенные вещества, диоксид азота. Превышающие нормативы концентрации токсикантов в окружающей среде способствуют увеличению распространенности острых респираторных инфекций, хронических неспецифических заболеваний органов дыхания, аллергических заболеваний, ишемической болезни сердца, болезней пищевари-

тельной и эндокринной систем, гипертонической болезни, онкологической заболеваемости и врожденных аномалий развития [4, 7, 8].

Ароматическая фракция углеводородов содержит полициклические ароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен, обладающий выраженными канцерогенными и мутагенными свойствами. Являясь чрезвычайно устойчивыми к разложению в окружающей среде, полициклические ароматические углеводороды через пищевые цепочки экосистем распространяются на значительные расстояния, накапливаясь в рыбе, животных и воде. Попадая в организм человека, данные соединения накапливаются в жировых тканях, вызывая генетические мутации и неопластические процессы [6]. Бенз(а)пирен – канцероген первого класса опасности, вызывающий изменения эпителия дыхательных путей, обострение приступов бронхиальной астмы, приводящий к развитию рака легких. Формальдегид также является канцерогеном, но, в отличие от бенз(а)пирена, имеет второй класс опасности. Он обладает раздражающим и бронхоспастическим действием, вызывает развитие острых приступов бронхиальной астмы. При поступлении с воздухом формальдегид вызывает раздражение верхних дыхательных путей и формирование аллергического ринита [1].

Цель исследования – оценка показателей иммунной системы у взрослого населения, проживающего на территории промышленно развитого региона Сибири (на примере бенз(а)пирена и формальдегида).

Материалы и методы. Проведено клинико-лабораторное обследование взрослого населения, постоянно проживающего на территории промышленного центра Сибирского региона. Всего обследовано 76 человек в возрасте от 24 до 49 лет. Группу наблюдения составил 51 человек, проживающий вблизи территории размещения предприятия металлургической промышленности. Группу сравнения составили 25 человек, проживающих на условно чистой территории, на которой отсутствует размещение промышленных предприятий. Группы сопоставимы по возрасту, социальному статусу и этнической принадлежности.

Химико-аналитическое определение в крови формальдегида и бенз(а)пирена проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Исследование фагоцитарной активности лейкоцитов периферической венозной крови осуществлялось с использованием формалинизированных эритроцитов барана; содержание сывороточных иммуноглобулинов (IgG, IgM, IgA) – методом радиальной иммунодиффузии по Манчини.

Определение уровня специфических антител к факторам химической нагрузки по критерию IgG к бенз(а)пирену, IgE к формальдегиду проводились методом аллергосорбентного тестирования с ферментной меткой.

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы математической статистики при участии пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, США). Методом вариационной статистики рассчитывались среднее арифметическое (M) и стандартная ошибка среднего (m). Достоверность различий между группами оценивалась по t-критерию Стьюдента. Зависимости «маркер экспозиции – маркер эффекта» определялись с помощью математического моделирования методом корреляционно-регрессионного анализа с расчетом критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2). Различия между группами считались достоверными при $p < 0{,}05$.

Результаты. В условиях постоянного воздействия химических факторов риска, связанных с функционированием металлургических предприятий, у взрослого населения группы наблюдения по отношению к группе сравнения установлено повышенное содержание в крови формальдегида (0,04644 ± 0,010416 мкг/см^3) – в 1,61 раза (p = 0,02), бенз(а)пирена (0,008085 ± 0,003389 мкг/дм^3) – в 4,04 раза (p = 0,004).

Клинико-лабораторные исследования состояния здоровья взрослого населения позволили установить наличие изменений со стороны показателей иммунной системы (таблица).

Иммунологические показатели взрослого населения, проживающего на территории промышленного центра Сибири

Показатель	Физиологическая норма	Группа наблюдения, (n = 51), $M \pm m$	Группа сравнения, (n = 25), $M \pm m$
IgG, г/дм^3	10,0–18,0	17,198 ± 1,428*	12,215 ± 1,696
IgM, г/дм^3	1,10–2,50	1,624 ± 0,122*	1,386 ± 0,197
IgA, г/дм^3	1,10–3,00	2,774 ± 0,262*	2,096 ± 0,437
Абсолютный фагоцитоз, 10^9/дм^3	1–2	1,777 ± 0,25	2,089 ± 0,451
Процент фагоцитоза, %	35–60	44,96 ± 3,06*	52,0 ± 6,231
Фагоцитарное число, усл. ед.	0,8–1,2	0,852 ± 0,072*	1,025 ± 0,154
Фагоцитарный индекс, усл. ед.	1,5–2,0	1,894 ± 0,089	1,972 ± 0,19
IgE спец. к формальдегиду, МЕ/см^3	0–0,15	0,182 ± 0,04*	0,092 ± 0,033
IgG спец. к бенз(а)пирену, усл. ед.	0–0,1	0,198 ± 0,067*	0,062 ± 0,052

Примечание: * – различия с группой сравнения статистически значимы (p < 0,05).

Сравнительный анализ с показателями группы сравнения позволил установить, что в группе наблюдения обследованного взрослого населения, проживающего в зоне влияния химических факторов риска, прослеживаются достоверные изменения показателей врожденного клеточного иммунитета: снижение фагоцитарной активности лейкоцитов по критерию процента фагоцитоза в 1,16 раза (p = 0,038), а также фагоцитарного числа по отношению к контролю – в 1,20 раза (p = 0,038).

Использование методического приема оценки отношения шансов изменения иммунологических тестов при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах выявило достоверную положительную причинно-следственную связь активации процента фагоцитоза (R^2 = 0,76 при p < 0,05) и фагоцитарного числа (R^2 = 0,56 при p < 0,05) с концентрацией формальдегида.

Выявленные признаки угнетения клеточного звена иммунного ответа взрослого населения промышленно развитого региона сочетаются с гиперактивацией гуморального иммунного ответа. Установлено достоверное повышение продукции сывороточных антител классов IgG в 1,41 раза (p = 0,000), IgM – в 1,17 раза (p = 0,038) и IgA – в 1,32 раза (p = 0,008).

Установлено повышение шансов изменения показателей гуморального иммунитета при возрастании уровня контаминантов в биологических средах: так, повышение содержания IgG и IgM связано с возрастанием концентрации формальдегида (R^2 = 0,20–0,25 при p < 0,05), также возрастание концентрации бенз(а)пирена вызывает достоверное повышение содержания IgA и IgG (R^2 = 0,70–0,77 при p < 0,05).

Достоверно повышен уровень специфической сенсибилизации к бенз(а)пирену по критерию IgG в 3,19 раза (p = 0,002) и IgE к формальдегиду в 1,98 раза (p = 0,001) по отношению к группе сравнения.

Достоверность изменений верифицирована установленной вероятностью повышения концентрации IgG к бенз(а)пирену при увеличении концентрации бенз(а)пирена в крови ($R^2 = 0{,}57$ при $p < 0{,}05$) (оценка отношения шансов).

Выводы. По результатам оценки иммунного статуса взрослого населения, проживающего в промышленно развитом регионе Сибири, выявлены нарушения клеточного звена врожденного иммунитета – снижение фагоцитарной активности лейкоцитов (по критерию процента фагоцитоза и фагоцитарного числа), достоверное по отношению к группе сравнения. Гуморальный иммунный статус взрослого населения характеризуется избыточным содержанием сывороточных антител IgG, IgM и IgA и признаками гиперсенсибилизации к техногенным гаптенам по критерию специфических IgG к бенз(а)пирену и IgE к формальдегиду относительно группы сравнения.

По результатам оценки отношения шансов установлено, что с увеличением концентрации контаминантов в биологических средах нарастает повреждающее воздействие токсикантов на организм. Так, при увеличении концентрации формальдегида в крови происходит снижение фагоцитарной активности лейкоцитов (по критерию процента фагоцитоза и фагоцитарного числа), а также повышение содержания IgG и IgM. Повышение концентрации бенз(а)пирена в крови сопровождается гиперпродукцией общих IgG и IgA, а также достоверным повышением содержания специфического IgG к бенз(а)пирену.

Список литературы

1. Березин И.И., Семаева Е.А. Современное состояние атмосферного воздуха в городе с интенсивным развитием нефтеперерабатывающей промышленности // Здоровье населения и среда обитания (ЗНиСО). – 2017. – № 3 (288). – С. 18–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-288-3-18-22

2. Гигиеническая оценка опасности репродуктивных нарушений у жителей крупного промышленного центра / А.Е. Носов, В.Б. Алексеев, Е.М. Власова, О.Ю. Дугина // Здоровье населения и среда обитания (ЗНиСО). – 2014. – № 12 (261). – С. 15–17.

3. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. – URL: http://www.mpr.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/20000_gosdoklad_2021.pdf (дата обращения: 03.08.2022).

4. 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 (16). – С. 12–26.

5. Оценка показателей заболеваемости и риска для здоровья населения экологически неблагополучного района крупного промышленного центра / Ю.В. Мякишева, И.В. Федосейкина, Н.А. Михайлюк, О.Я. Сказкина, Р.А. Боганова, Ю.А. Алешина // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 68–2. – С. 51–57. DOI: 10.18411/lj-12-2020-66

6. Паспорт Федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на 2014–2025 годы [Электронный ресурс] // Технологиче-

ская платформа БиоТех2030. – URL: http://biotech2030.ru/wpcontent/uploads/2015 (дата обращения: 09.08.2022).

7. Ревич Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 4 (121). – С. 87–99.

8. Сравнительный анализ экологической безопасности производств крупного нефтеперерабатывающего предприятия по критериям риска для здоровья населения / И.В. Май, С.А. Вековшинина, С.В. Клейн, С.Ю. Балашов, В.С. Евдошенко // Медицина труда и промышленная экология. – 2011. – № 11. – С. 11–16.

9. Сырцова Е.А. Влияние экологических факторов на здоровье населения муниципалитетов Сибири // Труды II Гранберговской конференции. Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность: сборник докладов всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти академика А.Г. Гранберга. – Новосибирск, 2021. – С. 513–520. DOI: 10.53954/9785604607893_513

Особенности специфической сенсибилизации к техногенным контаминантам у взрослого населения крупного промышленного центра Восточной Сибири (на примере формальдегида)

М.Н. Вершинин[1], О.В. Долгих[1,2], Е.А. Красулина[1]

[1]ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
[2] ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Были осуществлены замеры концентраций значимых контаминантов в биосредах взрослого населения крупного промышленного центра Восточной Сибири. Проведён анализ сывороточных иммуноглобулинов A, G, M и уровня фагоцитоза. Оценка гиперчувствительности к формальдегиду производилась путём измерения содержания специфических антител класса E. Выявлена преимущественная гиперпродукция сывороточных антител A, G, M в группе наблюдения по отношению к группе сравнения. Статистически значимо превышен уровень специфической сенсибилизации к формальдегиду по отношению к группе сравнения.

Ключевые слова: взрослое население, специфическая сенсибилизация, химические факторы риска, формальдегид.

Население промышленных районов крупных городов, а также прилегающих территорий нередко подвержено особо интенсивной нагрузке химическими веществами, что является важным фактором формирования негативного иммунологиче-

ского профиля населения. Например, отмечается рост частоты аллергопатологии в экологически неблагоприятных районах [6–8, 10].

Известно, что формальдегид, являясь низкомолекулярным самостоятельно неиммуногенным соединением (гаптеном), обладает общим токсическим, канцерогенным и аллергенным действием [1, 5]. При этом данное вещество является одним из основных контаминантов атмосферного воздуха промышленных зон, а также входит в состав выхлопных газов автомобилей [3]. Выявлены статистически значимые зависимости показателей иммунного ответа в системе «маркер экспозиции – маркер эффекта» у лиц, экспонированных формальдегидом, – показано отрицательное влияние этого вещества на состояние иммунитета [2], а именно угнетающее действие формальдегида на клеточную ветвь иммунитета, выраженное в снижении активности Т-лимфоцитов, супрессии синтеза цитокинов [9].

Современные тенденции в области охраны здоровья населения направлены на разработку мероприятий и методов для оценки и уменьшения рисков, связанных с воздействием техногенных факторов [4]. Это требует понимания закономерностей системы «маркер экспозиции – маркер эффекта».

Цель исследования – оценка влияния экспозиции химическими веществами на показатели иммунитета.

Материалы и методы. Группа наблюдения состояла из 129 человек (7 мужчин, 122 женщины), проживающих в крупном промышленном центре Восточной Сибири, в группу сравнения вошли 60 человек (2 мужчин, 58 женщин), проживающих на «условно чистой» городской территории Восточной Сибири. Различие выборок по одному критерию – степень экспозиции химическими веществами – обосновывает адекватность результатов. Анализ проводился только при получении информированного согласия пациента, что удовлетворяет требованиям этики.

Количество общих иммуноглобулинов классов A, G, M в сыворотке крови определялось путём постановки реакции радиальной иммунодиффузии (по Манчини). Исследование фагоцитарной активности клеток проводилось с использованием формалинизированных эритроцитов барана в качестве объектов фагоцитоза. Измерение содержания специфических к поллютантам иммуноглобулинов производилось методом иммуноферментного анализа. Статистическая обработка выполнялась с помощью критерия *t* Стьюдента. Достоверность отличий между группами считалась значимой при $p \leq 0{,}05$.

Результаты. Результаты сравнительного анализа содержания контаминантов в биосредах представлены в табл. 1. Среднегрупповые концентрации формальдегида в крови группы наблюдения превышают таковые в группе сравнения в 1,5 ($p = 0{,}00$) раза.

Результаты сравнительного анализа содержания иммуноглобулинов в биосредах и фагоцитарной активности представлены в табл. 2.

Выявлены колебания концентраций иммуноглобулинов A, G, M в сыворотке, при этом гиперэкспрессия преобладает. Отмечается повышение содержания общего IgE в группе наблюдения по отношению к группе сравнения. При этом фиксируется статистически значимая ($p < 0{,}05$) гиперэкспрессия IgE к формальдегиду (в 1,88 раза), достигающая частоты в 59,7 %. Активность фагоцитирующих клеток в группе наблюдения статистически значимо ($p < 0{,}05$) снижена по отношению к группе сравнения, распространённость понижения составила 64,5 % (по показателю процента фа-

гоцитоза), при этом частота отклонений ниже нормы достигала 45,2 % (по показателю фагоцитарного числа).

Таблица 1

Сравнительный анализ химического состава крови

Вещество	Группа наблюдения	Группа сравнения	Анализ частот по отношению к группе сравнения			Межгрупповое различие по средним
	$M \pm m$, мкг/см^3	$M \pm m$, мкг/см^3	выше группы сравнения, n (%)	на уровне группы сравнения, n (%)	ниже группы сравнения, n (%)	p_1
Формальдегид	**0,0511 ± 0,0067**	**0,0330 ± 0,0050**	**84 (53)**	**26 (17)**	**47 (30)**	**0,00**

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей иммунной системы

Показатель	Физиологическая норма, $M \pm m$	Среднее в группе наблюдения, $M \pm m$	Среднее в группе сравнения, $M \pm m$	Анализ частот по отношению к группе сравнения, %		Межгрупповое различие по средним p
				выше	ниже	
Спец. IgE к формальдегиду, МЕ/см^3	**0–0,15**	**0,169 ± 0,025**	**0,09 ± 0,011**	**59,7**	**34,1**	**0,000**
IgE общий, МЕ/см^3	0–149,9	73,27 ± 30,267	50,57 ± 19,388	20,2	65,9	0,227
IgG, г/дм^3	**10–18**	**17,319 ± 0,708**	**12,025 ± 0,838**	**86,8**	**6,2**	**0,000**
IgM, г/дм^3	**1,1–2,5**	**1,662 ± 0,081**	**1,451 ± 0,104**	**51,9**	**25,6**	**0,001**
IgA, г/дм^3	**1,1–3**	**2,678 ± 0,164**	**2,083 ± 0,202**	**62,0**	**18,6**	**0,000**
Фагоцитарное число, усл. ед.	0,8–1,2	0,844 ± 0,073	1,015 ± 0,086	6,5	67,7	0,003
Процент фагоцитоза	**35–60**	**46,548 ± 3,093**	**52,484 ± 3,076**	**19,4**	**64,5**	**0,009**

Выводы. Зафиксированный избыточный уровень контаминации крови формальдегидом в группе наблюдения по отношению к группе сравнения и обнаруженное статистически значимое повышение концентрации IgE специфичных к формальдегиду показывает наличие адекватной зависимости параметров в системе «маркер экспозиции – маркер эффекта». Данный факт свидетельствует о наличии сенсибилизации к химическим веществам у населения крупного промышленного центра Восточной Сибири, проживающего в зоне постоянной экспозиции ксенобиотиками. При этом наличие тенденции к гиперэкспрессии иммуноглобулинов в совокупности со снижением активности фагоцитов говорит о наличии дисбаланса в иммунной регуляции, угнетении клеточного звена иммунитета и компенсаторной активации гуморального звена.

Список литературы

1. Долгих О.В., Кеворков Н.Н. Аналитические аспекты диагностики сенсибилизации к низкомолекулярным соединениям // Экология человека. – 2005. – № 8. – С. 40–42.

2. Долгих О.В., Кеворков Н.Н. Особенности функционального состояния иммунной системы в условиях воздействия низкомолекулярных химических соединений // Медицинская иммунология. – 2002. – № 3. – С. 496.

3. Дорогова В.Б., Тараненко Н.А., Рычагова О.А. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор) // Acta Biomedica Scientifica. – 2010. – № 1.

4. Зайцева Н.В., Долгих О.В., Дианова Д.Г. Особенности иммунологических и генетических нарушений человека в условиях дестабилизации среды обитания. – Пермь: изд-во перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – 300 с.

5. Индивидуальная экспозиционная нагрузка формальдегидом и сенсибилизация организма подростков / Л.Б. Маснавиева, И.В. Кудаева, Н.В. Ефимова [и др.] // Экология человека. – 2017. – № 6. – С. 3–8.

6. Маснавиева Л.Б., Ефимова Н.В., Кудаева И.В. Риск развития сенсибилизации к экополлютантам у подростков с наследственным химическим грузом // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 2. – С. 123–131. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.12

7. Овсянников Н.В., Ляпин В.А., Авдеев С.Н. Загрязнение окружающей среды и заболеваемость бронхиальной астмой взрослого населения крупного промышленного города // Казанский медицинский журнал. – 2011. – № 4. – С. 577–581.

8. Особенности кардиальных нарушений у детей с хроническими заболеваниями органов дыхания, ассоциированными с аэрогенным воздействием химических факторов среды обитания / О.А. Маклакова, О.Ю. Устинова, Е.С. Беляева [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1. – С. 42–49. DOI: 10.21668/health.risk/2016.1.05

9. Formaldehyde exposure induces regulatory T cell-mediated immunosuppression via calcineurin-NFAT signalling pathway / J. Park, H.S. Yang, M.K. Song, D.I. Kim, K. Lee // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10 (1). – P.17023. DOI: 10.1038/s41598-020-72502-9. PMID: 33046725; PMCID: PMC7550593

10. Occupational Exposure to Urban Air Pollution and Allergic Diseases / L. Vimercati, M.F. Gatti, A. Bal-dassarre, E. Nettis, N. Favia, M. Palma, G.L. Martina, E. Di Leo, M. Musti // Int. J. Environ. Res. Public. Health. – 2015. – Vol. 12, № 10. – P. 12977–12987. DOI: 10.3390/ijerph121012977

Определение содержания редкоземельных элементов, ниобия и тантала в крови работников металлургического предприятия

М.В. Волкова, А.В. Недошитова

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

Приведены данные по исследованию содержания редкоземельных элементов (РЗЭ), ниобия и тантала в крови работников металлургического предприятия методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой по разработанным методикам (ФР.1.31.2019.32618, ФР.1.31.2019.34043). Обследованы работники, непосредственно занятые в производственных процессах. Ввиду отсутствия нормативов содержания данных элементов в крови в качестве контрольной группы использовали работников предприятия, изолированных от производственных процессов. Получены достоверные различия в массовых концентрациях по ряду элементов между обследуемой и контрольной группами.

Ключевые слова: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, редкоземельные элементы, ниобий, тантал, кровь.

Учитывая почти повсеместное использование редкоземельных элементов, ниобия и тантала в различных отраслях промышленности, можно наблюдать, что в последние десятилетия произошел резкий рост темпов потребления данных элементов [3]. В связи с этим возрастает и воздействие на работников, непосредственно связанных с получением металлов и производством продукции, их содержащей. Воздействие наблюдается при добыче, обогащении, переработке руд и минералов, при получении чистых солей и окислов, изготовлении материалов с содержанием редкоземельных элементов [4].

Влияние редкоземельных элементов, ниобия и тантала на здоровье человека мало изучено. Ключевой токсикологической характеристикой является их способность вытеснять кальций из участков его связывания в живых системах (например, ферментов), что приводит к ингибированию ферментов или другой биохимической дисфункции. Кроме того, предполагается, что редкоземельные элементы могут вызывать окисление липидов, обладать гепатотоксичностью, а также имеют склонность к биоаккумуляции [2, 5, 6]. Ниобий, тантал и их соединения представляют опасность для кожи, глаз и дыхательной системы, вызывая раздражение, в ряде случаев у работников возникают признаки пневмокониозов [1].

Таким образом, актуальной задачей является исследование содержания редкоземельных элементов, ниобия и тантала в биосредах, в первую очередь у групп, подверженных их непосредственному воздействию, – работников металлургических и других направлений предприятий, занятых в производстве и получении продукции с использованием данных элементов.

Материалы и методы. Исследование крови работников металлургического предприятия проводилось согласно разработанным нами методикам «Методика

измерений массовых концентраций редкоземельных элементов в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (ФР.1.31.2019.32618) и «Методика измерений массовых концентраций ниобия и тантала в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (ФР.1.31.2019.34043).

Количественное определение элементов в крови осуществлялось на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7900 с октопольной столкновительной ячейкой.

Рабочие стандартные градуировочные растворы для определения редкоземельных элементов готовили из многоэлементного стандартного раствора Multi Analyte Grade Solution (IV-STOCK-26, INORGANIC VENTURES), содержащего 10 мкг/мл La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu в 5%-ном водном растворе HNO_3. Для приготовления градуировочных растворов ниобия и тантала использовали стандартный раствор Multi Analyte Grade Solution (IV-STOCK-29, INORGANIC VENTURES), содержащий 10 мкг/мл B, Ge, Mo, Nb, P, Re, S, Si, Ta, Ti, W, Zr в 5%-ном водном растворе HNO_3 со следами HF. Для приготовления внутреннего стандарта использовали растворы ВС ^{159}Tb (Single Analyte Mass Spec Solution, INORGANIC VENTURES) с концентрацией 10 мкг/мл в 5%-ном водном растворе HNO_3 и ^{115}In (Single Analyte Mass Spec Solution, MSIN-10PPM, INORGANIC VENTURES) с концентрацией 10 мкг/мл в 2%-ном водном растворе HNO_3.

Подготовку проб крови для определения содержания редкоземельных элементов, ниобия и тантала проводили способом кислотного растворения в пробирочном нагревателе HotBlock (Environmental Express). Пробу крови объемом 0,1 мл дозатором вносили в конические градуированные пробирки из полипропилена вместимостью 15 мл, добавляли 0,5 мл концентрированной азотной кислоты плотностью 1,415 г/см^3, закрывали крышкой, взбалтывали и нагревали 25–30 мин в пробирочном нагревателе при температуре 65–70 ºС до гомогенизации. Готовый для анализа раствор объемом 0,5 мл переносили в пробирку автоматического пробоотборника, добавляли 0,05 мл раствора внутреннего стандарта и 4,45 мл 1%-ного раствора азотной кислоты. Пробы накрывали герметизирующей лабораторной пленкой и перемешивали. Подготовленные растворы использовали для проведения измерений массовых концентраций элементов.

Результаты. Исследование крови на содержание редкоземельных элементов, ниобия и тантала проводилось у работников крупного химико-металлургического предприятия, занимающегося производством магния, химической и редкоземельной продукции для высокотехнологичных отраслей. Обследованы работники, связанные с измельчением исходного сырья, процессами перегрузки и получением соединений данных элементов (n = 189). Ввиду отсутствия установленных нормативов содержания редкоземельных элементов, ниобия и тантала для биосред полученные концентрации сравнивались с уровнями содержания элементов в крови работников предприятия, занимающих административные должности и не вовлеченных в непосредственные производственные процессы (n = 37).

Для проверки правильности полученных данных использовали стандартные образцы крови SERONORM L2 и L3 (Sero AS, Billingstad), а также метод добавок. Перед проведением анализа сертифицированные контрольные материалы подвергались той же процедуре подготовки, что и рабочие пробы. Погрешность определе-

ния редкоземельных элементов, ниобия и тантала в стандартных образцах крови Seronorm L2, L3 не превышала погрешность, допустимую методикой.

Достоверность различий полученных результатов по обследуемой и контрольной группам проверяли при использовании *t*-критерия Стьюдента. Различия являются статистически значимыми при $p \leq 0{,}05$.

В крови работников обнаружены превышения значений по ряду элементов в сравнении со значениями контрольной группы. Так, достоверные различия в массовых концентрациях найдены для иттрия ($p = 0{,}021$), лантана ($p = 0{,}01$), церия ($p = 0{,}01$), празеодима ($p = 0{,}033$), неодима ($p = 0{,}002$), тербия ($p = 0{,}01$), диспрозия ($p = 0{,}013$) и ниобия ($p = 0$). Массовые концентрации данных элементов в воздухе рабочей зоны на рабочих местах работников также выше, чем концентрации других элементов, что можно объяснить их преобладанием в исходном сырье.

Выводы. Проведено исследование крови работников химико-металлургического предприятия на содержание редкоземельных элементов, ниобия и тантала методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. По ряду элементов найдены достоверные различия между концентрациями в обследуемой группе и контрольной группе (административные работники).

Список литературы

1. Биологическая функция химических элементов: справочное пособие / Н.К. Чертко, А.В. Таранчук, Э.Н. Чертко, Д.А. Будько; под ред. Н.К. Чертко. – Минск: Четыре четверти, 2012. – 172 с.

2. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China / X. Li, Z. Chen, Z. Chen, Y. Zhang // Chemosphere. – 2013. – Vol. 93, № 6. – P. 1240–1246. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.085

3. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // Geoscience Frontiers. – 2019. – Vol. 10, № 4. – P. 1285–1303. DOI: 10.1016/j.gsf.2018.12.005

4. Klinger J.M. Rare earth elements: Development, sustainability and policy issues // The Extractive Industries and Society. – 2018. – Vol. 5, № 1. – P. 1–7. DOI: 10.1016/j.exis.2017.12.016

5. Pałasz A., Czekaj P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action // Acta Biochim. Pol. – 2000. – Vol. 47, № 4. – P. 1107–1114.

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. – Vol. 4, № 1. – P. 12–26. DOI: 10.5491/SHAW.2013.4.1.12

Оценка биологического действия нового инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов

В.А. Грынчак

Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

В субхроническом эксперименте в соответствии с методом ГОСТ ISO 10993-11-2011 «Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 11. Исследования общетоксического действия» проведена оценка общетоксического действия нового инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов. Самцам и самкам нелинейных белых крыс в возрасте 2,0–2,5 месяца ежедневно внутрибрюшинно вводили имплантат (гиалуронат натрия – 16 мг/мл и гель полинуклеотидов – 20 мг/мл при соотношении 1:1 и 1:2) в течение 12 недель. Установлено, что введение имплантата не вызывает смертельных исходов и не инициирует развитие клинических признаков интоксикации у животных. Изменений ряда изученных морфофункциональных и клинико-лабораторных показателей не выявлено, что указывает на отсутствие общей субхронической токсичности.

Ключевые слова: биологическое действие, токсичность, гиалуронат натрия, полинуклеотиды, белые крысы.

Актуальной проблемой являются заболевания костно-мышечной системы. В структуре общей заболеваемости взрослого населения во всем мире они занимают одну из лидирующих позиций и являются причиной инвалидизации трудоспособного населения, что подчеркивает их социальное значение [4, 5].

Для безопасного применения в лечебной практике медицинских изделий, содержащих в своем составе новые соединения или смеси уже известных веществ, необходимо изучить их токсические свойства при многократном воздействии на лабораторных животных, что является одним из этапов оценки биологического действия медицинских изделий [1, 3].

Цель исследования – изучить субхроническую токсичность нового инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов на белых крысах.

Изучению подвергался имплантат инъекционный: гиалуронат натрия (16 мг/мл) и гель полинуклеотидов (20 мг/мл) при соотношении 1:1 и 1:2. Имплантат предназначен для комбинированного вязкоэластичного протезирования у пациентов с дегенеративно-дистрофическими и посттравматическими поражениями суставов, а также у лиц, имеющих повышенные нагрузки на поврежденные суставы и связки, околосуставные ткани.

Оценка субхронической токсичности проводилась в соответствии с методом ГОСТ ISO 10993-11-2011 «Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 11. Исследования общетоксического действия» при ежедневном внутрибрюшинном введении имплантата самцам и самкам нелинейных белых крыс в возрасте 2,0–2,5 месяца в дозе 0,05 мл на 200 г массы тела животного

в течение 12 недель с последующим наблюдением и регистрацией симптомов клинической картины интоксикации. Сформировано 4 опытных и 2 контрольные группы по 10 животных в каждой. Контрольным группам вводили физиологический раствор в соответствующем объеме. Животные содержались в стандартных клетках в соответствии с правилами группового содержания. Доступ к воде и корму был свободным. Пищевой рацион включал зерно (овес, пшеница), овощи, стандартные брикеты, содержащие минеральные пищевые ингредиенты и витамины. Клетки с опытными животными находились в помещении с принудительной вытяжной вентиляцией [2].

По окончании эксперимента проведена одномоментная декапитация крыс, осуществлен макроскопический анализ внутренних органов белых крыс и определены относительные коэффициенты массы (ОКМ) печени, сердца, легких, почек, селезенки, надпочечников. Для определения функционального состояния организма белых крыс изучали ряд клинико-лабораторных показателей крови с помощью гематологического анализатора Mythic 18, Швейцария, и биохимического анализатора Accent 200, Польша.

Статистическую обработку результатов проводили при помощи программного обеспечения Excel (Microsoft, США) и Statistica 10.0. Для описания результатов были использованы данные, представленные в виде медианы (*Me*) и интерквартильного размаха (25 %; 75 % квартили). Достоверность различий исследуемых несвязанных выборочных данных определяли при помощи метода непараметрической статистики (*U*-критерий Манна – Уитни). Изменения считали статистически значимыми при $p < 0{,}05$. Обращение с лабораторными животными соответствовало этическими принципами надлежащей лабораторной практики [5].

При многократном внутрибрюшинном введении инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов признаков интоксикаций и гибели животных в эксперименте не установлено. У опытных животных не зарегистрировано статистически значимых изменений массы тела по сравнению с контрольными группами (табл. 1).

Таблица 1

Масса тела белых крыс при внутрибрюшинном введении инъекционного имплантата в субхроническом эксперименте, *Me* (P_{25}–P_{75})

Опытные и контрольные группы, соотношение	Масса тела белых крыс, кг$^{-1}$	
	исходная	через 12 недель
Контроль (самцы)	187,5 (182,4–192,6)	247,5 (227,4–255,6)
Самцы (1:1)	185,0 (181,8–194,2)	250,0 (234,3–254,7)
Самцы (1:2)	192,5 (186,0–196,0)	260,0 (244,4–274,6)
Контроль (самки)	192,5 (185,5–197,5)	255,0 (243,5–272,5)
Самки (1:1)	190,0 (184,7–195,3)	252,5 (235,6–269,4)
Самки (1:2)	195,0 (185,0–197,0)	247,5 (229,5–259,5)

При введении инъекционного имплантата самцам и самкам белах крыс макроскопических изменений не установлено, ОКМ внутренних органов опытных животных оставались на уровне контрольных значений (табл. 2).

Анализ показателей биохимического статуса лабораторных животных не выявил статистически значимых нарушений со стороны изученных показателей угле-

водного, минерального, белкового, липидного и пигментного обмена в сыворотке крови (табл. 3).

Со стороны морфофункциональных показателей периферической крови самцов и самок белых крыс, подвергнутых 12-недельному воздействию инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов у опытных групп не установлено изменений красного и белого кровяного ростка по сравнению с контрольными группами (табл. 4).

Таблица 2

ОКМ внутренних органов белых крыс при внутрибрюшинном введении инъекционного имплантата в субхроническом эксперименте, г/кг$^{-3}$, *Me* ($P_{25} – P_{75}$)

Внутренние органы	Опытные и контрольные группы, соотношение					
	контроль (самцы)	самцы (1:1)	самцы (1:2)	контроль (самки)	самки (1:1)	самки (1:2)
Печень	38,5 (35,0–45,1)	38,5 (32,8–43,8)	38,2 (36,0–39,5)	41,9 (39,5–46,9)	41,2 (37,8–47,2)	40,9 (39,1–45,1)
Сердце	3,6 (3,4–4,0)	3,5 (3,3–4,2)	3,6 (3,3–4,1)	3,6 (3,5–4,0)	3,6 (3,3–4,1)	3,7 (3,3–4,1)
Легкие	7,6 (6,9–10,6)	7,2 (6,7–8,8)	7,5 (6,1–9,3)	7,0 (6,3–8,6)	6,9 (6,0–8,4)	7,6 (7,4–10,0)
Почки	6,9 (6,4–7,2)	7,1 (6,9–7,3)	7,2 (6,7–7,9)	6,9 (6,4–7,6)	7,2 (6,4–7,7)	7,3 (6,4–8,4)
Селезенка	4,2 (3,7–4,6)	4,3 (3,9–5,1)	4,3 (4,0–4,8)	4,6 (3,9–5,3)	4,7 (4,1–5,2)	4,4 (3,7–4,9)
Надпочечники	0,139 (0,124–0,159)	0,129 (0,119–0,145)	0,133 (0,120–0,142)	0,138 (0,127–0,161)	0,141 (0,122–0,153)	0,132 (0,116–0,152)

Таблица 3

Показатели биохимического статуса сыворотки крови белых крыс при субхроническом внутрибрюшинном введении инъекционного имплантата, *Me* ($P_{25} – P_{75}$)

Показатель, единица измерения	Опытные и контрольные группы, соотношение					
	контроль (самцы)	самцы (1:1)	самцы (1:2)	контроль (самки)	самки (1:1)	самки (1:2)
Железо, мкМоль/л	7,8 (7,4–8,5)	7,8 (6,9–8,7)	7,3 (5,3–8,2)	7,4 (6,7–8,5)	7,8 (6,0–8,4)	7,6 (7,1–8,4)
Фосфор, мМоль/л	1,87 (1,56–1,92)	1,84 (1,73–2,03)	1,88 (1,65–2,08)	1,93 (1,70–2,14)	1,84 (1,73–2,03)	1,87 (1,65–2,03)
Магний, мМоль/л	0,93 (0,88–0,95)	0,93 (0,88–0,99)	0,92 (0,85–0,97)	0,95 (0,89–1,00)	0,92 (0,85–0,97)	0,95 (0,89–1,00)
ЛПВП, г/мл	0,92 (0,90–0,98)	0,97 (0,92–0,98)	0,94 (0,93–0,96)	0,94 (0,91–0,97)	0,94 (0,93–0,96)	0,92 (0,90–0,96)
ЛПНП, г/мл	2,59 (2,53–2,65)	2,60 (2,56–2,65)	2,58 (2,56–2,61)	2,62 (2,58–2,76)	2,59 (2,53–2,65)	2,60 (2,56–2,65)
Холестерин, мМоль/л	1,5 (1,2–1,8)	1,7 (1,4–2,2)	1,4 (1,1–1,7)	1,7 (1,2–2,2)	1,7 (1,4–2,2)	1,4 (1,1–1,7)
Общий белок, г/л	73,3 (65,5–80,5)	69,2 (59,3–76,7)	71,9 (59,7–77,6)	72,7 (70,4–79,4)	69,2 (59,3–76,7)	71,9 (59,7–77,6)
Альбумин, г/л	39,1 (28,3–45,3)	35,2 (31,3–45,2)	38,8 (31,8–50,2)	38,7 (32,5–44,8)	39,1 (28,3–45,3)	35,2 (31,3–45,2)

Окончание табл. 3

Показатель, единица измерения	Опытные и контрольные группы, соотношение					
	контроль (самцы)	самцы (1:1)	самцы (1:2)	контроль (самки)	самки (1:1)	самки (1:2)
Мочевина, мкМоль/л	6,7 (6,1–7,1)	6,4 (5,8–6,8)	7,0 (6,7–8,0)	6,8 (6,0–7,7)	6,7 (6,1–7,1)	6,5 (5,8–6,9)
Мочевая кислота, мкМоль/л	98,7 (87,6–109,0)	105,0 (87,6–120,2)	99,2 (89,0–111,8)	104,2 (95,5–116,2)	105,0 (87,6–120,2)	104,2 (95,5–116,2)
Креатинин, мкМоль/л	45,7 (42,3–57,1)	46,3 (47,5–52,0)	46,2 (44,5–48,2)	46,6 (45,1–48,0)	46,2 (44,5–48,2)	46,6 (45,1–48,0)
ЛДГ, мккат/л	1635 (1541–2028)	1534 (1262–2274)	1645 (1054–2033)	1611 (1123–1997)	1534 (1262–2274)	1645 (1054–2032)
ГГТ, мккат/л	9,6 (8,9–10,1)	9,8 (9,2–11,0)	9,6 (9,1–10,6)	9,5 (9,2–11,2)	9,6 (9,1–10,6)	9,5 (9,2–11,2)
АСТ, мккат/л	310 (237–369)	303 (274–323)	300 (245–332)	299 (234–328)	293 (245–320)	301 (274–320)
АЛТ, мккат/л	92,5 (78,8–102,7)	85,6 (81,0–97,9)	89,6 (76,1–93,9)	83,3 (70,8–103,1)	90,5 (78,8–102,7)	85,6 (81,0–97,9)
α-амилаза, мккат/л	662 (614–699)	667 (517–801)	662 (608–767)	680 (634–809)	662 (603–757)	685 (654–805)
Билирубин общий, мкМоль/л	4,0 (3,2–5,6)	4,0 (3,5–5,2)	3,9 (3,5–4,6)	4,0 (3,6–5,6)	4,0 (3,5–5,2)	3,9 (3,5–4,6)
Глюкоза, мМоль/л	5,6 (5,3–6,4)	5,9 (5,6–6,4)	5,6 (4,8–5,8)	5,4 (5,0–6,3)	5,6 (4,8–5,9)	5,8 (5,1–6,2)

Таблица 4

Морфофункциональные показатели крови белых крыс при внутрибрюшинном введении инъекционного имплантата в субхроническом эксперименте, *Me* ($P_{25} – P_{75}$)

Показатель, единица измерения	Опытные и контрольные группы, соотношение					
	контроль (самцы)	самцы (1:1)	самцы (1:2)	контроль (самки)	самки (1:1)	самки (1:2)
Лейкоциты, 10^9 кл/л	17,55 (15,15–18,79)	17,20 (15,28–20,36)	17,80 (16,14–21,20)	16,50 (14,94–19,36)	16,85 (14,05–20,85)	17,05 (14,06–20,76)
Лимфоциты, 10^9 кл/л	12,20 (10,50–13,50)	11,35 (10,08–18,70)	11,10 (10,12–13,30)	11,75 (10,72–14,02)	12,20 (10,50–13,50)	11,35 (10,08–18,70)
Моноциты, 10^9 кл/л	0,75 (0,64–0,84)	1,00 (0,72–1,16)	0,80 (0,67–1,09)	0,80 (0,63–0,93)	0,80 (0,67–1,09)	0,75 (0,64–0,84)
Гранулоциты, 10^9 кл/л	4,60 (3,86–5,52)	4,10 (3,10–7,30)	4,85 (4,34–7,22)	4,85 (4,38–6,14)	4,60 (3,86–5,52)	4,85 (4,34–7,22)
Эритроциты, 10^{12} кл/л	7,47 (7,32–7,80)	7,72 (7,12–8,04)	7,73 (7,53–8,27)	7,54 (6,99–8,56)	7,73 (7,53–8,27)	7,72 (7,12–8,04)
Гемоглобин, г/л	150 (146–155)	142 (132–152)	146 (142–151)	147 (144–154)	150 (146–155)	144 (141–151)
Гематокрит, л/л	0,35 (0,33–0,36)	0,35 (0,35–0,37)	0,35 (0,33–0,36)	0,33 (0,31–0,36)	0,33 (0,32–0,36)	0,32 (0,31–0,35)
Средний объем эритроцита, фл	46,4 (45,0–48,0)	45,9 (44,9–46,3)	45,2 (44,4–47,4)	44,5 (44,0–47,5)	44,1 (42,8–46,2)	44,9 (43,9–46,3)

Окончание табл. 4

Показатель, единица измерения	Опытные и контрольные группы, соотношение					
	контроль (самцы)	самцы (1:1)	самцы (1:2)	контроль (самки)	самки (1:1)	самки (1:2)
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	18,3 (17,8–18,8)	18,6 (18,4–18,8)	18,7 (18,4–19,2)	18,6 (18,3–18,9)	18,3 (18,1–18,8)	18,4 (17,8–19,0)
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	421 (417–426)	416 (413–424)	420 (419–422)	420 (411–428)	422 (420–429)	420 (418–421)
Тромбоциты, 10^9 кл/л	735 (692–820)	715 (631–853)	767 (644–836)	752 (759–923)	745 (705–909)	732 (647–997)
Средний объем тромбоцита, фл	6,1 (5,9–6,1)	6,1 (5,8–6,2)	6,1 (6,0–6,3)	6,1 (5,9–6,2)	6,0 (5,8–6,1)	6,2 (5,8–6,3)

Таким образом, в ходе экспериментального субхронического исследования установлено, что внутрибрюшинное введение в дозе 0,05 мл на 200 г массы тела самцов и самок белых крыс нового инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия (16 мг/мл) и полинуклеотидов (20 мг/мл) в соотношении 1:1 и 1:2 не вызывает смертельных (летальных) исходов и не инициирует развитие клинических признаков интоксикации у лабораторных животных. Изменений ряда изученных морфофункциональных и клинико-лабораторных показателей не выявлено, что указывает на отсутствие общей субхронической токсичности.

Список литературы

1. Грынчак В.А., Анисович М.В., Ильюкова И.И. Актуальные вопросы гигиенической оценки полимерных материалов и изделий медицинского назначения // Здоровье и окружающая среда: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 14–15 ноября 2019 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С.И. Сычик. – Минск: РНМБ, 2019. – С. 313–315.

2. Надлежащая лабораторная практика: ТКП 125-2008 (02040) / введ. 01.05.2008. – Минск: РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении», 2008. – 40 с.

3. Современные подходы к оценке гигиенической безопасности изделий медицинского назначения / В.А. Грынчак, А.А. Штурич, Л.Г. Лаппо [и др.] // Здоровье и окружающая среда: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 19–20 ноября 2020 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С.И. Сычик. – Минск: РНМБ, 2021. – С. 498–499.

4. Ходьков Е.К., Болобошко К.Б., Ходькова Ю.В. Комплексный подход к периоперационному обеспечению эндопротезирования коленного сустава. Обзор литературы // Вестн. Витеб. гос. мед. ун-та. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 16–27.

5. Шамуилова М.М., Седякина Ю.В., Кнорринг Г.Ю. Современные подходы к лечению патологии суставов: роль гиалуроновой кислоты // Лечащий врач. – 2021. – Т. 11 (24). – С. 67–72.

Отработка условий отбора и подготовки проб при определении полициклических ароматических углеводородов в воздухе методом ВЭЖХ/ФЛД на примере нафталина

Л.А. Зверева, М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.С. Уланова

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

Состояние окружающей среды в промышленных городах Российской Федерации характеризуется многокомпонентным составом загрязнений атмосферного воздуха. К приоритетным веществам, загрязняющим атмосферный воздух, относятся полициклические ароматические углеводороды, в том числе нафталин. Высокая токсичность полициклических ароматических углеводородов приводит к необходимости контроля содержания этих соединений в атмосферном воздухе. В связи с этим актуальным является разработка новых и совершенствование существующих методов контроля полициклических ароматических углеводородов в воздухе. Отработаны параметры отбора и подготовки проб к анализу для анализа нафталина в атмосферном воздухе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / флуометрическим детектором. Диапазон измеряемых концентраций нафталина в атмосферном воздухе составил (0,006–24) мкг/м^3 при отборе пробы объемом 3 м^3, степень извлечения 65–97 %.

Ключевые слова: нафталин, атмосферный воздух, отбор проб, высокоэффективная жидкостная хроматография

Состояние окружающей среды в промышленных городах Российской Федерации характеризуется многокомпонентным составом загрязнений атмосферного воздуха. К приоритетным веществам, загрязняющим атмосферный воздух, относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе нафталин. Высокая токсичность ПАУ приводит к необходимости контроля содержания этих соединений в атмосферном воздухе. В связи с этим актуальным является разработка новых и совершенствование существующих методов контроля ПАУ в воздухе.

Одним из этапов разработки методики измерения концентраций ПАУ в атмосферном воздухе является отработка условий отбора и подготовки проб к анализу [2]. Анализ ПАУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / флуометрическим детектором (ВЭЖХ/ФЛД) обусловливает определенные требования к процедуре отбора проб воздуха и подготовке отобранных проб к анализу. Концентрирование образцов обеспечивается благодаря накоплению пробы на фильтрующем материале, извлечению аналита с фильтрующего материала небольшим объемом растворителя и уменьшению извлеченного объема высушиванием. За счет высокой чувствительности флуориметрического детектора по отношению к ПАУ продолжительность и скорость отбора могут быть значительно сокращены (до одного часа и менее), что минимизирует погрешность отбора и искажение состава пробы, характерных для более длительных отборов (24 ч непрерывного отбора). Снижение скорости отбора на фильтр или твердый сорбент ограничивает степень проскока, который

не должен превышать 5 % от общего количества уловленного компонента. В целом репрезентативность пробы зависит от гигиенического норматива содержания индивидуального соединения. Для нафталина $ПДК_{мр}$ составляет 0,007 мг/м^3.

В отобранных пробах атмосферного воздуха процедура извлечения заключается в экстракции ПАУ не с самого фильтра, а с уловленных на фильтр взвешенных частиц, которые представляют собой частицы пыли размером от 0,1 мкм до долей мм органического и неорганического состава, например частиц кремния и алюминия, сажи, пыльцы, растений, животных и т.д. В связи с этим Национальным институтом стандартов и технологий (NIST, США) разработаны и применяются стандартные эталонные материалы (Standard Reference Material, SRM 1647, 1648, 1649), представляющие собой атмосферные твердые частицы, собранные в городской местности. Стандарт предназначен для использования в качестве материала для контроля качества, степени извлечения и оценки методов, используемых в анализе для определения отдельных полициклических ароматических углеводородов в атмосферных твердых частицах и подобных матрицах. Стандарты представляют собой флаконы, содержащие 2 г атмосферных твердых частиц с известным количеством ПАУ. Сертифицированные значения ПАУ основаны на совпадении результатов двух и более химически независимых аналитических методик, полученных в NIST и экспертных лабораториях [8]. Разработчики гарантируют гомогенность стандарта, погрешность не более 1 %. Стандарт SRM 1647, содержащий 16 приоритетных полициклических ароматических углеводородов, удобно применять для градуировки хроматографов, а также для проверки степени экстракции ПАУ способом, применяемым в конкретной методике.

Нафталин – ароматический углеводород с двумя конденсированными кольцами (рис. 1), кристаллическое вещество с характерным резким запахом. Температура кипения 218 °С, температура плавления 80 °С, растворяется в воде, спирте. Хорошо растворим в бензоле, толуоле, эфире, уксусной кислоте. В воздухе присутствует в виде паров и аэрозоля [6].

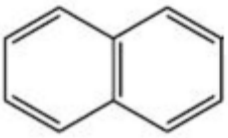


Рис.1. Структурная формула нафталина

Нафталин наряду с другими полициклическими ароматическими углеводородами поступает в атмосферу с выбросами предприятий промышленности, теплоэнергетики, выхлопными газами автомобилей, при сжигании отходов, приготовлении пищи [7].

При остром отравлении парами и пылью нафталин вызывает головные боли, тошноту, рвоту, раздражение слизистых оболочек. Длительное воздействие нафталина может вызвать повреждение или разрушение красных кровяных телец (эритроцитов). Хроническое воздействие нафталина приводит к нарушению работы печени и поджелудочной железы, вызывает развитие атрофического ринита и фарингита. В организме человека нафталин накапливается в клетках жировой ткани, при попадании в кровь наступает отравление организма. При действии на кожу нафталин вызывает эритемы, экземы [3, 5].

Цель исследования – отработка условий отбора и подготовки проб к анализу для определения нафталина в атмосферном воздухе методом ВЭЖХ/ФЛД.

Материалы и методы. Для отбора проб воздуха использовали фильтры из кварцевого микроволокна класса Q3400, диаметр фильтров 47 мм (Sartorius, Германия), которые предварительно прокаливали в муфельной печи при температуре 450 ºС в течение 4 ч. Образцы для анализа готовили внесением на фильтр навески взвешенных частиц массой 5 мг, содержащей неорганические и органические частицы (искусственная смесь частиц в соотношении 1:1), на которую добавляли 50 мкл стандартного раствора с различной концентрацией нафталина в ацетонитриле. Холостые образцы готовили аналогично без добавления стандартного раствора. Образцы с модельной матрицей, имитирующей атмосферную пыль, помещали в стеклянные стаканчики (бюксы) с притертой пробкой.

Подготовку образцов к анализу проводили методом жидкостной экстракции с использованием в качестве экстрагентов гексана, ацетонитрила и метанола в течение различного времени – от 15 мин до 19 ч. С целью предотвращения повторного загрязнения бюксы закрывали крышками и заворачивали в алюминиевую фольгу.

Отбор проб в натурных условиях для определения разовых концентраций нафталина в атмосферном воздухе проводили на фильтр из кварцевого волокна с различной скоростью, от 20 до 120 л/мин, с продолжительностью отбора от 30 мин до 60 мин с помощью аспиратора ПУ-3Э. Объем отобранного воздуха варьировался от 0,6 до 7,2 м^3.

Измерение концентрации нафталина в экстрактах проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20AD Prominence (Япония) с флуориметрическим детектором RF-20A на колонке с обращенной фазой C18 Eclipse XDB при длине волны возбуждения 270 нм, длине волны эмиссии 335 нм. Подвижная фаза: смесь ацетонитрила и дистиллированной воды в соотношении 80:20 (объемные доли), скорость подачи элюента 0,8 см^3/мин, температура термостата колонки 30 °С.

Количественный анализ содержания нафталина в пробе проводили методом абсолютной градуировки. Степень экстракции (R) нафталина из образца рассчитывали по формуле [3]:

$$R = \frac{A \cdot 100}{N},$$

где R – степень экстракции вещества, %;

A – извлеченное количество вещества;

N – заданное количество вещества в образце.

Результаты. Установлены градуировочные зависимости сигнала флуориметрического детектора (площадь хроматографического пика, единицы люминесценции) от концентрации нафталина в анализируемом градуировочном растворе (мг/дм^3) в оптимальных условиях хроматографирования в двух диапазонах измерений: от 0,000025 до 0,0005 мкг/см^3 и от 0,0005 до 0,1 мкг/см^3. Коэффициенты детерминации R^2составили 0,9929 и 0,9990 соответственно. Время выхода нафталина 4,6 мин.

В качестве оптимальных условий отбора проб для определения нафталина в атмосферном воздухе выбраны скорость отбора 100 л/мин и продолжительность отбора 30 мин, которая отвечает требованиям ГОСТ 17.2.3.01-86 при определении разовых концентраций химических веществ в атмосфере [1]. В выбранном режиме отбора нижний предел определения составил 0,006 мкг/м^3 (0,000006 мг/м^3), что позволит определять концентрацию токсичного соединения на уровне 0,001 ПДК$_{мр}$.

Отработаны оптимальные условия жидкостной экстракции для извлечения целевого компонента с кварцевых фильтров, содержащими взвешенные частицы с нанесенным на них известным количеством нафталина. В качестве растворителя-экстрагента выбран ацетонитрил в количестве 10 см^3, продолжительность экстракции составила 15 ч. В данных условиях степень извлечения составила от 64,7 до 97,7 %, в среднем 81 % (таблица).

Хроматограммы анализа стандартного раствора, холостой пробы (кварцевый фильтр) и пробы атмосферного воздуха представлены на рис. 2.

Степень извлечения нафталина из модельных матриц методом жидкостной экстракции ацетонитрилом (n = 6)

Концентрация, мкг/мл		Степень экстракции, %	Концентрация, мкг/мл		Степень экстракции, %
Задано	Получено		задано	получено	
0,0001	0,000065	64,7	0,1	0,093	97,7

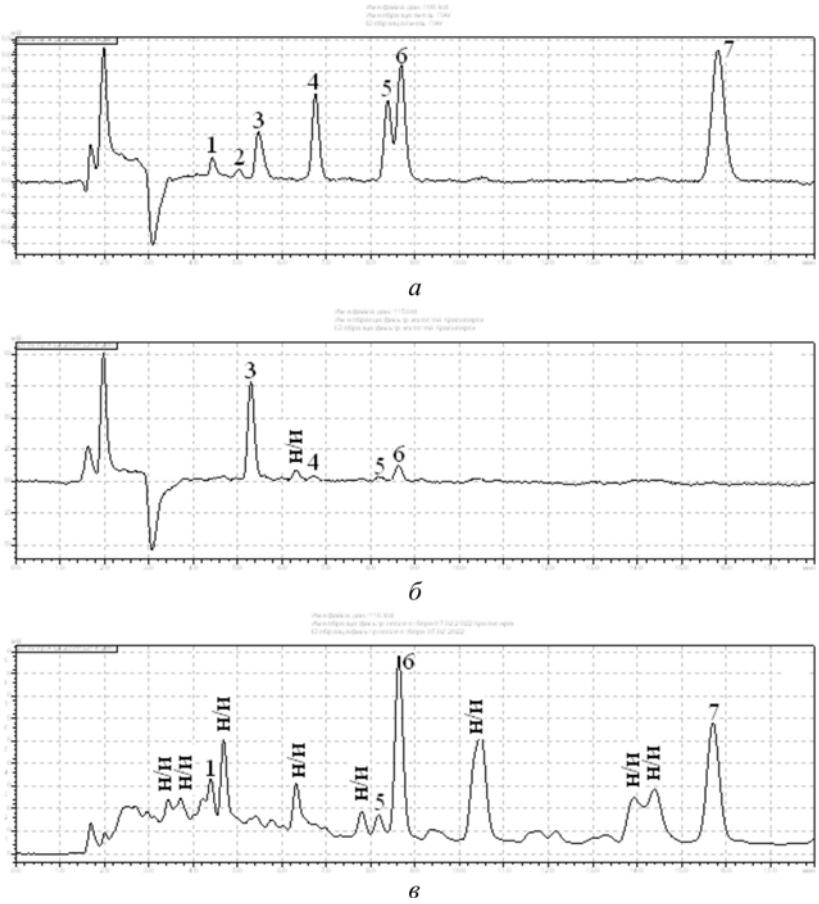


Рис. 2. Хроматограммы анализа стандартного раствора (*а*), холостой пробы (экстракция с кварцевого фильтра) (*б*) и пробы атмосферного воздуха (*в*): *1* – нафталин, *2* – 1-метилнафталин, 2-метилнафталин, *4* – антрацен, *5* – 9-метилантрацен, *6* – пирен, *7* – бенз(а)пирен, н/и – неидентифицированный пик

Анализ проб атмосферного воздуха, отобранных на территории крупного промышленного центра в отопительный сезон, показал присутствие в воздухе нафталина в концентрациях 0,006–0,008 мкг/м^3.

Выводы. Отработаны параметры отбора и подготовки проб к анализу для анализа нафталина в атмосферном воздухе методом ВЭЖХ/ФЛД. Оптимальная скорость разового отбора 100 л/мин, время отбора 30 мин. В качестве экстрагента выбран ацетонитрил, оптимальное время экстракции составило 15 ч, средняя степень извлечения 81 %. Диапазон измеряемых концентраций нафталина в атмосферном воздухе в отработанных условиях отбора и подготовки проб составил 0,006–24 мкг/м^3 при отборе пробы объемом 3 м^3.

Список литературы

1. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200012789 (дата обращения: 22.08.2022).

2. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200077909 (дата обращения: 22.08.2022).

3. Коренман И.М. Экстракция в анализе органических веществ. – М.: Химия, 1977. – 200 с.

4. Лазарев Н.В., Левина Э.Н. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. – 7-е изд., пер. и доп. – Л.: Химия, 1976. – Т. I: Органические вещества. – 592 с.

5. Нафталин [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD (дата обращения: 14.04.2022).

6. Химическая энциклопедия: в 5 т. – Т. 3: Медиполимерные / редкол.: И.Л. Кнунянц (гл. ред.) [и др.]. – М.: Большая Российская энцикл., 1992. – 639 с.

7. Aerosol composition and sources during high and low pollution periods in Ningbo, China / J. Xu, H. Xu, H. Xiao [et al.] // Atmos. Res. – 2016. – Vol. 178–179. – P. 559–569. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.05.006

8. Definitions of Terms and Modes Used at NIST for Value-Assignment of Reference Materials for Chemical Measurements: NIST Special Publication 260–136, U.S., 2020 [Электронный ресурс] / W. May, R. Parris, C. Beck [et al.]. – URL: https://www.nist.gov/system/files/documents/srm/SP260-136.PDF (дата обращения: 14.04.2022).

Использование мультифрактального анализа для оценки морфологии тканей легких при патологии и без нее

А.М. Игнатова, М.А. Землянова, М.С. Степанков, Ю.В. Кольдибекова

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

При проведении количественной оценки морфологии биологических тканей возникает проблема оценочных критериев. В качестве универсального оценочного подхода предлагается использовать характеристики мультифрактального спектра изображений тканей. В качестве объектов исследования использовали гистологические изображения тканей легких крыс линии Wistar без патологии и с выявленными патологическими изменениями. Обработку изображений проводили с применением универсального программного обеспечения ImageJ-FiJi. Для тканей легких, в которых не обнаружены патологии, спектры сингулярности обладают признаками мультифрактальности. Спектр изображения ткани с патологией также является мультифрактальным, но при этом смещен влево относительно спектра, характерного для ткани без патологии. Оценочными критериями при количественной характеристике биологических тканей легких методом мультифрактального анализа являются статистические характеристики спектра сингулярности.

Ключевые слова: анализ изображений, гистология, ткань легких, фрактальный анализ, альвеолярный рисунок.

Количественные характеристики морфологии тканей внутренних органов, позволяют сопоставлять результаты большого числа экспериментов и использовать их для моделирования [3, 8]. При проведении количественной оценки морфологии биологических тканей возникает проблема определения оценочных критериев. Обсуждение оценочных критериев состояния биологических тканей средствами анализа изображений при исследовании неопухолевых патологий рассматривается в работах [2, 5, 7]. В качестве универсального оценочного подхода предлагается использовать характеристики мультифрактального спектра изображений биологических тканей [1]. Актуальным является поиск практических подходов по использованию мультифрактального анализа изображений применительно к оценке морфологии биологических тканей и объектов.

Цель исследования – выявление практических аспектов использования мультифрактального формализма для оценки морфологии биологических тканей на примере ткани легких при патологии и без нее.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали гистологические изображения тканей легких крыс линии Wistar без патологии и с выявленными патологическими изменениями (рис. 1), полученные при увеличениях ×50, ×100, ×200. В исследовании рассматривались изображения тканей легких с установленной гиперплазией лимфоидной ткани, ассоциированной со стенкой бронхов с примесью эозинофилов и распространенным васкулитом, интерстициальной пневмонией и альвеолярным отеком легкого.

Изображения получены микроскопией препаратов тканей легких, для их приготовления органы фиксировали в 10%-ном водном нейтральном растворе формалина и после обезвоживали в спиртах восходящей концентрации, затем пропитывали хлороформом и парафином и заливали гомогенизированной парафиновой средой Histomix. Гистосрезы толщиной 4 мкм получали на санном микротоме модели JUNG SM 2000R (Leica, Германия), окрашивали гематоксилином и эозином. Осмотр и получение изображений морфологического строения тканей проводили на светооптическом микроскопе Axiostar (Carl Zeiss, Германия).

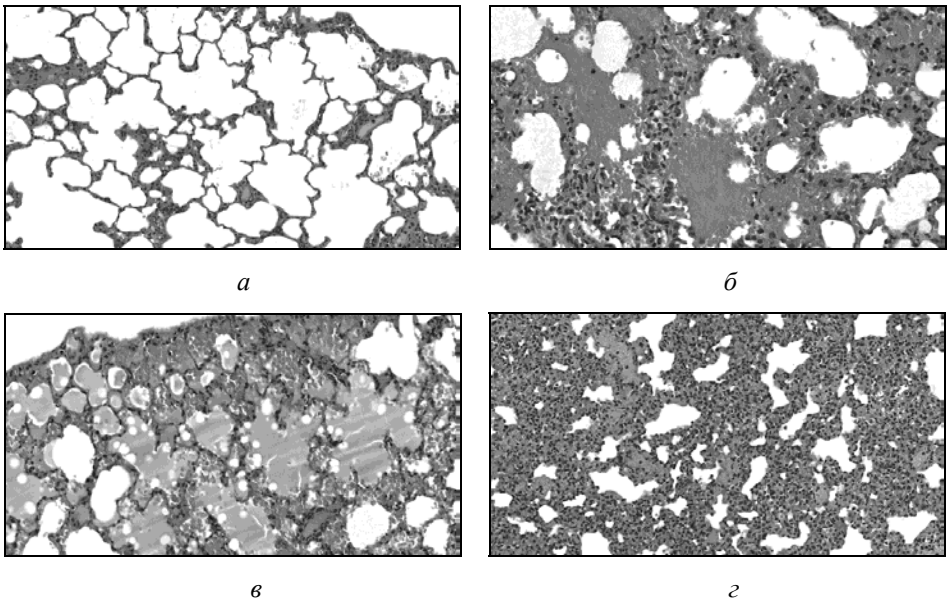
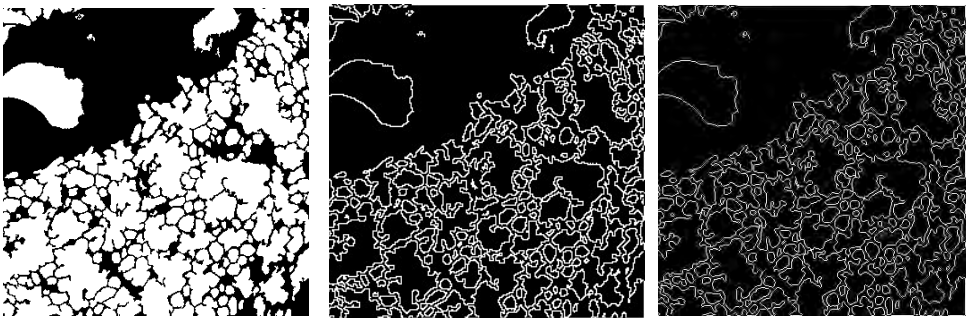


Рис. 1. Ткань легких крыс линии Wistar: *а* – без патологии, ×200; *б* – с гиперплазией лимфоидной ткани, ассоциированной со стенкой бронхов, и распространенным васкулитом, ×200; *в* – с альвеолярным отеком легких; *г* – с интерстициальной пневмонией, ×200

В работе Н.В. Зайцевой с соавт. [6] отмечается, что одним из возможных средств минимизации влияния артефактов при анализе изображений является бинаризация, выделение контура и его скелетонизация. Обработку изображений проводили с применением универсального программного обеспечения ImageJ-FiJi (программное обеспечение с открытым кодом, разработчик Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA).

Перед проведением мультифрактального анализа изображения переводили в полутоновые черно-белые, а затем в двухцветные методом бинаризации с пороговым значением, равным 220 (рис. 2, *а*).

Для бинарных изображений оценивали величину лакунарности, данный показатель является мерой неоднородности заполнения пространства паттерном (узором), которым в данном случае является альвеолярный узор. Возрастание показателя величины лакунарности указывает на увеличение числа пробелов в паттерне.



а *б* *в*

Рис. 2. Изображения тканей легких крыс линии Wistar, подготовленные для проведения анализа: *а* – результат бинаризации, *б* – результат выделения контура, *в* – результат скелетонизации контура

В данном исследовании мерой лакунарности (L) является изменение плотности изображения при сканировании сеткой с ячейками различных размеров. Для ее расчета используется следующая формула (1):

$$L = (\sigma/\mu)^2, \quad (1)$$

где σ – стандартное отклонение количества пикселей (для бинарного изображения) фрактального агрегата в ячейках сетки заданного размера;
μ – среднее значение массы агрегата в ячейках заданного размера.

Лакунарность в исследование определяется по наклону регрессионной линии в координатах ε/L (ε – размер ячейки сетки) и диапазоном значений L для $\varepsilon = 0{,}01 \div 0{,}6$. При построении графиков лакунарность рассчитывается по формуле (2):

$$L = (\sigma/\mu)^2 + 1, \quad (2)$$

Единица используется для равномерного отображения графика при нулевом стандартном отклонении ($\sigma = 0$). У полученных бинарных изображений был выделен контур с помощью функции *Outline* (рис. 2, *б*), а затем проведена его скелетонизация (рис. 2, *в*). В результате проведённой обработки изображения тканей легких представляли сбой изображения двойного линейного контура альвеолярного узора, которые использовались для получения мультифрактального спектра. Для вычисления мультифрактального спектра изображений, обработанных с получением линейного контура, использовали модуль для ImageJ – FracLac. С его помощью определяли скейленговую экспоненту (функция показателя Реньи, $\tau(q)$) и непосредственно спектр сингулярности. Для спектра сингулярности определяли следующие параметры: ширина и высота спектра; ширина и высота правой и левой ветвей [4].

Результаты. Результаты оценки лакунарности альвеолярного узора представлены на рис. 3 и в табл. 1. На рис. 4 показаны спектры сингулярности, характерные для обработанных изображений гистологических тканей легких, характеристики спектров приведены в табл. 2.

Для тканей с патологией показатель лакунарности паттерна альвеолярного узора ниже, чем для тканей без патологий. В наибольшей степени по показателю лакунарности идентифицируется альвеолярный отек. Для изображений тканей с патологией при увеличении ×50 и ×100 показатель лакунарности близок к нулю,

в совокупности с линейным характером зависимости скейлинговых экспонент для данных изображений (рис. 5) является признаком монофрактальности. При увеличении ×200 спектр сингулярности для тканей с патологией, напротив, обладает выраженными признаками мультифрактальности, однако характеристика спектра отличается от аналогичных показателей, характерных для тканей без морфологических патологий. Так, в присутствии патологии высота спектра ниже на 0,2, ширина спектра больше на 0,3, соотношение между показателями ширины ветвей при этом остается аналогичным тому, что и при отсутствии патологий.

Таблица 1

Характеристика лакунарности паттерна альвеолярного узора

Характеристика изображения	Характеристика лакунарности		
	коэффициент наклона линейной регрессии	минимальное значение	максимальное значение
Без патологии			
×50	–0,26	1,00	1,83
×100	–0,29	1,01	1,40
×200	–0,66	1,02	1,66
С патологией			
×50	0,04	1,00	1,61
×100	0,01	1,00	1,85
×200	–0,71	1,00	1,69
Альвеолярный отек, ×200	–1,08	1,03	2,11
Интерстициальная пневмония, ×200	–0,69	1,00	1,78

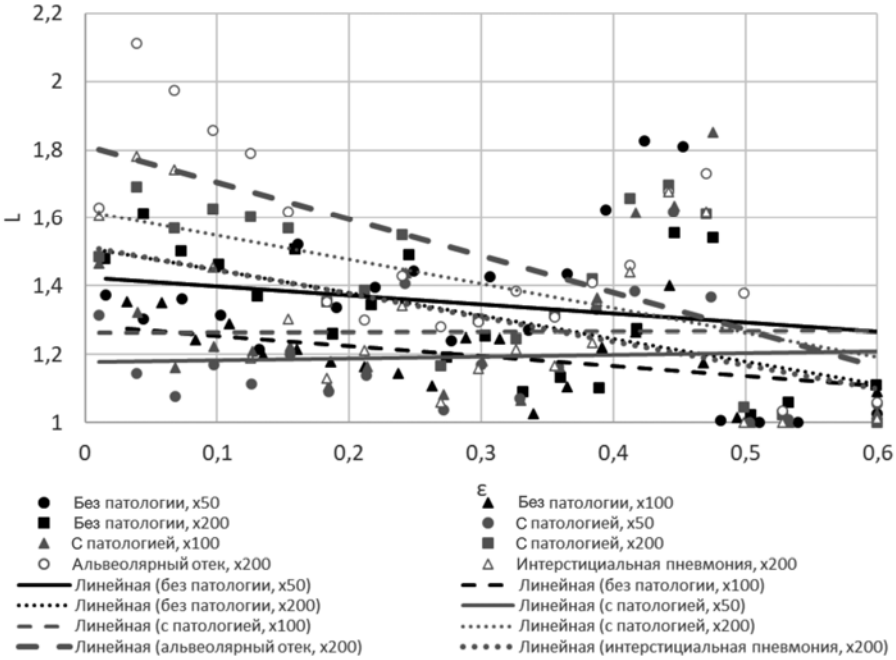


Рис. 3. Функции лакунарности изображений

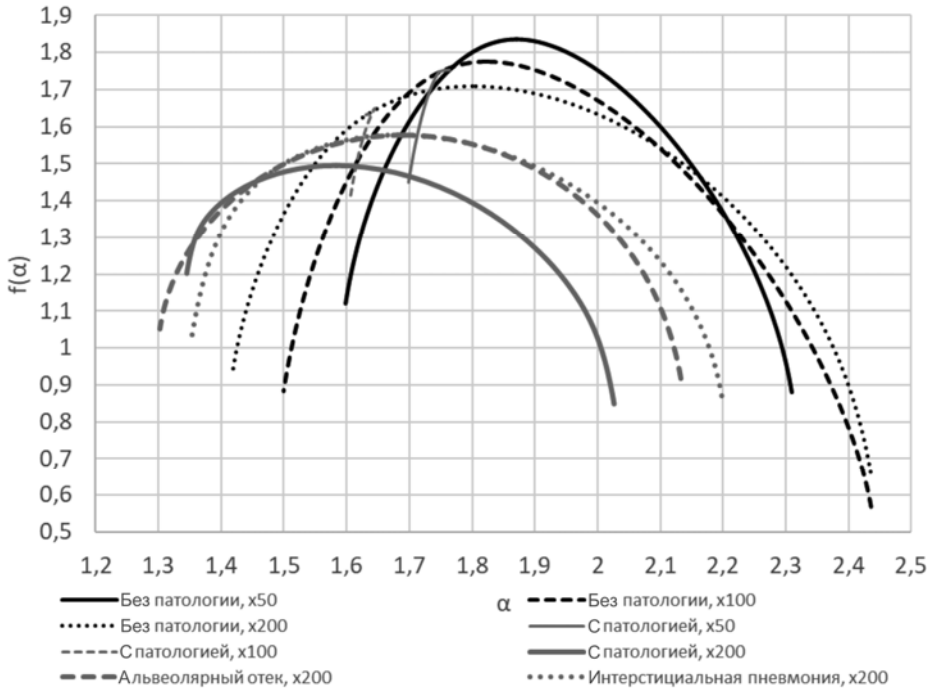


Рис. 4. Спектры сингулярности изображений

Таблица 2

Характеристика мультифрактальных спектров гистологических изображений

Характеристика изображения	Характеристика спектра					
	ширины спектра ($\alpha_{max} - \alpha_{min}$)	высота спектра ($f(\alpha_0)$)	ширина правой ветви ($\alpha_{max} - \alpha_0$)	высота правой ветви ($f(\alpha_0) - f(\alpha_{max})$)	ширина левой ветви ($\alpha_0 - \alpha_{min}$)	высота левой ветви ($f(\alpha_0) - f(\alpha_{min})$)
Без патологии						
×50	0,71	1,83	0,44	0,95	0,27	0,71
×100	0,93	1,77	0,61	1,20	1,32	0,89
×200	1,01	1,70	0,63	1,04	0,38	0,77
С патологией						
×50	Монофрактальный паттерн					
×100	Монофрактальный паттерн					
×200	0,68	1,49	0,44	0,64	0,24	0,29
Альвеолярный отек ×200	0,83	1,57	0,44	0,65	0,38	0,52
Интерстициальная пневмония ×200	0,84	1,57	0,51	0,70	0,33	0,56

Для тканей, в которых не обнаружены патологии, спектры сингулярности обладают признаками мультифрактальности, независимо от того, при каких увели-

чениях были получены изображения. Однако по мере возрастания степени увеличения гистологических изображений параметры спектров изменяются, а именно равномерно увеличивается ширина спектра и снижается его высота, соотношения показателей правой и левой ветвей при этом сохраняются. При увеличении ×200 высоты правой и левой ветвей незначительно сокращаются относительно аналогичных показателей при увеличении ×100. Эти изменения спектров соответствуют тому, что при возрастании увеличения количество альвеол в поле зрения уменьшается, а контур альвеолярного рисунка становится более отчетливым.

В целом спектр изображения ткани с патологией смещен влево относительно спектра, характерного для ткани без патологии. Последнее в совокупности с гистологическим анализом указывает на растущее доминирование лимфоидной ткани, характерное для ее патологической гиперплазии.

Уменьшение ширины спектра сингулярности, характерное для изображений с патологией, указывает на то, что структурные составляющие ткани имеют более равномерное распределение, чем при отсутствии патологии, то есть периодичность (ритм) паттерна альвеолярного узора нарушается, применительно к легочной ткани это указывает на сокращение альвеолярных просветов. Снижение высоты спектра при наличии патологии указывает на «упрощение» альвеолярного рисунка, которое предположительно связано с наличием такой патологии, как распространенный васкулит, так как из-за него на изображении появляются участки кровоизлияний, что приводит к тому, что контур альвеолярного рисунка выравнивается, сокращается площадь поверхности альвеол и возникают участки, заполненные эритроцитами.

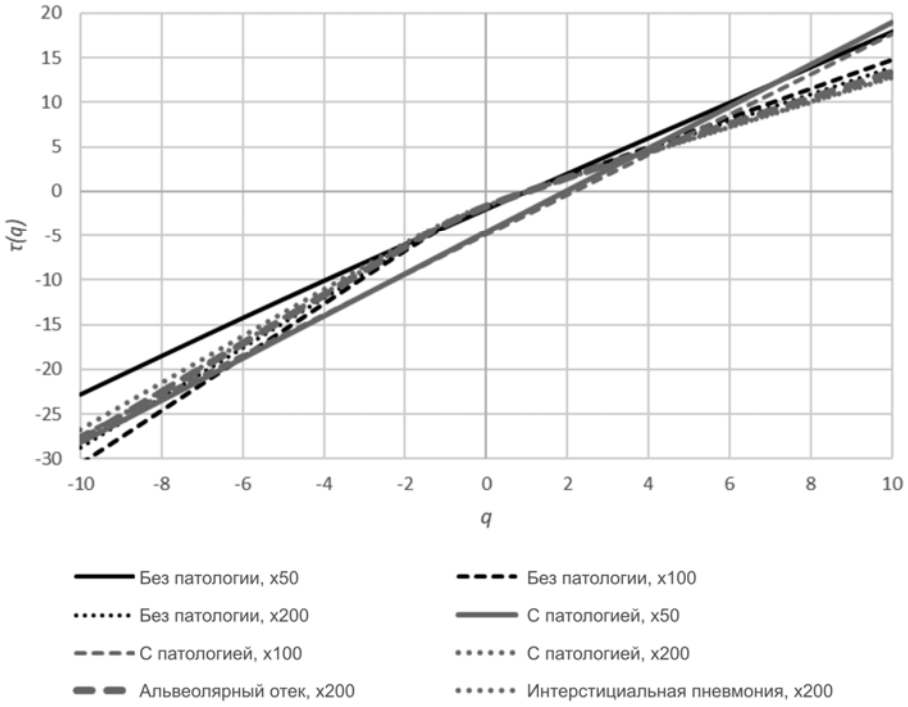


Рис. 5. Скейлинговые экспоненты изображений

Наиболее примечательным является то, что на меньших увеличениях изображения с патологией утрачивают признаки мультифрактальности, предположительно, это также связано с тем, что из-за общей отечности и очагового распределения эритроцитов контуры узора сглаживаются, и характерные детали проявляются только при большем увеличении.

Спектры сингулярности изображений отдельных патологических проявлений, а именно альвеолярного отека и интерстициальной пневмонии, при увеличении ×200 по характеристикам близки к спектру, характерному для патологических изменений в целом. Они имеют равную высоту и практически равную ширину. При этом ширина больше, чем для патологических изменений в целом, что подтверждает предположение, что это связано с нарушением чередования альвеолярных пространств в паттерне узора, характерного для тканей легких. Спектр, характерный для альвеолярного отека, в наибольшей степени смещен влево, что подтверждает предположение о том, что это ассоциировано с доминированием патологического компонента в структуре ткани.

Выводы. Таким образом, определены практические аспекты использования мультифрактального формализма для оценки морфологии тканей легких, прежде всего, установлено, что корректные результаты оценки мультифрактальных спектров гистологических изображений получают при степени увеличения ×200 и предварительной обработке с получением линейных контуров. Не исключается возможность получения достоверных результатов и при других степенях увеличения, однако сопоставление данных для разных изображений может быть корректным только при условии, что они получены при одинаковых степенях увеличения. Оценочными критериями при количественной характеристике тканей легких методом мультифрактального анализа являются статистические характеристики спектра сингулярности. Значительные отличия между морфологическим строением тканей легких с патологией и без таковой фиксируются при сопоставлении высоты, ширины и положения спектра относительно начала координат. Лакунарность не является универсальным оценочным критерием и позволяет идентифицировать ограниченный спектр патологий.

Список литературы

1. Оценка нелинейной динамики поврежденности клеточных структур как перспективный метод персонализированной онкодиагностики / О.Б. Наймарк, А.С. Никитюк, В.О. Небогатиков, В.В. Гришко // Альманах клинической медицины. – 2018. – Т. 46, № 8. – С. 742–747. DOI: 10.18786/2072-0505-201846-8-742-747

2. Шуплецов Ю.В. Прямое вычисление мультифрактального спектра для изображений биомедицинских препаратов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2015. – № 173. – С. 88–96.

3. Algorithm for image computerization analysis of histological specimens / A.V. Gusynin, N. Sokolova, V.E. Orel, H. Selezneva, S. Kolesnik // Problems of information technologies. – 2012. – № 11. – P. 129–139.

4. Ampilova N., Soloviev I. Application of fractal and multifractal analysis algorithms to image segmentation and classification // WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine. – 2016. – Vol.13, № 3. – P. 14–21.

5. Ampilova N., Soloviev I., Shupletzov Y. Multifractal spectrum as a classification sign for biomedical preparations images. Proceedings of 7th international conference

on communications, electromagnetics and medical applications; 2012 Nov 8–10. – Greece, Athens: School of electrical and computer engineering, 2013. – P.98–101.

6. Morphological changes in lung tissues of mice caused by exposure to nano-sized particles of nickel oxide / N.V. Zaitseva, M.A. Zemlyanova, A.M. Ignatova, M.S. Stepankov // Nanotechnologies in Russia. – 2018. – Vol. 13, № 7–8. – P. 393–399.

7. Quantitative phase imaging for medical diagnosis / H. Majeed, S. Sridharan, M. Mir, L. Ma, E. Min, W. Jung, G. Popescu // J. Biophotonics. – 2017. – № 10 (2). – P. 177–205. DOI: 10.1002/jbio.201600113

8. X-ray-based 3D virtual histology-adding the next dimension to histological analysis / J. Albers, S. Pacilé, M.A. Markus, M. Wiart, G. Vande Velde, G. Tromba, C. Dullin // Mol. Imaging Biol. – 2018. – № 20 (5). – P. 732–741. DOI: 10.1007/s11307-018-1246-3

Опыт применения биоинформационного анализа белков плазмы крови для выявления молекулярных маркеров прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья

Ю.В. Кольдибекова[1], Е.В. Пескова[1,2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
г. Пермь, Россия

Перспективным направлением для прогнозирования негативных эффектов со стороны систем-мишеней является изучение специфических маркеров изменений гомеостаза на клеточном и молекулярном уровне с помощью протеомных технологий. Изучение изменений протеомного профиля плазмы крови позволяет на самых ранних этапах, до возникновения симптомов клеточного и органного поражения, анализировать механизмы возникновения и развития ответных реакций организма на внешнесредовые воздействия. Цель настоящего исследования заключается в выявлении белковых маркеров плазмы крови для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья детей (на примере маркера экспозиции фторид-ион в моче). Предложен поэтапный алгоритм исследований, включающий применение протеомной технологии для выделения экспрессированных белков, выявление причинно-следственных связей белков с химическим фактором, установление молекулярно-клеточных и функциональных взаимоотношений в системе «фактор экспозиции – ген – белок – негативный исход». Полученные знания позволяют прогнозировать риск-ассоциированные нарушения здоровья и повысить эффективность профилактических превентивных мер, направленных на минимизацию негативных последствий.

Ключевые слова: протеомный профиль плазмы крови, фторид-ион в моче, молекулярные маркеры, экспрессия гена, негативные эффекты, катепсин L1, биоинформационные ресурсы.

В настоящее время особую актуальность сохраняют разработки и исследования на научной платформе «Профилактическая среда», направленные на повышение точности и эффективности прогнозных оценок риска изменений гомеостаза на ранних обратимых стадиях, которые с достаточно высокой степенью вероятности могут трансформироваться в патологические процессы в зрелом возрасте при сохраняющихся условиях негативного воздействия химических факторов окружающей среды.

Одним из инструментов поиска потенциальных молекулярных маркеров нарушения динамического равновесия является применение высокоинформативной протеомической технологии, позволяющей на основании исследований белковой композиции идентифицировать изменения, происходящие в результате экспрессии генов, кодирующих целевые белки (взаимоотношения по типу ДНК – РНК – белок), в условиях негативного воздействия факторов, в том числе химического генеза [1, 4]. Использование данного подхода является наиболее целесообразным, поскольку основную функциональную нагрузку при взаимодействии любого организма с внешней средой несут белки. Выявление молекулярных белковых и пептидных мишеней, определение их структуры и функций, тканевой принадлежности, вовлеченности в патогенез функциональных нарушений с применением существующих биоинформационных и токсикогенетических ресурсов [5, 8, 10, 12, 15] обеспечивает эффективное предположение ожидаемых негативных исходов со стороны здоровья. Установление при этом ассоциативных патогенетических связей между воздействием факторов экспозиции и экспрессией белковых молекулярных маркеров позволяет прогнозировать риск-ассоциированные негативные эффекты, что приобретает особую значимость для решения задач повышения эффективности раннего (клеточно-молекулярного) выявления нарушений состояния здоровья экспонированного населения.

На основании вышеизложенного представляется целесообразным уточнение подходов к проведению исследований по выявлению экспрессированных белков, ассоциированных с экспозицией химических факторов, биологическая и биохимическая интерпретация клеточно-функциональной принадлежности для детализации молекулярно-клеточных механизмов и повышения точности оценок возможного развития негативных эффектов, участвующих в патогенезе риск-ассоциированных неинфекционных заболеваний, что является основанием для определения цели настоящего исследования.

Цель исследования – выявление молекулярных маркеров плазмы крови для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья детей (на примере маркера экспозиции фторид-ион в моче).

Материалы и методы. Идентификация молекулярных маркеров для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья возможна посредством поэтапного алгоритма исследований, включающего:

– формирование выборок из числа экспонированных и неэкспонированных лиц, относящихся к контингенту, наиболее чувствительному к негативному воздействию химических факторов (группа наблюдения и группа контроля);

– установление факта экспозиции на основании определения повышенного относительно референтных значений (*RfL*) содержания в биосредах химических веществ, доказанно связанных с экспозицией (идентификация маркеров экспозиции);

– построение протеомного профиля, идентификация, сравнительный биоинформационный анализ и выделение статистически различающихся по интенсивности белковых пятен в группе наблюдения относительно контроля;

– выявление причинно-следственных связей идентифицированных экспрессированных белков с факторами экспозиции (по содержанию маркеров экспозиции в биосредах);

– качественный синтез биоинформационных данных, отражающих молекулярно-клеточные и функциональные взаимоотношения в системе «фактор экспозиции – белок – ген – негативный исход» для прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья.

Реализация предложенного алгоритма выполнена на примере исследования протеомного профиля плазмы крови детей в возрасте 3–6 лет, подвергающихся длительной аэрогенной экспозиции фтористых газообразных и твердых соединений, формирующей неканцерогенный риск здоровью. Критерием формирования выборок детей группы наблюдения явилось повышенное в 1,5 раза и более относительно референтного значения[1] содержание фторид-иона в моче (маркера экспозиции фтористых соединений в соответствии с установленными причинно-следственными связями). У детей группы контроля уровень изучаемого химического вещества соответствовал референтной величине или являлся близким ему. Обследование детей выполнено с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013 г.) и одобрено Комитетом по биомедицинской этике ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол заседания № 1 от 04.02.2021) с обязательным получением информированного добровольного согласия законного представителя.

Исследование протеомного профиля выполнено по технологии двумерного электрофореза в полиакриламидном геле. Полученные электрофореограммы плазмы крови визуализировали методом окраски серебром и документировали с помощью системы для гель-документирования (BioRad, США). Сравнительный анализ полученных протеомных карт проводили с помощью программного комплекса PDQuest (BioRad, США), выделяли значимые белковые пятна по их интенсивности и осуществляли последующий анализ методом жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим анализом (на хроматографе UltiMate 3000 (Германия) и тандемном масс-спектрометре AB Sciex 4000 QTRAP с источником ионизации Nanospray 3 (Канада)). Данные тандемных исследований обрабатывали программой ProteinPilot, версия 4.5 (AB SCIEX), с идентификацией по базе данных UniProt_sprot_fasta, с выборкой по таксону Homo Sapience. Основную часть информации о полученных белках экстрагировали из баз данных Gene Ontology Resource и UniProt[2]. Установление генов, кодирующих экспрессию идентифицированных белков, выполнено с помощью базы данных HGNC database of human gene name[3].

Оценку полученных значений показателей у экспонированных детей выполняли относительно неэкспонированных. Результаты проведенных исследований представлены в виде среднего значения и ошибки среднего. Статистическую зна-

[1] Тиц Н.У. Клиническое руководство по лабораторным тестам. – М.: ЮНИМЕД–пресс, 2003. – 960 с.

[2] Gene Ontology Resource [Электронный ресурс]. – URL: http://geneontology.org/ (дата обращения: 08.04.2022); UniProt [Электронный ресурс]. – URL: http://www.uniprot.org (дата обращения: 08.04.2022).

[3] HGNC database of human gene name [Электронный ресурс]. – URL: https://www.genenames.org (дата обращения: 12.04.2022).

чимость различий переменных между группами определяли по критерию Манна – Уитни ($U \leq U_{кр}$) при уровне значимости $p \leq 0{,}05$. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета программ Statistica 10.

Выявление и оценку причинно-следственных связей между изменением статистически отличающихся белковых пятен и концентрацией в моче фторид-иона проводили с помощью построения математической модели линейной регрессии. Достоверность и адекватность полученных моделей оценивали на основе дисперсионного анализа с использованием *F*-критерия Фишера, коэффициента детерминации (R^2), *t*-критерия Стьюдента при статистической значимости $p \leq 0{,}05$.

Классификация белков по классам, биологическим и молекулярным функциям выполнена с помощью баз данных Panther Classification System и Gene Ontology and GO Annotations[1]. Для установления экспрессии белков в тканях организма применяли информацию, содержащуюся на платформах Tissue expression database и The Human Protein Atlas[2]. Описание отношений в системе «фактор экспозиции (маркер экспозиции) – ген – белок – заболевание» производили с использованием информационного ресурса Comparative Toxicogenomics[3].

Результаты. Сравнительный анализ результатов полученного изображения протеомных карт плазмы крови обследуемых детей позволил выявить наличие достоверных различий относительного объема 27 белковых пятен у детей группы наблюдения и группы сравнения (табл. 1).

Таблица 1

Белки, достоверно отличающиеся от группы сравнения, выделенные в протеомном профиле плазмы крови детей

№ п/п	Наименование белка	Идентификатор UniProt	Кодирующий ген	Средний объем белкового пятна, $\bar{X} \pm SEM$		Достоверность различий средних между группами ($p \leq 0{,}05$)
				группа наблюдения	группа контроля	
1	2	3	4	5	6	7
1	Кератин 9	P35527	KRT9	1406,3 ± 148,7	2232,5 ± 272,2	0,0001
2	Band4.1-подобный белок 3	Q9Y2J2	EPB41L3	1890,6 ± 56,2	2833,8 ± 135,7	0,0001
3	Инозитол 1,4,5-трисфосфатный рецептор взаимодействующий белокоподобный 1	Q6GPH6	ITPRIPL1	1736,9 ± 56,2	2743,4 ± 304,4	0,0001
4	Бета-субъединица гемоглобина	P68871	HBB	2350,7 ± 161,6	1447,9 ± 253,0	0,0001
5	Субъединица ламинина альфа-3	Q16787	LAMA3	2435,4 ± 148,4	66,5 ± 61,5	0,0001

[1] Panther Classification System [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pantherdb.org (дата обращения: 23.03.2022); Gene Ontology and GO Annotations [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ebi.ac.uk/QuickGO (дата обращения: 23.03.2022).

[2] Tissue expression database [Электронный ресурс]. – URL: https://tissues.jensenlab.org/Search (дата обращения: 18.03.2022); The Human Protein Atlas [Электронный ресурс]. – URL: https://www.proteinatlas.org/ (дата обращения: 18.03.2022).

[3] Comparative Toxicogenomics [Электронный ресурс]. – URL: http://ctdbase.org/ (дата обращения: 12.04.2022).

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
6	Аполипопротеин A-I	P02647	APOA1	66,5 ± 12,5	2435,4 ± 148,4	0,0001
7	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B	Q8IYD1	GSPT2	2547,5 ± 118,0	94,0 ± 81,0	0,0001
8	J-цепь иммуноглобулина	P01591	JCHAIN	1785,0 ± 86,0	101,0 ± 34,0	0,0001
9	THO комплексная субъединица 2	Q8NI27	THOC2	3157,56 ± 65,4	2983,4 ± 61,1	0,0001
10	Nck-ассоциированный белок 5	Q9HCH0	NCKAP5L	2586,6 ± 105,1	2840,3 ± 92,5	0,0001
11	GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1	O75420	GIGYF1	2340,7 ± 183,3	95,4 ± 61,4	0,0001
12	Кельч-подобный белок 4	Q9C0H6	KLHL4	1806,6 ± 78,0	100,5 ± 76,9	0,0001
13	Протромбин	P00734	F2	1893,7 ± 117,3	1724,6 ± 47,4	0,0001
14	Нуклеофосмин	P06748	NPM1	469,0 ± 120,0	94,0 ± 26,0	0,0001
15	Дополнение C4-B	P0C0L5	C4B	2749,8 ± 56,0	1821,2 ± 259,7	0,009
16	Катепсин L1	P07711	CTSL	1712, 0 ± 123,7	518,5 ± 125,5	0,0001
17	Анкирин-1	P16157	ANK1	1765,6 ± 91,0	454,2 ± 505,1	0,0001
18	Транспортный холино-подобный белок 3	Q8N4M1	SLC44A3	1715,2 ± 123,0	72,7 ± 71,0	0,0001
19	Обонятельный рецептор 8A1	Q8NGG7	OR8A1	1712,1 ± 123,7	518,5 ± 248,0	0,0001
20	Транстиретин	P02766	TTR	3966,9 ± 189,3	2344,4 ± 300,2	0,0001
21	Витронектин	P04004	VTN	3568,8 ± 233,2	1844,1 ± 142,6	0,0001
22	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14	Q15678	PTPN14	1639,1 ± 156,8	99,5 ± 95,63	0,0001
23	Фактор терминации транскрипции 1	Q15361	TTF1	3109,5 ± 75,2	3342,2 ± 118,7	0,0001
24	Аполипопротеин C-III	P02656	APOC3	4249,6 ± 250,1	3027,4 ± 250,1	0,0001
25	Миотубулярин	Q13496	MTM1	4408,1 ± 263,9	3228,0 ± 335,8	0,0001
26	Аполипопротеин C-II	P02655	APOC2	3802,7 ± 272,0	2326,7 ± 295,1	0,0001
27	Сывороточный амилоидный белок A-1	P0DJI8	SAA1	2326,3 ± 154,1	61,8 ± 5,9	0,0001

У детей группы наблюдения относительно группы сравнения установлено достоверное увеличение в 1,4–37,6 раза объема порядка 75 % выявленных белковых пятен от общего количества, а также уменьшение в 1,5–36,6 раза объема 25,0 % белков (p = 0,0001–0,009).

Биоинформационный анализ локализации идентифицированных белков, выполненный с помощью системы классификации Panther, позволил установить, что большинство из них (57,7 %) входят в состав клеточных структур (GO: 0110165), и 15,4 % белков локализованы в протеиновых комплексах (GO: 00032991). В зависимости от участия в жизненном цикле белки классифицированы следующим образом: 22,7 % белков относятся к протеинам, участвующим в передаче сигналов (PC00219), 13,6 % – к метаболитам взаимосвязи ферментов (PC00262), по 9,1 % – к ферментативным модуляторам (PC00260), белкам цитоскелета (PC00085) и белкам-адаптерам (PC00226) (табл. 2).

Таблица 2

Классы выделенных белков плазмы крови детей в зависимости от участия в жизненном цикле

Класс белков*	Наименование белка
Ферментативные модуляторы	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14, протромбин, катепсин L1
Белок-адаптер	Анкирин-1, Кельч-подобный белок 4
Белок передачи	Аполипопротеин A-I, аполипопротеин C-II, аполипопротеин C-III, бета-субъединица гемоглобина
Белок цитоскелета	Band4.1-подобный белок 3, Кератин 9
Метаболит взаимосвязи ферментов	Транстиретин, инозитол 1,4,5-трисфосфатный рецептор взаимодействующий белокоподобный 1, миотубулярин
Транспортер	Транспортный холиноподобный белок 3
Шаперон	Нуклеофосмин
Молекула клеточной адгезии	Субъединица ламинина альфа-3
Модулятор активности белкового связывания	Дополнение C4-B
Трансмембранный сигнальный рецептор	Обонятельный рецептор 8A1
Белок защиты	J-цепь иммуноглобулина
Регулятор специфичной генной транскрипции	THO комплексная субъединица 2
Белок трансляции	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B

Примечание: * – согласно данным The PANTHER Classification System[1].

Анализ классификационных признаков по молекулярным процессам показал, что большинство белков осуществляют функции связывания с другими молекулами (GO: 0005488; 44,8 %) и каталитической активности (GO: 0003824; 31,3 %). Исследование и оценка классификации биологических функций показали, что основная часть белков обеспечивает клеточные (GO: 0009987; 30 %) и метаболические процессы (GO: 0008152; 15 %), а также биологическое регулирование (GO: 0065007; 12 %) (табл. 3).

Таблица 3

Молекулярные и биологические функции выделенных белков плазмы крови детей

Функция белка*	Названия белков
Молекулярная	
Активность молекулярного преобразователя	Обонятельный рецептор 8A1
Активность молекулярного адаптера	Анкирин-1
Активность транспорта	Транспортный холиноподобный белок 3
Регуляторная активность	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B

[1] The PANTHER Classification System [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pantherdb.org/ (дата обращения: 19.03.2022).

Окончание табл. 3

Функция белка*	Названия белков
Связи с другими молекулами	Обонятельный рецептор 8A1; THO-комплексная субъединица 2; бета-субъединица гемоглобина; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; анкирин-1; витронектин
Каталитическая активность	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; бета-субъединица гемоглобина; миотубулярин; катепсин L1
Биологическая	
Биологическая адгезия	Витронектин
Процессы роста	Протромбин
Процессы иммунной системы	Дополнение C4-B; катепсин L
Биологическое регулирование	Протромбин; обонятельный рецептор 8A1; нуклеофосмин; дополнение C4-B; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; миотубулярин
Клеточные процессы	Nck-ассоциированный белок 5; протромбин; THO-комплексная субъединица 2; обонятельный рецептор 8A1; бета-субъединица гемоглобина; транспортный холиноподобный белок 3; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; анкирин-1; транстеритин; миотубулярин; витронектин; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; катепсин L1
Процессы развития	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; миотубулярин;
Локализация	THO-комплексная субъединица 2; транспортный холиноподобный белок 3; нуклеофосмин; анкирин-1; миотубулярин
Метаболический процесс	THO-комплексная субъединица 2; бета-субъединица гемоглобина; фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B; нуклеофосмин; транстеритин; дополнение C4-B; миотубулярин; катепсин L1
Многоклеточный процесс организма	Тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14; протромбин; обонятельный рецептор 8A1
Ответ на стимул	Протромбин; обонятельный рецептор 8A1; дополнение C4-B; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1; катепсин L1
Сигнальная функция	Обонятельный рецептор 8A1; GRB10-взаимодействующий GYF-белок 1

Примечание: * – согласно данным The PANTHER Classification System[1].

Установленные классификационные признаки (локализация, участие в жизненном цикле, биологические функции) идентифицированных белков у детей группы наблюдения аналогичны белкам группы контроля.

[1] The PANTHER Classification System [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pantherdb.org/ (дата обращения: 19.03.2022).

Анализ причинно-следственных связей между изменением уровня экспрессированных 27 белков и концентрацией фторид-иона в моче позволил выявить достоверную прямую зависимость только для белка катепсина L1 (R^2 = 0,45; b_0 = 764,23; b_1 = 51,47; p = 0,016), что согласуется с данными экспериментальных исследований, свидетельствующих, что экспозиция соединений фтора приводит к увеличению экспрессии катепсина L1 [2].

Экспрессия белка катепсина L1 осуществляется в тканях респираторного тракта, эндокринной системы, желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы, почках и мышечной ткани. Биоинформационный анализ локализации, функциональной и тканевой принадлежности показал, что белки семейства катепсинов являются лизосомальными цистеиновыми протеиназами, участвующими в процессах, связанных с гибелью клеток, деградацией и посттрансляционными модификациями белков, ремоделированием внеклеточного матрикса, аутофагией и передачей иммунных сигналов. Конкретно с увеличением уровня катепсина L1 связаны деградация и нарушение ремоделирования внеклеточного матрикса в макрофагах легких и толстого кишечника; нарушение баланса «трипсиноген – трипсин» с развитием воспаления в паренхиме поджелудочной железы; нарушение передачи сигналов пути митоген-активируемых протеинкиназ (MAPK) в кардиомиоцитах, повреждение подоцитов почечных клубочков [3, 6, 7, 11, 13, 14]. Кроме этого, катепсин L1 опосредует процессинг расщепления субъединицы спайкового белка S1 SARS-CoV-2, необходимого для проникновения в клетку и последующей репликации вируса [9, 16]. При сохраняющихся условиях экспозиции фторсодержащими соединениями увеличивается вероятность развития таких риск-ассоциированных негативных исходов со стороны здоровья, как прогрессирующая дилатационная кардиомиопатия, атеросклероз, панкреатит и сахарный диабет, гломерулонефрит, колит, коронавирусная инфекция.

Выводы. В результате реализации предложенного алгоритма и сравнительного анализа протеомных карт плазмы крови детей, экспонированных и неэкспонированных фторсодержащими соединениями, идентифицировано 27 экспрессированных белков. На примере белка катепсина L1, экспрессия которого достоверно связана с повышенным содержанием фторид-иона в моче (маркера экспозиции), проведен качественный анализ биологической, биохимической, функциональной принадлежности изучаемого белка и его генно-химического взаимодействия, позволивший спрогнозировать развитие риск-ассоциированных негативных эффектов у экспонированных лиц, в том числе в виде кардиомиопатии, колита, гломерулонефрита, сахарного диабета, атеросклероза, коронавирусной инфекции. Полученные прогнозные оценки позволяют повышать эффективность раннего выявления и разработки профилактических превентивных мер, направленных на минимизацию негативных последствий.

Список литературы

1. Биомониторинг человека: факты и цифры [Электронный ресурс]. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015. – URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/164589/WHO-EURO-2015-3209-42967-60041-rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y (дата обращения: 02.06.2022).

2. Alterations in epididymal proteomics and antioxidant activity of mice exposed to fluoride / Z. Sun, S. Li, Y. Yu [et al.] // Arch. Toxicol. – 2018. – Vol. 92, № 1. – P. 169–180. DOI: 10.1007/s00204-017-2054-2

3. Angiotensin II type-2-receptor stimulation ameliorates focal and segmental glomerulosclerosis in mice / M.C. Liao, K.N. Miyata, S.Y. Chang [et al.] // Clin. Sci. (Lond.). – 2022. – Vol. 136, № 10. – P. 715–731. DOI: 10.1042/CS20220188

4. Baer B., Millar A.H. Proteomics in evolutionary ecology // J. Proteomics. – 2016. – Vol. 135. – P. 4–11. DOI: 10.1016/j.jprot.2015.09.031

5. Baumgartner C., Osl M., Netzer M. Baumgartner D. Bioinformatic-driven search for metabolic biomarkers in disease // J. Clin. Bioinforma. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 2. DOI: 10.1186/2043-9113-1-2

6. Cathepsin S is activated during colitis and causes visceral hyperalgesia by a par2-dependent mechanism in mice / F. Cattaruzza, V. Lyo, E. Jones [et al.] // Gastroenterology. – 2011. – Vol. 141, № 5. – P. 1864–1874.e1-3. DOI: 10.1053/j.gastro.2011.07.035

7. Differential expression of cysteine and aspartic proteases during progression of atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice / S. Jormsjö, D.M. Wuttge, A. Sirsjö [et al.] // Am. J. Pathol. – 2002. – Vol. 161, № 3. – P. 939–945. DOI: 10.1016/S0002-9440 (10)64254-X

8. Dynamic Proteomics: a database for dynamics and localizations of endogenous fluorescently-tagged proteins in living human cells / M. Frenkel-Morgenstern, A.A. Cohen, N. Geva-Zatorsky [et al.] // Nucleic Acids Res. – 2010. – Vol. 38, Suppl. 1. – P. D508–D512. DOI: 10.1093/nar/gkp808

9. Glycopeptide Antibiotics Potently Inhibit Cathepsin L in the Late Endosome/ Lysosome and Block the Entry of Ebola Virus, Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV), and Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus (SARS-CoV) / N. Zhou, T. Pan, J. Zhang [et al.] // J. Biol. Chem. – 2016. Vol. 291, № 17. – P. 9218–9232. DOI: 10.1074/jbc.M116.716100

10. Large-scale gene function analysis with the PANTHER classification system / H. Mi, A. Muruganujan, J.T. Casagrande, P.D. Thomas // Nat. Protoc. – 2013. – Vol. 8, № 8. – P. 1551–1566. DOI: 10.1038/nprot.2013.092

11. Lysosomal cysteine peptidase cathepsin L protects against cardiac hypertrophy through blocking AKT/GSK3β signaling / Q. Tang, J. Cai, D. Shen [et al.] // J. Mol. Med. (Berl.). – 2008. – Vol. 87, № 3. – P. 249–260. DOI: 10.1007/s00109-008-0423-2

12. Mi H., Muruganujan A., Thomas P.D. PANTHER in 2013: modeling the evolution of gene function, and other gene attributes, in the context of phylogenetic trees // Nucleic Acids Res. – 2003. – Vol. 41. – P. D377–D386. DOI: 10.1093/nar/gks1118

13. Podocyte migration during nephrotic syndrome requires a coordinated interplay between cathepsin L and alpha3 integrin / J. Reiser, J. Oh, I. Shirato [et al.] // J. Biol. Chem. – 2004. – Vol. 279, № 33. – P. 34827–34832. DOI: 10.1074/jbc.m401973200

14. Roles for cathepsins S, L, and B in insulitis and diabetes in the NOD mouse / L.C. Hsing, E.A. Kirk, T.S. McMillen [et al.] // J. Autoimmun. – 2010. – Vol. 34, № 2. – P. 96–104. DOI: 10.1016/j.jaut.2009.07.003

15. TISSUES 2.0: an integrative web resource on mammalian tissue expression / O. Palasca, A. Santos, Ch. Stolte [et al.] // Database. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–12. DOI: 10.1093/database/bay003

16. Transcriptomic characteristics of bronchoalveolar lavage fluid and peripheral blood mononuclear cells in COVID-19 patients / Y. Xiong, Y. Liu, L. Cao [et al.] // Emerg. Microbes Infect. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 761–770. DOI: 10.1080/22221751.2020.1747363

Сравнительный анализ чувствительности штаммов микроводорослей *Chlorella Vulgaris* и *Chlorella Sorokiniana* к различным антибиотикам

Д.А. Кузянов, И.С. Кошелева, К.А. Савина, Ю.С. Гусев

Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Саратов, Россия

На сегодняшний день загрязнение антибиотиками источников водоснабжения населения вызывает серьезное беспокойство. Данная проблема является одной из наиболее значимых в современной медицине, поскольку попадание антибиотиков в водные объекты представляет собой угрозу для здоровья населения. Цель данного исследования заключалась в проведении сравнительного анализа чувствительности наиболее изученных и используемых штаммов одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella sorokiniana* к широко применяемым антибиотикам – азитромицину, цефтриаксону, тетрациклину и бициллину-5.

Биотестирование проводилось на комплексе оборудования «Лаборатория биотестирования вод» (ООО «Европолитест», г. Москва) в одинаковых условиях для обоих штаммов. В результате было установлено, что культура *Chlorella sorokiniana* обладает большей по сравнению с *Chlorella vulgaris* чувствительностью к азитромицину, цефтриаксону и тетрациклину. Выявлено, что чувствительность к бициллину-5 выше у культуры *Chlorella vulgaris*. Полученные в настоящей работе данные демонстрируют перспективность создания новых методов контроля содержания антибиотиков в воде, основанных на применении одноклеточных гидробионтов, в частности водорослей рода *Chlorella*.

Ключевые слова: биотестирование, антибиотики, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sorokiniana*.

Биотестирование как интегральный метод является важным средством оценки токсичности объектов окружающей среды в дополнение к традиционным методам гигиенического мониторинга. Выбор тест-объектов при анализе токсикологических характеристик воды определяется их высокой чувствительностью к загрязнителям [6, 25].

На сегодняшний день одними из самых надежных объектов для исследований в токсикологии выступают различные виды микроводорослей. В частности, применение одноклеточных пресноводных водорослей рода *Chlorella* в качестве тест-объектов считается перспективным ввиду их короткого жизненного цикла, широкого распространения, высокой адаптационной способности и чувствительности, что позволяет стандартизировать методику биологического тестирования в различных научно-исследовательских и гигиенических лабораториях [10, 14, 20]. Однако известно, что разные виды микроводорослей *Chlorella* обладают различной устойчивостью и чувствительностью по отношению к токсикантам [5, 25].

Широкое применение антибиотиков вызывает в настоящее время серьезную обеспокоенность, связанную с аккумуляцией этих соединений в окружающей среде. Антибиотики попадают в водоисточники в результате антропогенной деятельности, что способствуют развитию устойчивых к ним микроорганизмов, которые,

в свою очередь, оказывают негативное влияние на здоровье человека, увеличивая риски, связанные с возникновением инфекционных заболеваний и антибиотикорезистентности [8, 9].

Основным способом загрязнения источников питьевого водоснабжения антибиотиками являются сточные воды медицинских учреждений и предприятий фармацевтической промышленности, не прошедшие специализированную очистку [12, 16]. Большинство современных очистных сооружений в связи с отсутствием необходимых механизмов деструкции не способны эффективно удалять антибиотики из сточных вод [3, 8]. В среднем только 20–30 % антибиотиков и их метаболитов удаляется посредством очистки [13]. Для большинства этих соединений характерна высокая гидрофильность и низкая летучесть, что обусловливает их устойчивость и накопление в водной среде [8]. Выявлено, что содержание антибиотиков в водоисточниках варьируется в пределах от нескольких нг/л до десятков мг/л [19].

В отечественной и зарубежной литературе крайне мало сведений касательно влияния азитромицина и тетрациклина на микроводоросли *Chlorella*. Отсутствуют данные о влиянии цефтриаксона и бицилина-5 на физиологическое состояние культур зеленых микроводорослей. В связи с этим анализ чувствительности микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella sorokiniana* к указанным выше антибиотикам, проведенный нами в одинаковых условиях для исследуемых культур, расширяет представления об эффектах воздействия этих веществ на исследуемые штаммы. Представленные в настоящей работе результаты могут быть использованы при разработке новых методологических подходов к мониторингу антибиотиков в водных объектах.

Цель исследования – провести сравнительный анализ чувствительности штаммов микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijer и *Chlorella sorokiniana* Shihira & R.W. Krauss IPPAS C-1 к азитромицину, цефтриаксону, тетрациклину и бициллину-5.

Материалы и методы. В настоящем исследовании в качестве тест-объектов использовались два термофильных штамма зеленой протококковой микроводоросли рода *Chlorella*: *Chlorella vulgaris* Beijer (предоставлен компанией ООО «Европолитест», г. Москва, свидетельство на тест-объект от 1 февраля 2022 г.) и *Chlorella sorokiniana* Shihira & R.W. Krauss IPPAS C-1 (предоставлен Институтом физиологии растений им. К.А Тимирязева, г. Москва, паспорт № 55/22). Выбор штаммов микроводорослей рода *Chlorella* обусловлен следующими факторами: их широкой распространенностью, высокой продуктивностью биомассы, короткими сроками и простотой культивирования. Помимо этого, исследуемые культуры находят широкое применение в различных областях охраны окружающей среды. Так, штамм *Chlorella vulgaris* Beijer был выбран в связи с его широким применением в экотоксикологическом мониторинге загрязнений окружающей среды [7, 15]. *Chlorella sorokiniana* – микроводоросль, наиболее часто используемая для очистки загрязненных антибиотиками сточных вод [17, 21, 23].

Биотестирование проводилось на базе лаборатории химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора на комплексе оборудования «Лаборатория биотестирования вод» (производитель ООО «Европолитест», г. Москва).

В качестве модельных токсикантов использовались следующие антибиотики: азитромицин – 50 и 100 мкг/л, цефтриаксон – 1000 и 10 000 мкг/л, тетрациклин –

5000 и 10 000 мкг/л, бициллин-5 – 500 и 1000 мкг/л. Выбор антибиотиков был определен их распространенностью для использования населением. Исследуемые воздействующие концентрации обоснованы нормативами содержания в пробах воды, установленные СанПиН 1.2.3685-21 [2].

Культивирование штаммов осуществлялось в накопительном режиме на жидкой 50%-ной среде Тамия [11] по методике [1]. Наращивание культуры осуществляли до достижения экспоненциальной стадии роста: 24 ч для *Chlorella vulgaris* и 48 ч для *Chlorella sorokiniana*. Оптическая плотность, соответствующая экспоненциальной фазе, составляет 0,2 ± 0,01 [1, 22]. Далее тест-культуры разбавляли чистой средой Тамия до оптической плотности 0,125 ± 0,005 и добавляли в объеме 1 мл к 24 мл контрольных (дистиллированная вода) и тестовых (растворы антибиотиков) образцов. Подготовленные пробы переносили в объеме 6 мл в чистые стеклянные флаконы. Биотестирование проводили в многокюветном культиваторе водорослей КВМ-05. Продолжительность эксперимента составила 24 ч. Все эксперименты проводились в трех повторностях.

Оценку роста исследуемых штаммов микроводорослей проводили путем сравнения оптической плотности контрольных и тестовых образцов в 5-миллиметровых кварцевых кюветах на спектрофотометре КФК-3 «ЗОМЗ» при длине волны 560 нм.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета прикладных программ Statistica for Windows v. 7.0, StatSoft Inc. Сравнение полученных данных производили с помощью двустороннего *t*-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0{,}05$.

Результаты. Исследуемые в настоящей работе антибиотические вещества оказывали характерное влияние на рост культур зеленых водорослей *C. vulgaris* и *C. sorokiniana*. Показатели роста микроводорослей и их чувствительности к антибиотикам представлены на рисунке.

Представленные в настоящей работе данные указывают на стимулирующее влияние выбранных концентраций цефтриаксона и бициллина-5 на рост тестируемых культур. Известно, что микроводоросли *Chlorella* обладают способностью к метаболизации антибиотиков, при этом одна часть вещества выступает в качестве донора (или акцептора) электронов, а другая – как дополнительный органический субстрат для производства биомассы [26]. В литературе также имеются сведения о способности *Chlorella sorokiniana* разрушать антибиотические вещества [17, 21, 23].

Цефтриаксон в низких концентрациях (1000 мкг/л) стимулировал прирост биомассы культуры *Chlorella sorokiniana* на 54,67 % по сравнению с контролем, а в более высоких (10 000 мкг/л), наоборот, несколько подавлял его (рисунок, *а*). Низкие концентрации цефтриаксона усиливали рост культуры *Chlorella vulgaris* на 34,42 %, а высокие – на 5,84 %. Полученные результаты свидетельствуют о более высокой чувствительности штамма *Chlorella sorokiniana* к цефтриаксону, по сравнению с *Chlorella vulgaris*.

Бициллин-5 в используемых концентрациях также стимулировал прирост биомассы исследуемых культур. Наибольшую чувствительность по отношению к бициллину-5 демонстрировала культура *Chlorella vulgaris*. В концентрации 500 мкг/л препарат усиливал рост *Chlorella vulgaris* на 22,08 %, а *Chlorella sorokiniana* – на 17,31 %. В концентрации 1000 мкг/мл ростовые характеристики штаммов составили: 17,53 % для *Chlorella vulgaris* и 11,76 % для *Chlorella sorokiniana* по отношению к контролю (рисунок, *б*).

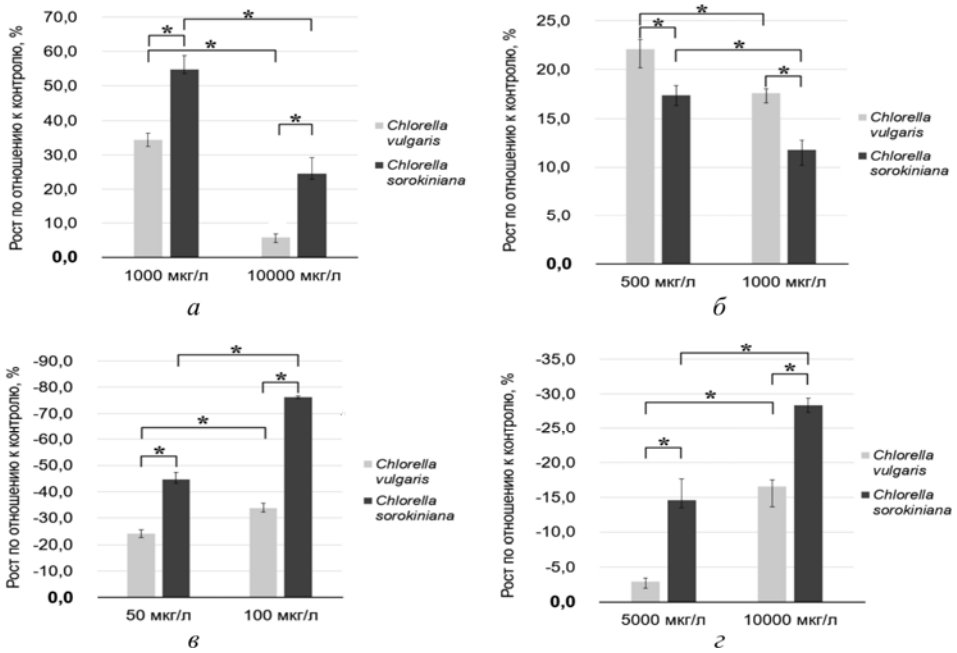


Рис. Влияние антибиотиков на рост штаммов микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella. sorokiniana*: *а* – цефтриаксон; *б* – бициллин-5; *в* – азитромицин; *г* – тетрациклин (Величины, отмеченные звездочкой (*), достоверно различаются при $p \leq 0{,}05$ между показателями, объединенными скобками. Положительные значения вертикальной оси говорят о стимулирующем влиянии антибиотика на рост микроводоросли, отрицательные – о его ингибировании)

Полученные в настоящей работе данные демонстрируют взаимосвязь между содержанием исследуемых антибиотиков в среде культивирования и темпами роста микроводорослей. Похожие результаты получены в работе S. Wu et al. (2022) [18], где антибиотик окситетрациклин в концентрации 50 мг/л увеличивал прирост биомассы микроводорослей *Chlorella*, в то время как в более высоких концентрациях, наоборот, подавлял его.

В отличие от цефтриаксона и бициллина-5, стимулирующих рост, азитромицин и тетрациклин, напротив, ингибировали физиологические процессы у микроводорослей.

Установлено, что азитромицин ингибировал рост обоих штаммов. Полученные результаты обусловлены тем, что макролидные вещества, такие как азитромицин, являются особо токсичными соединениями для микроводорослей *Chlorella* [4]. Снижение темпов роста было наиболее выраженным у водоросли *Chlorella sorokiniana*. Так, в присутствии 50 мкг/л азитромицина разница в росте между штаммами составила 20,61 %. При 100 мкг/л азитромицина рост культуры *Chlorella sorokiniana* был ниже на 39,11 % по сравнению с *Chlorella vulgaris* (рисунок, *в*).

Добавление в среду тетрациклина также приводило к снижению скорости роста культур микроводорослей. В концентрации 5000 мкг/л подавление роста *Chlorella sorokiniana* составило 14,53 %, а для культуры *Chlorella vulgaris* – 2,92 %.

В концентрации 10 000 мкг/л рост штамма *Chlorella sorokiniana* снизился на 28,37 %, в то время как темпы роста *Chlorella vulgaris* уменьшились на 16,56 % относительно контроля (рисунок, *г*). Настоящие результаты согласуются с результатами S. Wang et al. (2021) для тетрациклина в концентрации 1 мг/л, который был протестирован на микроводорослях *Chlorococcum* и *Chlorella* [26].

Выводы:

1. Впервые проведен сравнительный анализ чувствительности культур микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella sorokiniana* к азитромицину, тетрациклину, цефтриаксону и бициллину-5.

2. Установлено, что характер роста микроводорослей рода *Chlorella* в присутствии антибиотиков варьируется в зависимости от тестируемого препарата и штамма водоросли.

3. По результатам исследования, *Chlorella sorokiniana* обладает статистически достоверно большей, в сравнении с *Chlorella vulgaris*, чувствительностью к азитромицину, цефтриаксону и тетрациклину, а чувствительность к бициллину-5 выше для культуры *Chlorella vulgaris*.

4. Проведенный анализ чувствительности демонстрирует перспективность разработки новых методов контроля содержания антибиотиков в воде, основанных на применении водорослей рода *Chlorella*.

Список литературы

1. ПНД Ф Т 14.1: 2: 3: 4.10-04 (Т 16.1: 2: 2.3: 3.7-04). Токсикологические методы контроля. Методика измерений 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.: Стандартинформ, 2014. – 38 с.

2. 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 помещениях, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с измен. и доп.) / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/400289764/ (дата обращения: 19.08.2022).

3. Accumulation of residual antibiotics in the vegetables irrigated by pharmaceutical wastewater / S Hussain., M. Naeem, M.N. Chaudhry, M.A. Iqbal // Exposure and Health. – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 107–115.

4. Aubakirova B.N., Beisenova R.R., Zhamangara A.K. The effect of pharmaceutical ingredients to the growth of algae // Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2017. – Vol. 4, № 322. – P. 5–11.

5. Characterization of the cadmium-binding capacity of *Chlorella vulgaris* / H.P. Carr, F.A. Cariño, M.S. Yang, M.H. Wong // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 1998. – Vol. 60, № 3. – P. 433–440. DOI: 10.1007/s001289900644

6. Comparison of the sensitivity of luminescent methods in water biotesting containing priority pollutants / M.N. Saksonov,, A.E. Balayan,, N.F. Kashina, O.A. Barkha-

tova, A.D. Stom // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. – 2019. – Vol. 19, № 5.1. – P. 117–124. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.015

7. Czaplicka-Kotas A., Lodowska J. Biomonitoring of surface water by synchronous culture of *Chlorella vulgaris* algae // Environment Protection Engineering. – 2014. – Vol. 40, № 4. – P. 29–40. DOI: 10.37190/epe140403

8. Daghrir R., Drogui P. Tetracycline antibiotics in the environment: a review // Environmental chemistry letters. – 2013. – Vol. 11, № 3. – P. 209–227.

9. Ding C., He J. Effect of antibiotics in the environment on microbial populations // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2010. – Vol. 87, № 3. – P. 925–941. DOI: 10.1007/s00253-010-2649-5

10. Effects of phenanthrene on growth parameters and antioxidant systems in the green microalga *Chlorella vulgaris* / S.R. Asghari, A. Movafeghi, S.Y. Salehi Lisar, J. Barar, Y. Omidi // Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2018. – Vol. 8, № 4. – P. 3405–3411.

11. IPPAS – коллекция культур микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР / М.Г. Владимирова, Е.Д. Барцевич, И.А. Жолдаков, О.О. Епифанова, А.Г. Маркелова, И.П. Маслова, Е.С. Купцова // Каталог культур коллекций СССР. – М: РАН, 1991. – С. 8–61.

12. Larsson D.G.J. Antibiotics in the environment // Upsala J. Med. Sci. – 2014. – Vol. 119, № 2. – P. 108–112. DOI: 10.3109/03009734.2014.896438

13. Li B., Zhang T. Mass flows and removal of antibiotics in two municipal wastewater treatment plants // Chemosphere. – 2011. – Vol. 83, № 9. – P. 1284–1289. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.03.002

14. Liu Z., Yin P. Toxicity assessment of *Chlorella vulgaris* to landfill leachate before and after treatment // Toxicology. – 2011. – Vol. 7. – P. 8.

15. Lushchay E.A., Ivanov D.E., Tikhomirova E.I. Development and Efficiency Assessment of New Methods on Rapid Assessment of Toxicity in Environmental Monitoring // Povolzhskiy Journal of Ecology. – 2019. – № 4. – P. 458–469. DOI: 10.35885/1684-7318-2019-4-458-469

16. Manzetti S., Ghisi R. The environmental release and fate of antibiotics // Mar. Pollut. Bull. – 2014. – Vol. 79, № 1–2. – P. 7–15. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.01.005

17. Maryjoseph S., Ketheesan B. Microalgae based wastewater treatment for the removal of emerging contaminants: A review of challenges and opportunities // Case studies in chemical and environmental engineering. – 2020. – Vol. 2. – P. 100046. DOI: 10.1016/j.cscee.2020.100046

18. Microalgae cultivation for antibiotic oxytetracycline wastewater treatment / S. Wu, J. Zhang, A. Xia, Y. Huang, X. Zhu, X. Zhu, Q. Liao [et al.] // Environ. Res. – 2022. – Vol. 214, Pt 1. – P. 113850. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113850

19. Pan M., Chu L.M. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops // Sci. Total Environ. – 2017. – Vol. 599–600. – P. 500–512. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.214

20. Photo-oxidative protection of chlorophyll a in c-phycocyanin aqueous medium / J.-E. Hong, J.-H. Lim, T.-Y. Kim, H.-Y. Jang, H.-B. Oh, B.-G. Chung, S.-Y. Lee // Antioxidants (Basel). – 2020. – Vol. 9, № 12. – P. 1235. DOI: 10.3390/antiox9121235

21. Physiological and Transcriptomic Responses of Freshwater Microalgae *Chlorella Sorokiniana* to Ciprofloxacin Exposure Reveal Molecular Mechanisms for Antibiotic Removal / Z. Li, S. Li, T. Li [et al.] // Cell Press. – 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4020519

22. Phycoremediation as a Strategy for the Recovery of Marsh and Wetland with Potential in Colombia / Y. Aranguren Díaz, E. Monterroza Martínez, L. Carillo García, M.C. Serrano, E. Machado Sierra // Resources. – 2022. – Vol. 11, № 2. – P. 15. DOI: 10.3390/resources11020015

23. Physiological and transcriptomic responses of *Chlorella sorokiniana* to ciprofloxacin reveal molecular mechanisms for antibiotic removal / Z. Li, S. Li, T. Li, X. Gao, L. Zhu // iScience. – 2022. – Vol. 25, № 7. – P. 104638. DOI: 10.1016/j.isci.2022.104638

24. Qiao H., Wang G. Effect of carbon source on growth and lipid accumulation in *Chlorella sorokiniana* GXNN01 // Chinese Journal of Oceanology and Limnology. – 2009. – Vol. 27, № 4. – P. 762–768.

25. Rapid and Sensitive Detection of Water Toxicity Based on Photosynthetic Inhibition Effect / M. Chen, G. Yin, N. Zhao, T. Gan, C. Feng, M. Gu, P. Qi, Z. Ding // Toxics. – 2021. – Vol. 9, № 12. – P. 321. DOI: 10.3390/toxics9120321

26. Tetracycline-induced decoupling of symbiosis in microalgal-bacterial granular sludge / S. Wang, B. Ji, M. Zhang, J. Gu, Y. Ma, Y. Liu // Environ. Res. – 2021. – Vol. 197. – P. 111095. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111095

Поиск генетических маркеров для прогнозирования риска развития бронхиальной астмы у жителей Республики Башкортостан

Г.Ф. Мухаммадиева, Д.О. Каримов, Я.В. Валова, Э.Р. Кудояров, Д.Д. Каримов, А.И. Борисова

ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»,
г. Уфа, Россия

Приводятся результаты исследования по изучению ассоциации полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* с развитием бронхиальной астмы у жителей Республики Башкортостан. В исследование включены 164 пациента с бронхиальной астмой и 147 здоровых лиц контрольной группы. Генотипирование полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* проводили методом полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов. Статистически значимых различий по распределению частот аллелей и генотипов по изучаемому полиморфному локусу между больными и контролем не выявлено. Необходимы дальнейшие исследования по поиску генетических маркеров риска развития бронхиальной астмы с включением большего числа пациентов и расширением перечня тестируемых полиморфных локусов.

Ключевые слова: гены, полиморфизм, бронхиальная астма, риск.

Бронхиальная астма (БА) представляет собой мультифакториальное заболевание, развитие которого определяется взаимодействием средовых и генетических факторов. В настоящее время активно ведется поиск аллельных вариантов генов,

вовлеченных в развитие и течение бронхолегочных заболеваний, в том числе и БА [14, 18]. Обнаружение значимых генетических маркеров предрасположенности к БА позволяет выявлять ранние стадии заболевания и эффективно планировать профилактические мероприятия.

Развитие БА и связанных с ней фенотипов в значительной мере зависит от активности ферментов системы детоксикации ксенобиотиков. Ферменты детоксикации определяют индивидуальные реакции организма на вредные воздействия окружающей среды. Наиболее широка и многообразна активность генов семейства глутатион-S-трансфераз (GST), продукты которых участвуют во второй фазе детоксикации, при этом играют важнейшую роль в защите клеток от окислительного стресса, обезвреживании и подготовке к выведению из организма веществ с потенциально токсичными и канцерогенными свойствами [17]. Одно из центральных мест в данном семействе занимает ген *GSTP1*, который экспрессируется в различных тканях, в том числе и в легочной. Ген *GSTP1* расположен в локусе 11q13, для которого неоднократно показано сцепление с атопическими признаками [11]. Для гена *GSTP1* описан функциональный полиморфизм в 5-м экзоне (rs1695), связанный с заменой аминокислоты изолейцина на валин в 105-м положении пептида (Ile105Val). Замена Ile105Val может изменять активность фермента, повышая ее для одних субстратов и понижая для других [5]. С данным полиморфизмом связаны различия в активности фермента и восприимчивости к вызванным воздействием факторов окружающей среды заболеваниям, включая БА [6]. Известно, что полиморфный локус rs1695 гена *GSTP1* оказывает влияние на развитие БА, однако результаты ассоциативных исследований остаются противоречивыми [4].

Цель исследования – изучение ассоциации полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* с развитием БА у жителей Республики Башкортостан.

Материалы и методы. В основу работы положены результаты обследования 164 пациентов (73 мужчин и 91 женщины) в возрасте от 18 до 65 лет (средний возраст – 47,2 ± 11,4 г.) с установленным диагнозом БА. Все пациенты были жителями Республики Башкортостан и находились под наблюдением и лечением в отделении профессиональной аллергологии и иммунореабилитации клиники ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека». В контрольную группу вошли 147 человек без признаков бронхолегочной патологии и аллергических заболеваний. Исследуемые группы были сопоставимы по возрасту, полу и этнической принадлежности.

ДНК выделяли из периферической крови стандартным методом фенольно-хлороформной экстракции. Изучение полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* проводили методом полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ), как описано ранее [12]. Использовали праймеры, синтезированные в ЗАО «Евроген» (г. Москва, Россия). Детекцию продуктов амплификации проводили электрофоретическим способом в 3%-ном агарозном геле с добавлением бромистого этидия.

Оценку значимости межгрупповых различий проводили при помощи критерия χ^2. Различия при $p < 0,05$ считали статистически значимыми. Силу ассоциаций генотипических характеристик с риском развития БА оценивали по значению показателя отношения шансов (odds ratio – *OR*) с расчетом его 95%-ного доверительного интервала (*CI*). Все статистические анализы проводились с использованием пакета программ SPSS, версия 17 (IBM SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

Результаты. Сравнительный анализ распределения частот аллелей и генотипов полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* показал, что частота аллеля Val составила 30,8 % у больных БА и 27,6 % в контрольной группе (таблица). В обеих исследованных группах преобладающим оказался гомозиготный генотип Ile/Ile, встречающийся в 48,2 % случаев у больных и в 51,0 % случаев в контрольной группы, частота гетерозиготного генотипа составила 42,0 и 42,9 % соответственно. Статистически значимых различий в частотах аллелей и генотипов исследуемого полиморфного локуса между сравниваемыми группами не выявлено ($p > 0,05$).

Распределение частот генотипов и аллелей полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* в группе больных БА и в группе контроля

Ген (полиморфизм)	Генотип, аллель	БА, %	Контроль, %
GSTP1 rs1695 (Ile105Val)	Ile/Ile	48,2	51,0
	Ile/Val	42,0	42,9
	Val/Val	9,8	6,1
	Ile	69,2	72,4
	Val	30,8	27,6

Полученные нами результаты согласуются с данными других исследований, в которых также не были выявлены ассоциации полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* с развитием БА [3, 7, 19]. При этом есть работы, в которых показана рисковая значимость носительства аллеля Val в отношении развития БА во взрослом возрасте [8] и затрудненного дыхания у детей с БА при воздействии озона [10]. Однако большее количество исследований обнаружило обратную зависимость. Так, продемонстрирована защитная роль аллеля Val полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* в отношении развития БА и дыхательной дисфункции [1, 2, 15, 16]. Это несоответствие между нашим исследованием и предыдущими работами может быть связано с различиями в населении, этнической принадлежности, размере и отборе выборки, а также с воздействием окружающей среды. Исследования показали потенциальную роль этнической принадлежности в объяснении такой неоднородности. Кроме того, известно, что *GSTP1* может регулировать реакцию дыхательных путей на многие неспецифические факторы окружающей среды, влияющие на БА, такие как загрязнение воздуха, озон, табачный дым и диоксид азота [9, 13].

Выводы. В результате проведенного исследования не установлено ассоциации полиморфного локуса rs1695 гена *GSTP1* с развитием БА у жителей Республики Башкортостан. Необходимы дальнейшие исследования по поиску генетических маркеров риска развития БА с включением большего числа пациентов и расширением перечня тестируемых полиморфных локусов, что позволит повысить эффективность ранней диагностики и прогнозирования развития данного заболевания.

Список литературы

1. Al-Arifa N., Jahan N. Association of glutathione-S-transferase P1 (GSTP1) and group-specific component (GC) polymorphism with the risk of asthma in Pakistani population // Pak. J. Zool. – 2016. – Vol. 48, № 4. – P. 937–942.

2. Association of GST genes polymorphisms with asthma in Tunisian children / C. Hanene, L. Jihene, A. Jamel, H. Kamel, H. Agnès // Mediators Inflamm. – 2007. – Vol. 2007. – P. 19564. DOI: 10.1155/2007/19564

3. Association study of Glutathione S-transferase P1 (GSTP1) with asthma and bronchial hyper-responsiveness in two German pediatric populations / R. Nickel, A. Haider, C. Sengler, S. Lau, B. Niggemann, K.A. Deichmann, U. Wahn, A. Heinzmann, MAS-Study Group // Pediatr. Allergy Immunol. – 2005. – Vol. 16, № 6. – P. 539–541. DOI: 10.1111/j.1399-3038.2005.00307.x

4. Dai X., Bui D.S., Lodge C. Glutathione S-Transferase Gene Associations and Gene-Environment Interactions for Asthma // Curr. Allergy Asthma Rep. – 2021. – Vol. 21, № 5. – P. 31. DOI: 10.1007/s11882-021-01005-y

5. Differences in the catalytic efficiencies of allelic variants of glutathione transferase P1-1 towards carcinogenic diol epoxides of polycyclic aromatic hydrocarbons / K. Sundberg, A.S. Johansson, G. Stenberg, M. Widersten, A. Seidel, B. Mannervik, B. Jernström // Carcinogenesis. – 1998. – Vol. 19, № 3. – P. 433–436. DOI: 10.1093/carcin/19.3.433

6. Fine particle, ozone exposure, and asthma/wheezing: effect modification by glutathione S-transferase P1 polymorphisms / B.-F. Hwang, L.-H. Young, C.-H. Tsai, K.-Y. Tung, P.-C. Wang, M.-W. Su, Y.L. Lee // PLoS One. – 2013. – Vol. 8, № 1. – P. e52715. DOI: 10.1371/journal.pone.0052715

7. Glutathione S-transferase polymorphisms, asthma susceptibility and confounding variables: a meta-analysis / S. Piacentini, R. Polimanti, I. Simonelli, S. Donno, P. Pasqualetti, D. Manfellotto, M. Fuciarelli // Mol. Biol. Rep. – 2013. – Vol. 40, № 4. – P. 3299–3313. DOI: 10.1007/s11033-012–2405-2

8. Glutathione-S-transferase gene polymorphisms (GSTT1, GSTM1, GSTP1) as increased risk factors for asthma / L. Tamer, M. Calikoğlu, N.A. Ates, H. Yildirim, B. Ercan, E. Saritas, A. Ünlü, U. Atik // Respirology. – 2004. – Vol. 9, № 4. – P. 493–498. DOI: 10.1111/j.1440-1843.2004.00657.x

9. Glutathione-S-transferase genes and asthma phenotypes: a Human Genome Epidemiology (HuGE) systematic review and meta-analysis including unpublished data / C. Minelli, R. Granell, R. Newson, M.J. Rose-Zerilli, M. Torrent, S.M. Ring, J.W. Holloway, S.O. Shaheen [et al.] // Int. J. Epidemiol. – 2010. – Vol. 39, № 2. – P. 539–562. DOI: 10.1093/ije/dyp337

10. GSTM1 and GSTP1 and respiratory health in asthmatic children exposed to ozone / I. Romieu, M. Ramirez-Aguilar, J.J. Sienra-Monge, H. Moreno-Macías, B.E. del Rio-Navarro, G. David, J. Marzec, M. Hernández-Avila, S. London // Eur. Respir. J. – 2006. – Vol. 28, № 5. – P. 953–959. DOI: 10.1183/09031936.06.00114905

11. Holloway J.W., Yang I.A., Holgate S.T. Genetics of allergic disease // J. Allergy Clin. Immunol. – 2010. – Vol. 125, № 2, Suppl. 2. – P. S81–S94. DOI: 10.1016/j.jaci.2009.10.071

12. Identification of genetic polymorphisms at the glutathione S-transferase Pi locus and association with susceptibility to bladder, testicular and prostate cancer / L.W. Harries, M.J. Stubbins, D. Forman, G.C. Howard, C.R. Wolf // Carcinogenesis. – 1997. – Vol. 18, № 4. – P. 641–644. DOI: 10.1093/carcin/18.4.641

13. Interactions between glutathione S-transferase P1, tumor necrosis factor, and traffic-related air pollution for development of childhood allergic disease / E. Melén, F. Nyberg, C.M. Lindgren, N. Berglind, M. Zucchelli, E. Nordling, J. Hallberg, M. Svartengren [et al.] // Environ. Health Perspect. – 2008. – Vol. 116, № 8. – P. 1077–1084. DOI: 10.1289/ehp.11117

14. Lee J.-U., Kim J.D., Park C.-S. Gene-Environment Interactions in Asthma: Genetic and Epigenetic Effects // Yonsei Med. J. – 2015. – Vol. 56, № 4. – P. 877–886. DOI: 10.3349/ymj.2015.56.4.877

15. Polymorphism at the glutathione S-transferase GSTP1 locus. A new marker for bronchial hyperresponsiveness and asthma / A.A. Fryer, A. Bianco, M. Hepple, P.W. Jones, R.C. Strange, M.A. Spiteri // Am. J. Respir. Crit. Care Med. – 2000. – Vol. 161, № 5. – P. 1437–1442. DOI: 10.1164/ajrccm.161.5.9903006

16. Protective role of glutathione S-transferase P1 (GSTP1) Val105Val genotype in patients with bronchial asthma / A.S. Aynacioglu, M. Nacak, A. Filiz, E. Ekinci, I. Roots // Br. J. Clin. Pharmacol. – 2004. – Vol. 57, № 2. – P. 213–217. DOI: 10.1046/j.1365-2125.2003.01975.x

17. Rava M., Smit L.A., Nadif R. Gene-environment interactions in the study of asthma in the postgenomewide association studies era // Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol. – 2015. – Vol. 15, № 1. – P. 70–78. DOI: 10.1097/ACI.0000000000000131

18. Shi F., Zhang Y., Qiu C. Gene polymorphisms in asthma: a narrative review // Ann. Transl. Med. – 2022. – Vol. 10, № 12. – P. 711. DOI: 10.21037/atm-22-2170

19. The relationship among IL13, GSTP1, and CYP1A1 polymorphisms and environmental tobacco smoke in a population of children with asthma in Northern Mexico / B. Muñoz, J.J. Magaña, I. Romero-Toledo, E. Juárez-Pérez, A. López-Moya, N. Leyva-García, C. López-Campos, V.M. Dávila-Borja, A. Albores // Environ. Toxicol. Pharmacol. – 2012. – Vol. 33, № 2. – P. 226–232. DOI: 10.1016/j.etap.2011.12.007

Нарушения структурно-функциональных характеристик миокарда у населения, проживающего в условиях воздействия никеля

А.Е. Носов, А.С. Байдина, Н.И. Мамыкина, Ю.А. Ивашова, М.Т. Зенина, О.Ю. Устинова

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

С целью изучения особенностей нарушения функциональных характеристик миокарда у населения, проживающего в условиях воздействия никеля, было проведено исследование с участием 158 женщин, проживающих в промышленном центре с размещением предприятий металлургического профиля, и 65 женщин, проживающих в аналогичных климатогеографических условиях (группа сравнения). Эхокардиографическое исследование с использованием тканевого допплера проводилось на сканере Vivid q. Биомаркеры экспозиции обосновывали построением модели линейной регрессии. Биомаркеры негативных эффектов обосновывали построением моделей логистической регрессии.

Содержание никеля в крови пациентов группы наблюдения определялось на уровне 0,0135 ± 0,00158 мкг/см^3, а в группе сравнения – 0,00777 ± 0,0014 мкг/см^3 (p = 0,001). В группе наблюдения выявлена прямая зависимость уровня никеля в крови от концентрации данного вещества в атмосферном воздухе (b_0 = 0,001, b_1 = 149,17, R^2 = 0,41, F = 18,43, p = 0,005).

Средний MPI для митрального кольца в группе наблюдения превышал норму и превышал MPI в группе сравнения (0,55 ± 0,09 против 0,48 ± 0,07, p = 0,005). Средний MPI для трикуспидального кольца в группе наблюдения был выше, чем в группе сравнения (0,57 ± 0,10 мс против 0,48 ± 0,06 мс, p = 0,001). Выявлено, что повышение концентрации никеля в крови ассоциировано с повышением IVRT митрального атриовентрикулярного кольца (b_0=-3,24, b_1=58,36, R^2=0,46, F=153,73, p = 0,0001), а также систолического давления в легочной артерии (b_0=-2,40, b_1=37,07, R^2=0,13, F=22,01, p=0,00002).

Повышение MPI в группе жителей территорий с аэрогенной экспозицией соединений никеля свидетельствует о глобальных изменениях функции миокарда левого и правого желудочков. Выявленные связи содержания никеля в крови и нарушений при тканевом допплеровском исследовании свидетельствуют о патологическом влиянии данных соединений на функцию миокарда.

Ключевые слова: металлургическая промышленность**,** никель, сердечно-сосудистая патология, эхокардиография, тканевой допплер.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению особенностей влияния факторов окружающей среды (химических, физических, климатических) на здоровье населения [1–3].

Воздействие загрязненного атмосферного воздуха на развитие сердечно-сосудистой патологии имеет не меньшее значение, чем курение, ожирение, гипергликемия [7]. Спектр патогенетических механизмов, реализующихся под влиянием загрязнения атмосферного воздуха достаточно широк и включает в себя раннее развитие гипертонической болезни, атеросклеротических поражений артерий, провоцирование нарушений ритма сердца и, как следствие, развитие недостаточности кровообращения [5].

В России осуществляют свою деятельность промышленные предприятия, в выбросах которых содержатся химические соединения, способные негативно влиять на функционирование сердечно-сосудистой системы, том числе никель [4, 6]. В связи этим представляется актуальным изучение характеристик миокарда у населения промышленных регионов, проживающих в условиях воздействия никеля.

Цель исследования – изучить особенности нарушений функциональных характеристик миокарда у населения, проживающего в условиях воздействия никеля.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 158 женщин, проживающих в промышленном центре с размещением крупных предприятий металлургического профиля (группа наблюдения), и 65 женщин, проживающих в аналогичных климатогеографических условиях (группа сравнения).

Территория проживания пациентов группы наблюдения характеризуется тем, что на ней не соблюдаются гигиенические нормативы содержания в атмосферном воздухе по ряду химических веществ промышленного происхождения, в том числе по никелю. На данной территории среднегодовая концентрация оксида никеля в атмосферном воздухе составила $(1{,}16–9{,}68)\cdot 10^{-04}$ мг/м^3, что выше референсной концентрации для хронического ингаляционного воздействия ($2\cdot 10^{-05}$ мг/м^3) в 5,8–48,4 раза. На территории проживания группы сравнения загрязнение атмосферного воздуха соединениями никеля не установлено.

Эхокардиографическое исследование (ЭхоКГ) проводилось с применением методики тканевого допплера с расчетом временных и скоростных характкристик, а также миокардиальных индексов.

Статистический анализ данных, полученных в ходе исследования, проводили с помощью программного комплекса Statistica 6.0 и самостоятельно разработанного программного обеспечения, совместимого с MS Excel. Данные представлены в виде среднего арифметического (*M*) и стандартного отклонения (*SD*). Проверка нормальности распределения показателей осуществлялись по критерию Колмогорова – Смирнова. Качественные показатели анализировалиь с помощью критерия χ^2. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Биомаркеры экспозиции обосновывали путем построения модели линейной регрессии. Биомаркеры негативных эффектов обосновывали на основании построения моделей логистической регрессии.

Результаты. Содержание никеля в крови пациентов группы наблюдения определялось на уровне 0,0135 ± 0,00158 мкг/см^3, а в группе сравнения – 0,00777 ± 0,0014 мкг/см^3 ($p = 0,001$). В группе наблюдения выявлена прямая зависимость уровня никеля в крови от концентрации данного вещества в атмосферном воздухе ($b_0 = 0,001$, $b_1 = 149,17$, $R^2 = 0,41$, $F = 18,43$, $p = 0,005$).

Данные тканевого допплеровского исследования показали, что максимальная систолическая скорость смещения митрального кольца (Sm) в группе наблюдения ниже, чем в группе сравнения (10,2 ± 2,2 против 11,4 ± 2,5 см/с, $p = 0,002$). Максимальная скорость смещения митрального кольца в фазу раннего диастолического наполнения (Em) в группе наблюдения ниже, чем в группе сравнения (15,2 ± 3,93 против 17,27 ± 3,87 см/с, $p = 0,001$). Средний показатель E/Em для митрального кольца, характеризующий повышение давления наполнения левого желудочка, межгрупповых различий не имел. Время изгнания (ET) для митрального кольца было меньше в группе наблюдения (304,7 ± 29,6 против 321,5 ± 24,5 мс, $p = 0,0015$).

Время IVRT (80,42 ± 12,61 против 74,27 ± 8,34 мс, $p = 0,0001$) и IVCT (87,13 ± 13,08 против 80,36 ± 12,08 мс, $p = 0,001$) для митрального кольца в группе наблюдения было выше, чем в группе сравнения. Средний миокардиальный индекс для митрального кольца (MPI) в группе наблюдения превышал норму и значения MPI в группе сравнения (0,55 ± 0,09 против 0,48 ± 0,07, $p = 0,005$).

Пиковая скорость смещения трикуспидального кольца (Sm) в группе сравнения была меньше, чем в группе наблюдения (14,4 ± 2,36 против 13,58 ± 2,29 мс, $p = 0,024$). Скорость позднего диастолического наполнения (Am) в группе наблюдения была выше (13,4 ± 3,53 против 12,03 ± 3,7 см/с, $p = 0,015$). Время изгнания (ET) для ПЖ в группе наблюдения превышало таковое в группе сравнения (292,3 ± 31,3 против 312,8 ± 22,8 мс, $p = 0,0001$). Время IVRT для трикуспидального кольца было выше в группе наблюдения (83,22 ± 12,7 против 71,52 ± 8,48 мс, $p = 0,001$).

Средний миокардиальный индекс (MPI) для трикуспидального кольца в группе наблюдения был выше, чем в группе сравнения (0,57 ± 0,10 против 0,48 ± 0,06 мс, $p = 0,001$).

Математическое моделирование показало, что повышение концентрации никеля в крови ассоциировано с повышением IVRT митрального атриовентрикулярного кольца ($b_0 = –3,24$, $b_1 = 58,36$, $R^2 = 0,46$, $F = 153,73$, $p = 0,0001$), а также систолического давления в легочной артерии ($b_0 = –2,40$, $b_1 = 37,07$, $R^2 = 0,13$, $F = 22,01$, $p = 0,00002$).

Выводы:

1. Повышение миокардиальных индексов (MPI) в группе жителей территорий с аэрогенной экспозицией соединений никеля свидетельствует о глобальных изменениях функции миокарда левого и правого желудочков, характеризующих и систолическую, и диастолическую функцию миокарда.

2. Выявленные связи содержания никеля в крови и нарушений при тканевом допплеровском исследовании свидетельствуют о патологическом влиянии данных соединений на функцию миокарда.

3. Выявленные нарушения свидетельствуют о необходимости углубленного кардиологического обследования населения с целью с целью ранней диагностики сердечно-сосудистой патологии.

Список литературы

1. Гигиенический анализ структурного распределения потенциальных рисков причинения вреда здоровью населения и работающих при осуществлении деятельности промышленных предприятий / В.Г. Костарев, Н.В. Зайцева, С.В. Клейн [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99 (11). – С. 1301–1307. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1301-1307

2. 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. – 2017. – Т. 97 (1). – С. 34–43. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43

3. Носов А.Е., Байдина А.С., Устинова О.Ю. Аэрополлютанты как факторы риска развития кардиометаболической патологии: аналитический обзор // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 4. – С. 181–194. DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.20

4. Alamolhodaei N.S., Shirani K., Karimi G. Arsenic cardiotoxicity: An overview // Environ Toxicol Pharmacol. – 2015. – Vol. 40 (3). – P. 1005–1014. DOI: 10.1016/j.etap.2015.08.030

5. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses / J. de Bont, S. Jaganathan, M. Dahlquist [et al.] // J Intern Med. – 2022. – № 3. – P. 1–22. DOI: 10.1111/joim.13467

6. Cardiovascular effects of nickel in ambient air / M. Lippmann, K. Ito, J.S. Hwang [et al.] // Environ Health Perspect. – 2006. – Vol. 114 (11). – P. 1662–1669. DOI: 10.1289/ehp.9150

7. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 / A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnet, H.R. Anderson [et al.] // Lancet. 2017. – Vol. 389 (10082). – P. 1907–1918. DOI: 10.1016/S0140-6736 (17) 30505-6

Оценка изменения протеомного профиля плазмы крови детей, подвергающихся воздействию алюминия и бенз(а)пирена с атмосферным воздухом

Е.В. Пескова[1,2], Ю.В. Кольдибекова[1]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
г. Пермь, Россия

Протеомный профиль человека связан с адаптивным ответом на изменения внешних условий, в том числе при воздействии химических веществ с атмосферным воздухом. Целью работы являлась оценка изменения протеомного профиля плазмы крови детей, подвергающихся воздействию алюминия и бенз(а)пирена с атмосферным воздухом. Исследование протеомного профиля детей проведено с помощью двумерного электрофореза в полиакриламидном геле и методов масс-спектрометрии. Получено 9 белковых пятен плазмы крови детей, интенсивность которых от 3 до 38 раз превышала аналогичные белковые пятна в группе детей, не подвергающихся воздействию изучаемых химических веществ. С помощью масс-спектрометрии идентифицированы 12 белков, входящих в состав исследуемых белковых пятен, с последующим биоинформационным анализом. При построении причинно-следственных связей установлено 3 белка, экспрессия которых повышается при воздействии исследуемых химических веществ. Кельч-подобный белок 4 увеличивает экспрессию при воздействии алюминия, повышая вероятность проявления нейродегенеративных нарушений. При воздействии бенз(а)пирена повышается экспрессия белков субъединица ламинина альфа-3 и аполипопротеин А-I, отвечающих за метаболизм холестерина в тканях. Полученные результаты можно использовать в прогнозной оценке воздействия химических веществ с атмосферным воздухом на протеомный профиль человека, в том числе детей, для повышения эффективности раннего выявления негативных последствий.

Ключевые слова: протеомный профиль плазмы крови, алюминий в моче, бенз(а)пирен в крови, масс-спектрометрия, причинно-следственные связи.

Постгеномные технологии обеспечили широкомасштабные фундаментальные исследования живых систем, а именно изучение структурно-функциональной организации генома [1]. В связи с тем что протеомика занимает промежуточное положение между геномикой и транскриптомикой, белки становятся ключевыми участниками всех физиологических процессов на уровне клетки – от каталитических биохимических реакций метаболизма до обработки и интеграции молекулярных сигналов [14]. Протеомное профилирование позволяет идентифицировать белки, находящиеся в определенном пространственном местоположении внутри клетки, субклеточной органеллы, ткани или органа в результате воздействия различных факторов, в том числе химических веществ [13].

Сыворотка и плазма крови представляют собой самую большую и глубокую версию протеома человека [6]. Характеристика изменений белковой композиции биосред является основой для изучения молекулярного ответа организма на суще-

ствующие условия и прогноза потенциальных негативных эффектов на самой ранней стадии их формирования до возникновения симптомов клеточного и органного поражения [3, 6]. Протеомный анализ позволяет изучать многие индивидуальные белки, совокупность которых составляет определенную систему, характеризующую исследуемые объекты в целом в текущий момент времени [2].

Набор экспрессируемых белков в организме не постоянен во времени и меняется в зависимости от воздействия внешних факторов [7, 9, 12, 16]. Современные инструменты протеомики способны обнаружить измененные протеомные паттерны и помогают выполнить оценку риска путем расшифровки патофизиологических изменений, вызванных токсическими веществами [16]. Особенно это актуально при продолжительном воздействии токсических веществ, вызывающих высокий окислительный стресс и воспаление, способствуя высокому риску развития неинфекционных хронических заболеваний, в том числе рака [8]. Изменения в концентрации белка имитируют текущее состояние здоровья человека и, таким образом, могут использоваться в качестве ценных биомаркеров для определенного биологического процесса или заболевания [11].

Белки отражают как внутреннюю генетическую программу клетки, так и воздействие на организм в целом, поэтому протеомное профилирование является одним из ключевых ресурсов для прогноза нарушений и негативных последствий при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды, в том числе химических веществ с атмосферным воздухом.

Цель исследования – оценка изменения протеомного профиля плазмы крови детей, подвергающихся воздействию алюминия и бенз(а)пирена с атмосферным воздухом.

Материалы и методы. В обследовании участвовали 25 относительно здоровых детей в возрасте 3–6 лет, подвергающихся длительному воздействию алюминия и бенз(а)пирена с атмосферным воздухом (группа наблюдения). Для сравнительного анализа выбраны 20 относительно здоровых детей аналогичного возраста, не подвергающихся воздействию изучаемых химических веществ с атмосферным воздухом (группа сравнения). Критерием формирования выборок детей групп наблюдения и сравнения являлось содержание алюминия в моче и бенз(а)пирена в крови относительно референтного значения[1]. Процедуры и методики исследований рассмотрены комитетом по биомедицинской этике ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с обязательным получением информированного добровольного согласия законного представителя (протокол заседания № 1 от 04.02.2021).

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на исследуемых территориях (территория наблюдения и сравнения) проведена по данным многолетних инструментальных наблюдений за содержанием диАлюминия триоксида и бенз(а)пирена в воздухе. Критериями оценки содержания веществ в атмосферном воздухе являлись гигиенические нормативы в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21[2].

---

[1] Тиц Н.У. Клиническое руководство по лабораторным тестам. – М.: ЮНИМЕД–пресс, 2003. – 960 с.

[2] СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022 (дата обращения: 19.06.2022).

Химико-аналитическое исследование мочи детей на содержание алюминия выполнено в соответствии с МУК 4.1.3589-19[1] на масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies, США), исследование содержания бенз(а)пирена в крови выполнено в соответствии с МУК 4.1.3040-12[2] на жидкостном хроматографе с флуориметрическим детектором (Agilent Technologies, США). Сравнительную оценку проводили между средними значениями исследуемых веществ в группах наблюдения и сравнения, а также рекомендуемыми референтными уровнями.

Для протеомного исследования получены пептидные образцы (плазма крови) детей группы наблюдения и сравнения. Исследование образцов выполнено по технологии 2D-электрофореза в полиакриламидном геле в два этапа: первый – изоэлектрофокусирование с помощью системы PROTEAN I12 IEF System (BioRad, США), разделяющее белки по показателю изоэлектрической точки на полиакриламидных гелях-полосках с иммобилизированным градиентом pH; второй – электрофорез в полиакриламидном геле с помощью камеры Protean II xi 2D cell (BioRad, США), разделяющий белки под действием электрического поля по показателю молекулярной массы. Полученные электрофореграммы пептидных образцов визуализировали методом окраски серебром. Изображение гелей получали с помощью калибровочного денситометра и анализировали с определением интенсивности белковых пятен с помощью системы для гель-документирования GeLDoc XR (BioRad, США). Сравнительный анализ полученных протеомных карт проводили с помощью программного комплекса PDQuest (BioRad, США).

Для дальнейшего исследования из полученных гелей вырезаны значимые белковые пятна, имеющие высокую интенсивность. Масс-спектрометрический анализ осуществляли в сочетании с методом жидкостной хроматографии на хроматографе UltiMate 3000 (Германия) и тандемном масс-спектрометре AB Sciex 4000 QTRAP с источником ионизации Nanospray 3 (Канада). Полученные спектры обрабатывали с помощью программы ProteinPilot, версия 4.5 (AB SCIEX), с идентификацией по базе данных UniProt_sprot_fasta (от 24.11.2017), с выборкой по таксону Homo Sapience (пептидный фингерпринт).

Поиск белков по набору масс пептидов проводили в программе Mascot (MatrixScience, Великобритания). Параметры поиска были следующие: база данных – NCBIr, вид организма – *Homo sapiens*, используемый фермент – трипсин, возможные модификации – карбамидометилирование (C) и заряд пептида – +1, +2, +3. Основную часть информации о полученных белках экстрагировали из базы данных UniProt[3]. Описание биологических функций белков проводилось с помощью ресурса The Gene Ontology[4]. Для сбора информации о генах выявленных белков использовали ресурс GeneCards[5] и каталог ассоциаций генома человека GWAS Catalog[6].

---

[1] МУК 4.1.3589-19. Измерение массовой концентрации алюминия в биологических средах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. – М., 2019.

[2] МУК 4.1.3040-12. Измерение массовой концентрации бенз(а)пирена в крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – М., 2012.

[3] UniProt [Электронный ресурс]. – URL: http://www.uniprot.org (дата обращения: 06.09.2022).

[4] Gene Ontology Resource [Электронный ресурс]. – URL: http://geneontology.org/ (дата обращения: 06.09.2022).

[5] GeneCards: The Human Gene Database [Электронный ресурс] – URL: https://www.genecards.org/ (дата обращения: 06.09.2022).

[6] GWAS Catalog Электронный ресурс] – URL: https://www.ebi.ac.uk/gwas/home (дата обращения: 06.09.2022).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью пакета программ Statistica 10. Сравнительную оценку полученных значений относительного объема белковых пятен у детей группы наблюдения выполняли относительно аналогичных показателей у детей группы сравнения. Результаты проведенных исследований представлены в виде среднего значения (*M*) и ошибки среднего (*SD*). Статистическую значимость различий переменных между группами определяли по критерию Манна – Уитни (*U*) при заданном уровне значимости $p \leq 0{,}05$. Выявление и оценку причинно-следственных связей между изменением статистически отличающихся белковых пятен и концентрацией алюминия в моче и бенз(а)пирена в крови проводили с помощью построения математической модели линейной регрессии. Достоверность и адекватность полученных моделей оценивали на основе дисперсионного анализа с использованием *F*-критерия Фишера, коэффициента детерминации (R^2) и достоверности причинно-следственной связи ($p \leq 0{,}05$)[1].

Результаты. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на территории наблюдения показала превышение гигиенических нормативов ($ПДК_{сс}$, $ПДК_{сг}$) по содержанию бенз(а)пирена в 2,2–5,8 раза. Концентрация диАлюминия триоксида в атмосферном воздухе превышала гигиенические нормативы $ПДК_{сс}$ в 1,2 раза. На территории сравнения превышения гигиенических нормативов по исследуемым химическим веществам не выявлено.

При проведении химико-аналитического исследования выявлено превышение концентрации алюминия в моче до 1,75 раза относительно аналогичного показателя у детей группы сравнения и референтного уровня. Средняя концентрация бенз(а)пирена в крови также превышала среднее значение показателя в группе сравнения и референтный уровень (табл. 1).

Таблица 1

Среднее значение химических показателей в биосредах обследованных детей

Химический показатель	Референтный уровень, мг/дм^3	Среднее значение показателя, среднее значение (*M*) ± ошибка среднего (*SD*), мг/дм^3		Достоверность различий $p \leq 0{,}05$
		группа наблюдения	группа сравнения	
Алюминий в моче	0,0065	0,007 ± 0,0004	0,004 ± 0,0004	0,006
Бенз(а)пирен в крови	0,00	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,030

Сравнительный анализ результатов денситометрического измерения протеомных карт плазмы крови обследуемых детей позволил выявить белковые пятна, значительно отличающиеся по интенсивности между группами наблюдения и сравнения. Интенсивность белковых пятен в плазме крови детей группы наблюдения превышала аналогичные в группе сравнения от 3 до 38 раз. Таких белковых пятен идентифицировано 9, результаты сравнительной оценки представлены в табл. 2.

Масс-спектрометрическая идентификация выявленных белковых пятен показала, что обнаруженные пептиды совпадают с 12 белками (табл. 3).

[1] Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с.

Таблица 2

Сравнительная оценка интенсивности белковых пятен у обследованных детей

Номер белкового пятна	Среднее значение интенсивности белкового пятна, среднее значение (*M*) ± ошибка среднего (*SD*)		Достоверность различий $p \leq 0,05$	Кратность различий
	группа наблюдения	группа сравнения		
5	2435,44 ± 359,54	66,50 ± 85,91	0,0001	37
6	2547,48 ± 285,85	94,00 ± 113,24	0,0001	27
10	2340,72 ± 444,11	95,40 ± 85,79	0,0001	25
11	1862,64 ± 12,87	72,70 ± 99,32	0,001	26
14	1765,60 ± 220,41	454,20 ± 706,12	0,0001	4
15	1715,20 ± 298,10	72,70 ± 99,32	0,0001	24
16	1712,08 ± 299,65	518,50 ± 346,64	0,0001	3
19	1639,12 ± 379,78	99,50 ± 133,22	0,0001	16
24	2362,28 ± 373,38	61,8 ± 83,41	0,0001	38

Таблица 3

Белки плазмы крови, обнаруженные посредством масс-спектрометрической идентификации, и их функционально значимые биологические процессы в организме

№ пятна	Название белков, входящих в состав белкового пятна	% перекрывания*	Индекс UniProt	Ген белка	Биологические процессы
5	Субъединица ламинина альфа-3	14,1	Q16787	LAMA3	▪ Участвует в клеточной адгезии
	Аполипопротеин A-I	98,7	P02647	APOA1	▪ Участвует в метаболизме холестерола, липидов, стероидов и стерола ▪ Участвует в транспорте липидов
6	Фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B	96,3	Q8IYD1	GSPT2	▪ Участвует в клеточном цикле ▪ Участвует в процессе распада ДНК ▪ Участвует в процессе биосинтеза белка
	J-цепь иммуноглобулина	98,3	P01591	JCHAIN	▪ Участвует в процессах иммунной системы
10	Нуклеофозмин	72,6	P06748	NPM1	▪ Обеспечивает взаимодействие вируса с клеткой хозяина
11	Кельч-подобный белок 4	98,7	Q9C0H6	KLHL4	▪ Участвует в биологических процессах**
14	Комплемент C4-B	99,0	P0C0L5	C4B	▪ Участвует в активации системы комплимента ▪ Принимает участие в иммунном ответе ▪ Участвует в процессе воспаления ▪ Участвует в активации врожденного иммунитета
	Анкирин-1	23,6	P16157	ANK1	▪ Участвует в клеточных процессах ▪ Обеспечивает процесс локализации белков в клетке

Окончание табл. 3

№ пятна	Название белков, входящих в состав белкового пятна	% перекрывания*	Индекс UniProt	Ген белка	Биологические процессы
15	Транспортный холиноподобный белок 3	48,3	Q8N4M1	SLC44A3	▪ Вовлечен в перенос холина** ▪ Участвует в процессе биосинтеза фосфатидилхолина** ▪ Участвует в трансмембранном транспорте**
16	Обонятельный рецептор 8A1	45,3	Q8NGG7	OR8A1	▪ Участвует в процессе ощущения запаха ▪ Обеспечивает трансдукцию сенсорного сигнала
19	Тирозин-протеин-фосфатаза нерецепторного типа 14	38,2	Q15678	PTPN14	▪ Регулирует процесс транскрипции
24	Сывороточный белок амилоида А-1	95,1	P0DJI8	SAA1	▪ Свидетельствует об острой фазе воспаления

Примечание: * – % покрытия полной аминокислотной последовательности белка выявленными пептидами; ** – ключевые биологические процессы не выявлены.

Большинство идентифицированных белков участвуют в клеточных процессах (субъединица ламинина альфа-3, фактор высвобождения пептидной цепи эукариот GTP-связывающая субъединица ERF3B, нуклеофозмин, анкирин-1, тирозин-протеинфосфатаза нерецепторного типа 14). Среди идентифицированных белковых пятен встречаются белки, отвечающие за иммунитет (комплемент C4-B и J-цепь иммуноглобулина), интенсивность белковых пятен которых до 27 раз выше у детей группы наблюдения относительно соответствующих данных детей группы сравнения. Обонятельный рецептор 8A1 принимает участие в процессе ощущения запаха и трансдукции сенсорного сигнала, что может говорить о воздействии исследуемых химических веществ через обонятельные рецепторы. У детей группы наблюдения пятно 5 имеет высокую интенсивность и включает белок аполипопротеин A-I, отвечающий за транспорт и метаболизм липидов. Обращает на себя внимание сывороточный белок амилоида А-1, являющийся маркером острой фазы воспаления, интенсивность пятна которого в 38 раз выше у детей группы наблюдения относительно аналогичного показателя у детей группы сравнения. Кельч-подобный белок 4 и транспортный холиноподобный белок 3 по данным ресурса NCBI Gene вовлечены в биологические процессы, но их значимых процессов не выявлено.

По результатам проведенной оценки причинно-следственных связей обнаружено, что белковые пятна 5 и 11 изменяют свою интенсивность при воздействии изучаемых химических веществ (табл. 4).

По данным масс-спектрометрического анализа белкового пятна 11 идентифицируется Кельч-подобный белок 4. Данный белок имеет высокую экспрессию в тканях головного мозга, респираторной, репродуктивной и эндокринной систем. По данным GWAS Catology на уровне ассоциаций Кельч-подобный белок 4 связан с путем развития нейродегенеративных заболеваний. У детей избыток алюминия вызывает повышенную возбудимость, нарушения моторных реакций и головные боли [4]. Можно предположить, что повышенная экспрессия Кельч-

подобного белка 4 повышает вероятность накопления алюминия в организме. Наблюдаемые сдвиги могут привести к избыточной реакции нервной системы на воздействие алюминия.

Таблица 4

Модели зависимости вероятности повышения интенсивности белковых пятен от повышения уровня химических веществ в биосредах

Химическое вещество в биосреде	№ белкового пятна	Белки, входящие в состав белкового пятна	Уравнение зависимости	Коэффициент детерминации R^2	Достоверность различий $p \leq 0{,}05$
Алюминий в моче	11	Кельч-подобный белок 4	$y = 2304{,}56 + 29744{,}61x$	0,233	0,015
Бенз(а)пирен в крови	5	Субъединица ламинина альфа-3	$y = 1810{,}78 + 6924{,}82x$	0,210	0,021
		Аполипопротеин А-I			

В пятне 5 по данным масс-спектрометрии идентифицировано 2 белка – субъединица ламинина альфа-3 и аполипопротеин А-I. Для распределения бенз(а)пирена от места всасывания к периферическим тканям кровь играет решающую роль. Известно, что ЛПОНП и ЛПНП в плазме легко поглощают бенз(а)пирен и, таким образом, способствуют его распределению [15]. Белок аполипопротеин А-I участвует в обратном транспорте холестерина из тканей в печень путем стимулирования оттока холестерина из периферических тканей и выступает в качестве кофактора для лецитинхолестеринацилтрансферазы [10]. Один из вариантов гена LAMA3, кодирующего белок субъединица ламинина альфа-3, участвует в процессе поддержания уровня ЛПОНП [5]. Можно предположить, что белки субъединица ламинина альфа-3 и аполипопротеин А-I, участвующие в метаболизме холестерина, связаны с распределением бенз(а)пирена в тканях. Повышенная экспрессия данных белков может увеличивать негативное воздействие бенз(а)пирена на организм детей.

Выводы. При повышенном содержании алюминия и бенз(а)пирена в атмосферном воздухе у детей повышается концентрация данных веществ в биосредах до 1,75 раза. При этом увеличивается интенсивность белковых пятен от 3 до 38 раза. Установлены связи увеличение экспрессии Кельч-подобного белка 4 от повышения концентрации алюминия в моче и субъединицы ламинина альфа-3 и аполипопротеина А-I от повышения концентрации бенз(а)пирена в крови. Данные изменения могут иметь практическое значение с позиции раннего выявления негативных последствий при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды, в том числе химических веществ с атмосферным воздухом.

Список литературы

1. Актуальные проблемы компьютерной протеомики / В.А. Иванисенко, Д.А. Афонников, С.В. Николаев [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2005. – Т. 9 (2). – С. 162–178.

2. Демидов Е.А., Пельтек С.Е. Протеомика // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18 (1). – С. 166–174.

3. Мирошниченко И.И., Птицина С.Н. Биомаркеры в современной медико-биологической практике // Биомедицинская химия. – 2009. – Т. 55 (4). – С. 425–440.

4. Некоторые аспекты влияние алюминия и его соединений на живые организмы / И.В. Шугалей, А.В. Гарабаджиу, М.А. Илюшин [и др.] // Экологическая химия. – 2012. – Т. 21 (3). – С. 172–186.

5. A genome-wide association study for blood lipid phenotypes in the Framingham Heart Study / S. Kathiresan, A.K. Manning, S. Demissie [et al.] // BMC Med Genet. – 2007. – Vol. 8 (1). – P. S17. DOI: 10.1186/1471-2350-8-S1-S17

6. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects // Mol. Cell. Proteomics. – 2002. – Vol. 1 (11). – P. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200

7. Baer B., Millar A.H. Proteomics in evolutionary ecology // Journal of Proteomics. – 2016. – Vol. 135. – P. 4–11. DOI: 10.1016/j.jprot.2015.09.031

8. Chronic inflammation and oxidative stress in human carcinogenesis / A. Federico, F. Morgillo, C. Tuccillo [et al.] // International Journal of Cancer. – 2007. – Vol. 121 (11). – P. 2381–2386. DOI: 10.1002/ijc.23192

9. Diz A.P., Martınez-Fernandez M., Rolan-Alvarez E. Proteomics in evolutionary ecology: linking the genotype with the phenotype // Mol. Ecol. – 2012. – Vol. 21. – P. 1060–1080. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2011.05426.x

10. Identification of apolipoprotein A1 and immunoglobulin as components of a serum complex that mediates activation of human sperm motility / E. Akerlöf, H. Jörnvall, H. Slotte, A. Pousette // Biochemistry. – 1991. – Vol. 30 (37). – P. 8986–8990. DOI: 10.1021/bi00101a011

11. Kim M.R., Kim C.W. Human blood plasma preparation for two-dimensional gel electrophoresis // J. Chromatogr. B. Analyt. Technol. Biomed. Life Sci. – 2007. – Vol. 849 (1–2). – P. 203–210. DOI: 10.1016/j.jchromb.2006.11.046

12. Lemos Marco F.L. Proteins in ecotoxicology –How, why and why not? Proteomics. – 2010. – Vol. 10. – P. 873–887. DOI: 10.1002/pmic.200900470

13. Merrick B.A. The plasma proteome, adductome and idiosyncratic toxicity in toxicoproteomics research // Brief Funct Genomic Proteomic. – 2009. – Vol. 7. – P. 35–49. DOI: 10.1093/bfgp/eln004

14. Proteome-based plasma biomarkers for Alzheimer's disease / A. Hye, S. Lynham, M. Thambisetty [et al.] // Brain. – 2006. – Vol. 129. – P. 3042–3050. DOI: 10.1093/brain/awl279

15. Review on proteomic analyses of benzo[a]pyrene toxicity / N. Verma, M. Pink, A.W. Rettenmeier [et al.] // Proteomics. – 2012. – Vol. 12 (11). – P. 1731–1755. DOI: 10.1002/pmic.201100466

16. Suman S., Mishra S., Shukla Y. Toxicoproteomics in human health and disease: an update // Expert Rev Proteomics. – 2016. – Vol. 13 (12). – P. 1073–1089. DOI: 10.1080/14789450.2016.1252676

Возможность применения ряда традиционных шкал для оценки сердечно-сосудистого риска у мужчин в ходе периодического медицинского осмотра

М.Д. Рудой

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии»,
г. Нижний Новгород, Россия

Проанализирована возможность применения традиционных шкал сердечно-сосудистого риска (ССР) в рамках периодического медицинского осмотра (ПМО) и проведена оценка ССР у обследуемых.

Обследовано 282 мужчины. ССР рассчитан по шкалам SCORE, SCORE2, QRISK3. По шкале SCORE оценено 39 % обследованных (2,7 % имели низкий риск, 74,5 % – умеренный, 20 % – высокий). По шкале SCORE2 оценено 11 % обследованных (32,2 % имели высокий риск, 67,7 % – очень высокий риск). По шкале QRISK3 оценено 100 % обследованных.

Наибольший охват оценкой ССР обеспечивает шкала QRISK3. Применение шкалы SCORE в рамках ПМО ограничивается возрастным диапазоном шкалы. Шкала SCORE2 требует дополнительных лабораторных исследований.

Ключевые слова: сердечно-сосудистый риск, периодический медицинский осмотр.

Оценке сердечно-сосудистого риска (ССР) в настоящее время уделяется большое внимание не только при обращении пациента за медицинской помощью с жалобами со стороны сердечно-сосудистой системы (ССС), но и в рамках проведения диспансеризации и периодических медицинских осмотров (ПМО) работающего населения. Понятие ССР определяется как вероятность развития неблагоприятного события со стороны ССС в течение определенного периода времени [1].

Для оценки суммарного сердечно-сосудистого риска разработано множество различных моделей. Первым проспективным эпидемиологическим исследованием, в котором были получены данные оценки влияния факторов риска на развитие фатальных и нефатальных сердечно-сосудистых событий, было Фрамингемское исследование. Впоследствии ученые неоднократно предпринимали попытки разработать идеальную шкалу оценки ССР, которая работала бы независимо от популяции и имела высокую точность прогноза сердечно-сосудистых событий. В настоящее время Европейской ассоциацией кардиологов рекомендовано проводить оценку ССР по SCORE, которая в 2021 г. заменена на шкалу SCORE2 и SCORE-OP [4]. Однако использование шкалы SCORE2 и SCORE-OP предполагает более глубокое обследование пациентов с определением липидного спектра крови, что на сегодняшний день не всегда осуществимо в рамках скрининга населения. Кроме того, шкалы SCORE и SCORE2 имеют четко очерченный возрастной диапазон, что также ограничивает их использование для пациентов молодого возраста.

Группой британских ученых была разработана и валидизирована шкала QRISK, которая охватывает большое число как модифицируемых, так и немодифицируемых факторов ССР, известных на сегодняшний день. Данная шкала неодно-

кратно подвергалась пересмотру с учетом новых научных данных. В настоящее время рекомендована к использованию шкала QRISK3, позволяющая оценить суммарный ССР у пациентов в возрасте от 25 до 84 лет [5].

Цель исследования – проанализировать возможность оценки ССР в рамках ПМО с использованием шкал SCORE, SCORE2 (SCORE-OP) и QRISK3 и оценить ССР по указанным шкалам у мужчин, работающих в условиях воздействия производственного шума.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 282 мужчины, работающие в условиях воздействия производственного шума и направленные в поликлинику ФБУН «Нижегородского научно-исследовательского института гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора для прохождения ПМО. Всем пациентам проведен комплекс лабораторных и инструментальных методов обследования, регламентированных Приказом Минздрава России от 28.01.2021 № 29н [2]: врачебный осмотр, лабораторные исследования (общий анализ крови, общий анализ мочи, сахар крови, общий холестерин), инструментальные исследования (электрокардиография, рентгенография органов грудной клетки, аудиометрия). В целях углубленной оценки ССР пациентам дополнительно было выполнено определение липидного профиля сыворотки крови: триглицеридов (ТГ), липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), липопротеидов высокой плотности (ЛПВП). Суммарный ССР оценивали в соответствии с действующими рекомендациями по шкалам SCORE, SCORE2 (SCORE-OP) и QRISK3 с использованием онлайн-калькуляторов, размещенных в свободном доступе на сайтах: https://medsoftpro.ru/kalkulyatory/kalkulyator-score.html, https://medsoftpro.ru/kalkulyatory/score2-scale.html, https://qrisk.org/three/ [1, 4, 5]. Полученные данные обработаны статистически при помощи пакета программ Statistica 6.1. Данные представлены в виде абсолютных и относительных частот изучаемого признака и стандартного отклонения процентной доли. Для сравнения частот изучаемого признака в группах использовался точный критерий Фишера. Уровень статистической значимости принимали при $p < 0{,}017$ (с учетом введенной поправки Бонферрони для множественных сравнений).

Результаты. Средний возраст обследованных пациентов составил 38,8 ± 8,6 г. (от 25 до 63 лет). Среди обследованных не было пациентов с установленными диагнозами, относящими пациента в группу высокого и очень высокого ССР, а именно пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями атеросклеротического генеза, пациентов с сахарным диабетом (в том числе с гипергликемией, выявленной по данным ПМО), пациентов с хронической болезнью почек, с выраженной гиперхолестеринемией. Распространенность курения среди обследуемых составила 53,5 % (152 человека), а распространенность артериальной гипертензии по данным анамнеза – 13,8 % (39).

По шкале SCORE оценивается 10-летний риск первого фатального события, связанного с атеросклерозом, в том числе инфаркта миокарда, инсульта или аневризмы аорты. Шкала включает в себя такие факторы, как возраст, пол, общий холестерин, систолическое артериальное давление и курение и охватывает мужчин и женщин в возрасте от 40 до 65 лет включительно. В нашем исследовании использовался вариант шкалы, предназначенный для стран с высоким и очень высоким уровнем сердечно-сосудистой смертности. В ходе проведенного исследования по шкале SCORE были оценены 110 человек (39 % от общего числа обследованных). Ведущей причиной, не позволившей провести оценку ССР по указанной шкале

у всех лиц в проведенном исследовании, стал возраст пациентов менее 40 лет (170 человек из общего числа неоцененных). Второй причиной, ограничивающей оценку по SCORE для обследованных, стал уровень общего холестерина в крови менее 3 ммоль/л (2 человека из общего числа неоцененных).

При проведении оценки по шкале SCORE выделяют группы низкого, умеренного, высокого и очень высокого ССР. В нашем исследовании пациенты распределись по группам следующим образом: 3 пациента (2,7 %) были отнесены к группе низкого риска, 82 (74,5 %) – к группе умеренного риска, 22 (20 %) – к группе высокого риска и 3 (2,7 %) – к группе очень высокого риска. Полученное распределение согласуется с ранее полученными результатами: большая часть испытуемых находится в группах низкого и умеренного риска [3].

Шкалы SCORE2 и SCORE2-OP служат для прогнозирования 10-летнего риска фатальных и нефатальных сердечно-сосудистых событий у людей в возрасте 40–69 лет (SCORE2) и старше 70 (SCORE2-OP). В проведенном нами исследовании использовался вариант шкалы для популяций с очень высоким риском смертности от сердечно-сосудистых событий. В оценку по шкале SCORE2 включаются такие факторы риска, как пол, возраст, статус курения, уровень САД, уровень ХС – не ЛПВП крови (общий ХС минус ХС ЛПВП). По сравнению со шкалой SCORE, в шкале SCORE2 проводится более точная дифференциация по уровню АД и возрасту. Кроме того, в оценку по шкале SCORE2 включаются пациенты в возрасте от 65 до 69 лет, а лица старше 70 лет могут быть оценены по шкале SCORE-OP. Степень ССР определяется в соответствии с возрастом пациента. Одинаковое количество баллов в разном возрасте может относить пациента к различным категориям риска. На основании проведенной оценки по шкале SCORE2 выделяют три категории ССР: низкий, высокий и очень высокий.

В проведенном исследовании по шкале SCORE2 оценен 31 человек (11 % от общего числа обследованных). Ведущей причиной, ограничивающей оценку по указанной шкале, является возраст пациентов моложе 40 лет (170 человек – 67,7 % от общего числа неоцененных). На втором месте в списке причин, ограничивающих использование шкалы SCORE2 в нашем исследовании, стоит недостаточный набор данных, а именно отсутствие липидного профиля сыворотки крови – 79 человек (31,5 % от общего числа неоцененных). Оставшиеся 2 человека (0,8 % от общего числа неоцененных) не могли быть оценены по шкале SCORE2 из-за несоответствия значений уровня липопротеидов высокой плотности референсным интервалам, используемым в шкале. Следует отметить, что липидный профиль сыворотки крови не входит в перечень лабораторных исследований, обязательных к проведению в рамках ПМО.

Распределение по группам ССР получилось следующим: 10 человек отнесены к группе высокого риска и 21 – к группе очень высокого риска. Ниже приведена сводная таблица распределения пациентов по группам ССР при использовании шкал SCORE и SCORE2 (табл. 1).

Согласно представленным данным, процент пациентов, отнесенных к группе очень высокого риска, статистически значимо возрастает при использовании шкалы SCORE2 вместо SCORE. При сравнении указанных шкал следует помнить, что шкала SCORE оценивает риск только фатальных сердечно-сосудистых событий, тогда как шкала SCORE2 дает представление как о фатальных, так и о нефатальных сердечно-сосудистых событиях. Однако любое сердечно-сосудистое событие может привести к неблагоприятному исходу с течением времени.

Таблица 1

Распределение пациентов по группам сердечно-сосудистого риска при оценке по шкалам SCORE и SCORE2

Категория риска	SCORE	SCORE2
Не оценены, *n* (% ± δ от общего числа обследованных)	172 (61 ± 2,9)	251 (89 ± 1,9)
Низкий, *n* (% ± δ от общего числа оцененных)	3 (2,7 ± 1,5)	0
Умеренный, *n* (% ± δ от общего числа оцененных)	82 (74,5 ± 4,2)	–
Высокий, *n* (% ± δ от общего числа оцененных)	22 (20 ± 3,8)	10 (32,2 ± 8,4)
Очень высокий, *n* (% ± δ от общего числа оцененных)	3 (2,7 ± 1,5)	21 (67,7 ± 8,4)

Шкала QRISK3 оценивает 10-летний риск развития ССЗ, в том числе инфаркта миокарда, ишемической болезни сердца, инсульта и преходящего нарушения мозгового кровообращения у лиц в возрасте 25–84 лет. Указанная шкала учитывает такие факторы, как возраст, пол, этническую принадлежность, курение, наличие сопутствующей патологии (сахарный диабет, хроническая болезнь почек С3–5, мерцательная аритмия, артериальная гипертензия, мигрень, ревматоидный артрит, системная красная волчанка, тяжелое психическое заболевание, прием атипичных антипсихотических препаратов, прием стероидных препаратов, эректильная дисфункция), развитие ишемической болезни сердца у родственника 1-й степени родства в возрасте до 60 лет, систолическое артериальное давление и его вариабельность, соотношение ХС и ЛПВП, социальное положение. Удобство применения данной шкалы заключается в том, что онлайн-калькулятор работает и при отсутствии отдельных данных о пациенте. При этом производится так называемая «ожидаемая оценка» риска, при которой вместо недостающих данных система автоматически вносит прогнозируемые значения параметров для пациентов данного пола, возраста и этнической принадлежности.

Выделение категорий риска не предусмотрено. Применение онлайн-калькулятора позволяет узнать балл по шкале QRISK3 конкретного пациента, балл по шкале QRISK3 человека того же возраста, пола и этнической принадлежности, что и пациент, но без неблагоприятных клинических показателей, с уровнем общего холестерина 4,0 ммоль/л, стабильным систолическим артериальным давлением 125 мм рт. ст. и индексом массы тела 25 кг/м^2 (риск здорового человека), относительный риск конкретного пациента (абсолютный риск пациента разделенный на риск здорового человека) и возраст здорового сердца пациента (возраст, в котором здоровый человек того же пола и этнической принадлежности имеет такой же показатель QRISK3, что и конкретный пациент).

В проведенном исследовании риск по шкале QRISK3 рассчитан для каждого из обследованных пациентов. Поскольку выделение групп риска в указанной шкале не предусмотрено, для удобства анализа материала мы распределили всех пациентов по степени соответствия паспортного возраста и здорового возраста сердца. У 241 пациента (85,5 %) здоровый возраст сердца превышал паспортный, у 31 (11 %) – соответствовал паспортному и у 10 (3,5 %) – был ниже паспортного. Таким образом, применение данной шкалы указывает, что 85,5 % включенных в обследование пациентов, вероятно, нуждаются в коррекции факторов риска сердечно-сосудистой патологии. Однако при формировании рекомендаций по коррекции ССР следует учитывать, что шкала QRISK3 разработана и валидизирована для Великобритании, и экстраполирование по-

лученных результатов на российскую популяцию может быть сопряжено с определенными трудностями.

Поскольку каждая из шкал, примененных в исследовании, оценивает риск различных сердечно-сосудистых событий, сравнение частот выявления групп риска статистически неправомерно. Однако можно провести сравнение охвата пациентов при оценке ССР при использовании каждой из шкал в нашем исследовании. В табл. 2 приведен охват пациентов при оценке ССР при использовании шкал SCORE, SCORE2 и QRISK3.

Таблица 2

Доля пациентов, подвергшихся оценке сердечно-сосудистого риска, при использовании шкал SCORE, SCORE2 и QRISK3

	SCORE	SCORE2	QRISK3
Доля пациентов, оцененных по шкале, *n* (%)	110 (39)	31 (11)	282 (100)

Проведенный статистический анализ данных указывает, что охват пациентов оценкой ССР по шкале QRISK3 в настоящем исследовании значительно выше, чем по шкалам SCORE и SCORE2 ($p < 0{,}001$).

Выводы. В условиях проведения ПМО наибольший охват пациентов оценкой ССР обеспечивает использование шкалы QRISK3, что позволяет дать обоснованные и наглядные рекомендации по коррекции ССР большему числу пациентов.

Применение шкалы SCORE2 может способствовать более глубокой оценке ССР, однако использование данной шкалы в рамках ПМО в настоящее время затруднительно ввиду необходимости проведения дополнительных лабораторных исследований.

Использование традиционной шкалы SCORE в рамках ПМО существенно ограничивается возрастным интервалом и может привести к недооценке суммарного ССР у работающего населения.

Список литературы

1. Кардиоваскулярная профилактика 2017: Российские национальные рекомендации / С.А. Бойцов, Н.В. Погосова, М.Г. Бубнова [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2018. – Т. 23, № 6. – С. 7–122. DOI: 10.15829/1560-4071-2018-6-7-122

2. Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры: Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.01.2021 № 29н [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101290043 (дата обращения: 29.08.2022).

3. Оценка точности прогнозирования сердечно-сосудистых событий с помощью шкалы SCORE и ультразвуковой визуализации атеросклеротической бляшки среди пациентов многопрофильного стационара Санкт-Петербурга: данные среднесрочного на-

блюдения / Л.Л. Берштейн, А.Е. Головина, Н.О. Катамадзе [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2019. – № 5. – С. 20–25. DOI: 10.15829/1560-4071-2019-5-20-25

4. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice / F.L.J. Visseren, F. Mach, Y.M. Smulders, D. Carballo, K.C. Koskinas, M. Bäck, A. Benetos, A. Biffi [et al.] // Eur. Heart J. – 2021. – Vol. 42, № 34. – P. 3227–3337. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab484

5. Hippisley-Cox J., Coupland C., Brindle P. Development and validation of QRISK3 risk prediction algorithms to estimate future risk of cardiovascular disease: prospective cohort study // BMJ. – 2017. – Vol. 357. – P. j2099. DOI: 10.1136/bmj.j2099

Отработка оптимальных параметров разделения пеноксулама и флуксапироксада методом ВЭЖХ–УФ

М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.С. Уланова

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

Одной из задач обеспечения безопасности пищевой продукции является разработка эффективных методов контроля остаточных количеств пестицидов в продуктах питания. Пеноксулам и флуксапироксад широко применяются в сельском хозяйстве для производства пищевых продуктов растительного происхождения. Представлены результаты исследований по разработке оптимальных условий хроматографического разделения пеноксулама и флуксапироксада методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Эффективное разделение пеноксулама и флуксапироксада достигнуто на колонке с обращенной фазой C18 Eclipse XDB при использовании в качестве подвижной фазы ацетонитрила и воды в объемном соотношении 60:40 в режиме изократического элюирования. Оптимальная длина волны спектрофотометрического детектора составила 230 нм. Полученные результаты будут использованы в исследованиях для разработки способа извлечения пеноксулама и флуксапироксада из хлебных зерновых культур.

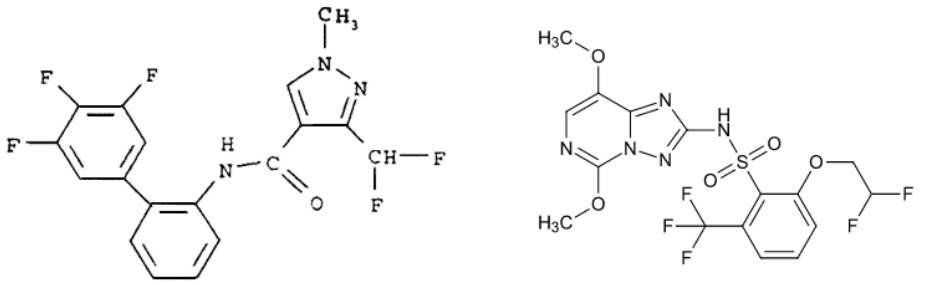
Ключевые слова: пестициды, пеноксулам, флуксапироксад, высокоэффективная жидкостная хроматография, пищевые продукты.

На сегодняшний день одной из основных проблем безопасности пищевой продукции является присутствие в ней остаточных количеств пестицидов различных групп. Пестициды представляют собой ядохимикаты и широко используются в хозяйственной деятельности человека для борьбы с болезнями и вредителями растений, сорняками, внешними паразитами животных, а также для регулирования роста растений [3]. При долговременном использовании пестициды способны накапливаться в почве, воде, воздухе, растениях и животных [1, 3]. Остаточные количества пестицидов, поступившие в организм человека с продуктами питания, накапливаются и со-

храняются в организме в течение долгого времени. Некоторые ядохимикаты способны передаваться младенцам при грудном вскармливании [1]. Накапливаясь в организме человека до высоких концентраций, пестициды вызывают развитие ряда хронических заболеваний, патологий, отравлений и отклонения в развитии [1, 8].

Пеноксулам – гербицид, действующее вещество препарата «Цитадель 25», относится к 3-му классу опасности, используется для защиты зерновых культур от сорняков (рис. 1). Из почвы пеноксулам всасывается в растения и в течение некоторого промежутка времени разлагается, но остаточные количества пестицида могут содержаться в конечном продукте, например зерне риса [6]. Флуксапироксад – фунгицид, применяется для обработки семян зерновых культур с целью профилактики появления заболеваний, для опрыскивания винограда, яблони, груши в вегетационный период, а также для обработки клубней картофеля перед посадкой (рис. 1).

В соответствии с ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна» установлены следующие гигиенические нормативы (МДУ) пеноксулама в зерне риса – 0,5 мг/кг, флуксапироксада в зерне хлебных злаков – 0,5 мг/кг.



а *б*

Рис. 1. Структурные формулы флуксапироксада (*а*) и пеноксулама (*б*)

На сегодняшний день для определения пеноксулама в воде, почве, зерне и соломе риса применяется аттестованная методика [4]. Контроль содержания флуксапироксада в плодоовощной и зерновой продукции проводится методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [2, 5]. По данным научно-технической литературы, для идентификации и хроматографического разделения изучаемых соединений методом ВЭЖХ существуют различные варианты проведения анализа, который включает в себя качественный и количественный состав подвижной фазы, параметры хроматографических колонок, а также длину волны детектирования. В качестве подвижной фазы для разделения пеноксулама используются смеси ацетонитрила, воды и уксусной кислоты в соотношении 500:500:1 [4], ацетонитрила с водой – в соотношении 70:30 [7], для флуксапироксада – смеси ацетонитрила и 0,005 М раствора ортофосфорной кислоты в соотношениях 40:60 и 50:50 [2, 5]. Детектирование пеноксулама проводят при длинах волн 290 нм [4] и 285 нм [7], при детектировании флуксапироксада используют длину волны 230 нм [2, 5].

С целью обеспечения контроля безопасности пищевой продукции необходима высокочувствительная и селективная ВЭЖХ-методика для одновременного ко-

личественного определения пеноксулама и флуксапироксада в пищевой продукции. В связи с этим актуальной задачей является выбор оптимальных хроматографических параметров для эффективного разделения пеноксулама и флуксапироксада при совместном присутствии: качественный и количественный состав, скорость и режим подачи подвижной фазы (градиентный / изократический), хроматографическая колонка, длина волны детектирования.

Цель исследования – подбор оптимальных условий для идентификации и хроматографического разделения пеноксулама и флуксапироксада при совместном присутствии методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Материалы и методы. Исследования проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20AD Prominence (Япония) с ультрафиолетовым детектором (ВЭЖХ-УФ) на колонке с обращенной фазой C18 Eclipse XDB. Для приготовления стандартных растворов использовали аналитические стандартные образцы пеноксулама с чистотой 99,4 % и флуксапироксада с чистотой 99,8 %, Sigma Aldrich.

Для выбора оптимального состава подвижной фазы учитывали растворимость пеноксулама и флуксапироксада в органических полярных растворителях – воде, метаноле и ацетонитриле.

Выбор оптимальной длины волны поглощения в УФ-диапазоне проводили по спектрам поглощения пеноксулама и флуксапироксада, полученным на спектрофотометрическом детекторе на диодной матрице SPD-M20A.

Результаты. Для приготовления стандартных растворов пеноксулама и флуксапироксада с концентрацией 0,035 г/дм^3 использовали воду, метанол и ацетонитрил. Наиболее подходящим растворителем для 100%-ного растворения соединений оказался ацетонитрил.

Для выбора оптимальной длины волны изучены спектры поглощения пеноксулама и флуксапироксада, полученные на жидкостном хроматографе со спектрофотометрическим детектором. На полученной спектрограмме пеноксулама имеется два максимума поглощения: 230 и 285 нм (рис. 2). Спектр поглощения флуксапироксада состоит из одного максимума поглощения – 230 нм (рис. 3). Таким образом, в качестве оптимальной длины волны для определения пеноксулама и флуксапироксада при совместном присутствии выбрана длина волны 230 нм, которая будет использована в дальнейших исследованиях.

В результате проведенных исследований были установлены следующие оптимальные параметры для хроматографического разделения пеноксулама и флуксапироксада:

– хроматографическая колонка с обращенной фазой C18 Eclipse XDB размером частиц 5 мкм, внутренним диаметром 2,1 мм и длиной 150 мм;

– подвижная фаза для элюирования: смесь ацетонитрила с водой в объемном соотношении 60: 40;

– скорость потока элюирования – 0,2 мл/мин;

– температура колонки – 30 °C.

Время удерживания на хроматограмме хроматографического пика пеноксулама составило 2,9 мин и для флуксапироксада – 5,1 мин.

Хроматограмма анализа стандартного раствора смеси пеноксулама и флуксапироксада с концентрацией 0,035 г/дм^3 в оптимальных условиях разделения представлена на рис. 4.

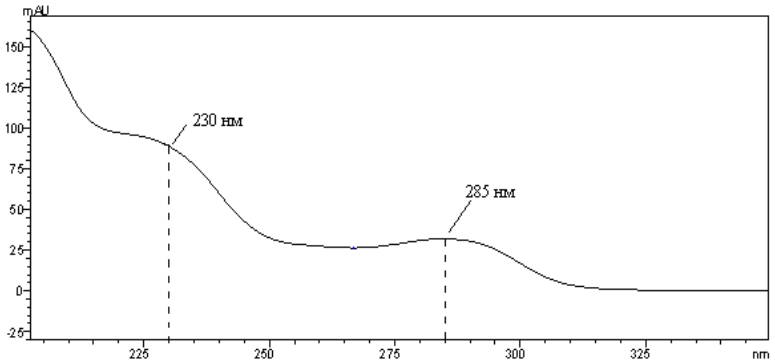


Рис. 2. Спектр поглощения пеноксулама в ацетонитриле с концентрацией 0,035 г/дм^3

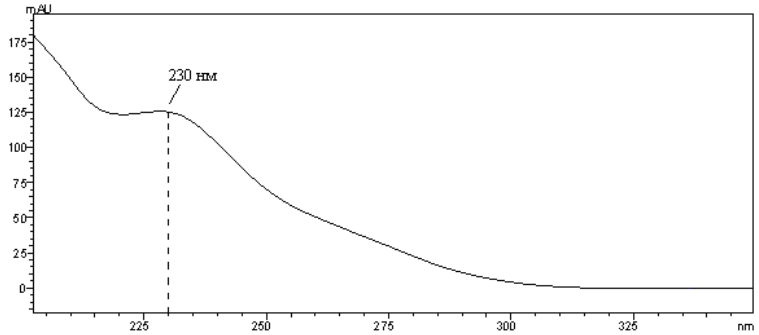


Рис. 3. Спектр поглощения флуксапироксада в ацетонитриле с концентрацией 0,035 г/дм^3

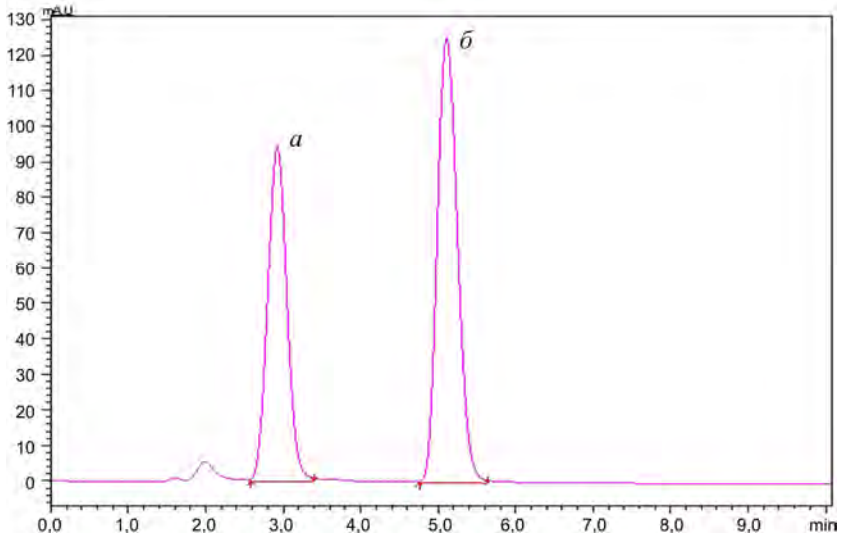


Рис. 4. Хроматограмма стандартного раствора смеси пеноксулама (*а*) и флуксапироксада (*б*) в ацетонитриле с концентрацией 0,035 г/дм^3 в оптимальных условиях хроматографического разделения

Выводы. Подобраны оптимальные хроматографические параметры для идентификации и разделения пеноксулама и флуксапироксада при совместном присутствии методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием. В качестве элюента выбрана смесь ацетонитрила с водой в объемном соотношении 60:40, со скоростью подачи 0,2 мл/мин, на колонке с обращенной фазой C18 Eclipse XDB длиной 150 мм, внутренним диаметром 2,1 мм и размером частиц 5 мкм. В качестве селективной длины волны выбрана длина 230 нм в УФ-диапазоне.

Полученные результаты будут применены в дальнейших исследованиях для разработки способа извлечения пеноксулама и флуксапироксада из хлебных зерновых культур.

Список литературы

1. Завьялова Я.С., Богданова В.Д. Влияние пестицидов на организм человека // MEDICUS. Международный медицинский научный журнал. – 2017. – № 1 (13). – С. 16–18.

2. Измерение концентраций действующих веществ пестицидов в воде, почве, зелёной массе, зерне и соломе зерновых культур, ботве и корнеплодах свеклы: сб. методических указаний по методам контроля. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. – 28 с.

3. Кобелева О.В. Пестициды в продуктах питания, произведенных на территории Хабаровского района // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4, № 3. – С. 001–008.

4. Определение остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и объектах окружающей среды: сб. методических указаний. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 228 с.

5. Определение остаточных количеств флуксапироксада в зеленой массе и клубнях картофеля, яблоках, яблочном соке, винограде и виноградном соке методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: методические указания МУК 4.1.3051-13. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. – 15 с.

6. Ткаченко А.В., Литвин В.В. Экологические проблемы содержания гербицидов в продуктах сельского хозяйства // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сб. статей по материалам международной научной экологической конференции. – 2018. – С. 52–53.

7. Турко М.С., Хурсин П.А., Ивашкевич Л.С. Методика определения пеноксулама в зерне и зерновых культурах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й Международной научной конференции. – 2019. – С. 93–96.

8. Турова Н.А., Паскарелов С.И. Влияние пестицидов на организм человека // MODERN SCIENCE. – 2020. – № 12–3. – С. 11–14.

Исследование и оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей крыс при интратрахеальной инстилляции наночастиц оксида меди (II)

М.С. Степанков

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

Широкий спектр применения и наличие данных о токсичности наночастиц оксида меди (II) (НЧ CuO) обусловливают актуальность исследований, направленных на изучение негативных эффектов данного наноматериала на организм. Исследована клеточная популяция бронхоальвеолярного смыва крыс при однократной интратрахеальной экспозиции. Отмечено увеличение содержания сегментоядерных нейтрофилов, альвеолярных макрофагов; снижение моноцитов, лимфоцитов. Данные изменения указывают на развитие воспалительной реакции нейтрофильного характера. НЧ CuO обладают большей степенью токсичности в сравнении с микрочастицами химического аналога, на что указывает более выраженный характер изменения состава клеточной популяции смывов у крыс, экспонированных НЧ.

Ключевые слова: оксид меди (II), наночастицы, микрочастицы, токсичность, бронхоальвеолярный лаваж.

Наноматериалы обладают рядом уникальных физико-химических свойств, отличающих их от микроразмерных химических аналогов, что обусловлено малыми размерами и высокой удельной площадью поверхности. Физико-химические особенности способствуют активному внедрению наноматериалов в различные сферы хозяйственной деятельности человека [6], в результате чего отмечается загрязнение атмосферного воздуха [16], воды [20] и почвы [12] наночастицами (НЧ). Физико-химические свойства также обусловливают токсичность наноразмерных материалов, установленную по результатам исследований *in vitro* и *in vivo* [11, 17]. Загрязнение среды обитания токсичными наноразмерными материалами увеличивает риск экспозиции населения и увеличения распространённости заболеваний, обусловленных негативным действием наноматериалов на организм.

Одним из распространённых наноразмерных материалов являются наночастицы оксида меди (II) (НЧ CuO). НЧ CuO применяются в медицине в биоцидных препаратах; косметологии – в продуктах личной гигиены; электронике – в суперконденсаторах, полупроводниках, датчиках, солнечных батареях, сенсорах; сельском хозяйстве – в составе удобрений и пестицидов; аэрокосмической отрасли – в качестве катализатора горения топлива [4, 7]. Согласно данным, представленным в научной литературе, НЧ CuO, проникая в организм, способны генерировать свободные радикалы, что может приводить к развитию окислительного стресса [19], обусловливающего цитотоксический эффект [18], развитие патоморфологических изменений тканей органов [23], генотоксический [14], иммунотоксический [21] и канцерогенный эффекты [23].

В связи с широким спектром применения и наличием данных о токсичности особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение негативных эффектов, вызываемых НЧ CuO при различных путях поступления в организм.

Цель исследования – анализ и оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей крыс при интратрахеальной инстилляции НЧ CuO.

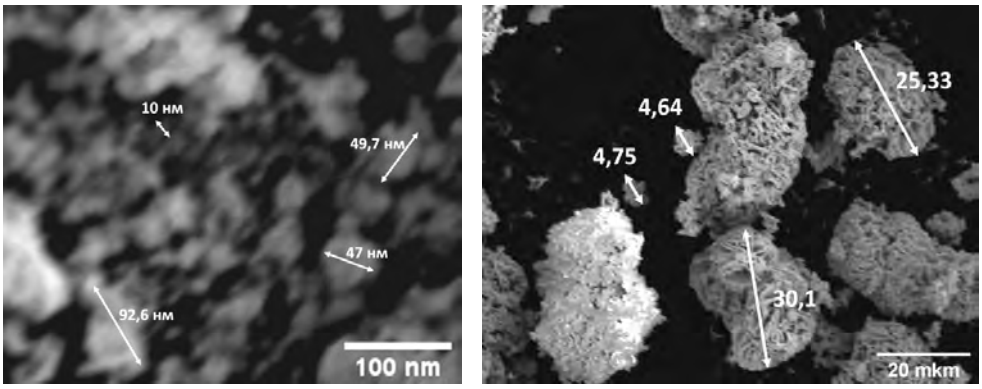
Материалы и методы. В качестве тестируемого материала выбран нанопорошок CuO производства компании Sigma-Aldrich (США). Для выполнения сравнительной оценки использовали порошок микрочастиц CuO (МЧ CuO) производства той же компании. Размер частиц тестируемых материалов определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем микроскопе высокого разрешения S-3400N (HITACHI, Япония). Исследование и оценка удельной площади поверхности частиц CuO выполнена методом Брунауэра, Эммета и Теллера на анализаторе ASAP 2020 (Micromeritics, США).

Экспериментальное исследование проводили на 30 самках крыс линии Wistar массой 180–200 г возрастом 12 недель в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123) и требованиями этического комитета Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения. Прошедших двухнедельную акклиматизацию животных случайным образом разделили на три группы по 10 особей. Крыс опытной группы подвергали экспозиции наноматериалом, группы сравнения – микроматериалом, контрольной группы – стерильным изотоническим раствором хлористого натрия (0,9 % NaCl). Изучение клеточно-фагоцитарной активности проводили в соответствии с МР № 01-19/24-17 «Использование клеточных систем “ин витро” и “ин виво” для ускорения гигиенической регламентации малорастворимых промышленных аэрозолей». Экспериментальным животным интратрахеально вводили суспензии тестируемых материалов на основе 0,9%-ного NaCl в концентрации 0,013 г/см^3 в объёме 0,4 см^3 на крысу. Для равномерного распределения веществ в суспензии использовали ультразвуковой гомогенизатор Sonopuls Hd (Bandelin, Германия) при комнатной температуре в течение 2 мин в режиме непрерывной пульсации на 80%-ной мощности. Через 24 ч после воздействия крыс эвтанировали цервикальной дислокацией. В отпрепарированную трахею вводили коническую канюлю и с помощью шприца, соединённого с ней, в лёгкие вводили 5 см^3 0,9%-ного NaCl, после чего извлекали промывные воды лёгких, которые центрифугировали в течение 4 мин при 1000 об./мин. Полученную надосадочную жидкость декантировали, из осадка готовили мазки на обезжиренных предметных стёклах. Мазки высушивали на воздухе, фиксировали метиловым спиртом в течение одной минуты и окрашивали азур-эозином в течение 20 мин. Затем в каждом мазке проводили подсчёт клеточной популяции с помощью микроскопирования иммерсионной системой при увеличении ×900.

Определение статистической значимости различий в составе клеточной популяции между экспериментальными группами осуществляли по *U*-критерию Манна – Уитни при уровне значимости $p \leq 0{,}05$, рассчитанному в программе Statistica 10.

Результаты. По результатам РЭМ средний размер частиц нанопорошка CuO составил 45,86 нм, что в 303 раза меньше значения данного показателя у частиц микропорошка (13,90 мкм) (рисунок). Большая доля частиц нанопорошка (64,33 %) имеет размер 6–50 нм. Доля наночастиц размером до 100 нм составила 93,28 % от общего количества частиц. В составе микропорошка большую долю (27,10 %) со-

ставляют частицы размером 15–20 мкм, общий диапазон фракционного состава при этом соответствует 2,9–38,6 мкм. Удельная площадь поверхности НЧ CuO составила 17,70 м^2/г, что в 9,6 раза выше данного показателя у микродисперсного аналога (1,84 м^2/г).



а *б*

Рис. Изображение CuO с помощью РЭМ: *а* – наночастиц, *б* – микрочастиц

При исследовании клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей крыс через 24 ч после экспозиции НЧ CuO в промывных водах лёгких крыс опытной группы относительно контрольной установлено увеличение содержания сегментоядерных нейтрофилов в 2,5 раза ($p < 0{,}001$), альвеолярных макрофагов – в 4,1 раза ($p < 0{,}001$); снижение моноцитов – в 6,0 раза ($p < 0{,}0$), лимфоцитов – в 10,7 раза ($p < 0{,}001$). Аналогичные изменения относительно контрольных данных наблюдаются при экспозиции микроразмерным CuO: повышение уровней сегментоядерных нейтрофилов в 2,5 раза ($p < 0{,}001$), альвеолярных макрофагов – в 1,6 раза ($p < 0{,}01$); снижение моноцитов – в 2,6 раза ($p < 0{,}001$), лимфоцитов – в 4,7 раза ($p < 0{,}001$). Клеточно-фагоцитарная активность дыхательных путей крыс опытной группы отличается от группы сравнения в 2,6 раза ($p < 0{,}001$) более высоким содержанием альвеолярных макрофагов, и более низкими уровнями моноцитов и лимфоцитов в 2,3 ($p < 0{,}001$) и 2,2 раза ($p < 0{,}001$) соответственно. Результаты исследования клеточно-фагоцитарной активности представлены в таблице.

Результаты подсчёта клеточной популяции в 100 клетках мазка бронхоальвеолярных смывов крыс через 24 ч после интратрахеальной инстилляции водных суспензий НЧ и МЧ CuO, %

Группа	$M \pm m$			
	Сегментоядерные нейтрофилы	Моноциты	Альвеолярные макрофаги	Лимфоциты
Контрольная	30,1 ± 2,82	19,2 ± 1,67	3,7 ± 0,40	47,0 ± 0,86
Сравнения	75,5 ± 0,37*	7,4 ± 0,58*	5,9 ± 0,32*	10,1 ± 0,35*
Опытная	75,6 ± 0,45*	3,2 ± 0,25*^	15,2 ± 0,93*^	4,4 ± 0,54*^

Примечание: * – статистически значимое отличие от контрольной группы ($p \leq 0{,}05$); ^ – статистически значимое отличие от группы сравнения ($p \leq 0{,}05$).

В результате проведённого исследования в бронхоальвеолярных смывах крыс, экспонированных НЧ и МЧ CuO, в сравнении с показателями контрольной группы установлено изменение структуры клеточной популяции, проявляющееся в увеличении доли сегментоядерных нейтрофилов, альвеолярных макрофагов и снижении моноцитов и лимфоцитов. Полученные результаты указывают на вероятное развитие нейтрофильного варианта воспалительной реакции в тканях лёгких экспериментальных животных [1]. Способность НЧ CuO индуцировать воспалительный процесс в тканях лёгких установлена при однократной и многократной ингаляционной экспозиции крыс [2, 3, 22]. Развитие воспалительной реакции, вероятно, связано со способностью НЧ CuO усиливать внутриклеточную генерацию активных форм кислорода, что способствует окислительному стрессу [5, 8–10, 13, 15, 19, 20, 24] и усилению генерации провоспалительных цитокинов [21]. Действие нейтрофилов и их продуктов в лёгких способно вызвать эмфизему [22]. Из азурофильных гранул нейтрофила во внеклеточное пространство высвобождаются сериновые протеазы, в том числе нейтрофильная эластаза и протеиназа 3, которые вызывают повреждение тканей [25]. В исследовании [2] при многократном ингаляционном воздействии НЧ CuO у крыс установлены патоморфологические изменения ткани лёгких, в том числе в виде эмфиземы, сопровождающейся снижением числа нейтрофилов в крови, что может указывать на рекрутирование данных клеток в лёгкие.

Выводы. Методом РЭМ установлено, что тестируемый образец CuO является наноматериалом. Однократное интратрахеальное введение 0,4 см^3 суспензии НЧ CuO в концентрации 0,013 г/см^3 изменяет структуру клеточной популяции бронхоальвеолярного смыва, указывающую на развитие воспалительной реакции. Более выраженный характер изменений у крыс опытной группы относительно группы сравнения указывает на большую степень токсичности НЧ CuO в сравнении с МЧ CuO. Результаты исследования позволяют расширить теоретические представления и получить новые знания в области нанотоксикологии об особенностях токсического действия наноразмерных оксидсодержащих материалов.

Список литературы

1. Назаренко Г.И, Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. – М.: Медицина, 2006.

2. Особенности бионакопления и токсического действия наночастиц оксида меди (II) при многократной ингаляционной экспозиции крыс / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, М.С. Степанков [и др.] // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 10. – С. 1139–1144.

3. Степанков М.С. Особенности бионакопления и токсического действия наночастиц оксида меди (II) при однократной ингаляционной экспозиции крыс // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2021. – Т. 2. – С. 201–209.

4. Ameh T., Sayes C.M. The potential exposure and hazards of copper nanoparticles: A review // Environ Toxicol Pharmacol. – 2019. – Vol. 71. – P. 1–8.

5. Anreddy R.N.R. Copper oxide nanoparticles induces oxidative stress and liver toxicity in rats following oral exposure // Toxicol Rep. – 2018. – № 5. – P. 903–904.

6. Applications of Nanotechnology [Электронный ресурс] // National Nanotechnology Initiative. – URL: https://www.nano.gov/about-nanotechnology/applications-nanotechnology (дата обращения: 22.08.2022).

7. Copper Oxide (CuO) nanoparticles – Properties, Applications [Электронный ресурс] // Azonano. – URL: https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3395 (дата обращения: 22.08.2022).

8. Copper oxide nanoparticles are highly toxic: a comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes / H.L. Karlsson, P. Cronholm, J. Gustafsson, L. Möller // Chemical Research in Toxicilogy. – 2008. – Vol. 21, № 9. – P. 1726–1732.

9. CuO nanoparticle interaction with human epithelial cells: cellular uptake, location, export, and genotoxicity / Z. Wang, N. Li, J. Zhao [et al.] // Chem. Res. Toxicol. – 2012. – Vol. 25, № 7. – P. 1512–1521.

10. Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in human skin keratinocytes cells / S. Alarifi, D. Ali, A. Verma [et al] // International Journal of Toxicology. – 2013. – Vol. 32, № 4. – P. 296–307.

11. Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // Nanoscale Research Letters. – 2018. – Vol. 13, № 44. – P. 1–21.

12. Dror I., Yaron B., Berkowitz B. Abiotic soil changes induced by engineered nanomaterials: A critical review // J Contam Hydrol. – 2015. – Vol. 181. – P. 3–16.

13. Fahmy B., Cormier S.A. Copper oxide nanoparticles induce oxidative stress and cytotoxicity in airway epithelial cells // Toxicology in Vitro. – 2009. – Vol. 23, № 7. – P. 1365–1371.

14. Genotoxic effects of copper oxide nanoparticles in Neuro 2A cell cultures / F. Perreault, S. Pedroso Melegari, C. Henning da Costa [et al.] // Sci Total Environ. – 2012. – Vol. 441. – P. 117–124.

15. Hormesis Effects of Nano- and Micro-sized Copper Oxide / M. Keshavarzi, F. Khodaei, A. Siavashpour [et al.] // Iran J Pharm Res. – 2019. – Vol. 18, № 4. – P. 2042–2054.

16. Inhalation exposure to atmospheric nanoparticles and Its associated impacts on human health: a review / S. Sonwani, S. Madaan, J. Arora [et al.] // Front Sustain Cities. – 2021. – Vol. 3. – P. 1–20.

17. Khan Ib., Saeed K., Khan Id. Nanoparticles: properties, applications and toxicities // Arabian Journal of Chemistry. – 2019. – Vol. 12, № 7. – P. 908–931.

18. Lysosomal deposition of copper oxide nanoparticles triggers HUVEC cells death / J. Zhang, Z. Zou, B. Wang [et al.] // Biomaterials. – 2018. – Vol. 161. – P. 228–239.

19. Nano-copper induces oxidative stress and apoptosis in kidney via both extrinsic and intrinsic pathways / A. Sarkar, J. Das, P. Manna, P.C. Sil // Toxicology. – 2011. – Vol. 290, № 2–3. – P. 208–217.

20. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? / M. Bundshuh, J. Filser, S. Lüderwald [et al.] // Environ Sci Eur. – 2018. – Vol. 30, № 1. – P. 1–17.

21. Naz S., Gul A., Zia M. Toxicity of copper oxide nanoparticles: a review study // IET Nanobiotechnol. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 1–13.

22. Organ burden and pulmonary toxicity of nano-sized copper (II) oxide particles after short-term inhalation exposure / I. Gosens, F.R. Cassee, M. Zanella [et al.] // Nanotoxicology. – 2016. – Vol. 10, № 8. – P. 1084–1095.

23. Subchronic Toxicity of Copper Oxide Nanoparticles and Its Attenuation with the Help of a Combination of Bioprotectors / L.I. Privalova, B.A. Katsnelson, N.V. Loginova [et al.] // Int J Mol Sci. – 2014. – Vol. 15, № 7. – P. 12379–12406.

24. Thit A., Selck H., Bjerregaard H.F. Toxic mechanisms of copper oxide nanoparticles in epithelial kidney cells // Toxicology in Vitro. – 2015. – Vol. 29, № 5. – P. 1053–1059.

25. Understanding the role of neutrophils in chronic inflammatory airway disease / A.E. Jasper, W.J. Mclver, E. Sapey [et al.] // F1000 Research. – 2019. – Vol. 8. – P. 17.

Патоморфологические изменения тканей органов при острой пероральной экспозиции наночастицами оксида молибдена (VI)

М.С. Степанков

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

Перспектива применения наночастиц оксида молибдена (VI) (НЧ MoO_3) в сельскохозяйственной отрасли открывает потенциальный путь воздействия на организм данного наноматериала при алиментарном поступлении. Исследованы патоморфологические изменения тканей органов при однократной пероральной экспозиции НЧ MoO_3 в дозе 2000 мг/кг массы тела. В ходе эксперимента установлена гибель 50 % экспонированных животных. Установлены воспалительные изменения тканей лёгких и печени; микровезикулярный стеатоз гепатоцитов; очаговое субарахноидальное кровоизлияние в головном мозге. Полученные результаты доказывают наличие токсических свойств у НЧ MoO_3 при пероральном поступлении, что ограничивает их использование в сельскохозяйственном секторе.

Ключевые слова: оксид молибдена (VI), наночастицы, токсичность, пероральное воздействие, патоморфологические изменения.

Хозяйственная деятельность человека сопровождается загрязнением окружающей среды широким спектром химических веществ, в том числе чрезвычайно высокоопасными для здоровья [1]. Среди контаминантов химического происхождения особо выделяются металлоксидные твёрдые частицы, размер которых не превышает 100 нм [15, 16, 21]. Особое внимание наноразмерные частицы (НЧ) получили благодаря меньшим размерам, большим соотношением площади поверхности к объёму, высокой реакционной способностью по сравнению с частицами аналогичного химического состава, но микроразмерного диапазона. Уникальные физико-химические свойства НЧ предопределяют потенциально большую опасность относительно микроразмерных материалов, что обусловлено их высокой степенью проникающей способности в организм, возможностью повреждения структуры и функций органоидов клеток, и, как следствие, к развитию нарушений на тканево-органном уровне, увеличению риска возникновения заболеваний [6, 13].

Примером такого наноматериала являются НЧ оксида молибдена (VI) (MoO_3), применяющиеся в электрохимической, текстильной и химической промышленности, производстве нанооптики [3, 4]. Кроме того, изучается возможность

применения НЧ MoO_3 в сельском хозяйстве в качестве удобрения, так как молибден в составе нитратредуктазы участвует в восстановлении нитратов до нитритов в ходе процесса усвоения азота растениями [14, 20]. По результатам экспериментальных исследований установлено, что НЧ MoO_3 способствуют увеличению урожайности риса (*Oryza sativa L.*) и фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris L.*) [17, 22]. Использование НЧ MoO_3 в составе удобрений может привести к накоплению данного наноматериала в растениях, что открывает потенциальный путь воздействия НЧ MoO_3 на организм человека при алиментарном поступлении. В связи с этим возникает актуальность изучения токсического действия НЧ MoO_3 при пероральной экспозиции.

Цель исследования – изучение патоморфологических изменений тканей органов при острой пероральной экспозиции НЧ MoO_3.

Материалы и методы. Для проведения исследования использовали порошок НЧ MoO_3 производства компании Sigma-Aldrich (CAS 1313-27-5, № 775703, США).

Размер частиц в составе нативного порошка определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем микроскопе высокого разрешения S-3400N (HITACHI, Япония). Исследование и оценка удельной площади поверхности НЧ MoO_3 выполнена методом Брунауэра, Эммета и Теллера на анализаторе ASAP 2020 (Micromeritics, США), общий объём пор – методом Баррета, Джойнера и Халенды.

Эксперимент по изучению острой пероральной токсичности проводили на крысах линии Wistar в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123) и требованиями этического комитета Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения. Экспериментальных животных в количестве 12 особей после 14-дневного периода адаптации случайным образом распределили на две группы по 6 особей: опытная группа – для исследования перорального воздействия НЧ MoO_3, контрольная группа – животные, содержавшиеся в аналогичных условиях, получавшие бидистиллированную воду без тестируемого вещества. НЧ MoO_3 вводили в форме водной гомогенизированной ультразвуком суспензии в дозе 2000 мг/кг массы тела в объёме 1,5 $см^3$/крысу в соответствии со схемой, представленной в ГОСТ 32644-2014. Через 14 суток после экспозиции крыс эвтанировали цервикальной дислокацией с последующей немедленной декапитацией, после чего проводили отбор сердца, лёгких, печени, почек и головного мозга для выявления патоморфологических изменений органов методами гистологического анализа. Отобранные органы фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина с добавлением фосфатного буфера. Дегидратацию фиксированных кусочков тканей проводили в автоматическом гистологическом процессоре Excelsior ES (Thermo Scientific, Германия). Гистологические препараты изготавливали из парафиновых срезов толщиной 3–4 мкм, окрашивая гематоксилином и эозином в роботе-окрашивателе Varistain Gemini ES (Thermo Scientific, Германия). Микрофотографии сделаны с помощью камеры Mikroskop-kamera AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия).

Результаты. По результатам исследования нанопорошка MoO_3 методом РЭМ установлено, что тестируемый материал на 84,17 % состоит из частиц размером менее 100 нм средним размером 58,80 ± 20 нм. Удельная площадь поверхности НЧ MoO_3 составила 3,66 $м^2$/г, общий объём пор, покрывающих поверхность НЧ, составил 0,0133 $см^3$/г.

В первые 10 мин после однократной пероральной экспозиции НЧ MoO_3 в дозе 2000 мг/кг массы тела у крыс опытной группы отмечено состояние заторможенности и незначительное угнетение двигательной активности. Через 5–10 мин данный эффект нивелировался. Отмечено ухудшение общего состояния экспонированных крыс через 24 ч после воздействия. На вторые сутки зафиксирована гибель 50 % крыс опытной группы (n = 3). В следующие 12 суток гибель в опытной группе не зафиксирована. В контрольной группе негативные эффекты и гибель не наблюдали.

Гистологическими методами исследования у крыс опытной группы, в отличие от контрольных животных, в паренхиматозной ткани печени установлены острый гепатит с эозинофилией воспалительного инфильтрата и микровезикулярным стеатозом гепатоцитов; в лёгких – острый бронхит, васкулиты, эозинофилия; в головном мозге – очаговое субарахноидальное кровоизлияние (рисунок). В тканях сердца и почек не установлено патоморфологических изменений относительно контроля.

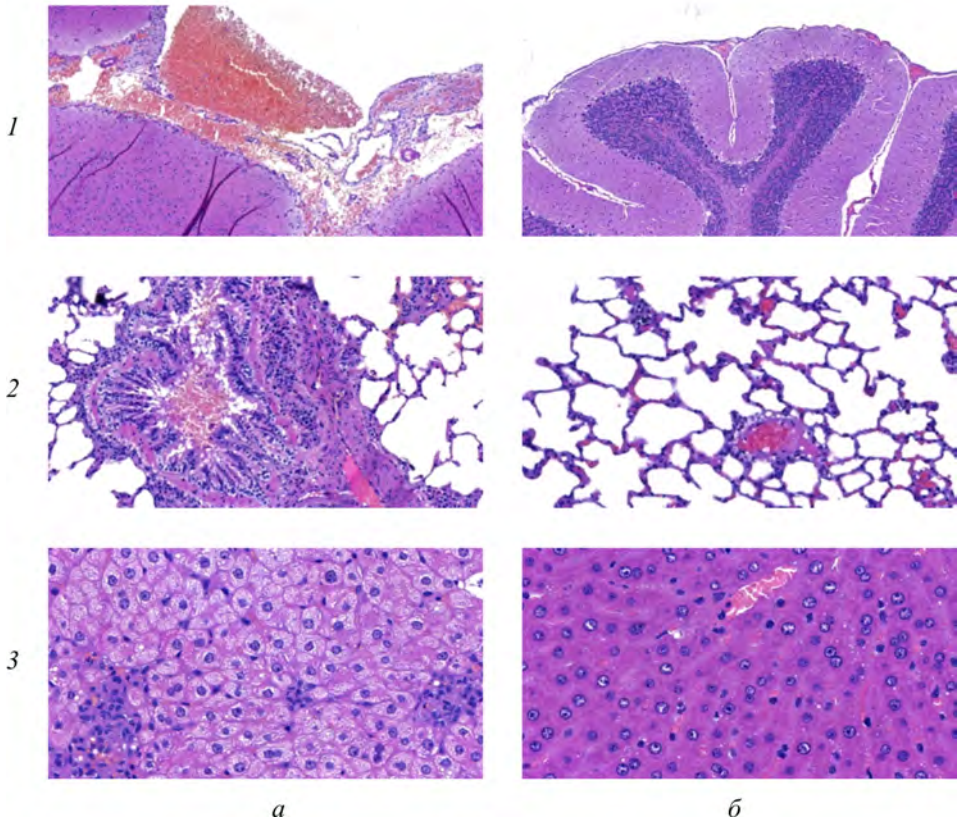


Рис. Микрофотографии гистологических препаратов органов крыс, окраска гематоксилином и эозином: *1* – головной мозг (масштаб 100:1), *2* – лёгкие (масштаб 200:1), *3* – печень (масштаб 400:1); *а* – опытная группа, *б* – контрольная группа

Таким образом, по результатам проведённого исследования установлено, что НЧ MoO_3 при пероральной экспозиции в дозе 2000 мг/кг массы тела вызывают патоморфологические изменения тканей печени, лёгких и головного мозга. Воспали-

тельные изменения в печени и лёгких, вероятно, связаны со способностью НЧ MoO_3 усиливать генерацию активных форм кислорода (АФК), обусловливающих развитие окислительного стресса [9, 10, 12, 21], что приводит к повышению экспрессии генов, отвечающих за продуцирование таких провоспалительных цитокинов, как интерлейкин-6 (IL-6), IL-8, IL-1β, фактор некроза опухоли альфа [12]. Воспалительные изменения в сосудах способствуют дегенеративным изменениям внутренней эластической мембраны, что может привести к разрыву стенок сосудов и кровоизлияниям [18, 19]. Предположительно, субарахноидальное кровоизлияние в головном мозге развивается по схожему механизму [7]. Механизм развития микровезикулярного стеатоза обусловливают нарушением синтеза апопротеина, вызванным блокадой ферментных систем, что приводит к нарушению переноса липопротеидов через мембрану паренхиматозных клеток печени. Задерживаясь в цитоплазме, данные белки трансформируются и накапливаются в гепатоцитах в виде триглицеридов [2, 8]. Последствием накопления триглицеридов может стать разрушение лизосом, приводящее к высвобождению в цитоплазму катепсина B, способствующего развитию митохондриальной дисфункции, что усиливает продукцию внутриклеточных АФК [23]. Ещё один из механизмов развития жировой дистрофии может быть связан со способностью НЧ MoO_3 повреждать клеточную мембрану [11]. Вероятно, воздействие НЧ MoO_3 на клеточную мембрану может способствовать фанерозу включённых в состав мембраны липопротеидных комплексов, в результате чего высвобождаются жиры, которые в дальнейшем проникают и накапливаются внутри клетки [2]. Прогрессирование жировой дистрофии гепатоцитов приводит к фиброзу и циррозу печени [6].

Выводы. Установленные физические свойства указывают, что тестируемый образец MoO_3 является наноматериалом. Однократное пероральное поступление в дозе 2000 мг/кг массы тела вызывает патоморфологические изменения тканей печени, лёгких и головного мозга, которые, вероятно, являются причиной гибели экспонированных крыс. Полученные результаты доказывают наличие токсических свойств у НЧ MoO_3 при пероральном поступлении, что ограничивает их использование в сельскохозяйственном секторе.

Список литературы

1. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V–VIII групп: справочное издание / А.Л. Бандман, Н.В. Волкова, Т.Д. Грехова [и др.]. – Л.: Химия, 1989.

2. Малова И.Ю. Общее учение о дистрофиях (методическое пособие). – Майкоп, 2014. – 108 с.

3. Наночастицы сульфидов молибдена – новый класс добавок к углеводородным смазочным материалам / О.П. Паренаго, В.Н. Бакунин, Г.Н. Кузьмина [и др.] // ДАН. – 2002. – Т. 383, № 1. – С. 84–86.

4. Biological effects of molybdenum compounds in nanosized forms under in vitro and in vivo conditions / Z. Sobańska, L. Zapór, M. Szparaga [et al.] // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. – 2020. – Vol. 33, № 1. – P. 1–19.

5. Cerium oxide nanoparticles display antilipogenic effect in rats with non-alcoholic fatty liver disease / S. Carvajai, M. Perramón, D. Oró [et al.] // Sci Rep. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 1–20.

6. Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // Nanoscale Research Letters. – 2018. – Vol. 13, № 44. – P. 1–21.

7. Fuller G., Manford M. Subarachnoid hemorrhage // Neurology (Third edition). – Elsevier Inc, 2010. – P. 72–73.

8. Hautekeete M.L., Degott C., Benhamou J.P. Microvesicular steatosis of the liver // Acta Clin Belg. – 1990. – Vol. 45, № 5. – P. 311–326.

9. Impact of molybdenum nanoparticles on survival, activity of enzymes, and chemical elements in Eisenia fetida using test on artificial substrata / S. Lebedev, E. Yasheva, L. Galaktionova [et al.] // Environ Sci Pollut Res Int. – 2016. – Vol. 23, № 18. – P. 18099–18110.

10. Indrakumar J., Korrapati P.S. Steering efficacy of nano molybdenum towards cancer: mechanism of action // Biol Trace Elem Res. – 2020. – Vol. 194, № 1. – P. 121–134.

11. In vitro cytotoxicity of nanoparticles in mammalian germline stem cells / L. Braydich-Stolle, S. Hussain, J.J. Schlager [et al.] // Toxicol Sci. – 2005. – Vol. 88, № 2. – P. 412–419.

12. In-vitro toxicity of molybdenum trioxide nanoparticles on human keratinocytes / K. Božinović, D. Nestić, U.G. Centra [et al.] // Toxicology. – 2020. – Vol. 444. – P. 1–11.

13. Khan Ib., Saeed K., Khan Id. Nanoparticles: properties, applications and toxicities // Arabian Journal of Chemistry. – 2019. – Vol. 12, № 7. – P. 908–931.

14. Molybdenum-induced effects on nitrogen uptake efficiency and recovery in wheat (Triticum aestivum L.) using ^{15}N-labeled nitrogen with different N forms and rates / M.G. Moussa, C.X. Hu, A.M. Elyamine [et al.] // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2021. – Vol. 184. – P. 613–621.

15. Nanomaterials versus ambient ultrafine perticles: 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.

16. Nanoparticles in the environment: assessment using the casual diagram approach / S. Smita, S.K. Gupta, A. Bartonova [et al.] // Environmental health. – 2012. – Vol. 11 (Suppl. 1). – P. 1–11.

17. Nanoscale molybdenum oxide improves plant growth and increases nitrate utilisation in rice (Oryza sativa L.) / H. Zhang, R. Wang, Z. Chen [et al.] // Food and Energy Security. – 2022. – Vol. 11, № 2. – P. 14.

18. Overview of vasculitis // MSD Manual professional version [Электронный ресурс]. – URL: https://www.msdmanuals.com/professional/musculoskeletal-and-connective-tissue-disorders/vasculitis/overview-of-vasculitis (дата обращения: 26.06.2022).

19. Pulmonary infarction in acute pulmonary embolism / F.H.J. Kaptein, L.J.M. Kroft, G. Hammerschlag [et al.] // Thrombosis Research. – 2021. – Vol. 202. – P. 162–169.

20. Rcie planting increases biological nitrogen fixation in acidic soil and the influence of light and food layer thickness / H.L. Ma, P.P. Mao, S. Imran [et al.] // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2021. – Vol. 21. – P. 341–348.

21. 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.

22. The influence of MoO3-NPs on agro-morphological criteria, genomic stability of DNA, biochemical assay, and production of common dry bean (Phaseolus vulgaris L.) /

S.A. Osman, D.M. Salama, M.E. Abd El-Aziz [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2020. – Vol. 151. – P. 77–87.

23. The lysosomal-mitochondrial axis in free fatty acid – induced hepatic lipotoxicity / Z.Z. Li, M. Berk, T.M. McIntyre [et al.] // Hepatology. – 2008. – Vol. 47, № 5. – P. 1495–1503.

24. Toxicity of nano molybdenum trioxide toward invasive breast cancer cells / T.A. Tran, K. Krishnamoorthy, Y.W. Song [et al.] // ACS Appl Mater Interfaces. – 2014. – Vol. 6, № 4. – P. 2980–2986.

Апробация методики количественного определения фурана и метилфурана в пищевых продуктах, на примере детских каш

Д.Ю. Субботина, Т.В. Нурисламова

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

Предложена методика количественного определения фурана и метилфурана в пищевой продукции методом парофазной экстракции с последующим газохроматографическим анализом с масс-селективным детектором. С использованием стандартных образцов фурана и метилфурана отработаны параметры хромато-масс-спектрометрической идентификации анализируемых соединений: установлены масс-спектры, характеристические ионы для фурана и метилфурана и изучено влияние температуры на экстракцию аналитов из пробы на этапе пробоподготовки. В процессе исследований была выполнена апробация разработанной методики фурана и метилфурана реальных образцов детских каш российских и зарубежных производителей. Результаты исследования показали, что фуран и метилфуран присутствуют в исследуемых образцах каш в диапазоне концентраций 0,000062–0,003 и 0,000736–0,001068 мг/кг соответственно. Оценка качества сухих детских каш по содержанию фурана и метилфурана показала, что наибольшая концентрация аналитов обнаружена в каше Nestle – 0,0003–0,001068 мг/кг, наименьшая концентрация метилфурана обнаружена в овсяной каше Heinz – 0,000736 мг/кг и фурана – в каше «Фруто Няня» – 0,000062 мг/кг. В многозерновой каше Heinz и HiPP organic baby cereal фурана не обнаружено.

Ключевые слова: хромато-масс-спектрометрический метод (ГХ/МС), детские каши, фуран (метилфуран), анализ равновесной паровой фазы.

Качество и безопасность продуктов питания относятся к основному фактору, определяющему сохранение здоровья человека. Химическая безопасность пищевых продуктов является темой, вызывающей растущее беспокойство как в Российской Федерации, так и в европейских странах [7].

В последние годы изучению фурана в пищевых продуктах уделяется особое внимание рядом международных пищевых организаций, таких как Управление по

контролю за продуктами и лекарствами США и Европейское управление по безопасности пищевых продуктов. Из-за своей токсичности и канцерогенности фуран включен Международным агентством по изучению рака в группу 2B как потенциально канцерогенный для человека [2, 4, 5] и классифицирован Министерством здравоохранения и социальных служб США как патоген для человека [3, 6, 8]. Наибольшее воздействие фурана установлено на детях до года, в рационе которых преобладают готовые детские зерновые каши и детские пищевые продукты на основе зерна.

Контроль содержания фурана и метилфурана в пищевых продуктах в настоящее время в Российской Федерации не проводится из-за отсутствия методической базы. С учетом токсичности фурана и его производных вопрос о разработке методики определения фурана и метилфурана является актуальным. В техническом регламенте ТР ТС 021/2011 о безопасности пищевой продукции [1] данные соединения не нормируются, вместе с тем в руководстве по оценке риска известна референтная доза фурана, которая составляет 0,001 мг/кг. Определение фурана и метилфурана остается сложной аналитической задачей из-за их высокой летучести, низкой молекулярной массы, а также их присутствия в небольших концентрациях в пищевых продуктах, поэтому в дальнейших исследованиях для определения этих соединений в пищевой продукции применяли газохроматографический метод анализа равновесной паровой фазы. В настоящее время парофазный хроматографический анализ открывает возможности обнаружения летучих компонентов в объектах, прямой ввод проб которых в газовый хроматограф невозможен или нецелесообразен из-за недостаточной чувствительности детектирующих устройств. Высокая чувствительность газохроматографического детектирования позволяет определять с помощью газовой экстракции даже микропримеси летучих веществ, содержащихся в жидких или твердых объектах, при очень незначительной доле извлеченного вещества, а также осуществление непосредственного дозирования в хроматографическую колонку равновесной паровой фазы без ее промежуточной конденсации.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись стандартные образцы фурана и метилфурана (массовая доля вещества 99 %) Sigma Aldrich (USA), безмолочные сухие каши для детского питания «Малютка», Heinz, «ФрутоНяня», Nestle, HiPP organic baby cereal, каша молочная «Альпийский вечер» (Fleur Alpine). Анализ был произведен с помощью газового хроматографа Agilent 7890A (USA) с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (MCD) 5975C. Соединения фурана и метилфурана определены программным обеспечением Agilent Chemstation.

При разработке методики определения фуранов в пищевых продуктах для детского питания выполнена идентификация, которая позволила установить масс-спектры, химическую структуру, характеристические ионы (m/z = 39, 68 для фурана; m/z = 82, 81, 53 для метилфурана) и время удерживания молекулярных ионов для фурана и метилфурана – 8,34 и 10,82 мин соответственно. Хроматограмма стандартного образца представлена на рис. 1.

Оценка подобия справочной и исследуемых спектрограмм показала идентичность масс-спектров фурана и метилфурана стандартного образца (рис. 2).

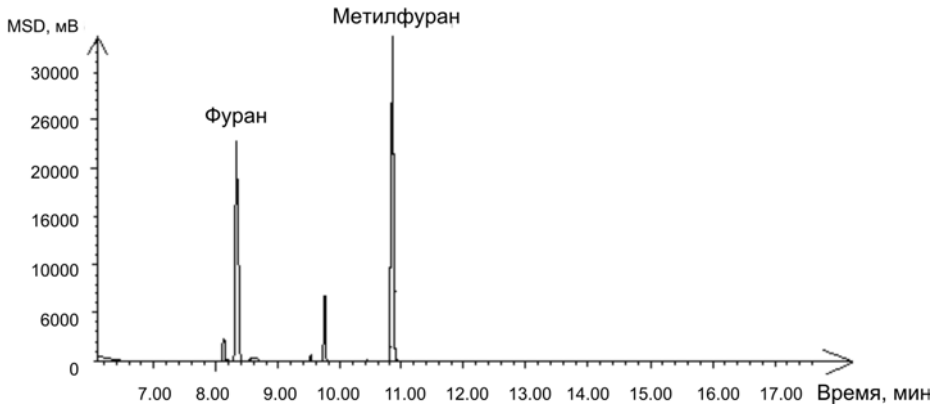


Рис. 1. Хроматограмма стандартных образцов фурана и метилфурана с концентрацией 93,7 мкг/мл

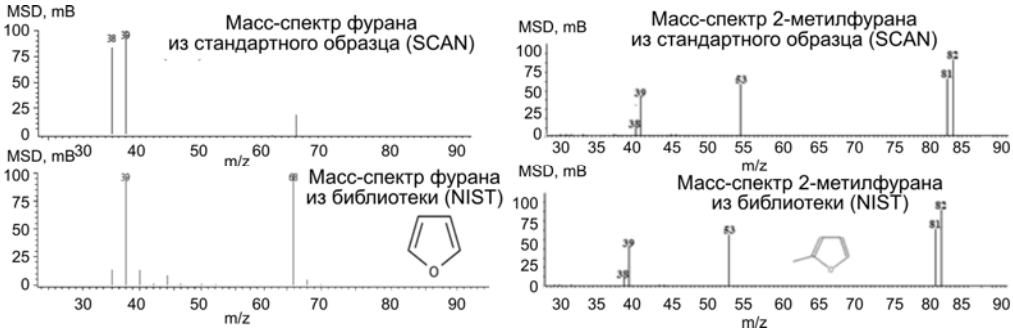


Рис. 2. Масс-спектрограмма сравнения масс-спектра фурана (*а*) и метилфурана (*б*) стандартного образца с библиотечным спектром

Следующий этап исследования заключался в изучении эффективности полноты извлечения фурана и метилфурана образцов пищевой продукции. Для этого варьировалось время экстракции 10–20–30 мин, чтобы определить максимальную концентрацию фурана и метилфурана в парогазовой фазе. Во флакон объемом 20 см^3 помещали 5 г каши и добавляли стандартный раствор фурана и метилфурана. Флакон закрывали септой и алюминиевой крышкой с помощью кримпера и ставили в дозатор равновесного пара. По истечении 10–20–30 мин отбирали шприцем из флакона 1 см^3 парогазовой фазы и через испаритель вводили ее в колонку хроматографа и анализировали на газовом хроматографе с масс-селективным детектором. Результаты полноты экстракции фурана и метилфурана из образца пищевой продукции представлены в табл. 1.

В процессе проведенных исследований (см. табл. 1) установлено, что наибольшая степень извлечения фурана и метилфурана из образцов пищевой продукции методом анализа равновесной паровой фазы достигается при экстракции в течение 20 мин и составляет для фурана 99,6 % и метилфурана – 99,5 %.

Таблица 1

Полнота экстракции фурана и метилфурана стандартных образцов

Время, мин	Фуран			Метилфуран		
	введено, мкг/мл	найдено, мкг/мл	полнота экстракции, %	введено, мкг/мл	найдено, мкг/мл	полнота экстракции, %
10	93,7	92,92	99,20	93,7	93,07	99,30
20		93,40	99,60		93,53	99,50
30		78,85	84,15		93,6	99,24

На этапе апробации при разработке методики количественного определения искомых аналитов в реальных образцах каш выполнены скрининговые исследования семи образцов детских каш, которые показали, что все образцы содержали различные уровни фурана и метилфурана. Результаты химического анализа детских каш представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследований содержания фурана и метилфурана в образцах детских каш различных производителей

Название	Найдено	
	Фуран, мг/кг	Метилфуран, мг/кг
Каша гречневая с черносливом	0,000288	0,00086
Овсяная молочная каша с бананом, яблоком, земляникой	0,000208	0,000736
Мультизлаковая каша с яблоком, бананом, земляникой	0,000062	0,000782
Овсяная каша с грушей и бананом молочная	0,0003	0,001068
Многозерновая кашка с яблоком, вишней	0	0,000766
Organic baby cereal	0	0,000948
Каша молочная «Альпийский вечер» (Fleur Alpine)	0,00011	0,00075

Результаты исследования показали, что фуран и метилфуран присутствуют в исследуемых образцах каш в диапазоне концентраций 0,000062–0,003 мг/кг и 0,000736–0,001068 мг/кг соответственно. Сравнительная оценка сухих детских каш по содержанию фурана и метилфурана показала, что наибольшая концентрация фурана и метилфурана обнаружена в каше Nestle – 0,0003–0,001068 мг/кг, наименьшая концентрация метилфурана обнаружена в овсяной каше Heinz – 0,000736 мг/кг и фурана – в каше «Фруто Няня» – 0,000062 мг/кг. В многозерновой каше Heinz и HiPP organic baby cereal фурана не обнаружено. Во всех образцах присутствовал метилфуран в концентрации 0,000736–0,001068 мг/кг.

Для подтверждения присутствия фурана и метилфуран в разных образцах каш строили хроматограммы фурана и метилфурана методом наложения характеристических ионов. Хроматограммы фурана и метилфурана, обнаруженных в образце овсяной каши с грушей и бананом, представлены на рис. 3.

На рис. 4 показано, что для метилфурана целевой ион m/z 82 и два иона квалификатора m/z 81, 53 хорошо накладываются, что достоверно повышает присутствие метилфурана в образце каши.

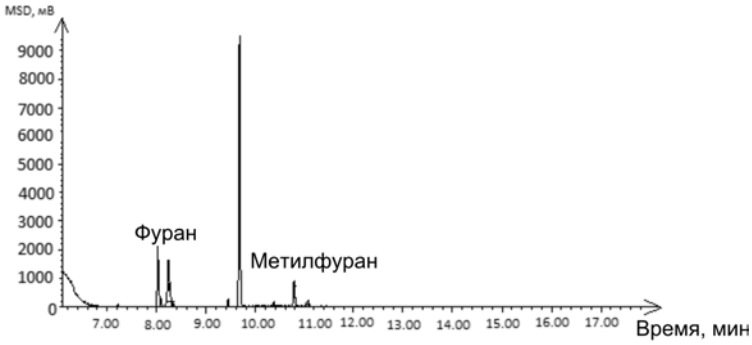


Рис. 3. Хроматограмма фурана и метилфурана, обнаруженных в образце овсяной каши

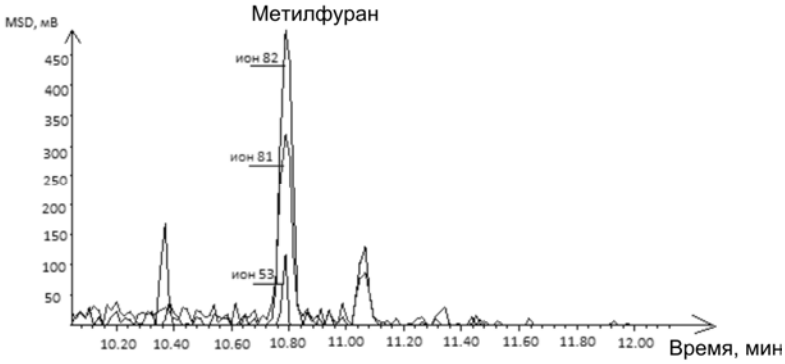


Рис. 4. Ионная хроматограмма метилфурана, обнаруженного в образце овсяной каши, характеристические ионы (*m*/*z* 82, 81, 53)

Выводы. Разработана высокочувствительная и селективная методика количественного определения фурана и метилфурана в пищевой продукции, которая позволяет обнаружить фуран и метилфуран в диапазоне концентраций 0,000062–0,003 и 0,000736–0,001068 мг/кг соответственно. Метилфуран обнаружен во всех образцах детских каш в диапазоне концентраций 0,000736–0,001068 мг/кг. Фуран обнаружен в пяти пробах детских каш в диапазоне концентраций 0,000062–0,003 мг/кг при погрешности определения не более 20 %; методом наложения характеристических ионов доказано присутствие фурана и метилфурана в анализируемых образцах каш. Предлагаемый метод обеспечивает относительно низкие пределы обнаружения и составляет 0,000062 мг/кг.

Список литературы

1. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 14 июля 2021 года) / утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения: 02.09.2022).

2. Detection of DNA adducts derived from the reactive metabolite of furan, cis-2-butene-1,4-dial / M.C. Byrns, C.C. Vu, J.W. Neidigh, J.-L. Abad, R.A. Jones, L.A. Peterson // Chem. Res. Toxicol. – 2006. – Vol. 19, № 3. – P. 414–420. DOI: 10.1021/tx050302k

3. Development and validation of a solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry method for the determination of furan in baby-food / F. Bianchi, M. Careri, A. Mangia, M. Musci // J. Chromatogr. A. – 2006. – Vol. 1102, № 1–2. – P. 268–272. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.10.056

4. Dry cleaning some chlorinated solvents and other industrial chemicals. Lyon, France, 7–14 February 1995 // IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. – 1995. – Vol. 63. – P. 33–477.

5. Glatt H., Schneider H., Liu Y. V79-hCYP2E1-hSULT1A1, a cell line for the sensitive detection of genotoxic effects induced by carbohydrate pyrolysis products and other food-borne chemicals // Mutat. Res. – 2005. – Vol. 580, № 1–2. – P. 41–52. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2004.11.005

6. Hasnip S., Crews C., Castle L. Some factors affecting the formation of furan in heated foods // Food Addit. Contam. – 2006. – Vol. 23, № 3. – P. 219–227. DOI: 10.1080/02652030500539766

7. Pre-concentration of ultra-trace furan in beverage samples and its determination by high performance liquid chromatography / H.S. Kalal, A.R. Khanchi, S. Khaki, M. Taghiof, M. Baghdadi, H.A. Panahi // International Journal of Industrial Chemistry. – 2012. – Vol. 3. – P. 19. DOI: 10.1186/2228-5547-3-19

8. Rapid determination of furan in heated foodstuffs by isotope dilution solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) / T. Goldmann, A. Périsset, F. Scanlan, R.H. Stadler // Analyst. – 2005. – Vol. 130, № 6. – P. 878–883. DOI: 10.1039/b419270b

О влиянии пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на снижение трудоспособного населения Ульяновской области

М.А. Суханов, Е.Н. Дубовицкая

Управление Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ульяновской области, г. Ульяновск, Россия

Рассматриваются демографические процессы в Ульяновской области в 2020–2021 гг. Исследуются статистические показатели и особенности заболеваемости возрастных групп. Установлена необходимость проведения ежегодной диспансеризации в Ульяновской области до наступления 40-летнего возраста.

Ключевые слова: смертность, население, Ульяновская область, трудоспособный возраст.

Естественную убыль населения Ульяновской области в 2021 г. можно назвать беспрецедентной. Пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19) (далее – Пандемия) уже в 2020 г. (убыль составила -8,5 ‰) смогла спровоцировать дополнительные факторы негативного воздействия на демографические процессы, ведущие к снижению численности населения, с уменьшением в том числе наиболее трудоспособных возрастных групп населения. В 2021 г. общий коэффициент естественной убыли по Ульяновской области худший с 1990 г. и составил – 11,3 промилле (‰) при общей смертности 19,6 ‰ и рождаемости 8,3 ‰. До 2019 г. коэффициент естественного прироста (убыли) держался в коридоре, прогнозируемом в Бюллетене Росстата «Предположительная численность населения Российской Федерации» и составлял по области в последние годы от -3,9 до -5,0 ‰.

Цель исследования – оценить влияние пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на демографические процессы Ульяновской области и определить целевые возрастные группы населения для формулирования предложений по диспансеризации.

Материалы и методы. Для изучения демографических процессов исследовались показатели Федеральной службы государственной статистики, размещенные в единой межведомственной информационно-статистической системе (https: //fedstat.ru/)[1]. Для оценки уровня трудовой занятости возрастных групп приняты статистические данные о рынке труда в Российской Федерации [7]. Для изучения заболеваемости использовались данные формы № 16-вн «Сведения о причинах временной нетрудоспособности» (далее – форма № 16-вн) и формы № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» (далее – форма № 12), утв. приказом Росстата от 25 декабря 2014 г. № 723 с учетом поздних редакций. При анализе использовались методические рекомендации «Социально-гигиенический мониторинг. Анализ медико-демографических и социально-экономических показателей на региональном уровне», утвержденные приказом Роспотребнадзора от 20.09.2010 г. № 341 (далее – МР) [6].

Результаты. К началу 2022 г. население Ульяновской области подошло с большими проблемами в демографии. Кроме резкого увеличения смертности и снижения рождаемости, определилась крайне негативная ситуация с потерей трудоспособного населения.

Различные классификации, концепции этапов профессионального пути возраст 40 лет определяют как начало пика профессиональной карьеры, периода взрослости, зрелости, наиболее творческих лет и т.п. (Д. Бромлей, Г. Крайг, Р. Хейвигхерст, Д. Сьюпер и др.). Соответственно потеря человеческого потенциала в этом возрасте наиболее ощутимо отражается на экономической деятельности общества и будет сказываться в будущем. В Российской Федерации по уровню занятости населения возрастные группы 40–44 и 45–49 лет имеют наибольшую занятость (в 2020 г. – 88,6 и 89,0 % соответственно). Удельный вес лиц, не входящих в состав рабочей силы, в 2020 г. для данных возрастных групп наименьший: 7,1 % для группы 40–44 лет и 7,0 % – для 45–49 лет (для сравнения для 35–39 лет – 8,5 %, для 50–54 лет – 11,1 %).

[1] Официальные статистические показатели [Электронный ресурс] // ЕМИСС. Государственная статистика. – URL: https://fedstat.ru/ (дата обращения: 22.08.2022)

В 2020 г. смертность среди жителей Ульяновской области превысила среднегодовой показатель возрастных коэффициентов смертности (здесь и далее среднегодовой показатель возрастных коэффициентов смертности исчисляется за период 2011–2019 гг.) в возрасте: 40–44 лет – на 17,69 %, в возрасте 50–54 лет – на 10,34 % и в возрасте старше 70 лет в среднем более чем на 15 % (рисунок). Максимум смертности пришелся на возраст 70–74 лет – выше среднегодовых показателей на 18,01 %. В 2021 г. среди трудоспособного населения максимальные значения динамики уже были в группах 40–44 лет на 41,92 %, и в возрасте 45–49 лет на 27,92 % выше среднегодового показателя. При этом максимальное превышение смертности отмечено уже для возрастной группы 40–44 лет (для 70–74 лет – 40,19 %).

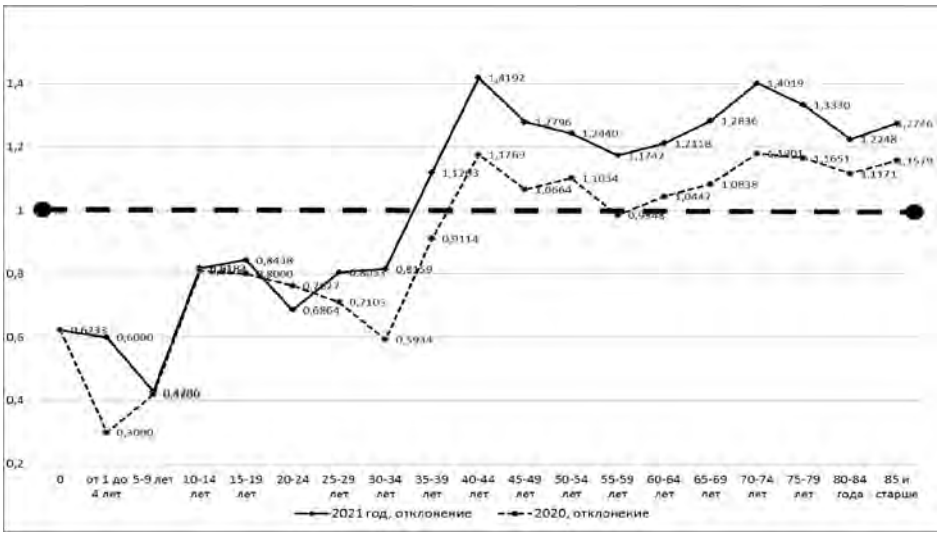


Рис. Величина отклонения смертности в долях по возрастным диапазонам от среднегодовой величины в 2020–2021 гг.

Рассматривая причины временной нетрудоспособности (форма № 16-вн), в разрезе аналогичных возрастных групп в 2021 г. было установлено превышение среднегодового показателя (среднегодовой показатель рассчитан за 2015–2019 гг.) на 28,6–45,2 % с экстремумами: минимум для группы 20–24 года и максимум – 40–44 года. Динамика повышения временной нетрудоспособности 2020 г. продолжилась, когда по основным трудоспособным возрастным группам разброс подъема составил от 10,8 % для группы 20–24 года и до 31,5 % для 55–59 лет.

В 2021 г. повысилась регистрация временной нетрудоспособности от болезней органов дыхания, острых респираторных инфекций ВДП, пневмоний, что характерно для «ковидного периода» (таблица). При этом резко снизилась регистрация болезней, требующих специализированной медицинской помощи: новообразований, болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушения обмена веществ, болезней органов пищеварения, кожи и подкожной клетчатки, мочеполовой системы, болезней уха и сосцевидного отростка во всех возрастных группах. Болезни системы кровообращения в 2021 г. стали чаще регистрироваться у лиц моложе 35 лет.

Соотношение показателя причин нетрудоспособности в разрезе возрастных групп в 2021 г. к среднему за период 2015–2019 гг.

Показатель	Возраст, лет									
Причина нетрудоспособности, Шифр по МКБ X пересмотра	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60 и старше
Всего заболеваний	1,19	1,29	1,35	1,43	1,41	1,45	1,44	1,40	1,44	1,40
A00–B99 Инфекционные, паразитарные	0,62	0,51	0,43	0,52	0,48	0,61	0,69	0,66	0,69	0,65
Туберкулез (впервые выявленный) активные формы	0,00	0,36	0,68	0,28	0,63	1,16	0,80	0,35	0,72	0,98
C00–D48 Новообразования	0,32	0,45	0,58	0,65	0,66	0,70	0,74	0,70	0,74	0,92
C00–C96 Злокачественные новообразования	0,00	0,65	0,72	1,39	1,17	0,98	1,28	0,98	0,87	1,10
D50–D89 Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	0,40	1,29	0,91	0,72	1,03	0,90	1,08	0,70	0,96	1,09
E00–E89, E90 Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	0,24	0,59	0,63	0,70	0,76	0,58	0,65	0,68	0,59	0,66
E10–E14 Сахарный диабет	0,00	0,54	0,50	0,71	0,70	0,67	0,68	0,76	0,62	0,67
F00–F99 Психические расстройства и расстройства поведения	0,00	0,81	0,88	0,99	1,20	1,18	1,28	1,06	1,23	1,09
G00–G99 Болезни нервной системы	0,78	1,25	1,18	1,00	0,85	0,90	0,72	0,81	0,76	0,59
H00–H59 Болезни глаза и его придаточного аппарата	1,50	1,05	0,93	0,71	0,84	0,80	1,02	1,02	0,86	0,83
H60–H95 Болезни уха и сосцевидного отростка	0,23	0,90	0,63	0,86	0,74	0,81	0,63	0,68	0,58	0,51
I00–I99 Болезни системы кровообращения	1,20	1,05	1,03	1,02	0,84	0,91	0,94	0,90	0,91	0,88
I20–I25 Ишемическая болезнь сердца	0,00	0,00	1,02	0,65	0,60	0,53	0,70	0,77	0,74	0,72
I60–I69 Цереброваскулярные болезни	0,00	1,64	0,70	0,71	0,68	0,67	0,85	0,76	0,87	0,88
J00–J99 Болезни органов дыхания	1,24	1,33	1,41	1,50	1,53	1,59	1,60	1,63	1,67	1,60
J00,01,04–06 Острые респираторные инфекции ВДП	1,52	1,47	1,54	1,70	1,76	1,82	1,83	1,89	1,93	1,86
J12–J18 Пневмонии	0,40	1,26	1,63	1,51	1,69	2,45	3,14	3,28	4,00	3,58
J09–J11 Грипп	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K00–K93 Болезни органов пищеварения	1,00	0,95	0,96	0,96	0,85	0,85	0,83	0,78	0,83	0,83
L00–L99 Болезни кожи и подкожной клетчатки	0,67	0,77	0,73	0,78	0,77	0,82	0,88	0,78	1,05	0,91
M00–M99 Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	1,14	1,35	1,43	1,39	1,21	1,24	1,18	1,17	1,23	1,24
N00–N99 Болезни мочеполовой системы	0,78	0,79	0,83	0,71	0,72	0,84	0,77	0,79	1,00	0,91
O00–O99 Беременность, роды и послеродовой период	0,59	0,79	0,80	0,81	0,87	0,92	0,75			
O03–O08 Аборты										

Произошел подъем психических расстройств и расстройств поведения во всех возрастных группах старше 35 лет на фоне снижения болезней нервной системы. Пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19) формирует психоневрологический дефицит. Нейротропный эффект коронавируса, а также психологические и социальные последствия пандемии, связанные со стрессом, формируют нейрокогнитивные нарушения, долгосрочные психические изменения или усугубляют ранее существовавшие психические состояния [3]. Это, в свою очередь, отягощает течение

хронических неинфекционных заболеваний [5, 8]. Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани наряду с заболеваниями дыхательных путей имеют положительную динамику для всех возрастных групп трудоспособного возраста.

По данным формы № 12 всего первичных случаев в Ульяновской области зарегистрировано по классу «Болезни органов пищеварения» в 2019 г. – 22 324 случая, в 2020 г. – 14 982, в 2021 г. – 13 501. Снижение к 2019 г. составило более 1,6 раза. В то же время количество умерших от болезней органов пищеварения увеличилось (из расчёта на 100 тыс. населения за год) с 67 в 2019 г. до 81,2 в 2020 г. и до 84,96 – в 2021 г. То есть к 2021 г. произошло увеличение на 26,8 %. Количество состоявших под диспансерным наблюдением практически не изменилось. Первичная заболеваемость гастритами и дуоденитами по сравнению с 2019 г. среди взрослого населения к 2021 г. снизилась на 23,3 %, а язва желудка и двенадцатиперстной кишки начала регистрироваться за тот же период у той же возрастной группы на 67,0 % меньше.

Таким образом, на фоне снижения регистрации заболеваемости болезнями органов пищеварения происходит увеличение смертности от этой причины. Похожая ситуация по классу «Болезни системы кровообращения». При регистрации заболеваемости среди взрослых 34 356 случаев в 2019 г., 33 594 – в 2020 г., и 29 140 – в 2021 г., смертность по этому классу составила 712,2 на 100 тыс. населения в 2019 г.; 798,3 и 805,03 в 2020 и 2021 г. соответственно. На фоне снижения регистрации случаев (на 17,9 %) имеется увеличение количества умерших (на 13,9 %). По сравнению с 2018–2019 гг. в период пандемии регистрация заболеваемости новообразованиями снизилась в 1,30–1,41 раза, а смертность населения осталась на прежнем уровне. Смертность от инфекционных и паразитарных болезней в 2020–2021 гг. составила 23,9 и 24,52 на 100 тыс. соответственно (среднегодовой показатель за 2011–2019 гг. – 31,04).

Такая ситуация может быть связана в период пандемии с режимом изоляции, другими ограничительными мерами, которые осложнили доступ к оказанию медицинской помощи, врачебной консультации, прохождению диспансеризации и профилактических осмотров [1]. К снижению объема медицинской помощи «нековидным» больным мог привести и отток специалистов всех специальностей в подразделения, оказывающие помощь больным новой коронавирусной инфекцией. Кроме того, в стрессовой ситуации у самих медицинских работников формируется синдром эмоционального выгорания, что влияет на качество оказания медицинской помощи [2, 4].

Что можно поставить в заслугу медицинского сообщества Ульяновской области, так это снижение смертности, причиной которой послужили болезни органов дыхания до 57,05 на 100 тыс. населения в 2021 г. с уровня 2020 г., когда этот показатель составлял 71,6 (2019 г. – 35,7). Это может быть обусловлено опять же перераспределением трудовых ресурсов, направленных для усиления помощи больным с заболеванием, вызванным COVID-19.

Ожидаемая реакция такого адаптационного механизма общества на общий стресс, как увеличение потребления алкоголя, в Ульяновской области отсутствует. Регистрация случаев токсического действия алкоголя снизилась с 307 случаев в 2019 г. до 215 в 2021 г. при 217 смертельных случаях в 2019 г. и 163 в 2021 г. Но отражением демографической проблемы именно 40-летнего возраста в Ульяновской области стали основные показатели токсикологического мониторинга. Так, в 2019 и 2020 г. наиболее часто острые отравления веществами химической этиологии (ООХЭ) встречались среди жителей, которым на момент отравления было 50 лет, но

не наступил еще 51-й год. Исходя из многолетних наблюдений (с 2007 г.), самым поражаемым возрастом является именно 50 лет, причем с самой высокой летальностью (41,3 %). Совершенно изменилась ситуация в 2021 г.: максимум отравлений ООХЭ пришелся на возраст 40 лет (42 случая из внесенных в базу токсикологического мониторинга Ульяновской области 1183 случаев) при летальности 45,2 %. В возрастной группе 40–44 года зарегистрировано 162 отравления, или 13,7 % от всех отравлений, что выше показателя любой другой возрастной группы. Доля работающих среди отравившихся в возрасте 40 лет выше, чем зарегистрировано в среднем среди трудоспособного населения в 1,6 раза (в группе 40–44 лет – в 1,4 раза).

Ухудшение наркоситуации в регионе в 2021 г. нельзя отнести к популяционному ответу, хотя резкое увеличение случаев острых отравлений наркотическими средствами и психотропными веществами с 24 случаев в 2020 г. до 81 случая в 2021 г. (3,4 раза) при увеличении смертельных случаев до 57 с 8 в 2020 г. (более чем в 7 раз) может служить одним из индикаторов общего процесса.

Выводы. Ухудшение демографической ситуации связано не столько с прямой потерей населения от заболеваний, ассоциированных с новой коронавирусной инфекцией COVID-19, сколько всем комплексом социальных факторов. Уменьшение объемов медицинской помощи, увеличение количества стрессорных факторов могли привести не только к увеличению смертности, но и снижению рождаемости. Основным результатом работы можно считать определение возрастной группы 40–44 лет как требующей коррекции социальной политики. Целесообразно передвижение начала ежегодной диспансеризации на возраст 37–38 лет в Ульяновской области, если необходимо, следует инициировать внесение изменений в п. 5.1 и 5.2 приложения к приказу Министерства здравоохранения РФ от 27.04.2021 № 404н «Об утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения».

Список литературы

1. Давлетнуров Н.Х., Казак А.А., Пермина Г.Я. Динамика заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований в Республике Башкортостан в 2017–2021 гг. // Анализ риска здоровью – 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2022: в 2 т., Пермь, 18–20 мая 2022 г. – Пермь, 2022. – Т. 1. – С. 270–280.

2. Жеглова А.В. Факторы риска профессионального выгорания социальных работников // Анализ риска здоровью – 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2022: в 2 т., Пермь, 18–20 мая 2022 г. – Пермь, 2022. – Т. 2. – С. 33–38.

3. Лапко И.В. Ментальное здоровье мужчин трудоспособного возраста, ассоциированное с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // Анализ риска здоровью – 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021, Пермь, 18–20 мая 2021 г. – Пермь, 2021. – Т. 1. – С. 120–124.

4. Профессиональное выгорание, симптомы эмоционального неблагополучия и дистресса у медицинских работников во время эпидемии COVID-19 / С.С. Петриков, А.Б. Холмогорова, А.Ю. Суроегина [и др.] // Консультативная психология и психотерапия. – 2020. – Т. 28, № 2. – С. 8–45. DOI: 10.17759/cpp.2020280202

5. Семисынов С.О., Позднякова М.А. Об итогах эпидемиологического мониторинга факторов риска хронических неинфекционных заболеваний на территории Нижегородской области в 2020 г. // Анализ риска здоровью – 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021, Пермь, 18-20 мая 2021 г. – Пермь, 2021. – Т. 1. – С. 206–215.

6. Социально-гигиенический мониторинг. Анализ медико-демографических и социально-экономических показателей на региональном уровне: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2010. – С. 31–35.

7. Труд и занятость в России: статистический сборник. – М.: Росстат, 2021. – 177 с.

8. Филиппов Е.В. Факторы риска, неблагоприятные исходы хронических неинфекционных заболеваний и возможности их профилактики в регионе с высоким уровнем смертности: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Рязань, 2015. – 50 с.

Влияние наночастиц оксида свинца на дыхательную систему при субхроническом ингаляционном поступлении

А.В. Тажигулова, С.В. Клинова, Ю.В. Рябова

ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий»,
г. Екатеринбург, Россия

Свинец применяется в различных сферах человеческой деятельности, в том числе производственной. Наибольшую опасность представляют его частицы нанометрового диапазона.

В течение двух месяцев аутбредные самки крыс подвергались ингаляционному воздействию металлооксидных свинецсодержащих наночастиц (PbO-НЧ) с концентрацией 0,2 мг/м^3 в ингаляционной установке типа «только нос». Для изучения субхронического токсического действия PbO-НЧ на дыхательную систему крыс была проведена комплексная оценка.

Показано изменение цитологических, биохимических, иммунологических и функциональных параметров как на клеточном, так и на системном уровнях. Выявлено, что даже при низких концентрациях наночастицы оксида свинца при субхроническом воздействии нарушают работу дыхательной системы крыс.

Ключевые слова: наночастицы, свинец, ингаляционная экспозиция, дыхательная система, токсичность.

Свинец ввиду своего широкого применения в различных сферах человеческой деятельности является всесторонне изученным элементом с широко известными токсическими свойствами.

Стоит отметить, что именно в производственной деятельности свинец наиболее агрессивно проявляет свои токсические свойства, где контакт с ним происходит у рабочих на постоянной основе. Наночастицы соединений свинца часто образуются при выплавке и рекуперации свинца, при производстве свинцовых сплавов и лигировании металла, производстве различных типов свинцовых аккумуляторов и батарей, проведении операций по спаиванию металлов и производстве современных радиоэлектронных приборов, микросхем, солнечных батарей [9]. Например, медеплавильное производство, где характерно загрязнение воздуха рабочих помещений различными веществами, в состав которых входят металлооксидные свинецсодержащие наночастицы (PbO-НЧ) [2]. В ряде научных работ представлено, что данный металл в виде частиц нанометрового диапазона проявляет большую токсичность по сравнению с частицами микрометрового диапазона [4–8].

Так как имеющиеся в литературе сведения о токсичности наночастиц свинца не дают полного представления об их действии на организм, то проведение токсикологического эксперимента по изучению ингаляционного воздействия наночастиц оксида свинца в низких концентрациях на дыхательную систему является актуальным.

Материалы и методы. В эксперименте использовали 28 белых крыс-самок линии Wistar с начальной массой тела 160–260 г. Крысы содержались в соответствии с общепринятым законодательством в стандартных условиях при температуре (22 ± 2 °C) и цикле «свет / темнота» (12 / 12 ч) в специально оборудованном помещении вивария, при условиях содержания, соответствующих International guiding principles for biomedical research involving animals, разработанных CIOMS и ICLAS (2012).

Экспериментальных животных разделили на две группы по 14 животных в каждой. Первая группа являлась контролем, а вторая – опытной, и подвергалась ингаляционному воздействию PbO-НЧ. Средняя концентрация PbO-НЧ для животных опытной группы составляла 0,2 мг/м^3, экспозиции проводили 5 дней в неделю по 4 ч в день в течение двух месяцев. Концентрация была выбрана, исходя из данных предыдущего ингаляционного эксперимента [7], по результатам которого дозу снизили до уровня, близкого к пороговому. Контрольные животные подвергались воздействию той же смеси газов, что и группа опытных животных, но без добавления PbO-НЧ.

Хронические ингаляционные экспозиции проводились в ингаляционной системе типа «только нос» CH Technologies, USA, с автоматической регулировкой всех параметров экспозиции. Аналогичная установка использовалась для экспозиции контрольных крыс. При проведении ингаляционной экспозиции в камере типа «только нос» витающие металлооксидные НЧ генерировались с помощью электрического искрения между соответствующими исследуемыми металлическими стержнями 99,99%-ной чистоты в атмосфере азота, разбавлялись увлажненным воздухом и подавались его потоком в ингаляционную установку с пеналами для крыс.

Параметры внешнего дыхания животных регистрировали и анализировали с использованием системы ecgTUNNEL (emka TECHNOLOGIES, Париж, Франция)

по показателям: частота дыхания; вдыхаемый объем; пиковая скорость выдоха; минутный объем дыхательного цикла.

Бронхоальвеолярный лаваж (БАЛЖ) осуществлялся спустя 24 ч после последней ингаляции. Крысам под гексеналовым наркозом в препарированную трахею вводилась канюля, соединенная со шприцом Люэра, содержащим 10 мл физиологического раствора. Жидкость поступала в легкие, затем крыса и шприц поворачивались на 180º, и БАЛЖ перетекала обратно в шприц. Извлеченные промывные воды помещались в охлажденные пробирки. Аликвотная проба промывной жидкости набиралась в меланжер для белых кровяных телец вместе с 3%-ной уксусной кислотой и метиленовым синим. Подсчет клеток велся с помощью камеры Горяева при оптической микроскопии. Для цитологического исследования БАЛЖ центрифугировали в течение 4 мин при 200 g, затем жидкость декантировалась. Из осадка готовились мазки, после просушивания на воздухе фиксировались метиловым спиртом и окрашивались азур-эозином. Мазки микроскопировались с иммерсией при увеличении ×1000. Дифференциальный подсчет для определения процента альвеолярных макрофагов (АМ), нейтрофильных лейкоцитов (НЛ) и прочих клеток проводился до общего числа подсчитанных клеток, равного 100. С учетом общего числа клеток в БАЛЖ эти проценты пересчитывались на абсолютное число АМ и НЛ.

Биохимические показатели надосадочной жидкости БАЛЖ оценивались на биохимическом анализаторе «Кобас Интегра» с использованием соответствующих диагностических наборов.

Были проведены клеточные тесты, отражающие фагоцитарную и функциональную активность клеточного ответа при воздействии PbO-НЧ в образцах БАЛЖ контрольных и опытных животных. БАЛЖ смешивали с раствором частиц латекса (размер частиц 1,5 мкм), инкубировали в течение 20 мин при 37 °С, окрашивали по Романовскому. Активность фагоцитоза (АФ) оценивали по проценту клеток, вступивших в фагоцитоз, от общего их числа, индекс фагоцитоза (ИФ) – по среднему числу частиц латекса, поглощенных в расчете на одну клетку. Тест с нитросиним тетразолием (НСТ-тест) основан на способности практически бесцветного НСТ восстанавливаться кислородными радикалами диформазан (ДФ), определяющимися в клетке в виде темно-синих гранул. Подсчет формазанположительных (поглотивших краску) клеток производится на 100 клеток с иммерсионной системой при увеличении ×1000.

Статистическая значимость межгрупповых различий средних значений оценивалась с помощью *t*-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0{,}05$.

Результаты. В табл. 1 представлены результаты оценки сдвигов клеточного состава БАЛЖ после двух месяцев экспозиции крыс к PbO-НЧ в ингаляционной установке типа «только нос».

При ингаляционном поступлении PbO-НЧ можно наблюдать явно выраженную клеточную реакцию, проявившуюся в увеличении общего числа клеток в опытной группе (PbO-НЧ), статистически значимо отличающейся от контрольной. Данная реакция была вызвана отложением наночастиц в глубоких дыхательных путях крыс, что в свою очередь привело к интенсивному притоку АМ и НЛ на свободную поверхность альвеолярной области в ответ на местное повреждающее действие PbO-НЧ на дыхательные пути легких. Отражением этого процесса, в первую очередь, служат сдвиги клеточного состава БАЛЖ за счет статистически значимого

увеличения числа НЛ в группе «PbO-НЧ», по сравнению с контрольной группой. Возросла также численность АМ в группе «PbO-НЧ», хотя и недостоверно по сравнению с контролем, но все же видна тенденция к увеличению.

Таблица 1

Цитологические характеристики БАЛЖ крыс после двух месяцев ингаляционного воздействия PbO-НЧ ($\bar{X} \pm Sx$)

Характеристика	Контроль	НЧ PbO
Клеточность, 10^6 клеток	1,33 ± 0,11	**2,53 ± 0,39** *
Альвеолярные макрофаги (АМ), 10^6 клеток	1,18 ± 0,08	1,81 ± 0,39
Нейтрофильные лейкоциты (НЛ), 10^6 клеток	0,12 ± 0,02	**0,39 ± 0,09** *
НЛ / АМ	0,11 ± 0,03	0,51 ± 0,23

Примечание: * обозначены величины, статистически значимо отличающиеся от данных контрольной группы ($p < 0,05$ по t-критерию Стьюдента).

Стоит отметить, что хотя достоверных отличий от контроля по относительному показателю НЛ / АМ в опытной группе не проявилось, все же наблюдается определенная тенденция к увеличению данного коэффициента в опытной группе.

Таким образом, по вышеуказанным изменениям можно предположить, что изучаемые наночастицы проявили цитотоксический эффект, так как показатели увеличения числа НЛ и отношения числа НЛ / АМ служат критерием количественной оценки цитотоксического действия частиц, проникших в легкие. Помимо этого, известно, что мобилизация АМ и в еще большей степени НЛ регулируются массой продуктов разрушения макрофагов, происходящего под действием фагоцитируемых ими цитотоксичных частиц, в данном случае свинецсодержащих [2].

По результатам биохимических исследований надосадочной жидкости (НОЖ) БАЛЖ у крыс в группе «PbO-НЧ» была выявлена согласованная тенденция к повышению АЛТ, амилазы, ГГТП, ЛДГ и альбумина, по сравнению с контрольной группой (табл. 2). Такие сдвиги обычно связываются с релизом ферментов повреждаемыми клетками [10], а также с повышением сосудистой проницаемости в связи с острым токсическим воспалением дыхательных путей [9].

Таблица 2

Некоторые биохимические характеристики НОЖ БАЛЖ крыс, полученные после двух месяцев ингаляционного воздействия PbO-НЧ ($\bar{X} \pm Sx$)

Характеристика	Контроль	НЧ PbO
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), Е/л	1,58 ± 0,08	1,67 ± 0,14
Амилаза, Е/л	2,12 ± 0,27	12,60 ± 10,05
Гамма-глютамилтранспептидаза (ГГТП), Е/л	0,95 ± 0,19	3,30 ± 1,08
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), Е/л	3,25 ± 0,48	8,00 ± 2,61
Альбумин, мг/л	14,66 ± 0,56	18,50 ± 2,31

Выполнена оценка фагоцитарной и функциональной активности клеток БАЛЖ по активности и интенсивности фагоцитоза, а также в НСТ-тесте соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Клеточные тесты, полученные при БАЛЖ крыс через два месяца после двухмесячного ингаляционного воздействия PbO-НЧ ($\bar{X} \pm Sx$)

Показатель	Контроль	НЧ PbO
Активность фагоцитоза нейтрофильных лейкоцитов (АФ НЛ)	7,25 ± 2,14	8,33 ± 2,42
Интенсивность фагоцитоза нейтрофильных лейкоцитов (ИФ НЛ)	1,067 ± 0,033	1,36 ± 0,14
Активность фагоцитоза альвеолярных макрофагов (АФ АМ)	31,80 ± 5,43	34,00 ± 1,751
Интенсивность фагоцитоза альвеолярных макрофагов (ИФ АМ)	3,16 ± 0,61	3,92 ± 0,18
Тест с нитросиним тетразолием (НСТ-тест)	0,25 ± 0,25	**2,67 ± 0,42** *

Примечание: * обозначены величины, статистически значимо отличающиеся от данных контрольной группы ($p < 0,05$ по t-критерию Стьюдента).

При интерпретации результатов как фагоцитарной, так и функциональной активности клеток стоит отметить, что они отражают состояние иммунного статуса и являются составляющей иммунной защиты организма. По данным клеточных тестов среди всех показателей четко прослеживается тенденция к повышению значений в опытной группе по сравнению с контрольной, но без статистически значимых различий, кроме такого показателя, как НСТ-тест, значение которого статистически значимо выше, чем в контрольной группе. Он позволяет оценить состояние кислородзависимого механизма бактерицидности фагоцитов (макрофагов и нейтрофилов), т.е. способности уничтожать микробные клетки. Также он характеризует состояние и степень активации внутриклеточной НАДФ-Н-оксидазной антибактериальной системы [1].

Отсюда можно заключить, что, кроме выявленных цитологических изменений, при отложении в глубоких отделах дыхательных путей наночастиц свинца были выявлены согласованные сдвиги биохимических показателей БАЛЖ, а также изменения в клеточных тестах, что свидетельствует о нарушении клеточного гомеостаза и повреждении клеток легких.

Для более полной картины представления нарушений, происходящих в легких под воздействием PbO-НЧ, было проведено исследование параметров внешнего дыхания у крыс, представленных в табл. 4.

При сравнении показателей функции внешнего дыхания выявлено статистически значимое снижение дыхательного объема, пиковой скорости выдоха и минутного объема дыхательного цикла у опытных крыс по сравнению с контрольными данными. Частота дыхания имела лишь тенденцию к повышению в опытной группе по сравнению с контрольной.

Механизм снижения дыхательного объема связан с возникновением начинающихся обструктивных (бронхоконстрикция) и / или рестриктивных процессов в легких, то есть состояний, сопровождающихся сужением просвета легочных путей и возможным изменением структуры легких [3], а также может быть обусловлен вызываемыми воздействием НЧ повышением оксидативного стресса и развитием отека в легких [11], о чем косвенно может свидетельствовать показатель массы легких (см. табл. 4), значение которого у опытных крыс, хотя и не статистически значимо, но превышает контрольное значение.

Таблица 4

Некоторые показатели дыхательной системы крыс, полученные после двух месяцев ингаляционного воздействия PbO-НЧ ($\bar{X} \pm Sx$)

Показатель	Контроль	НЧ PbO
Масса легких, г	1,64 ± 0,17	1,78 ± 0,20
Дыхательный объем, мл	1,64 ± 0,30	**1,09 ± 0,18***
Пиковая скорость выдоха, мл/с	24,86 ± 4,46	**17,68 ± 2,90***
Минутный объем дыхательного цикла, мл/мин	251,04 ± 40,53	**177,57 ± 27,37***
Частота дыхания, ед./мин	155,77 ± 4,31	173,71 ± 9,63

Примечание: * обозначены величины, статистически значимо отличающиеся от данных контрольной группы ($p < 0,05$ по t-критерию Стьюдента).

Это предположение подтверждается повышенной реакцией глубоких дыхательных путей, описанной выше (табл. 1) и изменением клеточного состава БАЛЖ.

Следующим показателем, который более полно отражает изменения, возникающие при бронхоконстрикции, является пиковая скорость выдоха, которая зависит от физических свойств и качеств легких, а также проводящих путей. Данный показатель оценивает, с какой скоростью и силой воздух выдыхается из легких после вдоха [3]. По нему можно судить о том, не сужен ли просвет бронхов, и насколько быстро воздух выходит из легких. В опытной группе стоит отметить статистически значимое снижение значения пиковой скорости выдоха по сравнению с контрольными данными, что может указывать также на развитие бронхоконстрикции в легких опытных животных и, как следствие, возможное развитие дыхательной недостаточности, в основе которой лежит гипоксия.

Еще одним важным показателем функции внешнего дыхания является минутный объем дыхания, который определяется произведением дыхательного объема на частоту дыхания [11]. Статистически значимое снижение минутного объема дыхания в опытной группе обусловлено уменьшением дыхательного объема на фоне увеличения частоты дыхания по сравнению с данными контрольной группы, что может указывать на возможные компенсаторные механизмы развития гипоксии, так как первым адаптационным механизмом при развитии гипоксии может служить увеличение частоты дыхания.

Выводы. Проведена оценка субхронического ингаляционного воздействия PbO-НЧ на дыхательную систему крыс в ингаляционной системе типа «только нос» CH Technologies, USA, с автоматической регулировкой всех параметров экспозиции. Было показано изменение цитологических, биохимических, иммунологических и функциональных параметров как на клеточном, так и на системном уровнях. Выявлены цитотоксические эффекты по оценке БАЛЖ в сравнении с данными контрольной группы (увеличение общей клеточности за счет притока нейтрофильных лейкоцитов, нарушение клеточного гомеостаза по увеличению показателя НСТ-теста, согласованная тенденция к повышению внутриклеточных ферментов как индикатор повреждения клеток), а также изменение параметров внешнего дыхания крыс (снижение скоростных и объемных показателей дыхания), косвенно свидетельствующие о наличии у крыс начавшейся дыхательной недостаточности, в основе которой лежит гипоксия, а также возможных патологических структурных перестроек со стороны легочной системы.

Организм является единой системой, в которой нарушения в одном органе могут привести к нарушениям работы других органов и систем. Обнаруженные в

нашем исследовании изменения указывают, что даже при низких концентрациях наночастицы оксида свинца при субхроническом воздействии нарушают работу дыхательной системы крыс.

Полученные экспериментальные данные расширяют представление о токсических свойствах наночастиц, в частности оксида свинца. Результаты исследования следует учитывать при анализе рисков здоровью рабочих и населения, проживающего в экологически неблагоприятных районах, по изучаемому загрязнителю. Проведенный эксперимент может иметь практический выход, который направлен на создание управленческих решений и мероприятий в сфере промышленного производства для сохранения жизни и здоровья рабочих промышленных предприятий. Другим важным практическим выходом является разработка и возможное последующее внедрение профилактических мер по повышению устойчивости организма к вредному действию PbO-НЧ для населения, подвергающегося влиянию соответствующей вредной экспозиции.

Все вышеперечисленное вызывает необходимость в проведении дальнейших углубленных исследований по оценке вредного действия PbO-НЧ.

Список литературы

1. Киселева Е.П., Полевщиков А.В. Метод автоматизированного учета НСТ-теста // Клиническая лабораторная диагностика. – 1994. – № 4. – С. 27–29.

2. Сутункова М.П. Экспериментальное изучение токсического действия металлоосодержащих наночастиц на предприятиях чёрной и цветной металлургии и оценка риска для здоровья работающих // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 12. – С. 1182–1187. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-12-1182-1187

3. Шербашов К.А. Антигипоксанты в фармакологической коррекции отека легких, вызванного токсичными компонентами пожаров: автореф. дис. … канд. мед. наук. – СПб.: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, 2017.

4. Экспериментальное изучение кардиотоксического действия наночастиц оксида свинца при разных путях поступления в организм / И.А. Минигалиева, М.П. Сутункова, С.В. Клинова [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – ЗНиСО. – 2020. – № 9. – С. 67–72. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-67-72

5. Elbossaty W.F. Toxicology, biological activity, synthesis, and anti-microbial effects of lead nanoparticles // Insights Med. Phys. – 2017. – Vol. 2. – № 2. – P. 4.

6. In vivo toxicity of copper oxide, lead oxide and zinc oxide nanoparticles acting in different combinations and its attenuation with a complex of innocuous bio-protectors / I.A. Minigalieva, B.A. Katsnelson, V.G. Panov [et al.]. // Toxicology. – 2017. – Vol. 380. – P. 72–93. DOI: 10.1016/j.tox.2017.02.007

7. Manifestation of Systemic Toxicity in Rats after a Short-Time Inhalation of Lead Oxide Nanoparticles / M.P. Sutunkova, S.N. Solovyeva, I.N. Chernyshov [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – Vol. 21, № 3. – P. 690. DOI: 10.3390/ijms21030690

8. Melnyk N.A., Lugovskyj S.P., Didenko M.N. Morphological changes in skin of rat's skin in long-term exposure to lead sulfide nanoparticles on the undamaged skin // EESJ. – 2017. – Vol. 19, № 3–1. – P. 63–71.

9. Molecular and Integrative Toxicology. Selenium / ed. by J.C. DeWitt, S. Blossom, B. Michalke. – Switzerland: Springer International Publishing AG, 2018. – 13 p.

10. Nanoparticles of selenium as high bioavailable and non-toxic supplement alternatives for broiler chickens / S. Gangadoo, I. Dinev, N.L. Willson [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2020. – Vol. 27, № 14. – P. 16159–16166. DOI: 10.1007/s11356-020-07962-7

11. Sub-chronic inhalation of lead oxide nanoparticles revealed their broad distribution and tissue-specific subcellular localization in target organs / J. Dumkova, T. Smutna, L. Vrlíkova [et al.] // Part Fibre Toxicol. – 2017. – Vol. 14, № 1. – P. 55. DOI: 10.1186/s12989-017-0236-y

Изучение особенностей влияния природного гаптена Chlorella Growth Factor на иммунорегуляцию *in vitro*

А.С. Ширинкина[1], О.В. Долгих[1,2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2] ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Проведено изучение особенностей влияния природного гаптена фактора роста хлореллы (CGF – Chlorella Growth Factor) *Chlorella vulgaris* на иммунорегуляцию по критериям показателей фагоцитарной активности гранулоцитарного ростка белой крови. По результатам проведенных исследований выявлено наличие изменений со стороны системы фагоцитоза *in vitro*, которые проявляются в достоверном увеличении фагоцитарной активности, индуцированной хлореллой, по отношению к спонтанному уровню. Представленные результаты эксперимента, полученные в системе *in vitro*, позволяют оценить модификацию иммунного ответа экспозицией *in vitro* многокомпонентными гаптенами на примере сложного нуклеотидно-пептидного комплекса Chlorella Growth Factor для задач изучения механизма формирования ранних иммунорегуляторных нарушений в условиях влияния различных по природе происхождения химических факторов.

Ключевые слова: фагоцитарная активность, иммунная регуляция, природные гаптены, Chlorella Growth Factor.

В настоящее время наблюдается активный интерес к сложным гаптенам как техногенного, так и природного происхождения, в том числе представляющим собой компоненты как рационального, так и нерационального питания. И если первые расцениваются как исключительно негативные по отношению к здоровому образу жизни и здоровью в целом (например, жареная пища, содержащая полициклические ароматические углеводороды), то гаптены природного происхождения воспринимаются преимущественно как «здоровый» фактор и рекомендуются в качестве полезных пищевых добавок. Основой рационального питания служит по-

требность организма в тех или иных веществах и элементах. С активным противостоянием новым вирусам и болезням возрастает актуальность введения в рацион больше растительной пищи [3]. На сегодняшний день коммерческим производством микроводорослей занимаются более чем в 60 странах, последние несколько лет наблюдается рост объема продаж продуктов из микроводорослей. Это связано с тенденцией и запросом человечества на альтернативные источники белка и микроэлементы, содержащиеся в микроводорослях [4]. Имеются исследования о влиянии хлореллы в эксперименте на снижение интенсивности аллергического воспаления у мышей, связанное с подавлением продукции цитокина IL-5 (IgE-зависимого) и уменьшением перечня основных воспалительных клеток в дыхательных путях при аллергии (эозинофилы и нейтрофилы) [6]. Результаты исследований на организм человека CGF указывают на усиление иммунного ответа в целом [2, 5, 7].

Иммунитет осуществляет защиту организма от проникновения чужеродных экзогенных (микроорганизмов) или образования чужеродных эндогенных агентов, т.е. осуществляет в основном противоинфекционную и противоопухолевую защиту [1]. Изучение роли фагоцитоза в защите организма и элиминации чужеродного материала при его попадании в организм, его модификации техногенными и природными гаптенами определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования – изучение эффектов на организм природного гаптена Chlorella Growth Factor (CGF) на примере фагоцитарной активности клеток периферической крови *in vitro*.

Материалы и методы. Изучены эффекты природных соединений CGF (фактора роста хлореллы) на поглотительную активность фагоцитов, использована система *in vitro* (проанализировано 15 проб венозной крови). Контрольные пробы – пробы без добавления фактора роста хлореллы (n = 15), опытные пробы – пробы с добавлением суспензии и концентрата фактора роста хлореллы (n = 15). Концентрат содержит 60–70 млн клеток живой микроводоросли на 1 мл, а суспензия – 30–40 млн на 1 мл.

Исследование фагоцитарной активности клеток проводили с использованием формалинизированных эритроцитов барана в качестве объектов фагоцитоза.

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы математической статистики с помощью программы Microsoft® Office Excel 2003 и пакета прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft, USA). Статистический анализ данных осуществлялся 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 представлены как $M \pm m$ (среднее арифметическое ± ошибка среднего). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Результаты. Результаты экспериментальных исследований образцов крови (гранулоцитарный росток) *in vitro* позволили установить наличие изменений со стороны показателей иммунной системы. Сводные результаты изучения влияния Chlorella Growth Factor на фагоцитарную активность клеток взрослого населения представлены в табл. 1.

Сравнительный анализ с показателями физиологической нормы (ФН) позволил установить статистически значимое в 1,2 раза стимулирование фагоцитоза в опытных образцах. Установлено статистически значимое увеличение фагоцитарного числа после внесения в опытные пробы суспензии и концентрата в 1,3 и 1,5 раза

соответственно. Фагоцитарный индекс, в сравнении с ФН, увеличился в 1,1 и 1,2 раза ($p \leq 0,05$).

Таблица 1

Сравнительная характеристика показателей спонтанного и индуцированного фагоцитоза

Показатель	Физиологическая норма	Проба без добавления CGF, (n = 15), $M \pm m$	Проба с добавлением CGF сусп (n = 15), $M \pm m$	Проба с добавлением CGF конц (n = 15), $M \pm m$
Доля фагоцитоза, %	35–60	46,3 ± 3,201*/**	53,9 ± 4,296*/**	57,7 ± 4,356*/**
Фагоцитарное число, усл. ед.	0,8–1,2	1,29 ± 0,130*/**	1,63 ± 0,159*/**	1,89 ± 0,170*/**
Фагоцитарный индекс, усл. ед.	1,5–2	2,74 ± 0,121*/**	3,10 ± 0,154*/**	3,27 ± 0,170*/**

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

Частота встречаемости проб с пониженным процентом фагоцитоза относительно физиологической нормы в спонтанном состоянии составляла 7 %, в то время как в опытных образцах с добавлением суспензии и концентрата фактора роста хлореллы дефицит активности фагоцитоза не выявлен (табл. 2).

Таблица 2

Частота регистрации проб с отклонением от физиологической нормы, %

Показатель	Проба без добавления CGF (n = 15), $M \pm m$		Проба с добавлением CGF сусп (n = 15), $M \pm m$		Проба с добавлением CGF конц (n = 15), $M \pm m$	
	выше	ниже	выше	ниже	выше	ниже
Доля фагоцитоза, %	20	7	33	0	53	0
Фагоцитарное число, усл. ед.	47	13	67	0	80	0
Фагоцитарный индекс, усл. ед.	100	0	100	0	100	0

Гиперактивность спонтанного фагоцитоза зафиксирована в 20 % проб, а индуцированного CGF в 33–53 %, что соответствует возрастанию фагоцитарной активности в 1,65 и 2,65 раза соответственно.

Доля проб с пониженными значениями фагоцитарного числа (13 % проб) отмечалась исключительно при изучении спонтанного фагоцитоза. Избыточность фагоцитарного числа установлена в 47 % проб, не индуцированных CGF, а также в 67 % при добавлении суспензии и в 80 % при добавлении концентрата (в 1,4 и 1,7 раза соответственно больше спонтанного уровня). Во всех изучаемых образцах регистрируется повышение показателя фагоцитарного индекса относительно физиологической нормы.

Согласно литературным данным, ряд авторов получили схожие результаты в клинических исследованиях: установлено стимулирующее влияние хлореллы при употреблении пищевой суспензии микроводоросли на систему фагоцитоза у 65 % пациентов, систему гуморального иммунитета – у 70 %, клеточного иммунитета – у 84 % [2]. Также другими авторами отмечено, что в исследовании с участием 51 здорового человека при приеме 5 гр хлореллы в виде таблеток достоверно увеличились концен-

трации интерферона-γ, интерлейкина-1β (IL-1β), а также интерлейкина-12 (IL-12). Кроме того была повышена активность иммунных клеток NK-киллеров, что указывает на иммуностимулирующий эффект [7]. Использование водной суспензии живой хлореллы пациентами с заболеваниями сердечно-сосудистой системы на фоне комплексной реабилитации способствовало достоверному улучшению их субъективного восприятия самочувствия по сравнению с пациентами, не использующими суспензию хлореллы ($p < 0,05$) [5].

Выводы. По результатам проведенного эксперимента *in vitro* на примере сложного нуклеотидно-пептидного комплекса Chlorella Growth Factor установлено, что многокомпонентный гаптен Chlorella Growth Factor вызывает статистически значимую стимуляцию иммунной системы по критериям врожденного клеточного иммунитета (система фагоцитоза). Особенностью действия комплексного гаптена природного происхождения является дозозависимость (концентрат и суспензия хлореллы) эффекта – индукция факторов неспецифической иммунной защиты. Полученные результаты подтверждают исследования других авторов о влиянии Chlorella Growth Factor на иммунный ответ. Планируются дальнейшие исследования по оценке эффектов природных и техногенных гаптенов, в том числе комбинированных, для задач изучения механизма формирования ранних иммунорегуляторных нарушений в условиях влияния различных по природе происхождения химических факторов.

Список литературы

1. Волянский Ю.Л., Хаитов Р.М., Мальцев В.И. Развитие идей И.И. Мечникова в современном естествознании // Здоров'я України Мед. газета Украины. – 2005. – № 10 (199) – С. 60–61.

2. Туманова А.Л. Экспериментальные исследования по изучению влияния пищевой суспензии микроводоросли *chlorella vulgaris* на организм человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 9. – С. 85–88.

3. Хачерян А.В. Имбирь аптечный: применение в качестве антиоксиданта и иммуномодултора при снижении иммунитета // Свободные радикалы, антиоксиданты и старение: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. – Астрахань, 2021. – С.111–114.

4. Хвойников А.Н., Сангалова Е.Д., Орлова О.Ю. Тенденции и статистика развития рынка микроводорослей // Вестник алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 4–2. – С. 278–282.

5. Юшковская О.Г., Плакида А.Л., Филоненко А.В. Качество жизни здоровых людей и больных с патологией сердечно-сосудистой системы на фоне приема водной суспензии хлореллы // Вестник межнационального центра исследования качества жизни. – 2020. – № 35–36. – С. 54–63.

6. Kralovec J.A., Power M.R., Liu F. An aqueous Chlorella extract inhibits IL-5 production by mast cells in vitro and reduces ovalbumin-induced eosinophil infiltration in the airway in mice in vivo // Int Immunopharmacol. – 2005. – № 5 (4). – P. 689–698.

7. Beneficial immunostimulatory effect of short-term Chlorella supplementation: enhancement of natural killer cell activity and early inflammatory response (randomized, double-blinded, placebo-controlled trial) / Jung Hyun Kwak, Seung Han Baek, Yongje Woo [et al.] // Nutr J. – 2012. – № 53. – P. 1–8.

Особенности иммунного и метаболомного статуса детей с патологией эндокринной системы в условиях контаминации крови гормоноподобными веществами

А.В. Ярома, О.А. Казакова, О.В. Долгих

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

Изучены особенности иммунного и метаболомного профиля детей с патологией эндокринной системы, ассоциированной с дефицитом йода, с повышенным содержанием в биологических средах ароматических углеводородов (бензол, фенол). Выявлены особенности фагоцитарной активности (активация абсолютного фагоцитоза), апоптотической регуляции – абсолютная и относительная гиперэкспрессия активированных лимфоцитов ($CD3^+CD95^+$, $CD3^+CD25^+$), окислительного стресса (повышение МДА) и костной резорбции (гиперпродукция TRAP 5b), а также снижение концентрации йода в моче. Корреляционный анализ Кендалла позволил выявить достоверную прямую зависимость уровня малонового диальдегида от уровня фенола в крови ($r = 0,22$; $p < 0,05$).

Ключевые слова: патология эндокринной системы, эндемичный зоб, дефицит йода, бензол, фенол, дети.

Одними из наиболее распространенных загрязнителей объектов окружающей среды являются бензол и фенол, относящиеся к химическим техногенным веществам. Следствием их воздействия на человеческий организм является формирование эндокринной патологии, различных нарушений гормоногенеза и процессов развития [2].

Бензол – бесцветная жидкость с характерным сладковатым запахом (II класс опасности); может содержаться в клеях, растворителях, присутствует в выхлопных газах транспортных средств, табачном дыме, поскольку является продуктом неполного сгорания углеводородов [17].

Токсичность бензола проявляется через его метаболизм в печени и костном мозге до фенола, катехола и реактивных хининов, которые играют важную роль в образовании активных форм кислорода, вызывающих окислительный стресс, хромосомные изменения, повреждения белков, дисфункцию цитокиновой иммунной системы [4].

Фенол – бесцветное, твердое, летучее вещество с резким характерным запахом (II класс опасности). В окружающую среду фенол попадает в результате сжигания и переработки органического топлива.

В результате попадания фенола в организм он частично связывается с белками, частично окисляется, образуя гидрохинон и пирокатехин. Быстрое всасывание фенола в кровоток усиливает его отравляющее действие, связанное с нарушением структуры белковых молекул в клеточной протоплазме. В конечном счете данный процесс приводит к коагуляции белков, что внешне выражается в некротических тканевых изменениях. Влияние фенола на организм связано с разрушением эритроцитов (гемолизом). Фенол считается эндокринным разрушителем из-за его способности имитировать эстрогены, которые нарушают естественный баланс гормонов [16].

Эндогенный фенол, образующийся как метаболит в тканях и в кишечном содержимом в результате деятельности бактерий, является одним из множества известных в настоящее время эндогенных токсинов. Он образуется в результате обмена белков и ароматических аминокислот – тирозина и фенилаланина.

Бензол и фенол, как наиболее часто встречающиеся компоненты промышленных выбросов и одновременно эндокринные разрушители, нередко приводят к формированию йодной недостаточности, поскольку оказывают негативное влияние на функцию щитовидной железы путем токсического воздействия на деятельность клеток-тиреоцитов.

Данные вещества отрицательно воздействуют на метаболизм йода в организме, препятствуя важному этапу синтеза тиреоидных гормонов – органификации йодида в щитовидной железе [5].

Йод – жизненно необходимый элемент. Он принимает непосредственное участие в синтезе гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина. Более 90 % йода, попадающего в организм вместе с пищей, идет на производство указанных выше гормонов. Они влияют на активность почти 200 генов, контролируют интенсивность обмена веществ, органогенез мозга и биоэлектрические процессы в нем.

В организме человека йод выполняет обеззараживающую (уничтожение микробов, попавших в кровь), седативную (успокаивающее действие), повышающую умственные способности (вследствие повышения эластичности кровеносных сосудов) функцию.

В отличие от недостаточности основных компонентов питания (белков, жиров и углеводов), внешне выраженный эффект дефицита йода может отсутствовать. Связанные с ним метаболические нарушения приводят к увеличению веса, может наблюдаться также слабость мышц и суставов. Йод способен индуцировать апоптоз клеток щитовидной железы [13].

Основным регулятором функции самой щитовидной железы является тиреотропный гормон (ТТГ), выделяемый гипофизом, расположенным в головном мозге. Избыток гормонов щитовидной железы является признаком снижения уровня ТТГ, недостаток гормонов – признаком повышения. Повышенный уровень ТТГ свидетельствует о наличии йододефицитного гипотиреоза.

По сведениям Всемирной организации здравоохранения, йододефицит характерен для более чем 2 млрд человек, среди которых у 700 млн диагностируется эндемический зоб. На территории России отсутствуют субъекты, где жители не были бы подвержены риску развития болезней, связанных с дефицитом йода, в большей или меньшей степени [14].

Территория юга Сибири характеризуется не только повышенным загрязнением атмосферного воздуха комплексом химических веществ, в том числе бензолом и фенолом, но также дефицитом важных микроэлементов, что формирует неблагоприятные условия для развития заболеваний эндокринной системы [3].

Наиболее уязвимым контингентом при йододефиците являются дети, поэтому данная возрастная категория представляет больший интерес для исследования [9].

Почти миллион детей России состоят на диспансерном учете по поводу заболеваний щитовидной железы.

В дошкольном возрасте йодный дефицит приводит не только к заболеваниям щитовидной железы со снижением ее функции, но и к повышению соматической и респираторной заболеваемости, склонности к хроническому течению заболеваний, отставанию в физическом развитии [12].

С практической и научной позиции наиболее результативно эпидемиологическое обследование детей младшего школьного возраста, так как до пубертатного периода увеличение щитовидной железы связано преимущественно с дефицитом йода, а вероятность наличия сопутствующей патологии щитовидной железы очень низка [15].

Наблюдающийся с детства йододефицит во взрослом возрасте создает условия для развития гипертонической болезни вследствие накопления холестерина. У йододефицитных больных наблюдаются также ишемическая болезнь сердца (ИБС) и атеросклеротические изменения магистральных кровеносных сосудов. Страдает моторика желчевыводящих путей – возникает дискинезия, а также формируются конкременты в желчном пузыре. У пациенток с дефицитом йода нередко отмечаются дисменорея, мастопатия и миомы матки, бесплодие. Йодная недостаточность резко повышает риск рождения ребенка с эндемическим кретинизмом. Йододефицит также способствует развитию токсического зоба, увеличению случаев развития рака щитовидной железы.

На сегодняшний день хорошо изучена тематика формирования йододефицитных состояний и гормоноподобных свойств ароматических углеводородов, однако вопросы комбинированного воздействия данных факторов в развитии патологии эндокринной системы изучены недостаточно.

Цель исследования – оценка особенности иммунного и метаболомного статуса у детей с патологией эндокринной системы в условиях контаминации техногенными гормоноподобными соединениями (на примере бензола и фенола).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 64 ребенка (4–9 лет), проживающих на юге Сибири в условиях аэрогенного воздействия бензола и фенола. Группа наблюдения включала 30 человек, возраст 6,3 ± 0,6 г. (девочек – 46,7 % и мальчиков – 53,3 %) с патологией эндокринной системы – зобом, вызванным йодной недостаточностью. Группа сравнения – 33 ребенка, возраст 5,5 ± 0,2 г. (девочек – 33,3 % и мальчиков – 66,7 %), условно здоровые. Группы сопоставимы по возрасту, социальному статусу и этнической принадлежности.

Все обследования проводились на базе ФБУН ФНЦ МРТ УРЗН с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации ВМА.

Химико-аналитическое исследование бензола и фенола проводилось методом капиллярной газовой хроматографии с использованием аппаратно-программного комплекса «Хроматэк-Кристалл 5000».

Выполнено исследование состояния иммунной системы у обследуемых детей: фагоцитарные показатели определялись с использованием в качестве объектов фагоцитоза формалинизированных эритроцитов барана методом В.Н. Каплина; иммунофенотипирование лимфоцитов ($CD3^+CD95^+$, $CD3^+CD25^+$), а также типирование маркера апоптоза p53 и фактора некроза опухоли альфа 1-го типа (TNFR1 – tumor necrosis factor receptor) проводили с использованием моноклональных антител к поверхностным дифференцировочным антигенам на клетках иммунной системы методом проточной лазерной цитофлуорометрии на проточном цитофлуориметре BD FACSCalibur (США).

Выполнен ряд биохимических исследований, включающих: оценку уровня малонового диальдегида (МДА) с помощью фотометрического метода с тиобарбитуровой кислотой на спектрофотометре СФ 5300ПЭ; йод в моче определяли с помощью церий-арсенитного метода на спектрофотометре ПЭ 5400 УФ (Россия);

N-остеокальцин и тартрат-резистентную кислую фосфатазу (TRAP 5b) определяли методом ИФА на приборе Infinity 50 (Tecan), используя реактивы Osteocalcin One Step (ELISA, Дания) и Bone TRAP Assay (Германия) соответственно.

Для оценки функции щитовидной железы определяли гормоны щитовидной железы T_4 свободный и ТТГ с использованием набора реагентов компании «Хема-Медика» (г. Москва) методом ИФА на приборе BioTek ELx808 (США).

О вероятном нарушении липидного обмена судили по концентрации триглицеридов в сыворотке крови и содержанию липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) с помощью фотометрического метода полуавтоматическим биохимическим анализатором Humalyzer 2000.

Обработка данных осуществлялась с помощью программ Statistica 12.0 (StatSoft Inc, США) и Microsoft Excel 2013. Определяли среднее значение (X) и его стандартное отклонение (SD). Сравнение средних осуществлялось методом t-критерия Стьюдента. Для оценки зависимости исследуемых иммунных маркеров от уровня контаминации крови мышьяком использовался непараметрический корреляционный метод Кендалла. При уровне значимости более 95 % ($p < 0,05$) отличия считали достоверными.

Результаты. По результатам химико-аналитического исследования крови детей установлено, что группа наблюдения характеризуется повышенным уровнем бензола в 1,3 раза и фенола – в 1,7 раза ($p > 0,05$) (выше фонового уровня на 11 %) относительно группы сравнения (табл. 1).

Таблица 1

Химико-аналитическое исследование крови на содержание ароматических углеводородов в исследуемых группах

Показатель	Фоновый диапазон	Наблюдение ($X \pm SD$)	Сравнение ($X \pm SD$)	p
Бензол, мкг/см^3	0	0,0013 ± 0,0006	0,0010 ± 0,0003	0,43
Фенол, мкг/см^3	0,01–0,0369	0,0409 ± 0,0090	0,0243 ± 0,0071	**0,01**

Примечание: X – среднее; SD – стандартное отклонение; p – уровень значимости.

По результатам биохимических исследований установлено достоверное снижение концентрации йода в моче группы наблюдения в 1,4 раза (ниже нормы на 10 %) относительно группы сравнения. Попадая в организм, йод избирательно накапливается в щитовидной железе, где проходит сложный путь превращения и становится частью тиреоидных гормонов (тироксина) [15]. В группе наблюдения отмечается повышение уровня малонового диальдегида плазмы как относительно группы сравнения (14 %), так и относительно границ физиологической нормы (13 %). МДА является маркером окислительного стресса, что подтверждается другими исследованиями [8] и рекомендуется для контроля зобных заболеваний [11]. Уровень TRAP 5b достоверно повышен в группе наблюдения относительно аналогичного показателя группы сравнения в 1,4 раза, а также превышает границы нормы в 2,6 раза. Известно, что данный показатель отражает состояние костной ткани при резорбции, которая проявляется при воздействии струмогенов (бензол, фенол). При этом бензол и фенол проявляют гормоноподобные свойства, замещая натуральные гормоны, в том числе эстроген, который подавляет костную

резорбцию [1]. К.П. Лужецкий и соавт. установили достоверную причинно-следственную связь развития заболеваний эндокринной системы и избыточной массы тела при повышенном содержании в крови бензола [8].

Оценка уровня экспрессии гормонов щитовидной железы (ТТГ, T_4 свободный) и маркеров липидного спектра (триглицериды, ЛПВП) не выявила значимых различий между группами, все показатели изменялись в пределах границ нормы.

По результатам иммунологических исследований установлено достоверное увеличение уровня абсолютного фагоцитоза в группе наблюдения в 1,4 раза относительно данных группы сравнения. Йод также используется фагоцитами в реализации их бактерицидных свойств, при его дефиците может модифицировать иммунный ответ, что отражается в изменении спектра лейкоцитов, уровне иммуноглобулинов, а также белков острой фазы [7]. Установлено значимое увеличение уровня абсолютной и относительной экспрессии активированных лимфоцитов $CD3^+CD25^+$ в группе наблюдения относительно данных группы сравнения в 1,8 и 1,7 раза соответственно (относительно границ нормы – в 1,6 и 1,5 раза соответственно); значимое увеличение уровня абсолютной и относительной экспрессии активированных лимфоцитов $CD3^+CD95^+$ относительно данных группы сравнения в 1,9 раза (относительно границ нормы – в 1,6 и 1,5 раза соответственно) (табл. 2). Повышение экспрессии активированных лимфоцитов указывает на признаки активации процессов клеточной гибели.

Таблица 2

Особенности иммунного и биохимического статуса детей исследуемых групп

Показатель	Норма	Наблюдение ($X \pm SD$)	Сравнение ($X \pm SD$)	p
Абсолютный фагоцитоз, 10^9/дм^3	0,96–2,99	2,05 ± 0,57	1,45 ± 0,24	**0,0490**
$CD3^+CD95^+$-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,4–0,7	1,11 ± 0,51*	0,54 ± 0,15	**0,0210**
$CD3^+CD95^+$-лимфоциты, отн., %	15–25	37,38 ± 15,17*	19 ± 6,36	**0,0180**
$CD3^+CD25^+$-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,1–0,3	0,37 ± 0,16*	0,21 ± 0,03	**0,0230**
$CD3^+CD25^+$-лимфоциты, отн., %	5–12	12,63 ± 4,85*	7,27 ± 1,47	**0,0230**
Йод в моче, мкг/100 см^3	10–50	9,59 ± 3,16	13,47 ± 0,70	**0,0070**
МДА, мкмоль/см^3	1,8–2,5	3,18 ± 0,29	2,79 ± 0,26	**0,0460**
TRAP 5b, ЕД/дм^3	1,12–3,5	9,1 ± 2,94	6,55 ± 1,35	**0,0370**

Примечание: X – среднее; SD – стандартное отклонение; p – уровень значимости.

Методом корреляционного анализа Кендалла была подтверждена прямая достоверная зависимость уровня малонового диальдегида плазмы от уровня фенола в крови ($r = 0,22$; $p < 0,05$), что также подтверждается исследованиями других авторов [6].

Таким образом, установлено, что дети, проживающие на юге Сибири, имеющие патологию эндокринной системы в условиях аэрогенного воздействия бензола и фенола, характеризуются избыточным уровнем контаминации фенолом, достоверным увеличением уровня абсолютного фагоцитоза, абсолютной и относительной экспрессией активированных лимфоцитов ($CD3^+CD25^+$, $CD3^+CD95^+$), снижением концентрации йода в моче, повышением уровня малонового диальдегида и тартрат-резистентной кислой фосфатазы, что подтверждает вероятное участие гормоноподобных веществ в развитии эндокринной патологии.

Своевременная диагностика заболеваний эндокринной системы, вызванных дефицитом микроэлементов, формирующихся в условиях аэрогенного воздействия гормоноподобных веществ, у детей позволит на ранних стадиях предотвратить формирование заболеваний сердечно-сосудистой, мочеполовой, нервной и костной систем организма, а также онкологических заболеваний.

Выводы. По результатам проведенного исследования выявлены изменения в иммунной системе и антиоксидантной активности в группе детей с патологией эндокринной системы, вызванной дефицитом йода, контаминированных ароматическими углеводородами, проживающих на юге Сибири. Так, группа наблюдения отличалась избыточной контаминацией крови фенолом и бензолом, превышающей фоновый уровень и уровень контаминации крови детей группы сравнения; достоверным снижением концентрации йода относительно нормы на 10 %; достоверным повышением маркера окислительного стресса МДА, который имел прямую зависимость от уровня фенола в крови ($r = 0{,}22$; $p < 0{,}05$), фагоцитарной активности, абсолютной и относительной экспрессии активированных лимфоцитов $CD3^+CD95^+$ и $CD3^+CD25^+$, TRAP 5b.

Рекомендуется использовать полученный комплекс лабораторных показателей иммунного и метаболомного профиля (йод, абсолютный фагоцитоз, $CD3^+CD95^+$, $CD3^+CD25^+$, МДА, TRAP 5b) для диагностики зобных заболеваний у детей дошкольного возраста, подверженных аэрогенному воздействию техногенных эндокринных разрушителей (на примере ароматических углеводородов).

Список литературы

1. Влияние курения на костную ткань. Состояние проблемы / И.И. Ганиева, А.А. Карабиненко, С.С. Еремина [и др.] // Лечебное дело. – 2013. – № 1. – С. 4–8.

2. Гигиеническая характеристика факторов, формирующих тиреоидную патологию у детей / О.В. Возгомент, И.П. Корюкина, А.И. Аминова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2010. – № 2. – С. 28–30.

3. Ефимова Н.В., Николаева Л.А., Шин Н.С. Гигиеническая оценка содержания йода в воде и продуктах питания на йоддефицитной территории // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2014. – Т. 126, № 3. – С. 88–91.

4. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Тарантин А.В. Нарушения белкового состава крови человека в условиях воздействия ароматических углеводородов // Экология человека. – 2013. – Т. 20, № 7. – С. 15–26. DOI: 10.17816/humeco17328

5. Йодный дефицит как гетерогенное полиэтиологическое состояние человека / К.Б. Баканов, И.И. Макарова, В.А. Синода, И.А. Жмакин // Экология человека. – 2006. – № 6. – С. 18–24.

6. Лужецкий К.П., Устинова О.Ю., Землянова М.А. Тиреоидный профиль и антиоксидантный статус у детей в условиях природного дефицита эссенциальных микроэлементов и ингаляционного воздействия струмогенов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 5–2. – С. 723–727.

7. Малкина С.М., Климушкин А.В. Его величество йод // Инновационная наука. – 2020. – № 1. – С. 92–94.

8. Особенности заболеваний эндокринной системы у детей, проживающих на территориях с загрязнением атмосферного воздуха бензолом, фенолом, бенз(а)пи-

реном / К.П. Лужецкий, О.Ю. Устинова, Л.Н. Палагина, О.А. Маклакова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 7–4. – С. 732–735.

9. Савченков М.Ф., Ефимова Н.В., Шин Н.С. Особенности профилактики йоддефицита среди детского населения города Братска // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2014. – Т. 126, № 3. – С. 76–79.

10. Сапожникова И.Е., Немцов Б.Ф. Методы исследования и меры преодоления йододефицитных заболеваний // Вятский медицинский вестник. – 2008. – № 1. – С. 13–18.

11. Способ прогнозирования индивидуального риска развития эндемического зоба у человека на различные по продолжительности периоды жизни: патент на изобретение / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Д.А. Кирьянов, О.Ю. Устинова, А.Н. Дубасов, М.Р. Камалтдинов, С.В. Бабина, М.Ю. Цинкер [и др.]; Номер патента: RU 2658465 C1; Номер заявки: 2017116095.

12. Стенникова О.В., Боборыкина А.Е., Левчук Л.В. Роль йодного обеспечения в формировании интеллектуального и соматического здоровья детского населения // Вопросы современной педиатрии. – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 48–53.

13. Строев Ю.И., Чурилов Л.П. Самый тяжелый элемент жизни (к 200-летию открытия йода) // Биосфера. – 2012. – Т. 4, № 3. – С. 313–342.

14. Цопанов К.М., Гозюмов К.М. Проблема йододефицита в современной России // Молодой ученый. – 2022. – № 25 (420). – С. 221–223.

15. Эндокринные аспекты применения Амиодарона в клинической практике (алгоритм наблюдения и лечения функциональных расстройств щитовидной железы) / Н.Ю. Свириденко, Н.М. Платонова, Н.В. Молашенко [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 63–71.

16. Guenther K., Kleist E., Thiele B. Estrogen-active nonylphenols from an isomer-specific viewpoint: a systematic numbering system and future trends // Anal. Bioanal. Chem. – 2006. – Vol. 384, № 2. – P. 542–546. DOI: 10.1007/s00216-005-0181-8

17. Lightfoot T., Smith A., Roman E. Leukemia // International Encyclopedia of Public Health. – 2nd ed. – 2017. – P. 74–83. DOI: 10.1016/B978-012373960-5.00251-3

Раздел V

Современные аспекты медицины труда. Оценка профессиональных рисков здоровью работников

Условия труда и особенности вертеброгенной патологии у работников газораспределительных станций на поликлиническом этапе

Д.М. Вагапова, А.С. Хафизова, Г.Р. Миронова, Н.В. Бояринова, Л.В. Гирфанова, Л.Р. Мадьярова

ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», г. Уфа, Россия

Вертеброгенные заболевания у пациентов, помимо нарушений обмена веществ, инфекций, генетической предрасположенности, травм, вызывают и неблагоприятные условия труда, такие как: постоянное значительное напряжение мышц поясницы или однократная чрезмерная нагрузка, вибрация, низкая температура окружающей среды. С целью выявления вертеброгенной патологии у работников ПАО «Газпром газораспределение Уфа» на поликлиническом этапе были обследованы работники газораспределительных станций г. Уфы. При объективном неврологическом обследовании выявлялся легкий дефанс шейных, поясничных мышц, пальпаторная болезненность паравертебральных точек, точек Валле, ограничение активных движений в пояснично-крестцовом отделе позвоночника с нарушением функции 0–I степени. Выявлено, что труд слесарей-ремонтников связан с региональными нагрузками с участием мышц плечевого пояса, необходимостью пребывания в вынужденной позе, периодическими подъемами и перемещением груза, наклонами корпуса, что является фактором риска для развития вертеброгенной патологии.

Ключевые слова: вертеброгенная патология, работники газораспределительных станций, условия труда.

Здоровье работающего населения является важнейшим индикатором социально-экономического состояния общества, определяющим качество трудовых ресурсов, демографическую ситуацию в стране, производительность труда. Существенную роль в этом играют неблагоприятные условия труда, которые являются источниками постоянной опасности нарушения здоровья работников различных профессий [2].

Вертеброгенные дорсалгии – достаточно распространенная патология, сопровождающаяся выраженным болевым синдромом и требующая активной терапии. По данным экспертов ВОЗ, в развитых странах боль в спине по масштабам сравнима с пандемией и является серьезной медицинской и социально-экономической проблемой. Боль в спине – вторая по частоте после респираторных заболеваний причина обращения к врачам и третья – по частоте госпитализации. Боль в поясничной области является одной из ведущих жалоб жителей индустриальных стран, в течение жизни ее испытывают 84 % населения. Распространенность хронической боли в спине и шее среди взрослого населения РФ составляет 42,4–56,7 %. Боль занимает первое место в структуре обращаемости за медицинской помощью.

Среди различных причин, способствующих развитию болевого синдрома, помимо нарушений обмена веществ, инфекций, генетической предрасположенности, травм, все большее значение придается неблагоприятным факторам труда. Большинство исследователей придают основное значение постоянному значительному напряжению мышц поясницы или внезапной чрезмерной нагрузке, вынужденному положению туловища, повышенной вибрации, низкой температуре окружающей среды, которые вызывают вертеброгенное заболевание у пациентов.

Для труда слесарей-газовиков характерны региональные нагрузки с участием мышц плечевого пояса, необходимость длительного пребывания в вынужденной позе (более 25 % рабочего времени), периодические подъемы и перемещение груза массой 31–40 кг, наклоны корпуса более 30° (110–300 раз в смену). Несмотря на внедрение прогрессивных методов ремонта, использование средств механизации и специализированных приспособлений, большинство ремонтных операций по вскрытию, чистке оборудования осуществляется вручную [1, 3]. Тяжесть труда слесарей-ремонтников соответствует классу 3.1. При выполнении слесарями-ремонтниками отдельных работ вероятен риск для собственной жизни. Общая оценка условий труда слесарей-ремонтников по степени вредности и опасности отнесена к классу 3.1 (согласно Р.2.2.2006-05). Таким образом, рабочие основных профессий подвергаются комплексному воздействию вредных производственных факторов.

Цель исследования – выявить вертеброгенную патологию у работников ПАО «Газпром газораспределение Уфа» на поликлиническом этапе.

Материалы и методы. Обследованы работники газораспределительных станций г. Уфы в условиях консультативно-поликлинического отделения клиники ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека». По профессиональному критерию пациенты были представлены слесарями аварийно-восстановительных работ, слесарями по эксплуатации и ремонту газового оборудования, слесарями по эксплуатации и ремонту подземных газопроводов. Работники были заняты на работах, связанных с применением легковоспламеняющих и взрывчатых материалов, во взрыво- и пожароопасных производствах, работах на высоте, работах по обслуживанию подъемных сооружений.

Проведены общепринятые клинические и лабораторные методы обследования: общий анализ крови, мочи, биохимический анализ крови (холестерин, глюкоза), электрокардиография (по показаниям электронейромиография рук и ног), а также рентгенография шейного и поясничного (крестцового уровней) отделов позвоночника. Пациенты осмотрены несколькими врачами: терапевтом, неврологом, окулистом, ЛОР-врачом, наркологом-психиатром, хирургом.

Основной контингент работающих составили мужчины в возрасте от 28 до 55 лет; средний возраст 39,7 ± 6,2 г. Стаж работы от 10 до 29 лет, средний стаж работы 10 ± 2,3 г.

Результаты. Работники на основании проведенного медицинского осмотра распределены по трем группам здоровья. Наиболее многочисленной оказалась третья группа, включающая работников, имеющих хронические неинфекционные заболевания (45,1 %). Во вторую группу здоровья вошли 38,4 % работников, имеющих риск развития заболеваний. Практически здоровые лица, входящие в первую группу здоровья, составляли всего 16,5 % работников.

Обследованные предъявляли жалобы на периодические боли в шейном, поясничном отделах позвоночника, иногда с иррадиацией в руку, ногу, онемение рук, ног, ограничение движения в шейном, поясничном отделах позвоночника.

При анализе амбулаторных карт с места жительства и сборе анамнеза выяснилось, что работники страдали вертеброгенной цервикалгией, люмбалгией в течение нескольких лет, имея обострения с частотой 1–2 раза в год.

При объективном неврологическом обследовании выявлялся легкий дефанс шейных, поясничных мышц, пальпаторная болезненность паравертебральных точек, точек Валле, ограничение активных движений в пояснично-крестцовом отделе позвоночника с нарушением функции 0–I степени.

На рентгенограммах шейного, пояснично-крестцового отделов позвоночника выявлялось снижение высоты межпозвоночных дисков, склероз замыкательных пластин, спондилоартроз.

По проведенной по показаниям электронейромиографии конечностей выявились признаки поражения корешков нервов указанных уровней.

Выводы. Таким образом, труд слесарей-ремонтников связан с региональными нагрузками с участием мышц плечевого пояса, необходимостью пребывания в вынужденной позе, периодическими подъемами и перемещением груза, наклонами корпуса, что является фактором риска для развития вертеброгенной патологии.

С целью охраны здоровья работников газораспределительных станций необходим комплекс мер по первичной профилактике, включающий оптимизацию трудового процесса, проведение медико-биологических мер по повышению устойчивости организма, тщательный профессиональный отбор, квалифицированный медицинский контроль и внедрение оздоровительных мероприятий.

Список литературы

1. Гизатуллина Д.Ф., Маврина Л.Н., Яхина Р.Р. Факторы рабочей среды и трудового процесса на рабочих местах слесарей нефтехимических предприятий // Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов научно-исследовательских организаций Роспотребнадзора. – Уфа, 2013. – С. 62–64.

2. Измеров Н.Ф. Глобальный план действий по охране здоровья работающих на 2008–2017 гг.: пути и перспективы реализации // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 6. – С. 1–9.

3. Структура и динамика профессиональной заболеваемости в Республике Башкортостан / А.Б. Бакиров, Э.Р. Шайхлисламова, Э.Т. Валеева, Г.Г. Гимранова, Р.Р. Галимова, Н.А. Бейгул, Д.М. Вагапова // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 4. – С. 40–44.

Оценка влияния профессионального физического перенапряжения и гиподинамии на развитие патологии сердечно-сосудистой системы у работников машиностроительного предприятия

Д.С. Гаврильченко

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Осуществлена оценка влияния профессионального физического перенапряжения и гиподинамии на развитие патологии сердечно-сосудистой системы у работников машиностроительного предприятия. Показатели относительного риска (*RR*) возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы, приведших к временной утрате трудоспособности (по числу случаев), в профессиональных группах № 1 (работники с риском физического перенапряжения) и № 2 (работники, условия и режим труда которых характеризуются гиподинамией) выше «1» (*RR* = 1,85 и 2,08 соответственно) по отношению к группе сравнения – работники, производственная деятельность которых характеризуется умеренной двигательной активностью. По результатам исследования сделан вывод, что работники, условия и режим труда которых характеризуются гиподинамией, имеют больший риск возникновения и обострения течения сердечно-сосудистых заболеваний, чем работники, испытывающие в процессе трудовой деятельности физическое перенапряжение.

Ключевые слова: болезни сердечно-сосудистой системы, производственные факторы, физическое перенапряжение, гиподинамия.

Болезни сердечно-сосудистой системы по распространенности и тяжести осложнений занимают ведущее место не только в структуре общей заболеваемости, но и заболеваемости трудоспособного населения.

Известно и доказано, что основными причинами заболеваний сердечно-сосудистой системы являются факторы, связанные с образом жизни, – курение, употребление алкоголя, нерациональное питание, гиподинамия. Помимо данных причин, рядом авторов отмечаются и факторы, связанные с работой во вредных условиях труда [1, 2, 5, 6, 11]. Так, в статье Э.Т. Валеевой с соавт. (2021) при изучении производственных и непроизводственных факторов риска в развитии болезней системы кровообращения у работников нефтяной промышленности сделан вывод, что доля лиц, имеющих высокий риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, составляет около 30 %, а ведущими производственными факторами являются шум, загрязнение воздуха рабочей зоны предельными углеводородами, сероводородом, а также тяжесть трудового процесса [5].

При рассмотрении нарушений в функционировании сердечно-сосудистой системы под воздействием различных профессиональных факторов, по данным обзорной статьи С.А. Бабанова с соавт. (2014), делается вывод, что в одних случаях они лишь способствуют последующему проявлению заболевания наряду с другими, имеющими большую значимость причинами, в других случаях они могут выступать в качестве ведущих, определяющих последующее клиническое течение, исход

и прогноз заболевания [4]. Наличие и обострение течения сердечно-сосудистых заболеваний является одной из причин снижения трудоспособности работающих. Рассмотрение воздействия производственных факторов химической, физической природы и функционального перенапряжения позволяет говорить о формировании производственно обусловленной артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, поражения периферических артерий [6, 7, 11].

Рассматривая факторы риска сердечно-сосудистых нарушений, по мнению Т.Ф. Мироновой с соавт. (2019), правильнее всего говорить о комплексном воздействии профессиональных неблагоприятных условий и факторов риска образа жизни [8].

Оценка гигиенических условий труда, изучение профессиональных маршрутов пациентов с учетом стажа работы во вредных производственных условиях является одной из актуальных задач медицины труда.

Изучение особенностей воздействия факторов профессионального риска на функционирование сердечно-сосудистой системы работающих на конкретных производствах, т.е. с учетом специфики сочетания факторов, присущих тому или иному производственному процессу, позволяет формировать эффективные программы коррекции производственных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний у работающих [9, 10].

Цель исследования – оценка влияния профессионального физического перенапряжения и гиподинамии на развитие патологии сердечно-сосудистой системы у работников машиностроительного предприятия.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись работники Московского машиностроительного предприятия имени В.В. Чернышева (ММП им. В.В. Чернышева), которое специализируется на производстве двигателей для легких фронтовых истребителей, учебно-тренировочных самолетов, вертолетов, самолетов местных воздушных линий, легких транспортных самолетов, беспилотных летательных аппаратов.

Численность работников – 5414, в том числе женщин – 2100. В условиях воздействия вредных и (или) опасных веществ и производственных факторов работают 1118 человек (20,7 % от общей численности), в том числе 307 женщин.

Основные вредные факторы производственного процесса (класс условий труда 3.1 и выше) сосредоточены в литейном, термическом, сварочном, гальваническом, кузнечно-прессовом, механообрабатывающем, механосборочном и испытательном производствах.

На базе Института общей и профессиональной патологии имени академика А.И. Потапова ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора был организован периодический медицинский осмотр 679 работающих с вредными и (или) опасными веществами и производственными факторами на ММП им. В.В. Чернышева с параллельным проведением данного исследования. В процессе медосмотра были сформированы три профессиональные группы: группа № 1 – работающие с риском физического перенапряжения (класс условий труда 3.1–3.2 по тяжести трудового процесса) – 52 человека, группа № 2 – работники, условия и режим труда которых характеризуются гиподинамией (50 человек); группа № 3 – группа сравнения – работники, производственная деятельность которых характеризуется умеренной двигательной активностью (48 человек).

Учитывая, что фактором риска заболеваний сердечно-сосудистой системы является возраст, профессиональные группы формировали с использованием принципа

«копи-пара» (по возрасту), чтобы снизить неопределенности количественной оценки риска возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Количественная оценка риска возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы проведена по показателям относительного риска (*RR*), отношения шансов (*OR*), этиологической доли факторов в формировании заболеваемости (*EF*). Достоверность показателей оценена по критерию χ^2.

Результаты. С целью выявления роли производственной среды в формировании уровня здоровья работников предприятия для сформированных профессиональных групп проведен выборочный анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ВУТ) по причине обострения течения заболевания сердечно-сосудистой системы на основе данных за 2021 г. Число случаев заболеваний с ВУТ в профессиональных группах № 1 и № 2 сравнивалось с данными группы № 3 (группа сравнения, обобщенный класс условий труда 2.0, умеренная двигательная активность на производстве).

Установлено, что в профессиональной группе № 1 (работающих с риском физического перенапряжения (класс условий труда 3.1–3.2 по тяжести трудового процесса)) из 52 работающих по причине возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы оформляли лист нетрудоспособности в течение анализируемого года (2021 г.) 24 человека (46,1 %), в основном – лица старше 45 лет; во второй профессиональной группе по причине обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы лист нетрудоспособности оформляли 26 работников (52,0 %) из 50, входящих в группу. В группе сравнения оформляли лист нетрудоспособности 12 работающих (25,0 %) из 48, входящих в группу.

Ведущими формами обострения течения болезней сердечно-сосудистой системы являлись артериальная гипертензия, поражения сосудов мозга, цереброваскулярные заболевания, стенокардия.

По результатам исследования установлено, что показатели относительного риска (*RR*) возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы, приведших к ВУТ (по числу случаев), в профессиональных группах № 1 и № 2 выше единицы (*RR* = 1,85 и 2,08 соответственно), а этиологическая доля производственных факторов в их формировании составляет от 51,92 % (группа № 2 – работающие, условия и режим труда которых характеризуются гиподинамией) до 45,83 % (профессиональная группа № 1 – работающие с риском физического перенапряжения), что статистически подтверждает производственную обусловленность заболеваний (таблица).

Показатели количественной оценки риска возникновения и обострения заболеваний сердечно-сосудистой системы у работников предприятия машиностроения

Показатель	Профессиональная группа № 1	Профессиональная группа № 2
Отношение шансов (*OR*)	2,57	3,25
Относительный риск (*RR*)	1,85	2,08
Этиологическая доля (*EF*), %	45,83	51,92
χ^2 (хи-квадрат)	3,97	6,43
χ^2 (хи-квадрат) табличное при $p < 0,05$	3,80	3,80

По результатам исследования сделан вывод, что работающие, условия и режим труда которых характеризуются гиподинамией, имеют больший риск возникновения и обострения течения сердечно-сосудистых заболеваний, чем работающие, испытывающие в процессе трудовой деятельности физическое перенапряжение.

Следует оговорить и неопределенности, которые присущи любому исследованию. В нашем исследовании они связаны с тем фактом, что сердечно-сосудистые расстройства во многом являлись следствием перенесенного заболевания COVID-19, и необходимо проведение аналогичного ретроспективного анализа в доковидный и послековидный периоды. Второй неопределенностью являлся тот факт, что помимо факторов риска заболеваний сердечно-сосудистой системы, связанных с физическим перенапряжением или гиподинамией, имеет место воздействие на работников других производственных факторов – химической и физической природы, которые также являются факторами риска заболеваний системы кровообращения. Не учитывался также индивидуальный подход, т.е., например, факт курения пациента. В связи с этим полученные результаты можно считать предварительными (тезисными), требующими уточнения. Устранение данных неопределенностей является дальнейшей перспективной задачей исследования и необходимо для последующего формирования эффективных программ снижения воздействия производственных факторов и риска возникновения и обострения течения сердечно-сосудистых заболеваний у работников.

Список литературы

1. Бабанов С.А., Бараева Р.А. Поражения сердечно-сосудистой системы, обусловленные воздействием факторов производственной среды и трудового процесса // Санитарный врач. – 2014. – № 3. – С. 28–32.

2. Бабанов С.А., Бараева Р.А. Профессиональные поражения сердечно-сосудистой системы // Врач. – 2015. – № 3. – С. 7–10.

3. Бабанов С.А., Бараева Р.А. Состояние сердечно-сосудистой системы при воздействии вредных производственных факторов (обзор литературы) // Терапевт. – 2014. – № 5. – С. 63–75.

4. Бабанов С.А., Бараева Р.А., Будаш Д.С. Поражения сердечно-сосудистой системы в практике врача-профпатолога // Медицинский альманах. – 2016. – № 4 (44). – С. 106–111.

5. Валеева Э.Т., Гимранова Г.Г., Шайхлисламова Э.Р. Производственные и непроизводственные факторы риска развития болезней системы кровообращения у работников нефтяной промышленности // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – № 3 (336). – С. 4–8. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-336-3-4-8

6. Влияние условий труда на показатели кардиореспираторной системы и крови у электросварщиков с различным стажем работы / А.В. Елифанов, О.Л. Ковязина, О.Н. Лепунова, А.Д. Шалабодов // Экология человека. – 2018. – № 3. – С. 27–32. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-3-27-32

7. Коротенко О.Ю., Филимонов Е.С., Панев Н.И. Факторы риска структурно-функциональных изменений сердца у работников угольной промышленности // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 7. – С. 688–692. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-688-692

8. Миронова Т.Ф., Мордас Е.Ю., Шмонина О.Г. Комплексное действие профессиональных неблагоприятных условий и кардиоваскулярный риск // Профилактическая медицина. – 2019. – Т. 22, № 4–2. – С. 17–23. DOI: 10.17116/profmed20192204217

9. Омарова А.Х. Современные программы коррекции факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний у работников опасных профессий // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 12–2. – С. 59–62.

10. Самигова Н.Р., Мирсагатова М.Р., Баракаев Ф.И.У. Изучение динамики изменений в функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы рабочих мебельного производства // Молодой ученый. – 2017. – № 50 (184). – С. 126–129.

11. Факторы, ассоциированные с артериальной гипертонией, у мужчин, работающих на современном машиностроительном предприятии / А.Н. Бритов, С.А. Тюпаева, Н.А. Елисеева [и др.] // Клиническая медицина. – 2019. – Т. 97, № 11–12. – С. 786–793. DOI: 10.34651/0023-2149-2019-97-11-12-786-793

Показатели ремоделирования костной ткани у рабочих виброопасных профессий

К.В. Климкина, И.В. Лапко

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», г. Мытищи, Россия

Превышение предельно допустимого уровня вибрации, особенно в комплексе с другими неблагоприятными производственными факторами, приводит к нарушению функциональных механизмов гомеостаза различных уровней, в том числе к структурно-функциональным изменениям костной ткани.

Обследование 152 работников виброопасных профессий выявило изменение кальций-фосфорного обмена и метаболизма костной ткани, проявляющееся угнетением процессов костеобразования и усилением костной резорбции, способствующее снижению минеральной плотности костной ткани и формированию остеопении и остеопороза. Установлена корреляционная взаимосвязь маркеров костного метаболизма со стажем работы, что актуализирует раннюю диагностику остеопенических состояний, особенно в группе стажированных работников виброопасных профессий.

Ключевые слова: виброопасный профессии, метаболизм костной ткани, костная резорбция.

Сохранение профессионального здоровья и долголетия работающего населения, сокращение заболеваемости и травматизма, ранняя диагностика и профилактика профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний – приоритетные задачи профилактической медицины. Вместе с тем условия труда в ряде отраслей промышленности остаются неудовлетворительными. Одно из лидирующих мест в структуре профессиональной заболеваемости занимает вибрационная патология.

Превышение предельно допустимого уровня вибрации, особенно в комплексе с другими неблагоприятными факторами производственной среды, приводит к нарушению функциональных механизмов гомеостаза различных уровней, в том числе к преждевременному старению и развитию структурно-функциональных изменений костной ткани. Распространенность остеопороза и остеопении среди работающего населения составляет около 70 % [1, 2].

В основе механизмов развития остеопенических состояний лежит нарушение костного ремоделирования – процессов костеобразования и костной резорбции [4, 6]. Показателем костно-метаболической дисфункции является потеря костной массы, определяющаяся по степени увеличения маркеров костной резорбции, исследование которых имеет диагностическое значение [5, 7]. Так как сохранение костной ткани – более выполнимая задача, чем ее восстановление, актуальным становится ранняя диагностика и профилактика нарушений метаболизма костной ткани у рабочих виброопасных профессий, что определяет цель исследования.

Материалы и методы. Обследованы 152 мужчины, работающих на предприятиях горнодобывающей промышленности в контакте с общей и локальной вибрацией, превышающей предельно допустимые уровни (ПДУ) на 2–9дБ, средний возраст которых составил 45,2 ± 6,8 г. Стаж в контакте с вибрацией – 21,4 ± 7,4 г. Группа контроля включала 48 мужчин, сопоставимых по возрасту (средний возраст 46,4 ± 5,6 г.), работающих вне контакта с профвредностями.

С помощью метода твердофазного иммуноферментного анализа определялись показатели костного метаболизма: костная щелочная фосфатаза (КЩФ) (Metra BAP, Quidel, США), остеокальцин (ОК) (N-MID Osteocalcin ELISA, IDS, США), С-концевой телопептид сыворотки (β-CrossLaps) (Serum Crosslaps ELISA, IDS, США) и катепсин К (Biomedica, США). Регистрация результатов проводилась на планшетном ридере «Униплан» (ЗАО «Пикон», Россия).

Оценивались показатели кальций-фосфорного обмена: кальций общий и ионизированный ($Ca_{общ.}$ и $Ca_{ион.}$), фосфор (Р), креатинин на биохимическом анализаторе стандартными наборами, экскрецию кальция и фосфора с мочой (Са/креатинин, Р/ креатинин).

Использовался рентгеновский двухэнергетический костный денситометр Stratos (DMS, Франция) с целью оценки минеральной плотности костной ткани (МПКТ) поясничного отдела позвоночника и проксимального отдела бедренной кости. Результаты оценки МПКТ по денситометрии интерпретировались следующим образом: при значениях МПКТ до «-1 SD» – нормальные показатели; значения МПКТ от «-1 SD» до «-2,5 SD» – остеопения; снижение МПКТ более чем на «-2,5 SD» – остеопороз.

Статистический анализ проводился с использованием лицензионного программного пакета Statistica 10.0. для Windows (StatSoft, США).

Результаты. Оценка плотности костной ткани, по данным рентгенологической денситометрии, показала, что проявление остеопенического синдрома выявлялось у 46,1 % обследуемых виброопасных профессий и у 29,2 % контрольной группы, явления остеопороза отмечены в 13,2 и 8,3 % случаев соответственно.

Установлено, что значения Т- и Z-показателей у рабочих, контактирующих с вибрацией, в 1,5 раза ниже, чем в контрольной группе, и не имеют существенного отличия по силе воздействия на область поясницы или большеберцовой кости.

Средние значения Т- и Z-критериев в основной группе менее -1,0, что оценивается как остеопенический синдром.

Оценка показателей кальций-фосфорного обмена выявила достоверное повышение уровней $Ca_{общ.}$ и $Ca_{ион.}$ у работников виброопасных профессий с нормальной МПКТ, по сравнению с группой контроля. Лица основной группы со сниженной МПКТ имели уровни $Ca_{общ.}$ и $Ca_{ион.}$ ниже референсных значений на фоне достоверного увеличения экскреции кальция с мочой.

Установленная прямая корреляционная связь между содержанием кальция в крови и *t*-критерием ($r = 0,5$ $p < 0,05$), выявленная у контактирующих с вибрацией, свидетельствовала о влиянии отрицательного кальциевого баланса в формировании снижения МПКТ.

Значения фосфора в группах сравнения изменялись в пределах нормальных величин. При этом у рабочих виброопасных профессий снижение МПКТ сопровождалось повышением значения фосфора в крови в пределах нормальных показателей.

Оценка показателей ремоделирования костной ткани указывала на высокие концентрации С-концевого телопептида сыворотки и катепсина К у рабочих виброопасных профессий, достоверно значимые по сравнению с данными контрольной группы ($p < 0,005$). Воздействие вибрационного фактора приводило к снижению концентрации КЩФ у рабочих промышленных предприятий, а также остеокальцина, который является специфическим маркером активности остеобластов, принимая участие в связывании кальция и гидроксиапатита с коллагеном внеклеточного матрикса. Снижение концентрации КЩФ и ОК в основной группе отражает замедленные темпы остеогенеза при воздействии производственной вибрации.

Повышение уровня β-CrossLaps у лиц основной группы – маркера костной резорбции, увеличивает риск развития остеопенических состояний и остеопороза, формирование костно-мышечной патологии у рабочих виброопасных профессий.

Наиболее специфичным маркером резорбтивной активности остеокластов является протеолитический фермент катепсин К, запускающий остеогенную дифференцировку фибробластов и гладкомышечных клеток [3]. Результаты исследования установили статистически значимое увеличение уровня катепсина К, что указывает на ускоренный темп резорбции костной ткани у рабочих виброопасных профессий, по сравнению с лицами контрольной группы ($p < 0,001$).

В основной группе выявлена умеренная обратная корреляционная связь между стажем работы и концентрацией КЩФ ($r = –0,34$; $p = 0,042$); стажем работы и концентрацией ОК ($r = –0,41$; $p = 0,029$), средняя прямая корреляционная связь между стажем работы, концентрацией β-CrossLaps ($r = 0,58$; $p = 0,012$) и катепсином К ($r = 0,64$; $p = 0,002$).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что производственная вибрация, угнетая процессы костеобразования и усиливая костную резорбцию, способствует снижению МПКТ и формированию остеопенического синдрома и остеопороза. Это обусловлено замедлением костного ремоделирования, изменением активности остеобластов и остеокластов, смещением баланса между резорбцией и образованием кости в сторону резорбции. Раннее выявление нарушений ремоделирования костной ткани возможно лишь при проведении лабораторного мониторинга с определением специфических маркеров костной резорбции и костеобразования, а также показателей кальций-фосфорного обмена.

Выводы:

1. Воздействие производственной вибрации является фактором риска нарушения кальций-фосфорного обмена и костного метаболизма, что проявляется повышением уровня $Ca_{общ.}$ и $Ca_{ион.}$ в крови, снижением уровня маркеров остеогенеза (концентрации КЩФ и остеокальцина) и повышением концентрации маркеров резорбции костной ткани (β-CrossLaps и катепсин К).

2. Замедление темпов костеообразования и активация резорбции костной ткани у рабочих виброопасных профессий приводит к снижению МПКТ, повышая риск формирования остеопении и остеопороза.

3. Установленная взаимосвязь между показателями костного метаболизма и стажем работы свидетельствует о необходимости ранней диагностики и мониторинга остеопенических состояний у стажированных работников виброопасных профессий.

Список литературы

1. Вербовой А.Ф., Пашенцева А.В., Шаронова Л.А. Остеопороз: современное состояние проблемы // Терапевтический архив. – 2017. – № 5. – С. 90–97.

2. Остеопороз и его последствия в аспекте демографических прогнозов ожидаемой продолжительности жизни населения / В.Е. Ершов, С.С. Родионова, А.В. Кривова, В.П. Захаров // Верхневолжский медицинский журнал. –2019. – Т. 18, № 3. – С. 7–11.

3. A putative role for cathepsin K in degradation of AA and AL amyloidosis / C. Rocken, B. Strix, D. Bromme [et al.] / Am. J. Pathol. – 2001. – Vol. 158, № 3. – P. 1029–1038. DOI: 10.1016/S0002-9440 (10) 64050-3

4. Algorithm for the Use of Biochemical Markers of Bone Turnover in the Diagnosis, Assessment and Follow-Up of Treatment for Osteoporosis / M. Lorentzon, J. Branco, M.L. Brandi [et al.] // Adv. Ther. – 2019. – Vol. 36, № 10. – P. 2811–2824. DOI: 10.1007/s12325-019-01063-9

5. Bone turnover markers: Emerging tool in the management of osteoporosis / S. Shetty, N. Kapoor, J.D. Bondu [et al.] // Indian J. Endocrinol. Metab. – 2016. – Vol. 20, № 6. – P. 846–852. DOI: 10.4103/2230-8210.192914

6. Bone Turnover in Young Adult Men: Cross-Sectional Determinants and Associations With Prospectively Assessed Bone Loss / C. Verroken, H.-G. Zmierczak, S. Goemaere [et al.] // J. Bone Miner. Res. – 2018. – Vol. 33, № 2. – P. 261–268. DOI: 10.1002/jbmr.3303

7. Chubb S.A.P. Measurement of C-terminal telopeptide of type I collagen (CTX) in serum // Clin. Biochem. – 2012. – Vol. 45, № 12. – P. 928–935. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2012.03.035

Психологические аспекты помощи пациентам с профессиональными заболеваниями

Д.М. Лазгиева[1], А.Д. Трубецков[2]

[1] ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского»,
[2]Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Саратов, Россия

Специалисты в области медицины труда изучают вопросы, касающиеся профессионального заболевания, и большее внимание уделяют лечению, профилактическим и реабилитационным мероприятиям. Значительно меньше внимания уделяется психосоциальным проблемам пациентов с профессиональными заболеваниями и их влиянию на жизнедеятельность индивидов. Несомненно, к проблеме профессионального заболевания необходимо подходить комплексно, определяя не только этиологическую составляющую, но и социально-психологические моменты, влияющие на течение профессионального заболевания и, соответственно, дальнейшую социализацию. Учитывая комплексный подход к изучению данной проблемы, можно установить, что цель настоящего исследования состоит в выявлении психологических аспектов помощи пациентам с установленными случаями профессиональных заболеваний.

Ключевые слова: профессиональное заболевание, психологические аспекты, тревога, депрессия, копинг-стратегии, отношение к болезни.

Необходимость не только медицинской, но и социальной и психологической помощи при самых различных заболеваниях общепринята. Существуют исследования, направленные на изучение влияния профессионального воздействия на психологическое здоровье. Так, известно, что депрессивные и тревожные тенденции, дисгармония в семье, низкий уровень социальной поддержки являются важными факторами, приводящими к истощению, чувству разочарования и нейротизму [9, 12, 13]. Психотерапия данных феноменов направлена на повышение социально-психологической компетентности людей. Психологическая помощь для работников вредных производств заключается в проведении психокоррекционных и психотерапевтических мероприятий. Здесь речь идет как об индивидуальных, так и о групповых занятиях, направленных на различные стороны личности, в частности, на снижение уровня тревоги и депрессии, адекватное взаимодействие членов семьи и многое другое. При изучении профессионального заболевания важно акцентировать внимание не только на этиологии, но и на психосоциальной составляющей, которая включает в себя особенность дальнейшей социализации больных, распределение их ресурсов, включая материальную сторону этого вопроса [4]. Для пациентов с профессиональными заболеваниями детально разработан государственный пакет социальной помощи, который включает ежемесячные денежные выплаты, лекарственные препараты, путевки на санаторно-курортное лечение для профилактики основных заболеваний [7]. Однако после установления факта профзаболевания и получения социальных гарантий (эффективность которых также об-

суждается) вопросы необходимости психологической помощи слабо разработаны. В доступной нам литературе поднимается вопрос о качестве жизни, которое представляет собой самооценку состояния и самочувствия. Известно, что качество жизни у людей с профессиональными заболеваниями взаимосвязано с личностными и психосоциальными особенностями, такими как защитные механизмы, внутренние конфликты, социальная фрустрация. При том, что, например, у людей с вибрационной болезнью высокий уровень тревоги и чувствительности, эмоциональное состояние и жизненная активность характеризуются неустойчивостью и низким уровнем. Помимо этого, чем тяжелее профессиональное заболевание, тем негативнее его влияние на жизнедеятельность пациентов; также доказано, что возраст является значительным фактором влияния на психосоциальный статус больных [1, 3–5]. В связи с этим целью настоящего исследования является выявление психологических аспектов помощи пациентам с установленными случаями профессиональных заболеваний.

Материалы и методы. Проведено одномоментное сплошное исследование пациентов, госпитализированных в клинику профессиональных заболеваний с уже установленными ранее профессиональными заболеваниями. Обследован 51 человек, из них – 45 мужчин и 6 женщин, средний возраст составил 55,72 г., средний срок после установления заболевания – 5,41 г. (колебался от полугода до 17 лет). Установленные профессиональные заболевания: вибрационная болезнь от воздействия общей и смешанной вибрации (29,41 %), пневмокониоз (15,69 %), радикулопатия (11,76 %), хронический бронхит (9,80 %), ХОБЛ (7,84 %), бронхиальная астма (5,88 %), силикоз (5,88 %), дорсопатия (5,88 %), нейросенсорная тугоухость (3,92 %), плечелопаточный периартроз (1,96 %), бруцеллёз (1,96 %). Использованы такие методы, как госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS), которая определяет уровень выраженности тревоги и депрессии, «ТОБОЛ» – клиническая тестовая методика, направленная на диагностику типа отношения к болезни, а также способы совладающего поведения [8, 10, 14]. Последние предназначены для определения копинг-механизмов, которые направлены на преодоление трудностей в психической деятельности. Копинг-стратегии – это способы деятельности, помогающие адаптироваться в сложной ситуации и удержать психологическое равновесие.

Результаты. При проведении исследования и экспресс-оценки уровня тревоги и депрессии у 56,86 % опрашиваемых было выявлено отсутствие тревожных и депрессивных тенденций. Субклинический уровень тревоги зафиксирован у 17,65 % испытуемых, а также 17,65 % опрошенных имели выраженный уровень депрессии. У 7,84 % респондентов выражены признаки как тревоги, так и депрессии. Процент утраты трудоспособности, а значит и размер социальных выплат, у 63,64 % опрошенных с наличием тревоги и депрессии составляет 30 %. У 27,27 % таких респондентов процент утраты составляет от 40 до 70. У оставшихся 9,09 % опрошенных он составляет 20,00 %. Помимо этого, у 77,27 % опрошенных с наличием тревоги и депрессии длительность после установления профессионального заболевания составляет менее 10 лет. В процессе исследования пациенты, имеющие субклинический уровень выраженности тревоги и депрессии, поднимали вопросы, касающиеся семьи, будущего и сопутствующего, на их взгляд, одиночества и приближающейся смерти. Полученные результаты свидетельствуют о том, что выраженная степень тревоги и депрессии связана с неудовлетворенностью семейными взаимоотношениями и экзистенциальным кризисом, то есть дискомфортом психо-

эмоционального состояния, который возникает в связи с переживанием вопросов смысла жизни. Данным респондентам рекомендуются психокоррекционные мероприятия, в частности, семейная и экзистенциальная психотерапии. Таким образом, можно предположить, что процент утраты трудоспособности и, следовательно, размер социальных выплат, а также срок установления профессионального заболевания влияют на наличие тревожных и депрессивных тенденций: чем меньше процент утраты трудоспособности (20 % и менее) и чем больше срок установления профессионального заболевания (более 10 лет), тем вероятность наличия тревоги и депрессии меньше.

В ходе диагностики типа отношения к болезни у 56,86 % испытуемых наблюдаются адаптивные типы отношения к профессиональному заболеванию, что свидетельствует об адекватной критике своего состояния. Интересно, что у 79,31 % опрашиваемых без признаков тревоги и депрессии отмечались адаптивные типы отношения, такие как гармоничный, анозогнозический и эргопатический, но при этом у 24,14 % таких опрошенных все же отмечается сенситивный тип реагирования. Неконструктивным типом отношения к болезни обладают оставшиеся 43,14 % испытуемых. Причем ведущим типом у неадаптивной категории является сенситивный (59,09 %), который говорит о ранимости, чувствительности и уязвимости обладателей. У 18,18 % опрошенных преобладает неврастенический тип, который характеризуется вспышками раздражения, нетерпеливости, болезнью по типу «раздражительной слабости»; у 9,09 % проявляется меланхолический тип – пессимизм в отношении окружающего мира, неверие в успех; эргопатический (4,55 %) – болезнь как способ получения выгоды, демонстративность с включением истерического компонента; ипохондрический (4,55 %) – стремление к демонстративному преувеличению болезненных субъективных симптомов в сочетании с неверием в выздоровление; и тревожный тип (4,55 %) – мнительность, беспокойство, угнетенность, заинтересованность в объективных результатах своего состояния. Выяснилось, что для лиц (63,16 %) с неадаптивным типом отношения к болезни характерным является механизм «принятие ответственности», для 48,00 % преобладающим является «планирование решения проблемы», а для 37,00 % – «самоконтроль». Из всех обследованных 26,00 % – это респонденты с деструктивным типом отношения к болезни и наличием тревоги и депрессии, у 30,77 % сенситивный тип отношения к болезни и выраженная степень тревоги. У 15,38 % также отмечается сенситивный тип отношения к болезни, но уже с выраженным уровнем депрессии. Тревога и депрессия отмечаются у 15,38 % респондентов с неврастеническим типом. Адаптивные типы отношения преобладают у 36,36 % опрошенных с выраженной тревогой и депрессией. Так, наиболее характерными типами отношения к болезни вне зависимости от уровня тревоги и депрессии являются гармоничный, анозогнозический, эргопатический и сенситивный, притом, что наиболее характерными копинг-механизмами являются «планирование решения проблемы», «положительная переоценка», «самоконтроль» и «поиск социальной поддержки».

При этом у 76,47 % респондентов выявлены неконструктивные копинг-стратегии, то есть механизмы, направленные на удержание психологического равновесия. Оказалось, что у 73,68 % опрошенных преобладает «самоконтроль», притом в этой группе у 50,00 % нет тревожных и депрессивных тенденций, а 32,14 % все же имеют тревогу. Не менее значимым является «планирование решения проблемы», так как обладают им 60,53 % опрошенных, причем из данной группы

у 63,64 % нет ни тревоги, ни депрессии. Стоит отметить, что механизм «принятие ответственности» также преобладает у 59,09 % больных, где 66,67 % опрошенных этой группы составляют респонденты без тревоги и депрессии, а у 33,33 % пациентов отмечается тревога. Копинг-стратегия «дистанцирование» характерна для 33,33 % респондентов с тревожными тенденциями. Неадаптивными стратегиями совладания обладают 93,33 % больных с вибрационной болезнью и 87,50 % с пневмокониозом. Помимо этого, 69,23 % лиц с неадаптивными механизмами являлись работниками шахт. Стаж работы у 92,31 % больных с неконструктивными стратегиями составляет от 15 до 40 лет, при этом у 84,62 % опрошенных длительность установления профессионального заболевания не превышает 10 лет. Это позволяет предположить, что долгое пребывание в шахте, стаж работы на вредном предприятии, длительность после установления профессионального заболевания, а также его природа могут способствовать возникновению неадаптивных механизмов. Таким образом, наличие выплат не гарантирует эффективность психологической защищенности. Адаптивные механизмы наблюдались лишь у 23,53 % опрошенных. Любопытно, что у респондентов с адаптивным типом отношения к болезни ведущими также являются «планирование решения проблемы», который характерен для 83,33 %, «самоконтроль» – он превалирует у 47,37 %, для 41,67 % – «положительная переоценка» и «принятие ответственности», которая характерна также для 41,67 % опрошенных. У 75,00 % опрошенных с адаптивными механизмами стаж работы составляет более 30 лет, причем 75,00 % респондентов находятся в возрасте старше 60 лет. У 56,86 % испытуемых адаптивными являются копинг-стратегии, тип отношения к болезни и уровень тревоги и депрессии. А у оставшихся 41,67 % преобладает выраженный уровень депрессивных тенденций.

В ходе беседы выяснилось, что есть респонденты, для которых тревожные и депрессивные тенденции вызваны нехваткой денежных средств. Пациенты пакету социальных услуг, а также санаторно-курортному лечению предпочитают денежные выплаты, это, в свою очередь, не позволяет регулировать профилактику. Помимо этого, уязвимыми для пациентов были темы «семья», «старость», «смерть», «одиночество». Возможно, подобное отношение к своему состоянию спровоцировано личностными качествами человека, неудовлетворенностью семейной жизнью, возрастными особенностями и соответствующей уязвимостью, в частности, страхом смерти и одиночества, что также может обусловливаться недостаточностью психолого-социальных мероприятий. Респонденты, имеющие дезадаптивную составляющую, показывали себя как людей ярких, общительных, экстравертированных, жизнелюбивых. Вероятно, в таких случаях включались защитные механизмы личности, направленные на ослабление тревоги, напряжения, беспокойства, и, соответственно, большую приспособляемость. Продуктивным будет проведение индивидуальной когнитивно-поведенческой психотерапии, которая базируется на том, что определенные типы поведения и соответствующие им признаки образуются из-за автоматических мыслей, привычных для индивида, и, как правило, не всегда конструктивных. С помощью когнитивно-поведенческой психотерапии можно провести психокоррекцию неконструктивных копинг-стартегий. Также проведение данного вида психотерапии рекомендуется использовать при наличии тревоги и депрессии, в последнем случае идет комплексная работа с врачом-психиатром. Относительно неконструктивного типа отношения к болезни терапевтическую работу следует проводить с личностными особенностями больного. Данные типы, доста-

точно устоявшиеся, не могут быть подвержены сильным изменениям, при проведении психотерапии речь будет идти о корректировке данных типов и, как следствие, более адаптивной жизнедеятельности.

Выводы:

1. У половины респондентов отсутствуют тревога и депрессия, а также они обладают адаптивным типом отношения к болезни.

2. «Самоконтроль», «планирование решения проблемы» и «принятие ответственности» являются преобладающими неконструктивными копинг-стратегиями и характерны для индивидов с отсутствием тревоги и депрессии. Данные стратегии, а также механизм «дистанцирование» являются ведущими у респондентов с тревожными тенденциями и характерны как для адаптивного, так неадаптивного типа отношения к болезни. Длительность установления профессионального заболевания не превышает 10 лет. В дальнейшем неадаптивные механизмы встречаются реже. Наличие неадаптивных механизмов предполагает проведение психокоррекционных мероприятий в первые годы установления профессионального заболевания.

3. На данном этапе проведения исследования зависимости от уровня тревоги и депрессии, типа отношения к болезни и копинг-стратегий не было выявлено. Это требует продолжения исследования для уточнения особенностей психологических проблем у пациентов с профессиональными заболеваниями и возможности их психологической коррекции.

Список литературы

1. Вибрационная болезнь у работников авиастроительного предприятия: факторы формирования, клинические проявления, социально-психологические особенности / М.В. Кулешова, В.А. Панков, М.П. Дьякович [и др.] // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 10. – С. 915–920. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920

2. Ивачев П.В., Чурилов Ю.С., Кузьмин К.В. Теория и практика социально-медицинской работы: уч. пособие. – Екатеринбург, 2007. – 256 с.

3. Качество жизни работников электролизного производства алюминия с профессиональной бронхолегочной патологией / Е.А. Абраматец, П.В. Казакова, М.П. Дьякович, Н.А. Павленко // Acta Biomedica Scientifica. – 2013. – № 3 (91). – С. 9–12.

4. Качество жизни лиц с профессиональной патологией от воздействия различных производственных факторов / М.П. Дьякович, В.А. Семенихин, П.В. Казакова [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 2. – С. 27–32.

5. Кытикова О.Ю., Гвозденко Т.А. Влияние хронической обструктивной болезни легких на качество жизни больных разных возрастных групп // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2015. – № 55. – С. 35–38.

6. Семенихин В.А., Дьякович М.П., Казакова П.В., Раудина С.Н. Особенности субъективной оценки качества жизни лиц с патологией профессионального генеза // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 2. – С. 32–37.

7. Портал государственных услуг Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: gosuslugi.ru (дата обращения: 04.08.2022).

8. Психологическая диагностика отношения к болезни: пособие для врачей / Л.И. Вассерман, Б.В. Иовлев, Э.Б. Карпова, А.Я. Вукс // Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева. – СПб., 2005. – С. 3–32.

9. Association of occupational burnout and occupational exposure factors on psychological health among factory workers and miners: a propensity score analysis / Y. Lu, Z. Zhang, S. Gao [et al.] // Int. Arch. Occup. Environ. Health. – 2021. – Vol. 94, № 3. – P. 441–450. DOI: 10.1007/s00420-020-01587-6

10. Lazarus R.S., Folkman S. Coping Methods Questionnaire // Psychosom. Med. – 1993. – Vol. 55, № 3. – P. 234–247. DOI: 10.1097/00006842-199305000-00002

11. Low Back Pain Prevalence and Related Workplace Psychosocial Risk Factors: A Study Using Data From the 2010 National Health Interview Survey / H. Yang, S. Haldeman, M.-L. Lu, D. Baker // J. Manipulative Physiol. Ther. – 2016. – Vol. 39, № 7. – P. 459–472. DOI: 10.1016/j.jmpt.2016.07.004

12. Occupational burnout and its overlapping effect with depression and anxiety / K. Golonka, J. Mojsa-Kaja, M. Blukacz [et al.] // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2019. – Vol. 32, № 2. – P. 229–244. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01323

13. Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain / W.E. Hoogendoorn, M.N. van Poppel, P.M. Bongers [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2000. – Vol. 25, № 16. – P. 2114–2125. DOI: 10.1097/00007632-200008150-00017

14. Zigmond A.S., Snaith R.P. The hospital anxiety and depression scale // Acta Psychiatr. Scand. – 1983. – Vol. 67, № 6. – P. 361–370. DOI: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716

Социальные особенности овощеводов, связанные с выбором трудовой деятельности в постпенсионный период

Д.В. Мережко, А.Д. Трубецков

Саратовский медицинский научный центр гигиены
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровьюнаселения»,
г. Саратов, Россия

Представлены результаты исследования 218 женщин-овощеводов защищенного грунта предпенсионного и пенсионного возраста. Произведен анализ выбора трудовой деятельности в предпенсионный и постпенсионный периоды в зависимости от социальных особенностей овощеводов. Полученные данные позволяют выявить следующие закономерности: немодифицируемые социальные факторы могут оказывать существенное влияние на решение о трудовом долголетии работниц тепличных хозяйств, что в сопоставлении с модифицируемыми медико-физиологическими факторами может быть основой для создания программ для обеспечения трудового долголетия.

Ключевые слова: сохранение трудоспособности, пенсионный возраст, овощеводы, социальные факторы.

Последние годы во всем мире наблюдается рост числа лиц пожилого возраста, что является причиной нарастающих социальных, экономических и медицинских проблем. Это обусловливает актуальность разработки системы мер профилактики преждевременного старения [4]. По данным Росстата, на 1 января 2022 г. в зависимости от региона занятость населения старшего трудоспособного возраста (с 2021 г. мужчины в возрасте 61,5 г. и старше, женщины – 56,6 г. и старше) составляет от 15 до 22 % от числа лиц, занятых в трудовой деятельности [7]. Во многих странах данный показатель еще выше. В связи с этим представляется важным изучение медицинских и социальных особенностей состояния здоровья лиц пенсионного и предпенсионного возраста для сохранения активного долголетия.

Известно, что наиболее значимы показатели физического здоровья работника, которые существенно влияют на принятие решения о продолжении или завершении трудовой деятельности в специальности по достижению пенсионного возраста. При этом социальные факторы также влияют на трудоспособность, именно они определяют социальный и в ряде случаев медико-физиологический профиль в профессии [2, 9]. Особый интерес вызывает многофакторность причин, из-за которых человек предпенсионного или пенсионного возраста вынужден работать не по своей специальности, или вынужден уходить на менее оплачиваемую работу, или работать на должностях, не требующих высшего или среднего специального образования, что в ряде случаев негативно сказывается на моральном и материальном положении, его психическом и физическом здоровье [6].

В данном исследовании проведен анализ социальных особенностей женщин-овощеводов защищенного грунта, чья работа связана с воздействием вредных факторов различной природы, таких как неблагоприятные микроклиматические условия, воздействие пестицидов, тяжелый ручной труд [1, 8, 10, 11]. Согласно имеющимся в научной литературе данным, более 60 % тепличниц страдают хроническими заболеваниями систем кровообращения, дыхания, опорно-двигательного аппарата и соединительной ткани, мочеполовой системы, кожи и подкожной клетчатки, аллергическими заболеваниями, дисфункцией репродуктивной системы [3, 5, 11]. Однако часть из них сохраняет себя в профессии по достижении пенсионного возраста, часть увольняется, в том числе в довольно раннем возрасте, что связано, прежде всего, с наличием хронических заболеваний. В связи с этим целью настоящего исследования является выявление социальных аспектов, связанных с выбором и продолжением трудовой деятельности в постпенсионный и пенсионный периоды.

Материалы и методы. Проведено сплошное поперечное одномоментное исследование 218 женщин-овощеводов. Критериями включения в исследование был возраст – 5 лет и менее до предполагаемого выхода на пенсию, а также работающие пенсионеры. Всего в основное исследование включены 82 работницы. Из них предпенсионного возраста – 69 (84,14 %), работающих пенсионеров, продолжающих свою трудовую деятельность, – 13 (15,85 %). Работницам предпенсионного возраста дополнительно задавался вопрос об их планах на работу после достижения пенсионного возраста.

Были сформированы три группы исследования: 1) работающие пенсионеры, 2) лица предпенсионного возраста, желающие сохранить себя в специальности, и 3) лица предпенсионного возраста, не желающие продолжать трудовую деятельность. Средний возраст в группах составил: 57,1 ± 3,54; 47,5 ± 12,42; 49,02 ± 6,18 г. соответственно. Различия между 2-й и 3-й группами были незначительны. В 1-й группе средний возраст был существенно выше, что ожидаемо у работающих пен-

сионеров. Некоторая возможная систематическая ошибка связана с неминуемым оказанным влиянием на внесение в группы лиц, ставших пенсионерами до пенсионной реформы и после нее, что учитывалось при анализе материалов.

Результаты. В ходе обследования задавались вопросы по темам, которые предположительно могли определять решение о продолжении трудовой деятельности, связанным с условиями проживания, семейным положением и доходом респондентов. По данным опроса, в исследуемых группах подавляющее большинство лиц имело среднее специальное образование (рис. 1). При этом образование было чрезвычайно различным (от технического до торгового), часть обследованных никогда не трудилась по полученной специальности из-за отсутствия рабочих мест, часть уходила из специальности, преимущественно по финансовым соображениям.

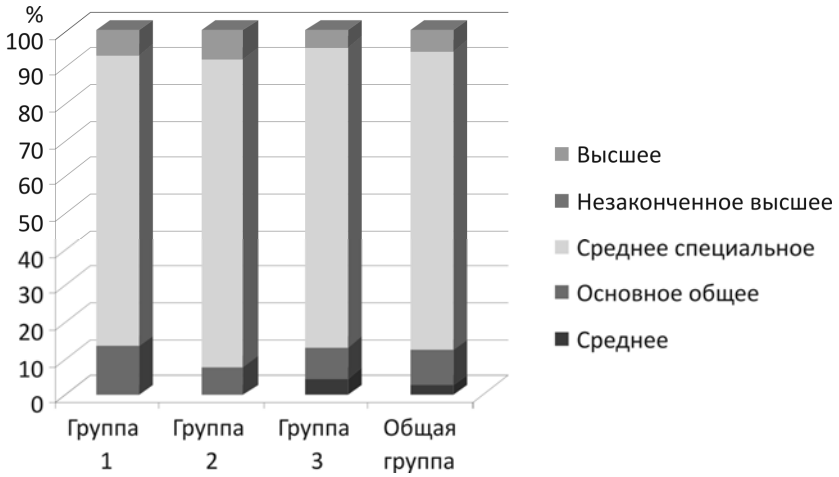


Рис. 1. Образование работниц в изучаемых группах

Во всех группах отмечен небольшой процент лиц с высшим образованием, которое также не было связано с настоящей профессией. Часть обследованных приходила на работу сразу после окончания 8 классов. Отметим, что для работы в профессии «овощевод» образование не требуется, и необходимые навыки работницы получали непосредственно в ходе трудовой деятельности. Специального обучения не осуществлялось, и наиболее опытные и стажированные работницы пересказывали ситуации, связанные помощью недавно поступившим на работу коллегам.

Подавляющее число работниц проживает в собственных квартирах (рис. 2). Достаточно странным представляется то, что арендуют жилье и проживают в домах без удобств лица, входящие только в 3-ю группу. При этом в этой же группе выявлен наибольший процент лиц, имеющих свой дом с удобствами. То есть необходимость арендовать жилье часто не является препятствием для прекращения трудовой деятельности. Возможно, это связано с помощью членов семьи или ориентацией на дальнейшую самореализацию в другой области.

Условия проживания (собственная квартира) влияли на то, что большинство опрошенных не имело домашнего хозяйства. И, если в первых двух группах указывается на наличие в небольшом проценте случаев огорода (13 и 23 % соответственно), то 61 % в третьей группе кроме огорода разводят домашних животных, преимущественно птицу (рис. 3). Это может быть основанием для отмеченного ранее

решения о выходе на пенсию и ориентации на содержание собственного хозяйства. Следует полагать, что работа в личном приусадебном хозяйстве планируется как занятие и источник дополнительного дохода после выхода на пенсию.

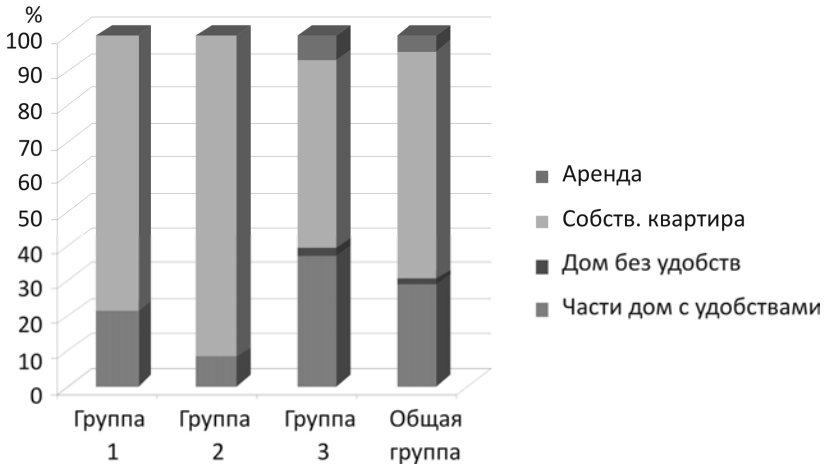


Рис. 2. Условия проживания работниц в изучаемых группах

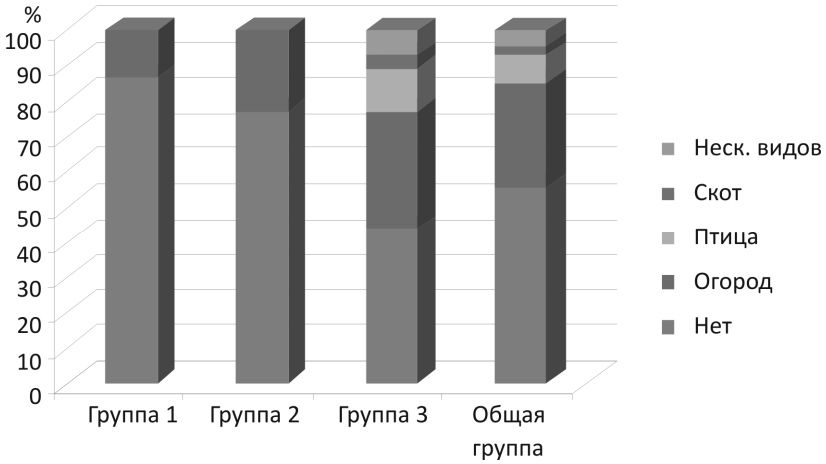


Рис. 3. Наличие домашнего хозяйства у работниц в изучаемых группах

Семейное положение имело существенные различия в изучаемых группах (рис. 4). Самый большой процент замужних женщин – среди работающих пенсионеров (73 %). Одновременно среди лиц, планирующих продолжение работы, 31 % находятся в разводе и 15 % – вдовы, а максимальное число одиноких женщин – во второй группе. Интерпретация данного момента не очевидна, и, вероятно, следует ожидать смену принятия решений при достижении пенсионного возраста. В данной ситуации возможен приоритет медицинских показателей.

По количеству детей большинство опрошенных – также среди работающих пенсионеров – более половины из них имеют 2 и 3 ребенка. Учитывая возраст детей, можно предполагать, что они могут оказывать материальную и другую по-

мощь, однако именно такие работники сохраняют свои места в профессии (рис. 5). Бездетность работницы отмечали в единичных случаях.

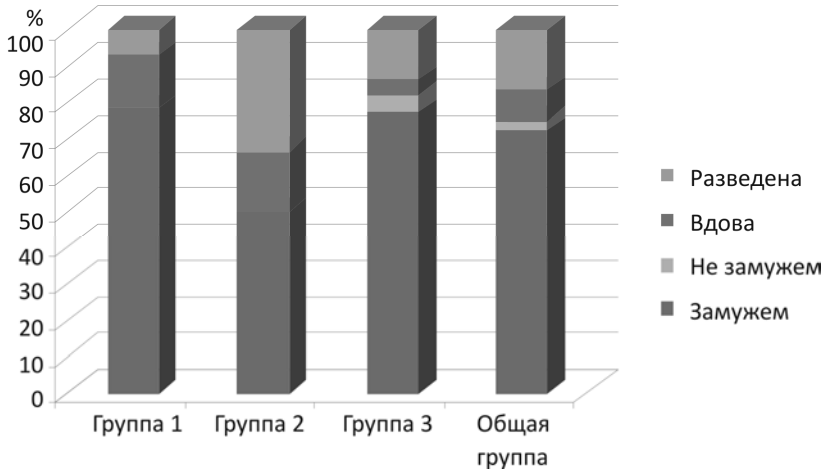


Рис. 4. Семейное положение работниц в изучаемых группах

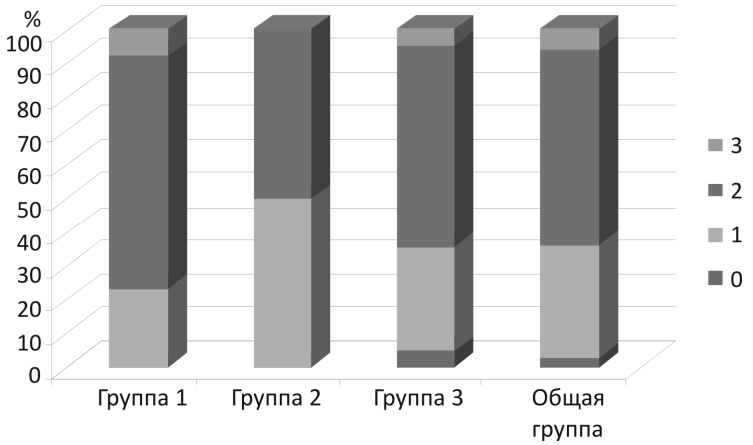


Рис. 5. Количество детей у работниц в изучаемых группах

Совместность проживания может также оказывать влияние на трудоспособность, однако существенных различий между группами выявлено не было. Следует предполагать как возможность помощи в домашних делах, так и, напротив, дополнительные домашние обязанности (рис. 6).

Очевидно, что в связи с возрастными различиями пенсионеры чаще проживают с внуками, во второй группе чаще, чем в других, респонденты указывали на одиночное проживание. Именно у них также отмечена большая частота разводов.

Очевидным мотивирующим для трудовой деятельности фактором является необходимость в материальном доходе. Важно, что на отсутствие материальных сложностей и возможность покупать вещи длительного пользования чаще всех указывали работающие пенсионеры. При этом среди них имелись лица, которым дохо-

да хватало только на еду. Из третьей группы 67,5 % респондентов указали, что им хватает только на еду и одежду, притом, что 5,6 % из них имеют дополнительные доходы (рис. 7).

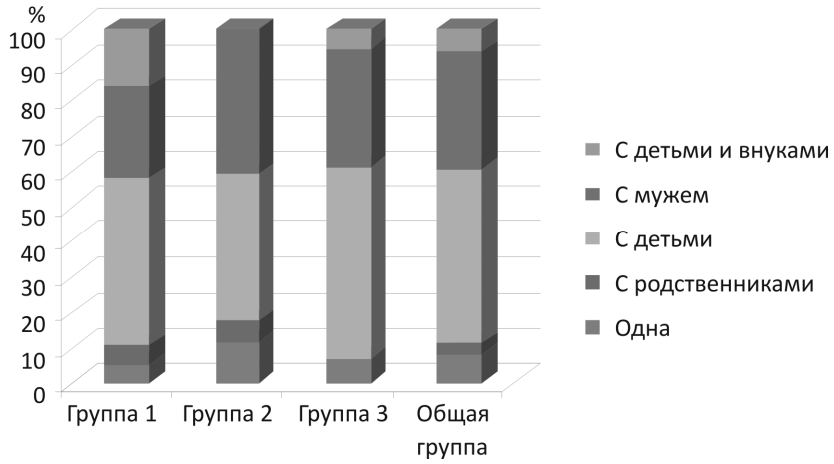


Рис. 6. Состав семьи работниц в изучаемых группах

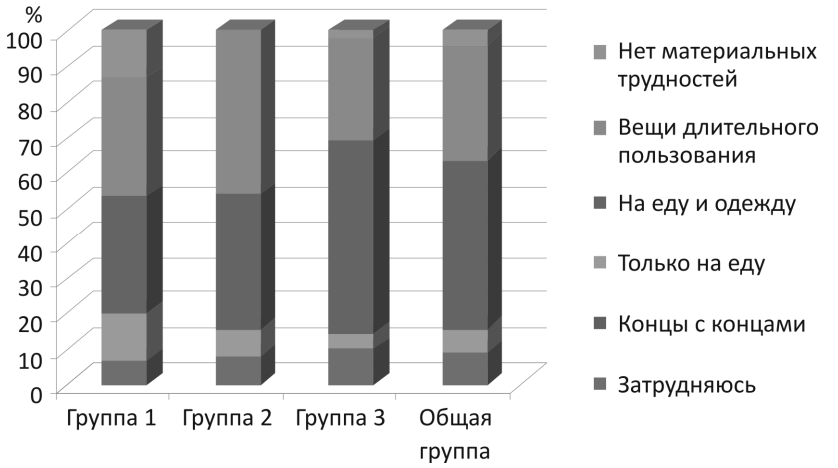


Рис. 7. Самооценка материального достатка у работниц в изучаемых группах

В следующем вопросе респондентам предлагалось выбрать один из предложенных вариантов как самый существенный источник дополнительного дохода (рис. 8). Ожидаемо, что среди работающих пенсионеров им оказалась пенсия по возрасту, а также пенсия супруга, которая очевидно превышала собственную. Планируют продолжать работать (73 %) те, у кого нет дополнительных источников дохода.

Таким образом, в группе овощеводов защищенного грунта существуют определенные социальные различия между работающими пенсионерами и лицами предпенсионного возраста с различными планами на продолжение трудовой деятельности в дальнейшем. Социальные факторы следует отнести к немодифицируемым, в отличие от медико-физиологических, на которые можно воздействовать

в ходе профилактических и лечебных мероприятий. Однако их взаимодействие представляется также важным, что потребует дополнительного исследования. Так как социальные факторы могут в большей или меньшей степени мотивировать на трудовое долголетие, то их можно использовать для ориентации работников на здоровый образ жизни, раннее обращение к медицинским работникам, повышение комплаентности при выполнении рекомендаций.

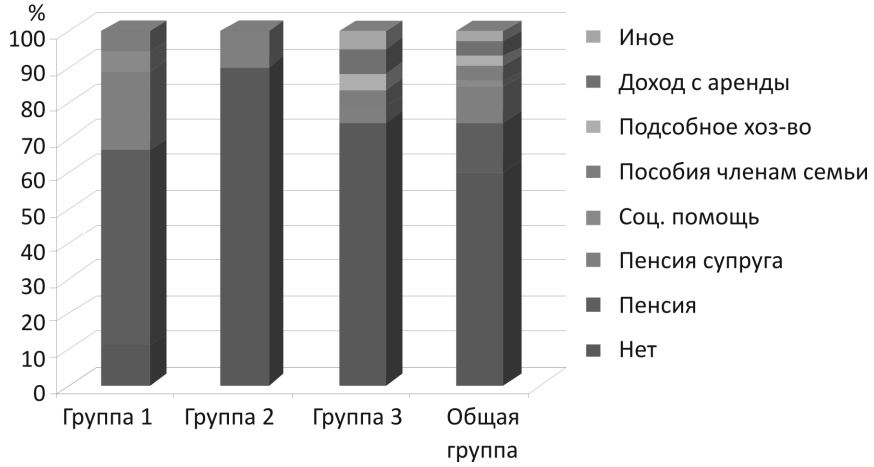


Рис. 8. Дополнительные источники дохода у работниц в изучаемых группах

Представляется значимым сопоставление выявленных тенденций в различных специальностях для прогнозирования уровня здоровья людей пенсионного и предпенсионного возраста, а также процессов старения населения в целом как для России, так и для мировых экономических и геополитических процессов.

Выводы:

1. Социальные факторы существенно влияют на решение работниц о сохранении себя в специальности овощевода закрытого грунта.

2. Учет взаимосвязи социальных и клинико-медицинских факторов может способствовать эффективности мероприятий по сохранению работниц в профессии при достижении пенсионного возраста.

Список литературы

1. Априорная оценка профессионального риска здоровью овощеводов защищенного грунта / А.Г. Мигачева, Т.А. Новикова, В.Ф. Спирин, Д.М. Шляпников // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 3. – С. 101–109. DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.12

2. Бутуева З.А. Пожилой человек в современной России: проблемы продолжения трудовой деятельности // Вестник Бурятского государственного университета. – 2008. – № 5. – С. 210–215.

3. Влияние условий труда на состояние здоровья рабочих в тепличном производстве / О.В. Клепиков, Н.П. Мамчик, Н.В. Габбасова, Ю.С. Калашников // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 7. – С. 21– 25.

4. Гендерные и возрастные особенности и тенденции распространения ожирения среди взрослого населения России в 1994–2012 гг. / А.Н. Мартинчик, А.К. Батурин, Э.Э. Кешабянц, Е.В. Пескова // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84, № 3. – С. 50–57.

5. Риск здоровью операторов при применении пестицидов в сельском хозяйстве / И.В. Березняк, В.Н. Ракитский, Е.Н. Михеева, И.В. Ярыгин // Здравоохранение Российской Федерации. – 2017. – Т. 61, № 4. – С. 185–190. DOI: 10.18821/0044-197X-2017-61-4-185-190

6. Романов П.В. Ярская-Смирнова Е.Р. Социология профессий: аналитические перспективы и методология исследований. – М.: ООО «Вариант», 2015. – 234 с.

7. Росстат. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 24.08.2022).

8. Система управления профессиональным риском здоровью овощеводов защищенного грунта / Т.А. Новикова, Г.А. Безрукова, А.Г. Мигачева, В.Ф. Спирин // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 457–463. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-457-463

9. Храпылина Л.П. Медико-социальные факторы, влияющие на продолжение профессиональной деятельности лиц пожилого возраста и увеличение возраста выхода на трудовую пенсию // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. – 2012. – № 2. – С. 36–40.

10. Яценко Л.А., Борисов Н.А., Клепиков О.В. Гигиеническая оценка факторов профессионального риска для здоровья работников тепличного хозяйства // Санитарный врач. – 2018. – № 10. – С. 45–54.

11. Яцына Д.С., Борисова Л.С. Оценка состояния здоровья работников тепличного хозяйства // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 103–113.

Оценка нейрогуморальной регуляции при коррекции функционального состояния организма с помощью тренинга с биоуправлением у работников с высокой напряженностью труда

В.П. Телюпина, М.М. Некрасова

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профессиональной патологии»,
г. Нижний Новгород, Россия

Коррекция функционального состояния на основе биологической обратной связи способствует повышению адаптационных возможностей организма. Целью работы стало определение эффективности и оптимизация метода улучшения физиологических параметров на основе биоуправления по частоте сердечных сокращений у лиц, работающих в условиях высокой напряженности. В ходе проведения курса БОС-процедур по снижению частоты сердечных сокращений (ЧСС) были достигнуты достоверные различия ($p < 0,05$) по показателям ЧСС, основным параметрам нейрогуморальной регуляции сердечного ритма. В дина-

мике наблюдалась положительная тенденция к снижению индекса напряжения регуляторных систем, что является положительным результатом БОС-терапии.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, напряженность труда, БОС-терапия, саморегуляция, вариабельность сердечного ритма.

Одним из современных и перспективных методов восстановительной медицины является технология коррекции функционального состояния на основе биологической обратной связи (БОС), ориентированная на восстановление нарушенных функций и мобилизацию резервных возможностей организма [1, 12, 15]. БОС-терапия зарекомендовала себя как действенный неинвазивный метод немедикаментозного восстановления на стыке медицины, физиологии и психотерапии, практически не имеющий противопоказаний к применению [9, 17]. В методе на основе БОС человек посредством различных технических средств получает информацию о текущем состоянии своего организма. В соответствии с величиной регистрируемого показателя испытуемому предъявляют определенные звуковые или световые сигналы обратной связи. Цель метода – научить человека волевым усилием регулировать физиологические параметры своего организма в заданном направлении, ориентируясь на воспринимаемые светозвуковые воздействия. Тренировки ведут к тому, что эта связь закрепляется, и даже в обычной обстановке, получив соответствующие сигналы от рецепторов, мозг начинает автоматически нормализовать нарушенные функции организма [19].

БОС-тренинг с контролем по электрокардиограмме (ЭКГ), направленный на снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС), позволяет нормализовать вегетативный баланс за счет повышения активности парасимпатического отдела или снижения активности симпатического отдела вегетативной нервной системы. Он применяется для снижения артериального давления (АД) при гипертонии, сочетающейся с тахикардией, заболеваниях кардиореспираторной системы, снижении уровня защитных сил организма, при стрессовых реакциях и психоэмоциональном перенапряжении, сопровождающихся нарушением вегетативного баланса, а также при завышенных значениях ЧСС в состоянии покоя. Его использование способствует повышению адаптационно-приспособительных механизмов, повышению работоспособности и улучшению общего самочувствия [3, 4, 14].

Цель исследования – определение эффективности и оптимизация метода коррекции функционального состояния организма на основе БОС по ЧСС.

Материалы и методы. В течение трех месяцев на добровольцах было проведено лонгитюдное исследование с использованием методики БОС для приобретения навыка релаксации, коррекции саморегуляции и функционального состояния путем снижения ЧСС [15]. Реализован курс индивидуальных тренинговых занятий с использованием биологической обратной связи. Схема эксперимента состояла из семи последовательных блоков.

Первый этап – когнитивный, на котором пациенту для повышения мотивации объяснялась цель курса процедур, сущность методики и принцип действия компьютерной системы с БОС. Затем проводилось тестирование для определения уровня эмоциональной дезадаптации (показатель УЭД) [5, 7].

Второй этап включал в себя сбор антропометрических данных (рост, вес, окружность талии) с измерением артериального давления и сатурации кислорода.

На третьем этапе регистрировалась исходная ЭКГ с помощью комплекса «Полиспектр-Ритм» с использованием электрокардиографа «ВНС-Ритм». Проводи-

ли измерение вариабельности сердечного ритма (ВСР) в течение 5 мин и исследовали две группы параметров ВСР: временные и частотные, по которым оценивали активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [2, 10, 16, 21]. Из основных временных показателей ВСР анализировали: квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD, мс); стандартное отклонение массива *RR*-интервалов (SDNN, мс); процент пар кардиоинтервалов, различающихся более чем на 50 мс от общего числа в полном массиве (pNN50, %); коэффициент вариации (CV, %); *RR* min, *RR* max, *RRNN*. Из частотных показателей анализировали: TP, HF, LF, VLF, LF/HF, а также величины волновой структуры синусового ритма: % VLF, % LF, % HF [5, 18, 19]. Проведено определение основных характеристик вариационной кривой: *Mo* (мода) – наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряде значение кардиоинтервала, *AMo* % (амплитуда моды) – число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в % к объему выборки; *M* (математическое ожидание); ИВР (индекс вегетативного равновесия); ВПР (вегетативный показатель ритма); ПАПР (показатель адекватности процессов регуляции). По данным вариационной пульсометрии, согласно методике Р.М. Баевского [2], вычислялся индекс напряжения регуляторных систем (ИН, или стресс-индекс), характеризующий активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального контура регуляции [11, 13].

Четвертым этапом являлся основной блок эксперимента, который включал в себя проведение терапии с биологической обратной связью на программно-аппаратном комплексе «БОС-Реакор» (НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог) с программно-методическим обеспечением, включающим широкую библиотеку процедур, направленных на коррекцию психофизиологических параметров организма, наиболее подверженных стрессовому воздействию. В течение 17 мин испытуемому необходимо было проходить БОС-процедуру, выполняя предъявляемые психофизиологические задания по саморегуляции. Мониторинг показателей организма проводили по электрокардиограмме. Для снятия ЭКГ использовали первое стандартное ЭКГ-отведение (электроды на внутренней стороне правой и левой руки в области предплечий), при котором качественно выделялись кардиоциклы по R-зубцу. На первом уровне процедуры пациент пробует произвольно изменять ритм ЧСС как в сторону повышения, так и понижения. Задача этого этапа – активизировать механизмы саморегуляции и объективизировать эффективность различных приемов волевого изменения сердечного ритма. На втором уровне процедуры испытуемому предлагается постепенно снижать ЧСС с закрытыми глазами, контролируя успешность своих усилий по изменению громкости музыкального фрагмента и интенсивности шума. На третьем уровне пациент решает ту же задачу с открытыми глазами, очищая картинку от искажений и просматривая в случае успеха видеоряд с игровым образом. На каждом рабочем этапе испытуемый решает самостоятельные, не связанные между собой задачи. В процедуре использована простая графическая форма предъявления сигнала ЧСС.

После окончания процедуры БОС – ЧСС в обратном порядке проводилось измерение ВСР, АД и сатурации кислорода в крови, выполнялось тестирование УЭД для определения уровня эмоциональной дезадаптации, что являлось 5, 6-м и 7-м блоками эксперимента.

После завершения курса процедур с БОС оценивалась эффективность методики. Для статистического анализа результатов использовался пакет программ Statistics.

При оценке данных, имеющих распределение, отличное от нормального, использовались методы непараметрической статистики, вычислялись медиана (*Me*) и интерквартильный интервал между 25-м и 75-м перцентилем. Для оценки достоверности, сравнения средних в двух зависимых выборках использовался критерий Вилкоксона.

Результаты. Психодиагностическое обследование методом БОС до начала коррекционных процедур выявило избыточный парасимпатический тонус (HF = 3410 мс^2, LF = 1355 мс^2, LF/HF = 0,393). Перед испытуемым ставилась задача по снижению частоты сердечных сокращений. Уже после второго тренингового занятия испытуемый достигает этого, что объективно отражается на усредненных значениях за контролируемый период – HF = 2454 мс^2, LF = 3354 мс^2, LF/HF = 1,37. Достижение данного состояния сопровождалось субъективными ощущениями облегчения, появления бодрости, снижением уровня беспокойства.

Достоверные изменения в результате курса БОС-процедур были достигнуты по некоторым основным параметрам вариабельности сердечного ритма (таблица, рис. 1). Частота сердечных сокращений (ЧСС), являющаяся целевым параметром в проводимом тренинге, с 82 ударов в минуту (умеренное учащение сердечного ритма) снизилась до 75 ударов в минуту (норма). Общая мощность спектра (TP), которая отражает суммарное влияние всех звеньев регуляции сердечного ритма, повысилась, что, в свою очередь, свидетельствует о выходе организма из состояния напряжения. После коррекции методом БОС возросло значение показателей: LF (мощность медленных волн), *RR*max (максимальная продолжительность сердечного цикла), SDNN (стандартное отклонение продолжительности нормальных *RR*-интервалов, отражает конечный результат многочисленных регуляторных влияний на синусовый ритм сложившегося баланса между парасимпатическим и симпатическим отделами вегетативной нервной системы) и *RRNN* (средняя продолжительность нормальных *RR*-интервалов).

Показатель амплитуды моды – индекс централизации (*AMo* %) снизился, что говорит о переходе на автономный, более адаптационный уровень управления сердечным ритмом [2]. Индекс напряжения регуляторных систем (ИН) в ходе процедур из нормотонических значений перешел в область ваготонических значений, что говорит о нормализации баланса регуляторных систем в организме [2, 8].

Средние показатели систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления, HF, VLF, LF/HF и RMSSD после курса БОС значимо не изменились. До курса они составляли: САД = 104 ± 2,71; ДАД = 74 ± 3,83; HF = 2286 ± 511,53; VLF= 1014 ± 387,61; LF/HF = 0,878 ± 0,22 и RMSSD = 47 ± 7,67. После оздоровительных занятий: 103 ± 1,60; 70 ± 1,20; 2443 ± 295,78; 1747 ± 919,26; 0,832 ± 0,17; 52 ± 5,54 соответственно.

Достоверные изменения в динамике основных показателей нейрогуморальной регуляции сердца ($p < 0,05$)

Параметр ВСР	До процедуры	После процедуры
ЧСС, уд./мин	82 ± 3,31	75 ± 2,74
AMo, %	27,3 ± 2,28	25,1 ± 1,81
SDNN, мс	65 ± 4,60	73 ± 8,23
ИН, усл. ед.	82,7 ± 10,34	52,5 ± 5,98

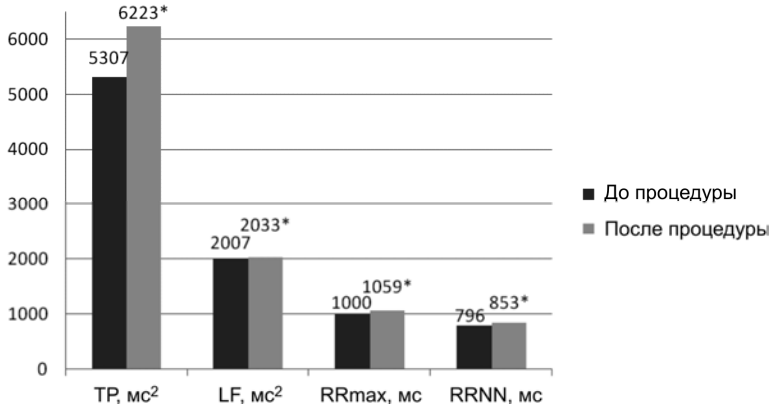


Рис. 1. Изменение основных спектральных и временных показателей ВСР до и после проведения БОС-терапии (* – $p < 0,05$)

При анализе результатов оценки эмоционального самочувствия УЭД до и после проведения БОС-процедуры было выявлено достоверное ($p = 0,043$) снижение показателя уровня эмоциональной дезадаптации после каждой процедуры и в целом после прохождения курса по четырем базисным личностным потребностям: а) в безопасности (с уровня патологического напряжения – 2 балла, до физиологической релаксации – 0,2 балла); б) в независимости (с уровня патологического напряжения – 2 балла, до физиологической релаксации – 0 баллов); в) в достижении (с уровня патологической релаксации – 2,5 балла, до физиологической релаксации – 0 баллов); г) в единении (с уровня физиологического напряжения – 1 балл, до физиологической релаксации – 0,1 балла).

Корелляционный анализ показал, что уровень исходного эмоционального состояния, зарегистрированный перед выполнением БОС-процедуры, влияет как на фоновые, так и на итоговые значения параметров нейрогуморальной регуляции ВСР (рис. 2).

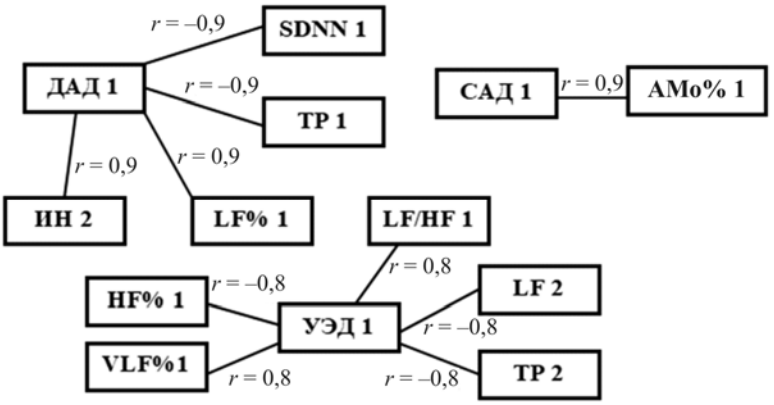


Рис 2. Корреляционные соотношения уровней артериального давления и уровней эмоциональной дезадаптации (УЭД) от ряда параметров ВСР у обследуемого Г. при проведении сеансов БОС-терапии (по коэффициенту корреляции Спирмена – r, $p < 0,05$): *1* – параметры исходного функционального состояния; *2* – параметры после проведения сеанса

Характер зависимости указывает, что более высокий уровень эмоциональной дезадаптации перед сеансом оказывает негативное влияние на нейрогуморальную регуляцию и ассоциируется с более низкими значениями параметров ВСР, зарегистрированных при итоговых замерах.

Исходный уровень диастолического давления также может влиять на некоторые показатели нейрогуморальной регуляции, была обнаружена достоверная взаимосвязь с исходными параметрами ВСР – TP1 и SDNN1 и с итоговым значением индекса напряжения регуляторных систем (ИН 2).

На уровень САД оказывает влияние степень централизации управления сердечным ритмом, которая характеризуется показателем *AMo* %. Данная зависимость отражена и в работах других исследователей [10].

Выводы. В ходе проведения курса БОС-процедур по снижению ЧСС были достигнуты достоверные различия ($p < 0{,}05$) по ряду показателей ВСР, основным параметрам нейрогуморальной регуляции сердечного ритма. В динамике наблюдалась положительная тенденция к снижению индекса напряжения регуляторных систем, что является положительным результатом БОС-терапии. При этом необходимо учитывать, что исходное функциональное состояние организма влияет на успешность прохождения БОС-тренинга.

Список литературы

1. Адамчук, А.В., Скоморохов А.А., Луцев А.Н. Новые возможности немедикаментозной реабилитации с применением методов БОС в комплексе «Реакор» // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2004. – Т. 41. № 6. – С. 145–146.

2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 23–28.

3. Батышева Т.Т., Скворцов Д.В., Труханов А.И. Современные технологии диагностики и реабилитации в неврологии и ортопедии. – М.: Медика, 2005. – 256 с.

4. Бобровницкий И.П., Лебедева О.Д., Яковлев М.Ю. Применение аппаратно-программного комплекса оценки функциональных резервов для анализа эффективности лечения // Вестник восстановительной медицины. – 2011. – № 6. – С. 7–9.

5. Вегетативные корреляты произвольных отображений эмоционального стресса / Е.В. Рунова, В.Н. Григорьева, А.В. Бахчина [и др.] // Клиническая медицина. – 2013. – Т. 5, № 4. – С. 69–77.

6. Грибанов А.В., Волокитина Т.В., Леус Э.В. Вариабельность сердечного ритма: анализ и интерпретация: Методические рекомендации. – Архангельск: Поморский госуниверситет им. М.В. Ломоносова, 2001. – 16 с.

7. Григорьева В.Н., Тхостов А.Ш. Способ оценки эмоционального состояния человека. Патент РФ № 2291720 С1. 2007.

8. Ерышев О.Ф., Дубинина Л.А. Психовегетативные расстройства в рамках синдрома патологического влечения к алкоголю и их фармакологическая коррекция // Социальная и клиническая психиатрия. – 1999. – Т. 2. – С. 27–32.

9. Козлова Л.И. ЭЭГ-фМРТ исследование биоуправления (biofeedback technology) // Современные аспекты интегративной физиологии: материалы всерос.

молодежной конф. с международным участием. Инст. физиол. им. И.П. Павлова РАН. – 2018. – С. 54–55.

10. Миронова Т.Ф., Давыдова Е.В. Предикторы кардиоваскулярной патологии у пациентов с профессиональными заболеваниями // Уральский медицинский журнал. – 2018. – № 10 (165). – С. 43–46. DOI: 10.25694/URMJ.2018.10.18

11. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Область практического применения метода. – Иваново, 2000. – 200 с.

12. Можайко Р.А., Пароль Д.А. Применение метода биологической обратной связи при проведении психологической коррекции неблагоприятных последствий профессиональной деятельности сотрудников МЧС России // Психологическое обеспечение деятельности силовых структур: материалы межведомственной научно-практической конф. Севастопольский экономико-гуманитарный институт (филиал) ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского». – 2017. – С. 116–120.

13. Ноздрачев А.Д, Щербатых Ю.В. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 6. – С. 95–101.

14. Оценка адаптационных возможностей организма и задачи повышения эффективности здравоохранения / В.М. Баранов, Р.М. Баевский, А.П. Берсенева // Экология человека. – 2004. – № 6. – С. 25–29.

15. Погодина Т.Г., Зуйкова А.А., Балчугов В.А. Основы медико-психологической реабилитации лиц опасных профессий. – Н. Новгород, 2007. – С. 5–11, С. 20–30, С. 70–71.

16. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 49–61.

17. Чернухин Ю.В., Унакафов А.М. Классификация и анализ методов программно-аппаратной поддержки процедур тренинга эмоционального самоконтроля человека // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 1 (44). – С. 40–45.

18. Яблучанский Н.И., Мартыненко А.В. Вариабельность сердечного ритма в помощь практическому врачу. Для настоящих врачей. – Харьков, 2010. – 131 с.

19. Boekaerts M., Pintrich P., Zeidner M. Handbook of self-regulation. – Elsevier Academic Press, 2005.

20. Heart rate variability: a review / U. Acharya [et al.] // Med Bio Eng Comput. – 2006. – Vol. 44. – P. 1031–1051.

21. Spectrum analysis of heart rate. A method of studying the role of the autonomic nervous system in the regulation of blood circulation / L. Bieniaszewski [et al.] // Kardiol. Pol. – 1991. – Vol. 35, № 9. – P. 165–169.

Анализ особенностей иммунного статуса у работников предприятия по производству фталевого ангидрида

Ю.А. Челакова[1], О.В. Долгих[1,2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2] ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Представлены особенности иммунного статуса у работающих, занятых на производстве фталевого ангидрида. Обследовано 64 человека, занятых на производстве фталевого ангидрида. В группу наблюдения вошли работники в количестве 41 человека, контактирующие с парами и пылью фталевого ангидрида. В группу сравнения вошли 23 человека административного аппарата производства. Результаты изучения состояния иммунной регуляции у работников основного производства показали достоверно повышенный уровень CD95+, избыточную экспрессию TNFR, p53, CA 19-9, КЭА, ПСА, чрезмерную активность цитокинов IL-17, IL-6 и IL-4, а также гиперпродукцию общих и специфических реагинов. Полученные результаты указывают на нарушения иммунного контролинга за продолжительностью жизненного цикла клеток, что не исключает развитие аллергических, аутоиммунных и онкопролиферативных сценариев формирования производственно обусловленной патологии.

Ключевые слова: работающие, фталевый ангидрид, иммунная регуляция, CD-иммунограмма, сенсибилизация.

Вредные условия труда в химической промышленности связаны с воздействием комплекса химических факторов, ведущее значение среди которых имеют аэрозоли сложного химического состава и однонаправленного действия с аддитивным эффектом, а именно ароматические углеводороды, спирты, ангидриды (фталевые, малеиновые и др.) [7].

Показано, что условия тяжелого и напряженного труда работников производства фталевого ангидрида характеризуются воздействием сложного комплекса химических веществ в воздухе рабочей зоны, производственным шумом, неблагоприятным микроклиматом 2].

В настоящее время общеизвестно, что различные производственные факторы (формальдегид, фенол, фталевый ангидрид, бензол, крезол, повышенная температура, углеводороды и др.) вызывают существенные изменения в иммунном статусе человека. Эти изменения проявляются нарушением клеточного и гуморального звеньев иммунитета [4]. Фталевый ангидрид способен вызывать аллергию немедленного типа [5].

Решение задачи сохранения здоровья трудоспособного населения требует комплексных исследований для выявления индикаторных показателей влияния факторов производственной среды на здоровье работников, прежде всего компонентов иммунной регуляции, отражающих адаптационный потенциал и ранние до-

нозологические нарушения в процессе формирования производственно обусловленной патологии [1, 3, 10, 11].

Цель исследования – оценка иммунного статуса у работающих, занятых на производстве фталевого ангидрида.

Материалы и методы. Проведено обследование 64 работающих на производстве фталевого ангидрида. В группу наблюдения вошел 41 работник, контактирующий с парами и пылью фталевого ангидрида. Для сравнения использовали группу административных работников, состоящую из 23 человек, условия работы которых исключали контакт с поллютантами.

Химическое воздействие на производстве фталевого ангидрида относится к классу 3.2 по степени вредности и опасности производственной среды (Р 2.2.2006-05). Это связано с наличием вредных веществ 2-го и 3-го классов опасности – фумаровой кислоты, диметилбензола (ксилола) и фталевого ангидрида. Концентрации фталевого ангидрида в воздухе рабочей зоны характеризуются превышением ПДК: 2,2–6,3 мг/м^3 при ПДК 1,0 мг/м^3 (класс условий труда – 3.1–3.2).

Определение сывороточных иммуноглобулинов классов A, M, G осуществляли методом радиальной иммунодиффузии по Манчини.

Фенотипирование лимфоцитов проводили на проточном цитометре FACSCalibur фирмы Becton Dickinson с использованием универсальной программы CellQuest Pro. Определение популяций и субпопуляций лимфоцитов (CD95+) проводили методом мембранной иммунофлюоресценции с использованием панели меченых моноклональных антител к мембранным CD-рецепторам (Becton Dickinson, США), в общей сложности было зарегистрировано не менее 10 тыс. событий. Уровень экспрессии внутриклеточного маркера апоптоза p53 и фактора некроза опухоли TNFR определяли с помощью соответствующего МКАТ (Becton Dickinson, США) и одновременно проводили процедуру отрицательного изотопического контроля.

Маркеры пролиферативных реакций (СА 19-9, КЭА, ПСА), цитокиновые провоспалительные медиаторы IL-17, IL-6 и IL-4 и уровень общей сенсибилизации по критерию IgE общего определяли при помощи иммуноферментного анализа с использованием тест-систем «Вектор-Бест» (Россия) на анализаторе TECAN Sunrise (Австрия).

Изменение содержания специфического к фталевому ангидриду иммуноглобулина класса E (IgE) определяли в аллергосорбентном тесте с ферментной меткой.

Для качественного осуществления статистического анализа данных обработка материала проводилась с использованием программы Microsoft Office Excel 2003 и пакета прикладных программ Statistica 6.0. Данные обрабатывали методом вариационной статистики с расчетом среднего арифметического, его стандартной ошибки. Достоверность различий определяли по *t*-критерию Стьюдента, оценку зависимостей между признаками – с помощью корреляционно-регрессионного анализа, критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2). Качественные данные представлены в виде абсолютных или относительных (%) частот, количественные признаки представлены как $M \pm m$ (среднее арифметическое ± ошибка среднего). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Результаты. Клинико-лабораторные исследования состояния здоровья работающих указывают на наличие патологических сдвигов со стороны иммунной системы (таблица).

Иммунологические показатели работающих, занятых на производстве фталевого ангидрида

Показатель	Рефератный уровень	Группа наблюдения ($n = 41$), $M \pm m$	Группа сравнения ($n = 23$), $M \pm m$
IgG, г/дм^3	10–18	10,873 ± 0,373**	10,755 ±0,691
IgM, г/дм^3	1,1–2,5	1,505 ± 0,114**	1,439 ± 0,109
IgA, г/дм^3	1,1–3	2,003 ± 0,194**	1,871 ± 0,17
CD3+CD95+-лимфоциты, абс., 10^9/дм^3	0,63–0,97	1,061 ± 0,317**	0,474 ± 0,159
CD3+CD95+-лимфоциты, отн., %	39–49	45,750 ± 6,144**	25,800 ± 5,074
TNFR, %	1–1,5	3,956 ± 0,459*/**	1,605 ± 0,291
p53, %	1,2–1,8	1,735 ± 0,331**	1,362 ± 0,107
CA-19-9, единиц/см^3	0–35	6,756 ± 0,318**	3,416 ± 0,475
КЭА, нг/см^3	0–2,9	2,359 ± 0,488**	1,110 ± 0,161
ПСА, нг/см^3	0–3,9	0,669 ± 0,126**	0,532 ± 0,124
Интерлейкин-17, пг/см^3	0–5	2,835 ± 0,741**	1,166 ± 0,0168
Интерлейкин-4, пг/см^3	0–4	0,805 ± 0,136**	0,745 ± 0,159
Интерлейкин-6, пг/см^3	0–10	1,852 ± 0,529**	1,177 ± 0,252
IgE общий, МЕ/см^3	0–149,9	104,127 ± 72,669**	77,418 ± 34,482
IgE к фталевому ангидриду, МЕ/см^3	0–0,1	0,211 ± 0,046*/**	0,136 ± 0,037

Примечание: * – разница достоверна относительно референтного уровня ($p \leq 0,05$); ** – разница достоверна относительно группы сравнения ($p \leq 0,05$).

Выявлено изменение содержания сывороточных иммуноглобулинов всех трех классов (IgG, IgA, IgM) относительно группы сравнения (концентрации повышены до 10 %) ($p \leq 0,05$).

В исследованиях А.М. Рахметовой и др. у рабочих, контактирующих с ангидридами, отмечается увеличение количества сывороточных IgA и IgG [9].

Отмечена гиперэкспрессия кластера клеточной дифференцировки CD95+ (относительного и абсолютного), ответственного за иммунорегуляцию и апоптоз, по отношению к группе сравнения в 1,77 и 2,24 раза соответственно ($p \leq 0,05$).

Также установлен достоверно повышенный уровень TNFR по отношению к норме (99,8 %) и к группе сравнения (в 2,4 раза) ($p \leq 0,05$). Отмечен достоверно повышенный (в 1,27 раза) уровень экспрессии p53 по отношению к группе сравнения ($p \leq 0,05$).

Полученные результаты свидетельствуют о наличии чрезмерной экспрессии мембранных и внутриклеточных протеинов, что способствует перестройке рецепторов и защитных белков иммунокомпетентных клеток.

В группе наблюдения установлен повышенный уровень CA-19-9, КЭА, ПСА относительно группы сравнения в 1,98, 2,13 и 1,26 раза соответственно ($p \leq 0,05$).

Анализ цитокиновой экспрессии IL-17, IL-6 и IL-4 позволил установить, что данные показатели находятся в пределах референтного уровня, однако наблюдается превышение концентрации данных показателей относительно группы сравнения в 2,43, 1,57 и 1,08 раза соответственно ($p < 0,05$), что указывает на избыточную активацию воспалительного процесса.

Выявлен повышенный уровень IgE общего (у 16,2 % рабочих) и IgE специфического к фталевому ангидриду (по его метаболиту фталевой кислоте) (у 61,8 %) по отношению к референтному уровню и группе сравнения – в 1,34 и 1,55 раза соответственно ($p \leq 0{,}05$).

Рядом авторов экспериментально установлено повышение сывороточного IgE и IgG2ba после контакта и вдыхания фталевого ангидрида, а подкожное введение фталевого ангидрида вызывает повышение сывороточного IgE у животных [6, 8].

Полученные результаты свидетельствуют о негативном влиянии фталевого ангидрида на иммунную систему и его способности вызывать аллергические реакции, что подтверждает установленный общий и специфический характер выявленной сенсибилизации.

Выводы. Таким образом, по результатам проведенного иммунологического обследования работников химического производства фталевого ангидрида выявлены функциональные изменения маркерных показателей иммунной регуляции, которые проявились гиперактивацией сывороточных иммуноглобулинов, сочетанием нарушений процессов запуска и регуляции апоптоза (повышенной экспрессией Т-клеточных рецепторов CD95+, TNFR и транскрипционного фактора p53), гиперэкспрессией медиаторов цитокинового профиля (IL-17, IL-6 и IL-4) и фетальных протеинов (CA-19-9, КЭА, ПСА), а также общей и специфической к фталевому ангидриду сенсибилизацией.

Список литературы

1. Вариабельность иммунорегуляторных и генетических маркеров в условиях комбинированного воздействия факторов производственной среды / О.В. Долгих, К.Г. Старкова, А.В. Кривцов, О.А. Бубнова // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 45–48. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-45-48

2. Гигиенические аспекты оценки условий труда и их влияния на здоровье работников, занятых в производстве фталевого ангидрида / Т.М. Салимгареева, Л.К. Каримова, Н.А. Бейгул [и др.] // Пермский медицинский журнал. – 2015. – Т. 32, № 4. – С. 92–96.

3. Иммуногенетические изменения у работающих в условиях сочетанного воздействия производственного шума и пыли / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, К.Г. Старкова [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 12. – С. 21–25.

4. Особенности генетических показателей у работающих в условиях непрерывного производственного цикла / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, К.Г. Старкова [и др.] // Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: материалы VII Всеросс. научн.-практич. конф. с междунар. участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2016. – Т. 2. – С. 90–94.

5. Особенности полиморфизма генов, кодирующих состояние эндотелия сосудов, у работников химического производства / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, О.А. Бубнова [и др.] // Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: материалы VII Всеросс. научн.-практич. конф. с междунар. участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2016. – Т. 2. – С. 95–99.

6. Полиморфизм генов детоксикации и иммунной системы у детей и взрослых, экспонированных металлами / О.В. Долгих, Д.Г. Дианова, А.В. Кривцов [и др.] // Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: материалы VII Всеросс. научн.-практич. конф. с междунар. участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2016. – Т. 1. – С. 275–278.

7. Профессиональные риски здоровью работников химического комплекса / Э.Т. Валеева, А.Б. Бакиров, В.А. Капцов [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 3. – С. 88–97.

8. Разработка методических подходов к идентификации особенностей генетического полиморфизма и экспрессии генов у детей в условиях воздействия химических средовых факторов на примере стронция / О.В. Долгих, Н.В. Зайцева, А.В. Кривцов [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1. – С. 34–41.

9. Состояние иммунного статуса у рабочих резинотехнического производства / А.М. Рахметова, Г.А. Тусупбехова, А.Ж. Молдакарызова [и др.] // Вестник КазНМУ. – 2019. – № 3. – С. 206–209.

10. Старкова К.Г., Кривцов А.В., Бубнова О.А. Особенности иммунной регуляции у работников химического производства // Российский иммунологический журнал. – 2015. – Т. 9, № 3. – С. 214–216.

11. Yurchenko M., Shlapatska L.M., Sidorenko S.P. The multilevel regulation of CD95 signaling outcome // Exp. Oncol. – 2012. – Vol. 34, № 3. – P. 153–159.

Раздел VI

Использование информационных технологий и математического моделирования при проведении исследований в области гигиены и эпидемиологии

Оценка эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения с использованием искусственной нейронной сети

Ю.С. Калашников[1], И.И. Механтьев[2,4], О.В. Клепиков[2,3], Л.А. Масайлова[4], С.А. Куролап[2], А.Б. Шукелайть[1,4]

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»,
[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
[4]Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области,
г. Воронеж, Россия

Изложен опыт реализации нейросетевого подхода для обеспечения гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения (на примере Воронежской области). Выполнен сравнительный анализ данных качества питьевой воды и заболеваемости населения, связанной с водным фактором, за 2010 и 2021 гг. Показано, что нейросетевой подход к оценке эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения способствует повышению объективности анализа информации и, следовательно, эффективности планирования и реализации мероприятий региональных (муниципальных) программ по улучшению качества питьевой воды.

Ключевые слова: качество питьевой воды, заболеваемость населения, анализ, нейросетевой подход.

Использование нейронных сетей является перспективным методом для решения задач социально-гигиенического мониторинга. В работах Н.В. Зайцевой с соавтор. на основе алгоритмов искусственной нейронной сети представлен прогноз ожидаемой продолжительности жизни при изменении социально-гигиенических детерминант [1, 4]. Нейронные сети применены для решения задач оценки уровня и динамики заболеваемости во взаимосвязи с факторами окружающей среды, организации системы поддержки принятия решений по первичной профилактике заболеваемости населения и управлению охраной природы [2, 3, 5]. Основными преимуществами нейросетевого подхода как логического базиса алгоритмов решения сложных задач являются:

– инвариантность (неизменность, независимость) методов синтеза нейронных сетей от размерности пространства признаков;

– возможность выбора структуры нейронных сетей в значительном диапазоне параметров в зависимости от сложности и специфики решаемой задачи с целью достижения требуемого качества решения;

– адекватность текущим и перспективным технологиям;

– отказоустойчивость в контексте относительно небольшого, а не катастрофического изменения качества решения задачи в зависимости от числа вышедших из строя элементов или недостающей входной информации.

Материалы и методы. Существует несколько алгоритмов реализации искусственных нейронных сетей. При этом в силу специфики решаемых задач, итогом решения которых должно быть определение приоритетов в обеспечении гигиенической безопасности питьевого водопользования населения, наиболее практичным является выбор сети с контролируемым обучением.

Этапы создания искусственной нейронной сети с контролируемым обучением (обучением с учителем) применительно к решению задачи по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения включают: 1) сбор данных; 2) фильтрацию и маркировку данных, построение топологии нейросети; 3) тренировку модели нейросети; 4) конвертацию нейросети в программный код, оптимизированный для компьютерного процессора; 5) обработку и анализ новых данных с использованием тренированной нейросети (рис. 1).

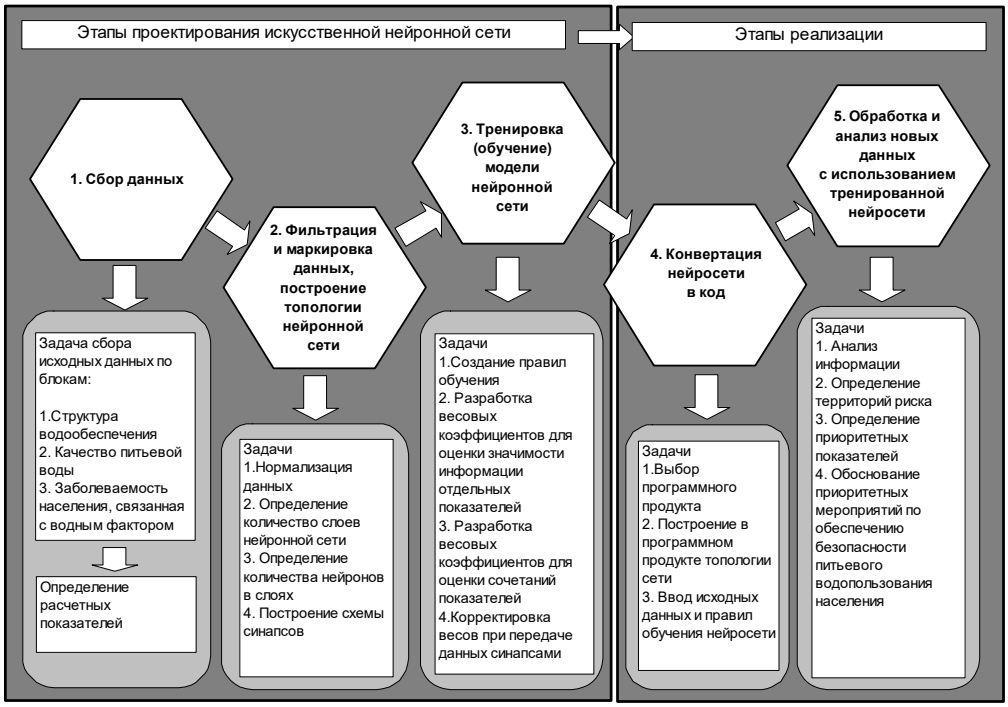


Рис. 1. Этапы построения искусственной нейронной сети для решения задачи по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения

Использование на примере территории Воронежской области данных о состоянии питьевого водоснабжения и заболеваемости населения, связанной с водным

фактором, с учетом региональных особенностей позволяет сформировать поток информации во входные нейроны по трем блокам показателей, а именно:

♦ Блок 1: обеспеченность населения централизованным водоснабжением (входные показатели X1–X6):

– показатели обеспеченности населения централизованным и нецентрализованным водоснабжением, а также питьевой водой, которая не исследовалась (отсутствуют точки мониторинга), – численность населения и удельный вес показателя в долях единицы в разрезе 33 административных территорий субъекта.

♦ Блок 2: показатели качества воды, которые подразделяются на исходные и расчетные по контрольным точкам водопроводной сети и источникам, далее группируемые по 33 административным территориям субъекта (входные показатели X7–X17).

Исходные показатели:

– санитарно-химические показатели (8 показателей): концентрации железа, мг/дм^3; марганца, мг/дм^3; нитратов, мг/дм^3; нитритов, мг/дм^3; фторидов, мг/дм^3; бора, мг/дм^3, иона аммония, мг/дм^3; общая жесткость, мг-экв./дм^3;

– микробиологические показатели (3 показателя): термотолерантные колиформные бактерии, общие колиформные бактерии, общее микробное число.

Расчетные показатели могут отдельно определяться на этапе сбора данных и выступать в качестве исходных либо реализуется промежуточный алгоритм их расчета в процессе передачи исходных данных синапсом от входного нейрона.

Предложены следующие расчетные показатели:

– соотношение исходных показателей качества питьевой воды с гигиеническим нормативом;

– показатели неканцерогенного риска (*HQ*, *HI*).

♦ Блок 3: заболеваемость населения инфекционной и неинфекционной этиологии, связанная с употреблением питьевой воды, в разрезе 33 административных территорий субъекта (входные показатели X18–X27):

– дизентерия Флекснера, сумма ОКИ, ОКИ установленной этиологии, ОКИ неустановленной этиологии, вирусные гепатиты А и Е (абсолютные и на 100 тыс. населения);

– уролитиаз (мочекаменная болезнь), болезни кожи и подкожной клетчатки (случаев на 1000 населения), метгемоглобинемия (абсолютное число случаев).

Этап тренировки сети является наиболее уязвимым и влияющим на конечный результат.

Для контролируемого обучения (обучения с учителем) необходима классификация полученных данных по определенным правилам. Тренировка нейросети представляет собой итерационный процесс обработки эталонных наборов данных с целью минимизации критерия ошибки. Эта задача обычно выполняется с помощью готовых интегрированных сред.

Сложность задачи данного этапа заключается в том, что для выявления приоритетов и последующей кластеризации проводится анализ неоднородных по природе показателей (санитарно-химических, микробиологических, инфекционной и неинфекционной заболеваемости), каждый из которых требует процедуры нормализации и весовой оценки его значимости для определения территории риска и принятия управленческого решения по обеспечению гигиенической безопасности

питьевого водопользования с учетом выявленных приоритетов (признаков или их сочетания, требующих экстренного принятия мер).

Нейроны оперируют числами в интервале от 0 до 1. Для обработки чисел, которые выходят из данного диапазона, использована наиболее распространенная функция активации нейронной сети (способ нормализации входных данных, она же логистическая функция) – сигмоид, значения которой лежат в интервале от 0 до 1.

Далее, согласно алгоритму, учитываются весовые коэффициенты каждого из показателей и их сочетаний, которые также должны быть в интервале от 0 до 1 для обрабатываемой группы показателей.

В итоге обработки данных на выходном нейроне получается интегрированная величина (число), значение которой пропорционально неблагополучию ситуации (суммарный риск).

Нашим исследованием предложены следующие правила тренировки нейросети и весовые коэффициенты определения приоритетов, значения которых на каждом из этапов и для каждого правила должны лежать в интервале от 0 до 1:

– увеличение доли населения, обеспеченного нецентрализованным водоснабжением, повышает суммарный риск (принятый весовой коэффициент 0,5);

– увеличение доли населения, использующего воду, качество которой не исследовалось при организации мониторинга, повышает суммарный риск (риск, связанный с неопределенностью, принятый весовой коэффициент 0,5);

– факт превышения гигиенического норматива по санитарно-токсикологическому признаку вредности имеет существенный приоритет в оценке суммарного риска (значительно больший весовой коэффициент, для обучения сети принят 0,9) по отношению к факту превышения гигиенического норматива, установленного по органолептическому признаку вредности (для обучения сети принят 0,1). В нашем случае нитратам, нитритам, фторидам, бору, иону аммония отдается приоритет по отношению к железу и марганцу, которые нормируются по органолептическому признаку вредности;

– факт превышения гигиенического норматива по микробиологическим показателям имеет существенный приоритет (0,8) над фактом превышения гигиенического норматива по санитарно-химическим показателям (0,2);

– факт превышения приемлемого (безопасного) уровня риска ($HQ > 1$ и $HI > 1$) имеет приоритет над фактом превышения гигиенического норматива по санитарно-химическим показателям и, соответственно, больший весовой коэффициент (для обучения сети принят коэффициент 0,7, соответственно для факта гигиенического норматива по санитарно-химическим показателям – 0,3);

– факт превышения неинфекционной заболеваемости населения в отдельном административном районе по отношению к среднему многолетнему уровню (СМУ), рассчитанному в целом по территории субъекта, имеет весовой коэффициент, равный 1 (отсутствие факта – 0);

– факт превышения инфекционной заболеваемости населения в отдельном административном районе по отношению к СМУ, рассчитанному в целом по территории субъекта, имеет весовой коэффициент, равный 1 (отсутствие факта – 0);

– факт превышения инфекционной заболеваемости населения в отдельном административном районе по отношению к СМУ имеет приоритет (0,8) по отношению к факту превышения неинфекционной заболеваемости населения в отдельном административном районе по отношению к СМУ (0,2);

– факт случая метгемоглобинемии имеет приоритет (0,7) к фактам превышения неинфекционной и инфекционной заболеваемости населения в отдельном административном районе по отношению к СМУ (0,3).

Далее на слое промежуточных нейронов 2вн и в процессе реализации синоптической связи с весовыми коэффициентами анализируются сочетания признаков по следующим правилам:

– факт сочетания в конкретном районе высокого показателя жесткости питьевой воды и уровня заболеваемости населения мочекаменной болезнью увеличивает суммарный показатель риска (0,9) по отношению к отсутствию такого сочетания (0,1), т.е. на практике доминирующей причиной мочекаменной болезни могут быть и другие факторы, а при сочетании данных показателей фактор выступает как причинный;

– факт сочетания в конкретном районе высокого содержания железа в питьевой воде и уровня заболеваемости населения болезнями кожи и подкожной клетчатки увеличивает суммарный показатель риска (0,6) по отношению отсутствию такого сочетания (0,2), т.е. на практике доминирующими причинами болезней кожи и подкожной клетчатки могут быть и другие факторы (по нашим данным корреляционного анализа установлена связь слабой силы);

– факт сочетания в конкретном районе случая метгемоглобинемии и высокого содержания в питьевой воде нитратов увеличивает суммарный показатель риска;

– факт сочетания в конкретном районе несоответствия качества питьевой воды по микробиологическим показателям с показателями инфекционной заболеваемости выше СМУ по территории увеличивает суммарный показатель риска (0,9) по отношению отсутствию такого сочетания (0,1).

Разработанные в исследовании правила в последующем использованы для обучения нейронной сети.

Для практической реализация топологии нейросети и правил ее обучения в код выбран программный продукт Fuzzy ARTMAP[1] на основе бесплатной лицензии.

Программный продукт работает при наличии на компьютере пакета прикладных программ Matlab, демонстрационная версия (с ограничением по времени использования) которого доступна на сайте разработчика[2].

Следует отметить, что, к сожалению, отечественные программные продукты, автоматизированно реализующие алгоритмы построения искусственных нейронных сетей, в настоящее время недоступны.

Обоснованием выбора данного программного продукта являлись сложность задачи анализа неоднородных по природе и значениям показателей (санитарно-химических, микробиологических, инфекционной и неинфекционной заболеваемости), а также необходимость кластеризации и картографирования ситуации, характеризующей уровень безопасности питьевого водопользования по совокупности анализа входной информации и задаваемых весовых коэффициентов на различных этапах ее обработки и анализа, включая сочетания факторов. При этом применялись встроенные в программный продукт функции кластеризации и интерполиро-

[1] Fuzzy ARTMAP [Электронный ресурс] // CNS Technology Lab. – URL: http://techlab.bu.edu/resources/software_view/fuzzy_artmap1/ (дата обращения: 14.06.2022).

[2] MATLAB [Электронный ресурс] // MathWorks. – URL: https://www.mathworks.com/products/matlab.html

вания данных для изображения выходного показателя (суммарного риска) на электронных картах в виде изолиний.

В программный продукт Fuzzy ARTMAP нами была введена архитектура разработанной нейронной сети для постепенного контролируемого обучения категорий распознавания и анализа информации с последующим построением электронных карт в ответ на произвольные последовательности входной информации (входные нейроны X1–X27), которая может представлять нечеткие или четкие наборы признаков.

В нашем случае имеются факты нечеткого набора показателей ввиду отсутствия некоторых показателей качества воды по отдельным мониторинговым точкам. Неопределенность анализа также связана с необходимостью сопоставления данных о качестве воды по отдельным мониторинговым точкам (реализован алгоритм территориального объединения информации по контрольным точкам отбора проб воды на территории района) с данными о заболеваемости населения по административному району.

Программный продукт ARTMAP обеспечивает синтез нейронных сетей с нечеткой логикой и адаптивной теорией резонанса (ART), используя близкое формальное сходство между вычислениями нечеткого подмножества и выбором категории ART, резонансом и обучением. Fuzzy ARTMAP также реализует правила обучения, в дальнейшем на основе встроенных алгоритмов минимизируя ошибки прогнозирования (в нашем случае расчета показателя суммарного риска), что достигается за счет процесса отслеживания совпадений, который увеличивает параметр бдительности ART на минимальную величину, необходимую для исправления ошибки прогнозирования. В результате система автоматически запоминает минимальное количество категорий распознавания или «скрытых единиц» для соответствия критериям точности.

Алгоритм выбранного программного продукта генерирует устойчивые структуры (кластеры или классы) путем встроенного механизма самоорганизации в ответ на различные входные показатели.

Сети ART решают также проблему структуризации данных как задачу адаптации структуры нейронной сети в оперативном режиме, при этом одновременно формируется ее топология и осуществляется обучение.

Результаты. С использованием разработанного нейросетевого подхода для подтверждения эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения проанализированы данные за 2010 и 2021 гг. по блокам входной информации № 1–3.

Для проверки работоспособности нейросети сети, созданной на основе программного продукта ARTMAP, разработана шкала оценки безразмерного показателя суммарного риска, полученного на основе обработки и анализа исходных значений показателей и их сочетаний, по 5 уровням риска: «низкий риск», «риск ниже среднего», «средний риск», «риск выше среднего», «высокий риск» (таблица).

Визуальное сравнение полученных результатов по обработанным данным за 2010 и 2021 гг. показывает значительное снижение площади территорий, отнесенных к «высокому риску», что свидетельствует об эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения, осуществляемых в рамках выполнения региональной государственной программы «Обеспечение качественными жилищно-коммуналь-

ными услугами населения Воронежской области» (подпрограмма 1 «Развитие систем теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения Воронежской области», мероприятие 1.3. «Чистая вода») (рис. 2 и 3).

Шкала оценки суммарного риска по совокупности факторов и их сочетаний

Уровень риска	Интервал показателя	Условная качественная характеристика
Высокий	От 0,8 до 1,0	Сочетание трех неблагоприятных факторов и более, связанных с качеством воды, оцениваемых максимальными весовыми коэффициентами в блоке, высокие уровни заболеваемости населения, связанной с водным фактором (выше СМУ)
Выше среднего	От 0,6 до 0,8	Сочетание двух неблагоприятных факторов, связанных с качеством питьевой воды, оцениваемых максимальными весовыми коэффициентами в блоке, высокие уровни заболеваемости населения, связанной с водным фактором (выше СМУ)
Средний	От 0,4 до 0,6	Сочетание двух неблагоприятных факторов и более, связанных с качеством питьевой воды, высокие уровни заболеваемости населения, связанной с водным фактором (выше СМУ)
Ниже среднего	От 0,2 до 0,4	Один или два фактора, связанные с качеством питьевой воды, низкие уровни заболеваемости населения, связанной с водным фактором (ниже СМУ)
Низкий	От 0 до 0,2	Один фактор (по органолептическим показателям) или отсутствие факторов, низкие уровни заболеваемости населения, связанной с водным фактором (ниже СМУ)

Кластеризация по совокупности факторов позволила выявить ряд ареалов с высоким уровнем риска. Детальное рассмотрение показывает, что на территории Воронежской области можно выделить два северных ареала неблагополучия, один восточный и два южных. Вместе с тем факторы и их сочетания, вносящие наибольший вклад в величину суммарного риска, различны.

Так в северном ареале (2010 г.), соответствующем территории Рамонского района, высокий вклад в суммарный риск вносят факты повышенного содержания нитратов в питьевой воде (по превышениям ПДК и $HQ > 1$), бора (по превышениям ПДК), общей жесткости в сочетании с высоким СМУ заболеваемости мочекаменной болезнью, зарегистрированным случаем метгемоглобинемии. В северном ареале, соответствующем Эртильскому и Верхнехавскому районам, в Эртильском районе – крайне низкий уровень обеспеченности населения централизованным водоснабжением (41,8 %), значительная численность населения (10 781 из 22 756 человек, или 47,4 %) обеспеченного водой, которая не исследовалась (отсутствовали точки мониторинга), одновременное сочетание превышений нормативов в одной контрольной точке с. Копыл (децентрализованный источник) высокого содержания нитратов, железа и фтора с высоким показателем общей жесткости. В Верхнехавском районе наибольший вклад в суммарный риск вносят факты превышения нормативов по микробиологическим показателям (2010 г. – 11,9 % проб).

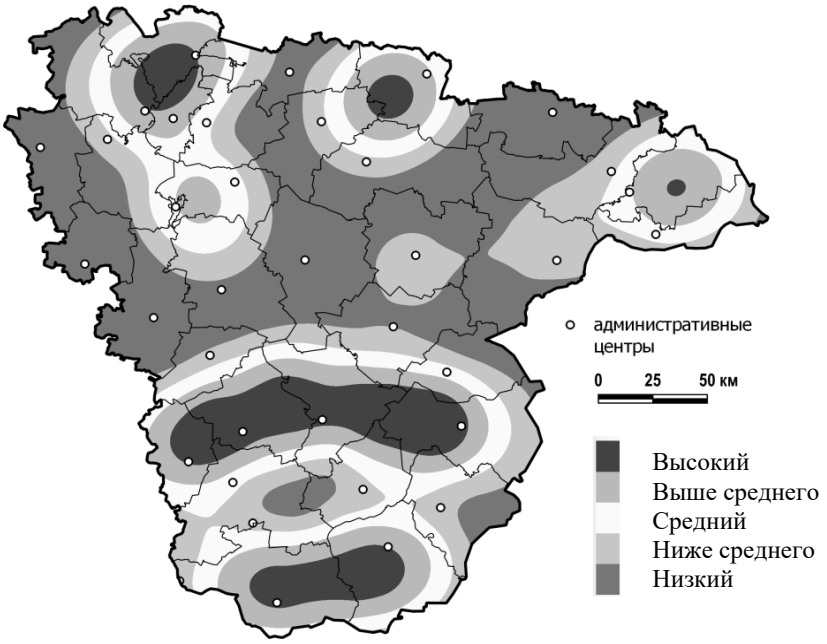


Рис. 2. Суммарный риск, обусловленный водным фактором, полученный на основе реализации нейросетевого подхода (2010 г.)

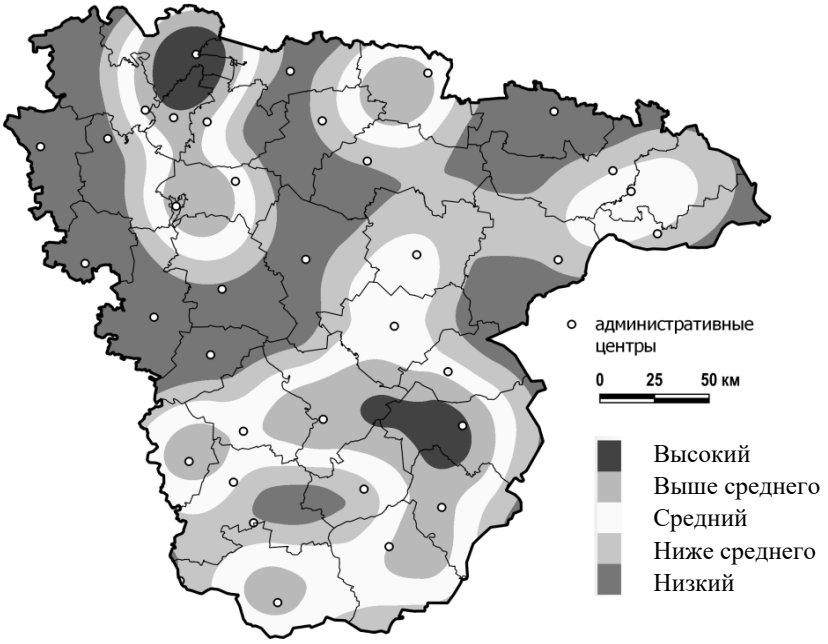


Рис. 3. Суммарный риск, обусловленный водным фактором, полученный на основе реализации нейросетевого подхода (2021 г.)

В западном ареале (2010 г.), соответствующем высокому риску, в г. Борисоглебске в питьевой воде регистрировался высокий показатель общей жесткости (свыше 10 мг-экв./л) в сочетании с высоким уровнем мочекаменной болезни – 10,15 ± 1,7 случая на 1000 населения, имелся факт превышения концентрации иона аммония, а также факты превышения нормативов по микробиологическим показателям (в 2010 г. – 2,2 % проб), которые имеют больший весовой коэффициент по отношению к санитарно-химическим показателям.

Неблагополучие в южных ареалах связано с высоким показателем общей жесткости в сочетании с высоким уровнем мочекаменной болезни. В Ольховатском, Кантемировском, Подгоренском районах – с превышением гигиенических нормативов по микробиологическим показателям (в 2010 г. – 7,0, 3,9 и 3,0 % соответственно).

В 2021 г. при сохранении ареалов высокого суммарного риска отмечается снижение их площади и смещение центров. Снижение площади ареалов связано с улучшением ситуации по совокупности анализируемых показателей и их сочетаний. Смещение центра южного ареала обусловлено регистрацией фактов превышения нормативов содержания нитратов в Петропавловском районе – 2,1–5,0 ПДК, $HQ > 1$ (в 2010 г. превышения содержания нитратов на территории района не регистрировалось). Кроме того, южный ареал изменил форму, вытянувшись к северу на территории Таловского и Бутурлиновского районов за счет регистрации в 2021 г. новых случаев метгемоглобинемии в Таловском и Бутурлиновском районах, достигнув по совокупности показателей уровня «среднего» и «выше среднего» риска.

В целом анализ показывает, что ситуация с водным фактором динамически меняется, в связи с чем изменяются и приоритеты в обеспечении гигиенической безопасности питьевого водопользования на отдельных территориях.

Выводы. Реализация нейросетевого подхода в оценке эффективности мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения способствует повышению объективности анализа информации и, следовательно, эффективности планирования региональных (муниципальных) программ по улучшению качества питьевой воды: сравнение данных до (2010 г.) и после реализации (2021 г.) мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения свидетельствует о снижении численности населения, потребляющего недоброкачественную воду, на 68 тыс. человек, об уменьшении площади территорий, которая в результате кластеризации отнесена к рангу «высокого риска», требующего незамедлительного принятия мер, с 15,7 до 8,2 %.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-05-00779.

Список литературы

1. Актуальные социально-гигиенические детерминанты ожидаемой продолжительности жизни населения России. Сценарное прогнозирование на основе искусственной нейронной сети / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.] // Современные аспекты гигиены, токсикологии и профпатологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 130-летию основания Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. – Мытищи, 2021. – С. 79–84.

2. Марченко Б.И., Плуготаренко Н.К., Семина О.А. Нейронные сети в задачах аналитического обеспечения систем социально-гигиенического и экологического мониторинга // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – Т. 29, № 11. – С. 23–30. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-11-23-30

3. Механтьев И.И. Нейросетевой подход в оценке эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения // Гигиенические, эпидемиологические и экологические аспекты профилактики заболеваемости на региональном уровне: сборник трудов VII Межвузовской научно-практической конференции, посвященной 100-летию основания санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. – Воронеж, 2022. – С. 71–79.

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

5. Федутинов К.А. Структурно-функциональная организация системы поддержки управления охраной природы на основе мониторинговых данных // Проектное управление в строительстве. – 2021. – № 2 (23). – С. 97–102.

Научно обоснованный алгоритм принятия решений по выявлению и предотвращению санитарно-бактериологического загрязнения водных объектов на основе геоинформационной системы для программы ЭВМ Water Risk

А.С. Калюжин[1,2]

[1]ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»,
[2]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Представлен алгоритм работы программы ЭВМ Water Risk на основе геоинформационной системы по оценке микробного риска здоровью населения от возникновения кишечных инфекций бактериальной этиологии, ассоциированных с водным фактором. Описаны уровни алгоритма, а также ряд требований на каждом этапе, обеспечивающих достоверность данных, подвергнутых дальнейшему эпидемиологическому анализу.

Ключевые слова: Water Risk, оценка риска водных объектов, водный путь передачи, кишечные инфекции, геоинформационная система.

Вода, покрывающая около 71 % поверхности Земли, является одним из самых важных компонентов в повседневной жизни. Экономическое, промышленное и социальное развитие большинства стран привело к повышению загрязнения водных ресурсов. Между тем санитарно-бактериологическое состояние водных объектов является определяющим фактором появления острых или перманентных эпидемических ситуаций на конкретной территории. Не стоит забывать, что безопасность граждан Российской Федерации изложена в ст. 41, 42 Конституции РФ [1]. Внедрение технологий по контролю безопасности санитарно-защитных зон (СЗЗ) водных объектов позволит не допускать возникновения вспышек инфекционных заболеваний. В эпоху развития искусственного интеллекта (ИИ) все чаще можно встретить системы, которые способны как формировать отчеты на основании полученных данных, так и создавать план принятия решений по недопущению в дальнейшем такой ситуации. Одним из элементов данной системы являются геоинформационные системы (ГИС) – технология, позволяющая не только хранить, но и интегрировать данные о состоянии водных объектов на карту. Интеграция ГИС с другими технологиями стала незаменимым инструментом. Это позволит повысить эффективность санитарно-эпидемиологического контроля за счет точности размещения геопространственных данных, а также проводить прямой контроль над расширением решений, снижением затрат, своевременным анализом сложных случаев. За последние годы из-за быстрого технологического прогресса в области биологической безопасности были предложены различные комбинации ГИС с другими технологиями, такими как: дистанционное зондирование, беспроводные сенсорные сети и доступ к Интернету [2–6].

Сотрудниками лаборатории «Санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека» ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора разработана модель программы ЭВМ «Программа по оценке микробного риска здоровью населения от возникновения кишечных инфекций бактериальной этиологии, ассоциированных с водным фактором Water Risk.

Предлагаемая модель программы, базирующаяся на научно обоснованной системе принятия решений, включает в себя определенный алгоритм действий:

1. Уровень формирования конкретных целей и задач анализа ГИС.

Данный уровень предназначен для организации работы узкого профиля исследований с подробным разбором проблемных вопросов изучаемой тематики:

а) стандартизация методов программы ЭВМ для организаций, вовлеченных в процесс работы с научно обоснованной системой;

б) возможность междисциплинарного взаимодействия различных организаций или ведомств при условии заключения соглашения о сотрудничестве, включающем в себя унифицированность методов, применяемых между участвующими сторонами, с целью недопущения возможных ошибок;

в) возможность проведения внешнего контроля с целью проверки на предмет подачи заведомо ложных данных на этапе сбора информации. Это позволит повысить достоверность проводимого мониторинга.

На данном уровне:

1.1. Поднимаются вопросы оснащенности, защищенности, возможности импортозамещения имеющегося оборудования.

1.2. Ведется проработка материально-технической базы для бесперебойного функционирования системы.

1.3. Производится нанесение точек отбора первичной информации на электронные карты ГИС.

2. Уровень сбора и обработки первичной информации.

2.1. Формирование базы данных (БД) первичной информации ГИС. Данный этап предполагает работу по преобразованию полученного материала в стандартную форму программы базы данных для более удобной статистической обработки результатов. Также при формировании базы данных возможно выявление ошибок как второго, так и первого уровня.

2.2. Расчет оценки бактериального риска в водных объектах. Данный этап предполагает расчет значений бактериологических исследований, проведение санитарно-эпидемиологического анализа конкретных результатов, занесение полученных данных в специальную БД.

Отличительным элементом данного уровня является недопущение возможных ошибок при отборе проб, таких как: 1) соблюдение температурного режима; 2) условия отбора и транспортировки проб; 3) качественное проведение санитарно-бактериологических исследований отобранных проб в лаборатории и т.д.

3. Уровень представления данных с БД на ГИС. На данном этапе возможно послойное расположение полученных данных для дальнейшего эпидемиологического анализа. Также уровень предполагает межведомственный и ведомственный анализ результатов с проведением исследований медико-биологического и экологического характера.

4. Уровень экспертного заключения. На данном уровне возможно определение закономерностей циркуляции штаммов бактерий, формирование прогноза бактериального риска загрязнения водных объектов.

Предложенный алгоритм способен:

1) проводить дистанционный контроль границ второго и третьего поясов санитарной охраны водных объектов за счет точности работы электронной системы и унифицированной системы координат;

2) контролировать межрегиональные границы водных объектов в отношении бактериального риска;

3) своевременно выявлять несанкционированный сброс диффузных стоков в поверхностные воды;

4) выявлять актуальную аналитику антропотехногенной нагрузки при междисциплинарном взаимодействии, что позволит органам власти аргументированно направлять целевые средства регионального и федерального бюджета на приоритетные источники загрязнения водных объектов конкретной территории.

Список литературы

1. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Лихтанская Е.А. Геоинформационное моделирование медико-экологической безопасности южных регионов России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 109–122. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-109-122

2. Кластерная систематизация параметров санитарно-эпидемиологического благополучия населения регионов Российской Федерации и городов федерального значения / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май, Е.Е. Андреева // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1. – С. 4–14.

3. Конституция Российской Федерации / принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020 [Электронный ресурс]. – Ст. 41, 42. – URL: http://www.constitution.ru/ (дата обращения: 13.08.2022).

4. Применение географических информационных систем для совершенствования санитарно-эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга / А.О. Карелин, А.Ю. Ломтев, С.А. Горбанёв [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 7. – С. 620–622. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-7-620-622

5. Применение геоинформационных технологий в региональных системах мониторинга окружающей среды и здоровья населения / О.В. Клепиков, Н.П. Мамчик, И.В. Колнет [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 249–256.

6. Применение геоинформационных систем при ведении социально-гигиенического мониторинга и обосновании управленческих решений / Е.В. Мадеева, С.С. Ханхареев, Е.Е. Багаева, А.А. Болошинова // Санитарный врач. – 2014. – № 5. – С. 16–19.

Алгоритм применения 0D–3D-модели системного кровотока для снижения послеоперационных рисков осложнений

М.Р. Камалтдинов[1], А.Г. Кучумов[2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2] ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Аномалии развития сердечно-сосудистой системы являются распространенными врожденными пороками. Применение методов вычислительной гидродинамики и математического моделирования позволяет выполнять количественные прогнозные оценки гемодинамических характеристик в различных условиях. На предыдущем этапе работы разработана математическая модель 0D–3D-системного кровотока у новорожденных с модифицированным шунтом Блэлок – Тауссиг. Целью данной работы является разработка методов идентификации индивидуальных параметров модели и алгоритмов принятия решений на основе получаемых результатов моделирования. Разработанные подходы в перспективе могут быть использованы в хирургической практике для снижения рисков послеоперационных осложнений. В дальнейшем планируется разрабатывать подходы для оценки риска тромбоза шунта и учет в модели процессов сатурации и кислородного обмена для оценки адекватности снабжения легких кислородом.

Ключевые слова: 0D–3D-модель кровотока, идентификация параметров, пациент-ориентированный, алгоритм, принятие решений, аорта, шунт, риск послеоперационных осложнений.

Обструктивные поражения выводного тракта правого желудочка, изолированные или сочетающиеся с другими врожденными пороками сердца, составляют 25–30 % врожденных аномалий сердца [4]. Прорывным решением в хирургическом лечении цианотических врожденных пороков сердца, таких как тетрада Фалло, атрезия клапана легочной артерии и некоторых других, оказалось создание межсистемного шунта (в частности, модифицированного шунта Блелока – Тауссиг) [2, 7]. Важно отметить, что модифицированный шунт Блелока – Тауссиг продолжает оставаться процедурой высокого риска, которая может привести к чрезмерной объемной нагрузке и острому тромбозу [9, 12]. Выбор оптимального диаметра шунта является важной задачей, которая не решена и в настоящее время [7, 14].

Применение методов вычислительной гидродинамики и математического моделирования несет несколько преимуществ, во-первых, можно спрогнозировать характеристики кровотока при различных сценариях оперативного вмешательства. Во-вторых, по результатам моделирования можно получить критические уровни характеристик здоровья у конкретного пациента, свидетельствующие о целесообразности проведения операции. Кроме того, применение биомеханического моделирования может предсказать некоторые фундаментальные закономерности, характерные для патологических процессов.

На текущий момент сложилось понимание, что необходимо разрабатывать комплексные многомасштабные модели для решения подобного рода задач [13]. Разработаны основные принципы сопряжения 0D, 1D, 3D для получения характеристик кровотока [1, 3, 6, 10]. На предыдущем этапе работы коллективом исследователей, в числе которых и авторы статьи, была разработана концептуальная 0D–3D-схема системного кровотока у новорожденных с модифицированным шунтом Блэлок – Тауссиг, подробно рассмотрены результаты 0D-модели [5]. Основы построения 0D модели системного кровотока заключаются в использовании аналогии между течением крови в сосудах и протеканием тока по электрической цепи. Участок аорты и легочной артерии с шунтом заменяется 3D-моделью с двусторонним взаимодействием «жидкость – твердое тело» (FSI), участок сосуда с аортальным клапаном рассматривается в отдельной 3D-модели [4, 15].

Цель исследования – разработка методов идентификации индивидуальных параметров модели и алгоритмов принятия решений на основе получаемых результатов моделирования, что является крайне необходимым для возможности практического использования модели и снижения рисков осложнений после оперативного вмешательства.

Материалы и методы. Математическая постановка задачи 0D включает несколько десятков дифференциальных и алгебраических уравнений, для их численного решения использованы схемы Рунге – Кутты 4-го порядка точности. Геометрия 3D-модели аортального клапана, участка аорты и легочной артерии с шунтом создается на основе реальных снимков компьютерной томографии пациента. Для описания уравнений потока используются уравнения Навье – Стокса и неразрывности для несжимаемой и однородной текучей среды. Для учета турбулентности используется модель k–ε, стенки сосудов моделируются как гиперупругие, закон упругости задается моделью Огдена первого порядка.

Решение полной 0D-модели предоставляет значения давлений и объемного кровотока от времени в любой части сердечно-сосудистой системы. Одно из клю-

чевых применений модели – возможность определения кровотока через шунт в зависимости от его сопротивления (1):

$$Q_{sh} = \frac{P_{av1} - P_{pv1}}{R_{sh}}, \tag{1}$$

где Q_{sh} – объемный кровоток через шунт, мл/с, P_{av1} – давление в аорте, мм рт. ст., P_{pv1} – давление в легочной артерии, мм рт. ст., R_{sh} – сопротивление шунта, с·мм рт. ст./мл.

Сопротивление шунта можно оценить, используя формулу, определяющую поток вязкой жидкости через трубку с известным радиусом и длиной (2):

$$Q_{sh} = \frac{P_{av1} - P_{pv1}}{R_{sh}} = \frac{\pi R^4 (P_{av1} - P_{pv1})}{8\eta L}, \tag{2}$$

где R – радиус шунта, м, L – длина шунта, м, η – вязкость крови, с·мм рт. ст.

Тогда сопротивление шунта определяется как (3):

$$R_{sh} = \frac{8\eta L}{\pi R^4}. \tag{3}$$

По результатам индивидуальных замеров можно определить профиль скорости течения крови в корне аорте V_{d1} (на оси сосуда), которая связана с разностью давлений и объемным кровотоком следующим соотношением (4):

$$V_{d1} = \frac{(P_{d0} - P_{d1})}{4\eta L} r_{d1}^2 = \frac{2Q_{ed1}}{\pi r_{d1}^2}, \tag{4}$$

где V_{d1} – максимальная скорость течения в корне аорты (на оси сосуда), м/с, r_{d1} – радиус сосуда в месте измерения скорости, м, P_{d0} – давление в корне аорты, мм рт. ст., P_{d1} – давление крови в нижней части тела, мм рт. ст., L – длина сосуда между корнем аорты и нижней частью тела, м, Q_{ed1} – объемный кровоток в корне аорты, определенный по результатам эксперимента, мл/с.

Из решения ранее введенной системы уравнений с заданными константами, характеризующими некоторого среднего индивида, известен поток крови в корне аорты Q_{d1}, который связан с параметром сопротивления R_{d1} формулой (5):

$$R_{d1} Q_{d1} = P_{d0} - P_{d1}, \tag{5}$$

Необходимо скорректировать индивидуальный параметр R_{d1}, чтобы разница между потоками Q_{ed1} и Q_{d1} была минимальна (6):

$$\sum_{t_i} (Q_{d1}(t_i) - Q_{ed1}(t_i))^2 \longrightarrow \min, \tag{6}$$

где t_i – время на *i*-м временном шаге. Таким образом может осуществляться корректировка общих параметров модели по результатам индивидуальных замеров и в других участках сердечно-сосудистой системы.

Результаты. Разработан алгоритм принятия решений на основе получаемых результатов моделирования (рисунок).

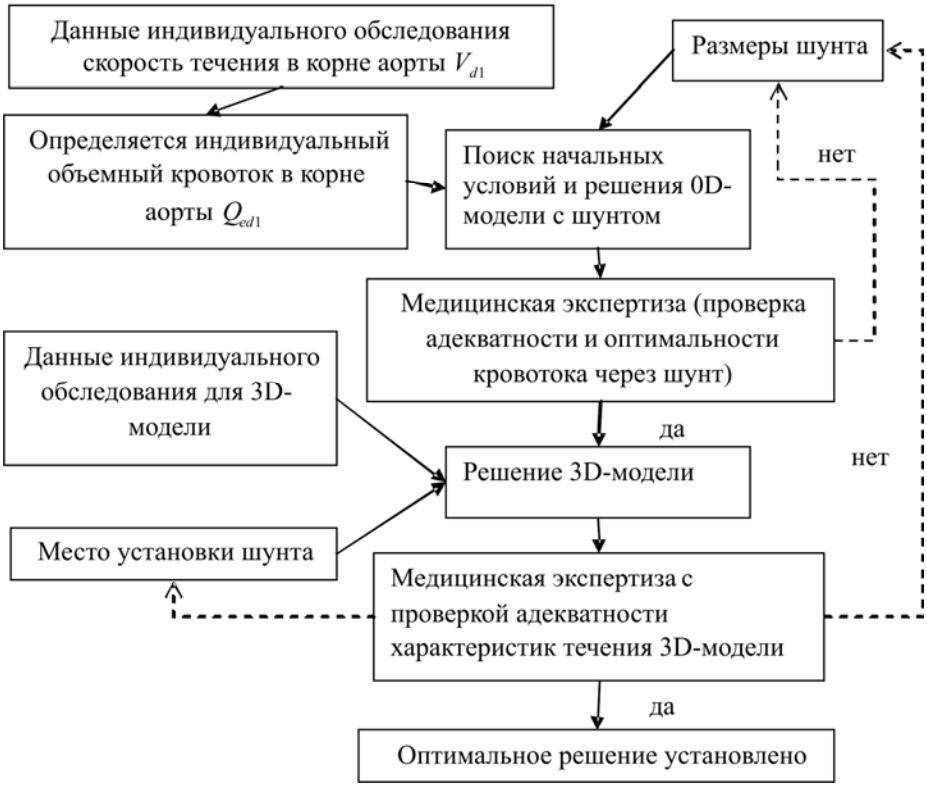


Рис. Схема алгоритма принятия решений на основе получаемых результатов моделирования

1. На первом этапе проводится однократный замер индивидуальных данных пациента (скорости течения в корне аорты V_{d1} в течение сердечного цикла). Определяется Q_{ed1} – индивидуальный объемный кровоток в корне аорты. Выполняется итерационная процедура для поиска начальных условий системы дифференциальных уравнений, индивидуального параметра R_{d1} и решение 0D-модели без шунта.

2. Задание/корректировка размеров шунта в первом приближении.

3. Выполняется итерационная процедура для поиска начальных условий системы дифференциальных уравнений и решение 0D-модели с шунтом.

4. Осуществляется автоматическая экспертиза полученных результатов на удовлетворение медицинским критериям, по итогам которой будет получен ответ на вопрос: является ли поток через шунт оптимальным? В том случае, если поток

через шунт не оптимален, осуществляется возврат к п. 1. При недостаточном потоке через шунт можно уменьшить длину шунта (либо увеличить диаметр) на один шаг (например, 0,01 мм), при избыточном потоке – увеличить длину шунта или уменьшить диаметр. Если отклонение потока через шунт от оптимального меньше заданного допуска, то осуществляется переход к следующему пункту.

5. Результаты решения 0D-модели в качестве граничных условий (параметры кровотока и давления в аорте и легочной артерии) передаются для численного решения в 3D-модель. Также задаются геометрические параметры 3D-модели и место первоначальной установки шунта.

6. Выполняется автоматическая экспертиза полученных результатов на удовлетворение медицинским критериям. Если полученные характеристики течения не оптимальны, то необходимо скорректировать место установки шунта.

Выводы. Разработана 0D–3D-модель течения крови у новорожденных для прогнозирования рисков осложнений после оперативного лечения. Результаты 0D-моделирования позволяют прогнозировать распределение кровотока в различных частях организма, оценивать изменения потоков крови в легкие после установки шунта. Предложенный метод идентификации позволяет осуществить переход от общих параметров модели к пациент-ориентированным. Алгоритм принятия решений на основе получаемых результатов моделирования в перспективе может быть использован в хирургической практике для снижения рисков послеоперационных осложнений. В дальнейшем планируется разрабатывать подходы для оценки риска тромбоза шунта. Планируется учет в модели процессов сатурации и кислородного обмена для оценки адекватности снабжения легких кислородом.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-41-596005

Список литературы

1. Application of multiscale coupling models in the numerical study of circulation system / Z. Chi, L. Beile, L. Deyu, F. Yubo // Medicine in Novel Technology and Devices. – 2022. – Vol. 14. – Article ID 100117. DOI: 10.1016/j.medntd.2022.100117

2. Classic versus modified Blalock-Taussig shunts in neonates and infants / A.L. Moulton, J.I. Brenner, R. Ringel, A. Nordenberg, M.A. Berman, S. Ali, J. Burns // Circulation. – 1985. – Vol. 72. – P. II35–II44.

3. Dobroserdova T., Olshanskii M., Simakov S. Multiscale coupling of compliant and rigid walls blood flow models // International journal for numerical methods in fluids. – 2016. – Vol. 82 (12). – P. 799–817. DOI: 10.1002/fld.4241

4. Effectiveness of blalock-taussig shunt performance in the congenital heart disease children / A.G. Kuchumov, A.R., Khairulin A.N. Biyanov, A.A. Porodikov, V.B. Arutyunyan, Yu.S. Sinelnikov // Russian Journal of Biomechanics. – 2020. – Vol. 24 (1). – P. 65–83. DOI: 10.15593/RJBiomech/2020.1.08

5. Kamaltdinov M.R., Kuchumov A.G. Application of a mathematical model of systemic circulation for determination of blood flow parameters after modified Blalock-Taussig shunt operation in newborns // Russian Journal of Biomechanics. – 2021. – Vol. 25 (3). – P. 268–284. DOI: 10.15593/RJBiomech/2021.3.07

6. Modeling of Congenital Hearts Alliance (MOCHA) Investigators. An integrated approach to patient-specific predictive modeling for single ventricle heart palliation / C. Corsini, C. Baker, E. Kung, S. Schievano, G. Arbia, A. Baretta, G. Biglino, F. Migliavacca, G. Dubini, G., Pennati A. Marsden, I. Vignon-Clementel, A. Taylor, T.Y. Hsia, A. Dorfman // Comput Methods Biomech Biomed Engin. – 2014. – Vol. 17 (14). – P. 1572–1589. DOI: 10.1080/10255842.2012.758254

7. Modified Blalock Taussig shunt: a not-so-simple palliative procedure / V. Dirks, R. Prêtre, W. Knirsch, E.R. Buechel Valsangiacomo, B. Seifert, M. Schweiger, M. Hübler, H. Dave // Eur J Cardiothorac Surg. – 2013. – Vol. 44 (6). – P. 1096–1102. DOI: 10.1093/ejcts/ezt172

8. Modified Blalock-Taussig shunt. Use of subclavian artery orifice as flow regulator in prosthetic systemic-pulmonary artery shunts / M.R. de Leval, R. McKay, M. Jones, J. Stark, F.J. Macartney // J Thorac Cardiovasc Surg. – 1981. – Vol. 81 (1). – P. 112–119.

9. Modified Blalock-Taussig shunt: immediate and short-term follow-up results in neonates / U. Ahmad, S.H. Fatimi, I. Naqvi, M. Atiq, S.S. Moizuddin, K.B. Sheikh, S. Shahbuddin, T.M. Naseem, M.A. Javed // Heart Lung Circ. – 2008. – Vol. 17 (1). – P. 54–58. DOI: 10.1016/j.hlc.2007.06.003

10. Multiscale Modeling Framework of Ventricular-Arterial Bi-directional Interactions in the Cardiopulmonary Circulation / S.M. Shavik, C. Tossas-Betancourt, C.A. Figueroa, S. Baek, L.C. Lee // Front Physiol. – 2020. – Vol. 11. – P. 2. DOI: 10.3389/fphys.2020.00002

11. Occurrence risk for congenital heart defects in relatives of patients with aortic stenosis, pulmonary stenosis, or ventricular septal defect / D.J. Driscoll, V.V. Michels, W.M. Gersony, C.J. Hayes, J.F. Keane, L. Kidd, D.R. Pieroni, L.J., Rings R.R. Wolfe, W.H. Weidman // Circulation. – 1993. – Vol. 87 (2 Suppl.). – P. I114–I120.

12. Outcomes of systemic to pulmonary artery shunts in patients weighing less than 3 kg: analysis of shunt type, size, and surgical approach / J.W. Myers, N.S. Ghanayem, Y. Cao, P. Simpson, K. Trapp, M.E. Mitchell, J.S. Tweddell, R.K. Woods // J. Thorac Cardiovasc Surg. – 2014. – Vol. 147 (2). – P. 672–677. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.09.055

13. Patient-Specific Multi-Scale Model Analysis of Hemodynamics Following the Hybrid Norwood Procedure for Hypoplastic Left Heart Syndrome: Effects of Reverse Blalock-Taussig Shunt Diameter / A. Ceballos, R. Prather, E. Divo, A.J. Kassab, W.M. DeCampli // Cardiovasc Eng Technol. – 2019. – Vol. 10 (1). – P. 136–154. DOI: 10.1007/s13239-018- 00396-w

14. Risk factors for acute shunt blockage in children after modified Blalock-Taussig shunt operations / M. Gedicke, G. Morgan, A. Parry, R., Martin R. Tulloh // Heart Vessels. – 2010. – Vol. 25 (5). – P. 405–409. DOI: 10.1007/s00380-009-1219-1

15. The Effects of the Mechanical Properties of Vascular Grafts and an Anisotropic Hyperelastic Aortic Model on Local Hemodynamics during Modified Blalock-Taussig Shunt Operation, Assessed Using FSI Simulation / A.G. Kuchumov, A. Khairulin, M. Shmurak, A. Porodikov, A. Merzlyakov // Materials (Basel). – 2022. – Vol. 15 (8). – P. 2719. DOI: 10.3390/ma15082719

Возможные пути совершенствования единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан с использованием интернет-платформы

С.С. Сомов, К.В. Субочева

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области»,
г. Самара, Россия

Юридические лица, эксплуатирующие рентгеновские аппараты, обязаны в соответствии с действующим законодательством предоставлять ежегодные формы статистической отчетности, такие как: радиационно-гигиенический паспорт организации, форма 1-ДОЗ, форма 3-ДОЗ (медицинские организации). Создание нового программного продукта, который сможет решить поставленные задачи посредством интернет-коммуникаций, является актуальным, а реализация данной концепции позволит не только использовать и анализировать сдаваемую информацию всесторонне, но и в конечном счете позволит автоматизировать и повысить достоверность информации, предоставляемой в единую систему контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД).

Ключевые слова: развитие ЕСКИД, форма 1-ДОЗ, форма 3-ДОЗ, РГПО.

Юридические лица, эксплуатирующие рентгеновское оборудование, обязаны в соответствии с действующим порядком предоставления ежегодных форм статистической отчетности предоставлять такие отчетные формы, как: радиационно-гигиенический паспорт организации (далее РГПО), форму 1-ДОЗ, форму 3-ДОЗ (медицинские организации) [5]. Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий является государственной системой оценки влияния основных источников ионизирующего излучения и направлена на обеспечение радиационной безопасности населения. Целью радиационно-гигиенической паспортизации является получение достоверной информации о состоянии радиационной безопасности на территориях субъектов Российской Федерации, необходимой и достаточной для ее объективной оценки, для планирования и проведения при необходимости обоснованных мероприятий по ее улучшению, а также обеспечение доступности этой информации для всех заинтересованных организаций и лиц [2, 3].

В настоящее время для реализации данного требования лица, ответственные за заполнение форм статистической отчетности, используют программные продукты, разработанные ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и размещенные в свободном доступе на сайте. Для каждой из форм отчетности предусмотрено свое обособленное программное обеспечение, реализованное в среде Visual FoxPro, итоговые данные форм 1-ДОЗ и 3-ДОЗ в конечном счете в виде таблиц вручную заносятся в РГПО, а в результате заполнения формируются файлы передачи соответствующих форм отчетности. Необходимость сдачи данных форм отчетности регламентирована в установленные сроки, вид предоставления информации – электронные файлы передачи и бумажные варианты данных форм [1, 4].

Развитие интернет-технологий на современном этапе, а также концепция перехода на «цифровую среду» позволили реализовать большинство форм обязатель-

ной отчетности юридических и физических лиц через специальные интернет-продукты (сайты, платформы, программные продукты).

Следует отметить, что создание нового программного продукта, который будет решать поставленные задачи посредством интернет-коммуникаций, является актуальным, а реализация данной концепции позволит не только использовать и анализировать сдаваемую информацию всесторонне, а также автоматизировать процесс передачи отчетности в региональные и федеральные банки данных. Анализ данной информации различными ведомствами (не только Роспотребнадзор, Минздрав, но и Минпромторг, Ростехнадзор и подведомственные им структуры) позволит решать как задачи в области медицины, так и экономические вопросы по анализу / обеспечению эксплуатируемого медицинскими и промышленными организациями оборудования, действие которого основано на использовании ионизирующего излучения.

При рассмотрении вопросов о модернизации ПО можно исходить из возможностей среды программирования «1С», либо аналогичных программных сред, а также успешного использования интернет-продуктов для заполнения форм отчетности (Федеральная налоговая служба, Федеральная таможенная служба).

При разработке данной интернет-платформы можно предусмотреть:

1. Разработку интернет-платформы, направленной на реализацию сдачи всех форм отчетностей (РГПО, 1-ДОЗ, 3-ДОЗ) организаций, эксплуатирующих ИИИ в режиме «одного окна».

2. Разработку интернет-платформы, направленной на ликвидацию дублирования ввода сведений при заполнении форм отчетностей.

3. Разработку интернет-платформы на современном программном обеспечении, позволяющем проводить всесторонний анализ вводимых данных (например, количество рентгенодиагностического оборудования с определенным наименованием, доза на одно исследование с привязкой к конкретному аппарату, возможность анализа оснащения оборудованием организации, анализ доз персонала с привязкой к оборудованию).

4. Онлайн-модернизацию интернет-платформы в зависимости от количества и типа поставленных для изучения задач на конкретный момент времени.

5. Использование в качестве подтверждения и идентификации пользователя (заполняющего и сдающего отчет) электронной цифровой подписи.

Интеграция в интернет-платформу журнала рентгенологических исследований (с привязкой к рентгенодиагностическому аппарату), которым можно будет пользоваться ежедневно, проводя рентгенодиагностические исследования, позволит добиться практически в реальном времени заполнения форм отчетности и автоматизированного предоставления данных сведений в Региональный банк данных в виде формы федерального государственного статистического наблюдения 3-ДОЗ.

Для заполнения формы 1-ДОЗ предлагается ведение карточек учета доз персонала в электронном виде (также в личном кабинете пользователя) с возможностью ежеквартального внесения значений доз облучения персонала, полученных аккредитованными лабораториями радиационного контроля по результатам индивидуального дозиметрического контроля. Занесение данных значений в течение календарного года позволит обеспечить хранение данных индивидуального дозиметрического контроля персонала в учреждении в установленном порядке, а также автоматизировать процесс заполнения формы 1-ДОЗ.

Реализация подобной платформы позволит не только выстроить электронный документооборот в области применения ИИИ, но и существенно расширить возможности в части всестороннего анализа получаемой информации, что в конечном счете позволит оперативно и объективно решать необходимые задачи.

При решении данных задач необходимо стремиться к их реализации в единой интернет-платформе. Данное решение позволит выстраивать перекрестные сети в базах данных, формировать причинно-следственные связи и автоматизировать процессы анализа получаемой информации, представленные на схеме как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях (рисунок).

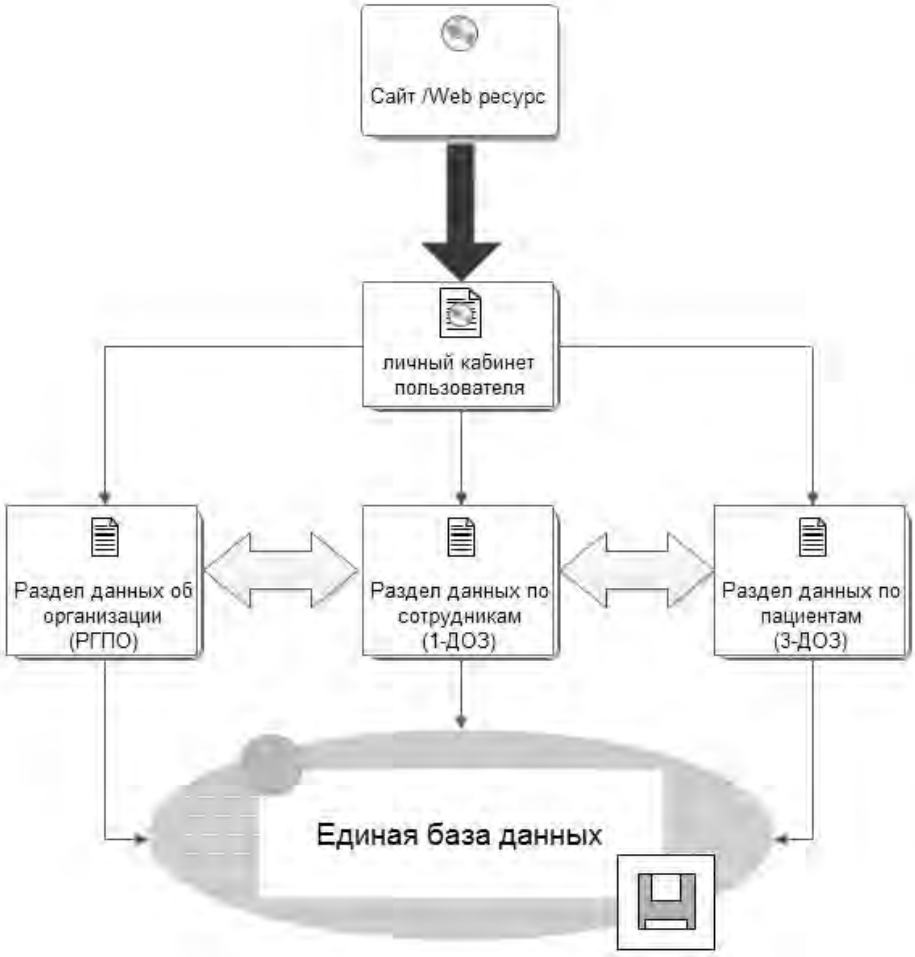


Рис. Схема взаимодействия интернет-платформы

Особое внимание следует уделить перекрестной проверке в режиме реального времени вводимой информации, поскольку при заполнении сведений данные сразу будут сопоставляться с иными сведениями (ранее внесенными в базу данных) и, как следствие, снизится количество ошибок на заключительном этапе свода баз

данных (например, ошибки в датах рождения, СНИЛС, именах, фамилиях и т.д.). Дополнительно можно предусмотреть возможность оповещать пользователя о сроках сдачи отчетностей, а также иные необходимые уведомления.

На этапе запуска интернет-платформы / сайта потребуются определенные временные затраты для корректного внесения необходимых данных, что в конечном счете нивелируется ввиду полной автоматизации задач, которые ставятся перед данным программным продуктом.

Выводы. Реализация вышеописанной интернет-платформы путем слияния взаимосвязанных программ в единую и дополнение ее функционалом позволят автоматизировать и повысить достоверность информации, предоставляемой в систему ЕСКИД. Осуществление данной концепции в новой программной среде позволит не только привести программный продукт в соответствие с существующими реалиями развития компьютерных технологий, но и всесторонне использовать и анализировать информацию, содержащуюся в региональных банках данных.

Список литературы

1. Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ: методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности / утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 16 февраля 2007 г. № 0100/1659-07-26. – М.: Роспотребнадзор, 2007. – 23 с.

2. О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий: Постановление Правительства РФ от 28 января 1997 года № 93 (ред. от 10.07.2014) [Электронный ресурс]. – URL: http://docs.pravo.ru/document/view/6967 (дата обращения: 08.08.2022).

3. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович, А.Н. Барковский, Т.А. Кормановская, И.Г. Шевкун // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 7–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-7-17

4. СанПиН 2.6.1.1192-03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 14 февраля 2003 года; введ. в действие 01.05.2003 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: http://docs.cntd.ru/document/901854044 (дата обращения: 08.08.2022).

5. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) / утв. и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года № 47. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

О критериях верификации данных информационных систем оценки санитарно–эпидемиологического благополучия

Н.А. Тихонова[1], А.В. Леванчук[2], Ю.А. Новикова[1]

[1]ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»,
[2]ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
г. Санкт-Петербург, Россия

В рамках федерального проекта «Чистая вода» создается информационная система «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды в Российской Федерации» (ИС ИКК). Цель исследования – обосновать критерии для автоматизированной проверки данных о результатах исследований питьевой воды, внесенных в ИС ИКК. Проанализированы результаты лабораторных исследований питьевой воды по санитарно-химическим показателям в населенных пунктах Северо-Западного федерального округа и Арктической зоны, внесенные в информационную систему. Оценивались значения результатов лабораторных исследований, нижних пределов количественного определения по каждому показателю. Использование предложенных авторами унифицированных критериев позволит избежать ошибок при ведении информации в ИС ИКК, анализе качества питьевой воды и оценке риска для здоровья населения.

Ключевые слова: питьевая вода, санитарно-химические исследования, критерии верификации, федеральный проект «Чистая вода».

В качестве одной из национальных целей Российской Федерации определена цифровая трансформация [7]. В соответствии с [6] формируются региональные ведомственные инфраструктуры пространственных данных, предусматривающие создание специализированных отраслевых и тематических геоинформационных порталов. Для решения задач в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения разработаны электронные информационно-аналитические публичные ресурсы на основе геоинформационных технологий [3, 12, 14]. Преимуществом этих технологий является удобство сбора, анализа и визуального представления информации, напрямую связанной с территорией, что особенно актуально при работе с большими объемами привязанных к большим территориям данных [4, 12, 13]. Качественные данные – это фундамент управления, и в первую очередь для этого необходимо организовать автоматизированный сбор данных. Данные нужно регулярно верифицировать, чтобы выявить ошибки и несоответствия; контролировать ситуации, в которых появляются ошибки, устранять их последствия; предупреждать появление новых ошибок и несоответствий в данных; оптимизировать процессы обработки данных [5]. В рамках федерального проекта «Чистая вода» создается информационная система «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды в Российской Федерации» (ИС ИКК), в которую в настоящее время вносятся результаты лабораторных исследований воды централизованных систем водоснабжения, проведенных в рамках социально-гигиенического мониторинга.

Цель исследования – обосновать критерии для автоматизированной проверки данных о результатах исследований питьевой воды по санитарно-химическим показателям, внесенных в ИС ИКК.

Материалы и методы. Проанализированы результаты лабораторных исследований питьевой воды по санитарно-химическим показателям в населенных пунктах Северо-Западного федерального округа и Арктической зоны за 2018–2022 гг., внесенные в ИС ИКК. Оценивались значения результатов лабораторных исследований, нижних пределов количественного определения (НПО) по каждому показателю. Исследование выполнялось в рамках научно-исследовательской работы, рег. № 121031300059-9.

Результаты. ИС ИКК предназначена для информирования населения о качестве подаваемой питьевой воды, информационной поддержки деятельности органов и учреждений Роспотребнадзора, органов государственной власти и органов местного самоуправления, подготовки управленческих решений на основе анализа собранных данных [11]. В настоящее время в ИС ИКК внесена информация о 29,6 тыс. точках контроля качества воды централизованных систем водоснабжения и более 60 млн исследований.

Значения НПО важны при проведении оценки риска для здоровья населения для веществ, содержание которых в воде незначительно, и особенно для веществ, обладающих канцерогенным действием.

На примере исследований питьевой воды в изученных населенных пунктах было выявлено значительное расхождение внесенных значений НПО для 45 из 68 исследованных санитарно-химических показателей. Количество значений НПО варьируется от 2 (йод, кобальт) до 29 (железо). Особое внимание следует обратить на присутствие значений НПО на уровне гигиенического норматива или выше него, выделенных в таблице, что, вероятно, связано с ошибками при вводе информации в ИС ИКК.

Количество и значения НПО некоторых санитарно-химических показателей, внесенных в ИС ИКК

Наименование показателя	Гигиенический норматив	НПО	
		Количество	Значение
Алюминий (Al, суммарно)	0,2	14	< 0,04
			< 0,10
			< 0,004
			< 0,02
			< 0,04
			< 0,040
			< 0,05
			< 0,25
			< 0.04
			> 0,56
			> 0,56
			0,08
			Менее 0,04
			Не указано
Железо (Fe, суммарно)	0,3	29	< 0,1
			< 0,01
			< 0,05
			< 0,050

Продолжение таблицы

Наименование показателя	Гигиенический норматив	НПО	
		Количество	Значение
			< 0,1
			< 0,10
			< 1
			< 0,01
			< 0,04
			< 0,05
			< 0,050
			< 0,1
			< 0,10000
			< 0,3
			< 0,05
			< 0,1
			< 1
			< 8
			> 0,1
			< 0,001
			< 0,01
			< 0,05
			< 0,1
			Более 2
			Более 2,0
			Менее 0,05
			Менее 0,1
			Менее 0,10
			Не указано
Кадмий (Cd, суммарно)	0,001	13	< 0,0001
			< 0,0005
			< 0,0002
			< 0,001
			< 0,002
			< 0,0001
			< 0,0002
			< 0,001
			< 0,0002
			< 0,001
			< 8
			< 0,001
			Не указано
Свинец (Pb, суммарно)	0,01	21	< 0,001
			< 0,005
			< 0,0001
			< 0,0002
			< 0,001
			< 0,002
			< 0,003
			< 0,005
			< 0,01
			< 0,0001

Окончание таблицы

Наименование показателя	Гигиенический норматив	НПО	
		Количество	Значение
			< 0,0002
			< 0,001
			< 0,002
			< 0,003
			< 0,002
			< 0,003
			< 0,01
			< 8
			< 0,002
			< 0,005
			Не указано
Хлороформ (трихлорметан; фреон 20; хладон 20)	0,06	6	< 0,0006
			< 0,0006
			< 0,0015
			> 0,25
			> 0,25
			Не указано

Диапазоны измерений для каждого показателя указываются в используемой методике выполнения измерений и, как следствие, значения НПО могут отличаться. Например, диапазон измерений массовой концентрации общего железа – от 0,1 до 2,0 мг/дм^3 в соответствии с [1], от 0,05 до 15 мг/дм^3 согласно [9], от 0,01 до 15 мг/дм^3 – по [10]. Применяемая методика выполнения измерений должна иметь нижнюю границу диапазона определяемых концентраций не более 0,5 ПДК [2], поэтому в качестве возможного нижнего критерия для верификации вносимого в ИС ИКК значения показателя независимо от применяемой методики выполнения измерений можно использовать 0,5 ПДК.

При анализе результатов лабораторных исследований по санитарно-химическим показателям в точках контроля изучаемых населенных пунктов были выявлены концентрации, значительно отличающиеся от большинства регистрируемых в этой точке значений, а возможно и превышающие ПДК (рисунок).

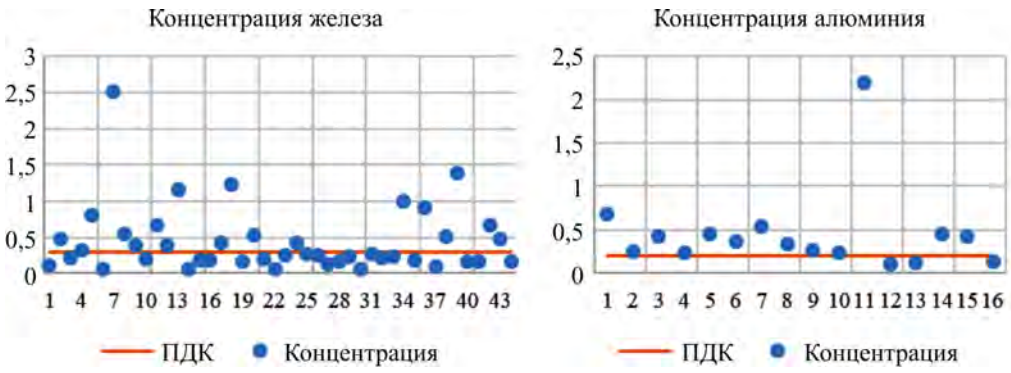


Рис. Концентрации в питьевой воде железа (г. Архангельск) и алюминия (г. Северодвинск)

Для исключения возможных ошибок при внесении результатов лабораторных исследований в качестве верхнего критерия для верификации можно использовать значения критериев существенного ухудшения качества питьевой воды [8].

Выводы. С учетом проведенного анализа результатов лабораторных исследований питьевой воды, внесенных в ИС ИКК, методик выполнения измерений и требований к ним в качестве нижнего критерия для верификации результата для каждого показателя можно предложить 0,5 ПДК, верхнего – значение критерия существенного ухудшения качества питьевой воды. Использование предложенных унифицированных критериев позволит избежать ошибок при ведении информации в ИС ИКК, анализе качества питьевой воды и оценке риска для здоровья населения.

Список литературы

1. ГОСТ 4011-72. Методы измерения массовой концентрации общего железа / утв. Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР 09.10.1972 [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: https://meganorm.ru/Index2/1/4294850/4294850722.htm (дата обращения: 12.08.2022).

2. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества / принят и введ. в действие Постановлением Госстандарта России от 17 декабря 1998 г. № 449 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200003120 (дата обращения: 27.08.2022).

3. Декстер А.П., Струков Д.Р. Геопортал «Геоинформационная система здравоохранения Санкт-Петербурга» в сети Интернет как пример системы для управления территорией здравоохранения // Врач и информационные технологии. – 2012. – № 3. – С. 58–63.

4. Новикова Ю.А. Межрегиональный социально-гигиенический мониторинг – перспективное направление обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия // Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее: материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. – М., 2017. – С. 140–143.

5. Новикова Ю.А., Копытенкова О.И., Алентьева О.С. О возможности использования результатов производственного контроля для оценки качества питьевой воды // Техносферная безопасность городских агломераций: сборник международной школы-конференции. – М., 2020. – С. 50–54.

6. О Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации: Распоряжение Правительства РФ от 21.08.2006 № 1157-р [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12049036/ (дата обращения: 05.09.2022).

7. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007210012/ (дата обращения: 05.09.2022).

8. Об утверждении Критериев существенного ухудшения качества питьевой воды и горячей воды, показателей качества питьевой воды, характеризующих ее безопасность, по которым осуществляется производственный контроль качества питьевой воды, горячей воды и требований к частоте отбора проб воды: Приказ Роспотребнадзора от 28.12.2012 № 1204 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https: //docs.cntd.ru/document/499000646 (дата обращения: 05.09.2022).

9. ПНД Ф 14.1: 2: 3.2-95. Методика измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином / утв. директором ФГБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» В.В. Новиковым 26 мая 2017 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/555604029 (дата обращения: 03.09.2022).

10. ПНД Ф 14.1: 2: 4.139-98. Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии / утв. Заместителем Председателя Государственного комитета РФ по охране окружающей среды А.А. Соловьяновым 25 июня 1998 г. [Электронный ресурс] // МЕГАНОРМ: система нормативных документов. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/ 4293832/4293832535.htm (дата обращения: 29.08.2022).

11. Создание и внедрение информационной системы «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды в Российской Федерации» / И.В. Драй, Ф.Н. Шайдуллин, И.А. Воецкий, С.А. Зимарева, М.А. Косьянов, Н.В. Степанова // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2020. – С. 284–294.

12. Токарчук С.М., Токарчук О.В., Трофимчук Е.В. Методические основы создания региональных электронных эколого-географических атласов // Псковский региональный журнал. – 2015. – № 22. – С. 95–110.

13. Чепиков Н.А. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга региона с использованием геоинформационных технологий // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2011. – № 4 (20).

14. Яковлев Д.В. Геопортал Воронежской области – инструмент повышения эффективности обращения региональных пространственных данных // Вестник Воронежского государственного университета. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 41–45.

Моделирование течения воздуха в нижних дыхательных путях, созданное на основе снимков компьютерной томографии, для задач оценки рисков здоровью

М.Ю. Цинкер[1], А.И. Кучуков[2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Рассматривается нестационарное течение воздуха в нижних дыхательных путях анатомически реальной формы, полученной на основе снимков компьютерной томографии. Для описания движения воздуха используется модель вязкой жидкости. Моделирование выполнено при использовании программной среды ANSYS CFX. В результате работы были получены и приведены линии тока воздушных потоков в нижних воздухоносных путях. В местах бифуркаций нижних дыхательных путей наблюдаются завихрения потоков. Результаты, полученные с использованием данной модели, могут быть полезны для решения задач в области оценки рисков здоровью человека.

Ключевые слова: модель дыхательной системы, нестационарное течение воздуха.

На сегодняшний день выявлено негативное воздействие окружающей среды на состояние здоровья человека [3, 5, 6], в том числе на органы дыхания [2, 4]. Существующие способы медицинской диагностики позволяют получить актуальную оценку состояния здоровья пациента непосредственно на момент исследования. Однако больший интерес представляет построение эволюционных моделей, позволяющих прогнозировать развитие заболеваний в зависимости от факторов среды обитания. Такая модель позволяет оценивать поступление веществ из окружающей среды в организм, имитировать негативное воздействие на организм и делать прогнозы функциональных нарушений дыхательной системы.

В рамках разработки математической модели дыхательной системы человека [7, 8] исследуется течение воздуха в нижних дыхательных путях анатомической формы на основе снимков компьютерной томографии.

Воздух попадает в легкие по воздухоносным путям, которые в соответствии с их положением в теле подразделяются на верхний и нижний отделы. К верхним дыхательным путям относятся полость носа, носовая часть глотки, ротовая часть глотки, к нижним дыхательным путям – гортань, трахея, бронхи, включая внутрилегочные разветвления бронхов (рис. 1) [1]. Нижние дыхательные пути представляют собой сложную древовидную структуру: трахея разделяется на два главных бронха, которые продолжают ветвление на более мелкие дыхательные пути, заканчивающиеся альвеолами.

В данном исследовании форма нижних дыхательных путей восстанавливалась на основе снимков компьютерной томографии (КТ) трахеи и бронхов. Обработанные снимки КТ после выполнения процедуры сегментации представляют собой поверхностную геометрию, выгруженную в STL-формате (рис. 2, *а*, *б*).

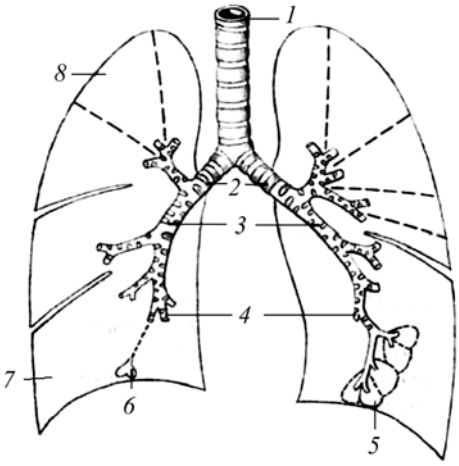
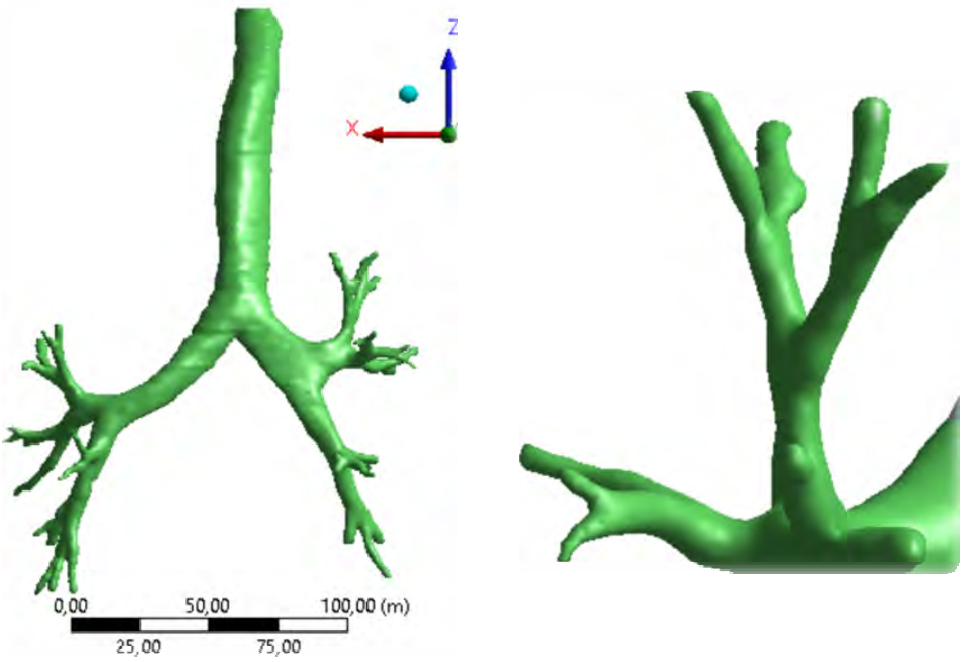


Рис. 1. Строение нижних дыхательных путей человека: *1* – трахея; *2* – главные бронхи; *3* – долевые бронхи; *4* – сегментарные бронхи; *5* – долька; *6* – ацинус; *7* – нижняя доля правого легкого



а *б*

Рис. 2. Компьютерная томография: *а* – необработанная реальная геометрия трахеи и бронхов человека (вид сзади); *б* – концы последних генераций бронхов

На основе исходной геометрии была построена улучшенная геометрия при помощи Ansys SpaceClaim (рис. 3): были сглажены неровности стенок, некоторые артефакты были удалены вручную. Данная модель дыхательных путей имеет на входе площадь сечения, равную 1,389 см^2, и длину трахеи, равную 125 мм. Данные размеры являются анатомически верными для взрослого человека.

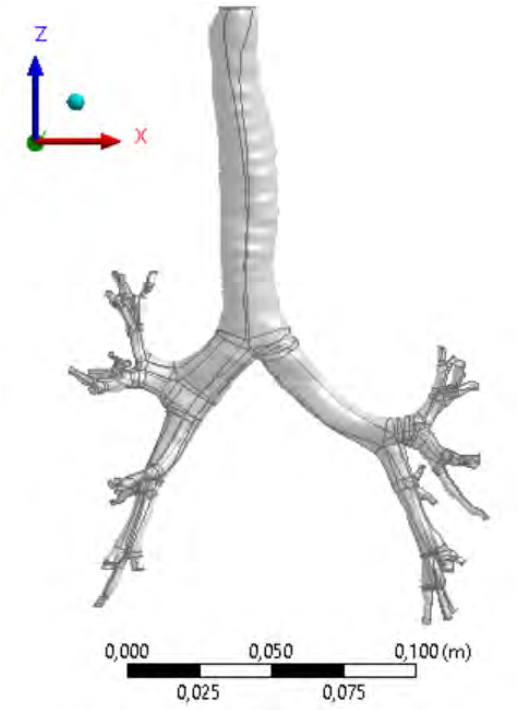


Рис. 3. Трехмерная геометрия нижних дыхательных путей (вид спереди)

На основе обработанной геометрии с помощью модуля ANSYS CFD была построена тетраэдрическая объемная сетка трахеи и бронхов, состоящая из 2 304 049 конечных элементов (рис. 4, 5).

В данной работе была принята гипотеза, что на входе в трахею температура воздуха составляет 36,6 °С. В общем случае дыхание является нестационарным процессом, движение воздуха осуществляется за счет разности давлений между атмосферой и легкими, вызванной изменением объема легких за счет работы костно-мышечной системы.

На входе в трахею во время всего процесса дыхания задается давление, равное атмосферному (p_{in} = 101 325 Па). Давление на выходе из бронхов изменяется по периодическому закону [9]:

$$p_{out} = 101325 - 98\sin(\frac{\pi}{2}t), \quad (1)$$

где p_{out} – давление на выходе из бронхов, Па; t – время, с.

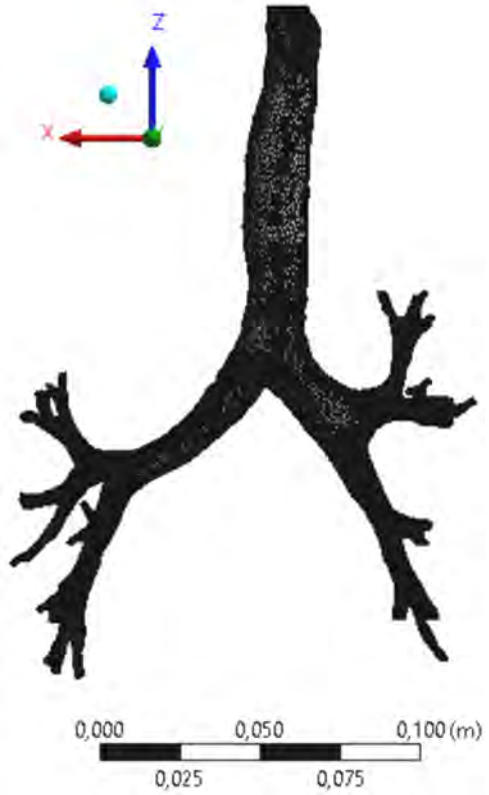


Рис. 4. Объемная сетка трахеи и бронхов человека (вид сзади)

Рис. 5. Укрупненный фрагмент объемной сетки последних генераций бронхов

Расчеты нестационарного течения воздуха в крупных воздухоносных путях выполнены с использованием программного продукта ANSYS CFX. На рис. 6–8 приведены линии тока скоростей воздушных потоков в момент времени 0,5; 1,0 и 1,5 с соответственно.

В процессе вдоха скорость течения воздуха принимала значения от 0,0 до 17,59 м/с. В момент времени 0,5 с скорость принимала значения от 0,0 до 15 м/с, в момент времени 1,5 с – от 0,0 до 13 м/с. Наибольшее значение скоростей наблюдается в момент времени 1 с – 17,59 м/с. Воздушные потоки достигали наибольшей скорости на входе в трахею в любой из рассматриваемых моментов времени. В процессе течения воздуха возникают завихрения в трахее и местах бифуркации дыхательных путей, причем локализация завихрений сохраняется для всех моментов времени одинаковой.

Представленная модель может быть использована для оценки рисков здоровью населения, обусловленных негативным воздействием факторов среды обитания, поступающих в организм ингаляционным способом. Дальнейшее развитие модели предполагает решение задачи течения воздуха в легких человека с деформируемыми стенками; моделирование формирования заболеваний, обусловленных факторами среды обитания.

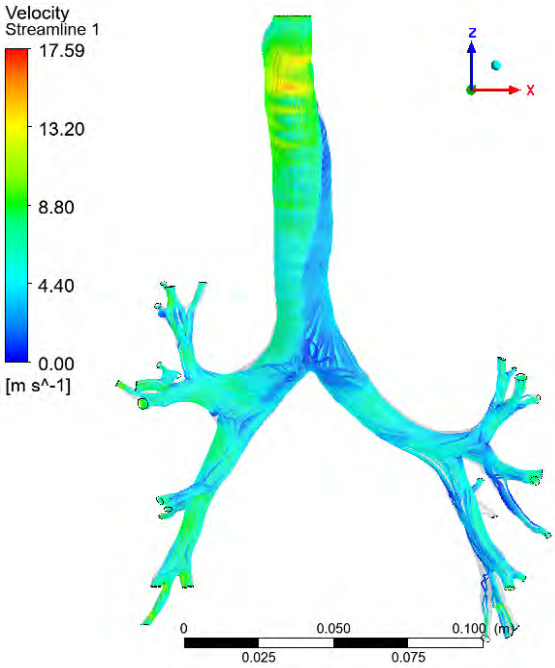


Рис. 6. Линии тока скоростей движения воздуха в нижних дыхательных путях человека в момент времени 0,5 с (вид спереди)

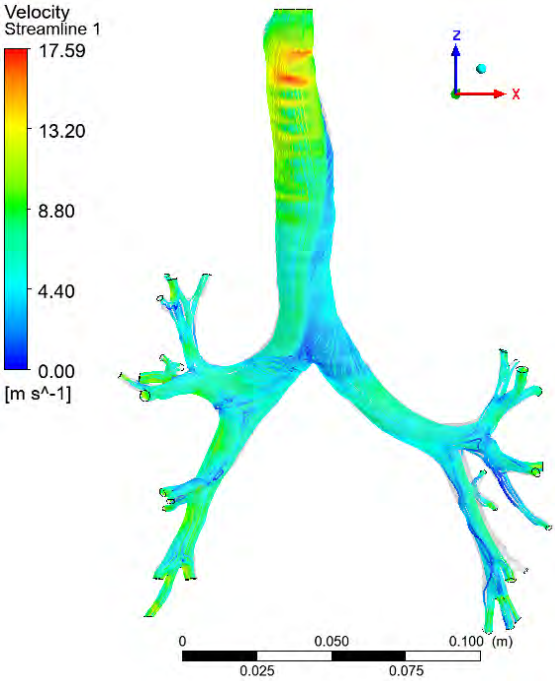


Рис. 7. Линии тока скоростей движения воздуха в нижних дыхательных путях человека в момент времени 1,0 с (вид спереди)

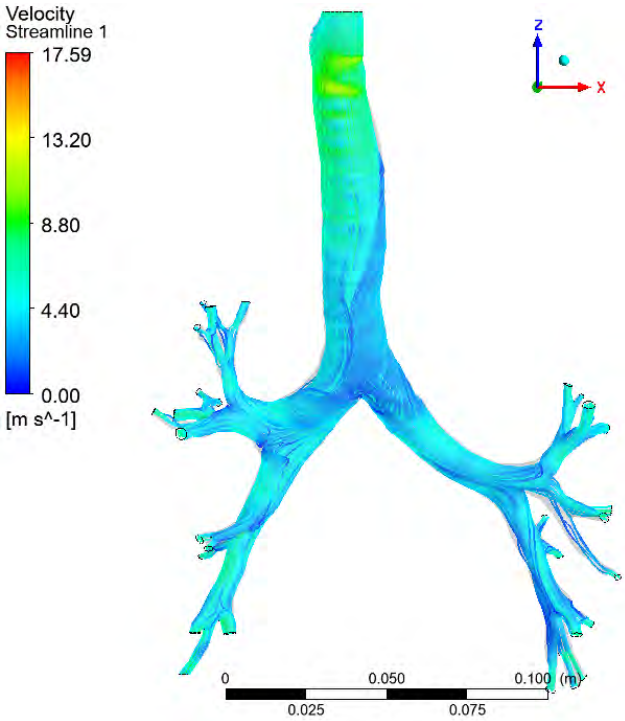


Рис. 8. Линии тока скоростей движения воздуха в нижних дыхательных путях человека в момент времени 1,5 с (вид спереди)

Список литературы

1. Анатомия человека: в 2 т. / Э.И. Борзяк, М.Р. Сапин, В.С. Ревазов, Е.А. Добровольская, Л.И. Волкова; под ред. М.Р. Сапина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1993. – Т. 1. – 544 с.

2. Гигиенические аспекты нарушения здоровья детей при воздействии химических факторов среды обитания / Н.В. Зайцева, О.Ю. Устинова, А.И. Аминова, О.А. Маклакова, А.А. Акатова, М.А. Землянова, С.В. Фарносова, М.А. Сафонова [и др.]; под ред. Н.В. Зайцевой. – Пермь: Книжный формат, 2011. – 489 с.

3. Онищенко Г.Г. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения. Нерешенные проблемы и задачи // Гигиена и санитария. – 2003. – № 1. – С. 3–10.

4. Пневмокониозы: патогенез и биологическая профилактика / Б.А. Кацнельсон, О.Г. Алексеева, Л.И. Привалова, Е.В. Ползик. – Екатеринбург: УрО РАН, 1995. – 325 с.

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

6. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования / Ю.А. Рахманин,

С.М. Новиков, С.Л. Авалиани, О.О. Синицына, Т.А. Шашина // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 2. – С. 4–11.

7. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. Моделирование процесса дыхания человека: концептуальная и математические постановки // Математическая биология и биоинформатика. – 2016. – Т. 11, № 1. – С. 64–80. DOI: 10.17537/2016.11.64

8. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. О моделировании течения воздуха в легких человека: конститутивные соотношения для описания деформирования пористой среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – № 4. – С. 165–174. DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.14

9. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы. – М.: Мир, 1988. – 200 с.

Раздел VII

Опыт оценки и управления рисками для здоровья детей и подростков в образовательных учреждениях, организациях отдыха и оздоровления

Особенности нарушений клеточной регуляции у школьников в условиях контаминации биосред формальдегидом

И.Н. Аликина[1], О.В. Долгих[1,2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Изучение влияния процессов апоптоза, некроза, аутофагии и механизмов их регуляции в научных исследованиях эффектов измененных условий среды на здоровье является актуальным [1]. Рассматривается влияние условий контаминации биосред формальдегидом на показатели регуляции клеточного иммунитета школьников (7–9 лет), постоянно проживающих и посещающих образовательные учреждения в зоне размещения крупных автомагистралей. В условиях контаминации крови исследуемым гаптеном наблюдалось достоверное увеличение экспрессии маркеров апоптоза Annexin V+/7AAD–, Annexin V+/7AAD+, CD255 (TWEAK), цитокина интерферона-гамма (ИНФ-γ) и IgE специфического к формальдегиду у детей основной группы исследования. Таким образом, у школьников группы наблюдения выявлены изменения, характеризующие чрезмерную активацию компонентов клеточного иммунитета, отвечающих за его саморазрушение (апоптоз).

Ключевые слова: регуляторные клетки, учащиеся, формальдегид, контаминация биосред.

Постоянное чрезмерно продолжающееся загрязнение окружающей среды химическими примесями в сочетании с нестабильной социально-экономической ситуацией приводит к ухудшению здоровья населения [3]. Воздействие химических факторов окружающей среды существенно влияет на внутреннюю среду организма, оказывая негативное воздействие на многие системы и адаптационные возможности организма, что ведет к снижению защитных сил иммунитета [4]. Клеточный гомеостаз в организме здорового человека определяется балансом между гибелью и пролиферацией клеток. Дефекты, возникающие в процессах дифференцировки и новообразования клеток, ведут к самоуничтожению этих структур [2, 5]. Для задач раннего выявления нарушений здоровья населения в условиях поступления химических веществ в организм и формирования их контаминации актуальным является изучение особенностей ответных реакций иммунной системы на их воздействие.

Цель исследования – оценка клеточной регуляции у школьников в условиях контаминации биосред формальдегидом.

Материалы и методы. Основную группу обследованных составили дети (n = 120) младшего школьного возраста (7–9 лет), постоянно проживающие и посещающие образовательные учреждения в зоне размещения крупных автомагистралей (группа наблюдения, Пермский край). В группу сравнения вошли 90 детей-школьников (7–9 лет), проживающих и посещающих образовательные учреждения на территории Пермского края вне зоны прохождения крупных автомагистралей. Школьники иссле-

дуемых групп были сопоставимы по возрастно-половому составу. Предметом исследования являлись биологические среды (кровь).

Химический анализ крови детей включал количественное определение содержания приоритетных загрязняющих веществ (формальдегида). Идентификация формальдегида в биосредах (кровь) выполнена методами газовой хроматографии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в соответствии с методическими указаниями «Сборник методик по определению химических соединений в биологических средах», утвержденными Минздравом России 06.09.99. № 763-99–4.1.779.-99. Интенсивность реакций апоптоза оценивали при помощи набора реактивов Annexin V-FITC Apoptosis Detection KIT I (BD Pharmingem™, США). Результаты выражали в процентах от общего числа клеток. Аннексин V использовали для идентификации клеток, вступивших в апоптоз (аннексин V+ клетки). Пропидий йодид (PI) использовали в качестве маркера жизнеспособности клеток. В каждом образце анализировали 10 тыс. событий. При изложении результатов исследования клетки на ранней стадии апоптоза будут обозначаться как Annexin V+PI- (позитивны по Annexin V-FITC, негативны по PI), клетки, находящиеся на поздней стадии апоптоза, – Annexin V+PI+ (позитивны по Annexin V-FITC и PI). Уровень мембранного маркера CD255 в крови оценивали с использованием моноклональных антител к поверхностным дифференцировочным ангинам на клетках. Лимфоциты выделяли из периферической крови путем центрифугирования в градиенте плотности фиколл-верографин с последующим анализом на проточном цитофлюориметре FACSCalibur. Концентрацию цитокина интерферона-γ (IFN-γ) определяли в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа, согласно рекомендации фирмы-производителя с использованием тест-систем ЗАО «Вектор-Бест» (Россия). Результаты снимали на медицинском микропланшетном ридере SUNRISE (TECAN Austria GmbH, Австрия).

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы математической статистики при поддержке программы Microsoft® Office Excel и пакета прикладных программ Statistica 10.0. (StatSoft, США). 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 ± ошибка среднего). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p < 0{,}05$.

Результаты. Средняя концентрация формальдегида в крови детей группы наблюдения превышала фоновый региональный уровень у 98,9 % обследованных, одновременно статистически значимое ($p < 0{,}05$) различие наблюдалось при сравнении групп между собой (0,038 ± 0,004; 0,030 ± 0,003 мкг/см^3).

В ходе выполнения исследований выявлены достоверные отклонения иммунологических маркеров по отношению к физиологической норме. Наблюдается активация ранних проапоптотических факторов – Annexin V негативных клеток у 73,9 % детей, рецептора CD255 (TWEAK) – у 83,4 % ($p < 0{,}05$).

Относительное содержание апоптотических лимфоцитов (Annexin V+/-7AAD–, Annexin V+/7AAD+), индуктора апоптоза CD255 (TWEAK), интерферона (ИНФ-γ) у экспонированных школьников превышало ($p < 0{,}05$) значения данных показателей в группе сравнения в 1,2, 1,4, 1,1, 2,3 раза соответственно. Аналогич-

ная тенденция прослеживается относительно показателя IgE специфического к формальдегиду (превышение почти в три раза) (таблица).

Показатели клеточной регуляции у детского населения

Показатель	Физиологическая норма	Группа наблюдения, $n = 120$	Группа сравнения, $n = 90$
Annexin V+/7-AAD–, %	1,00–2,50	$18{,}266 \pm 0{,}699^{*/**}$	$15{,}651 \pm 0{,}748$
Annexin V+/7-AAD+, %	7,00–11,00	$1{,}973 \pm 0{,}235^{*/**}$	$1{,}396 \pm 0{,}130$
CD255 (TWEAK)	1,20–5,16	$13{,}049 \pm 0{,}390^{*/**}$	$12{,}187 \pm 0{,}459$
Интерферон-гамма, пг/мл	0–10	$10{,}987 \pm 0{,}335^{**}$	$4{,}678 \pm 0{,}404$
IgE спец. к формальдегиду, усл. ед.	0–0,15	$0{,}310 \pm 0{,}037^{**}$	$0{,}110 \pm 0{,}008$

Примечание: * – статистически достоверное различие с физиологической нормой по непарному критерию Стьюдента при $p < 0{,}05$; ** – статистически достоверное различие с группой сравнения по непарному критерию Стьюдента при $p < 0{,}05$.

В то же время использование методического приема оценки отношения шансов изменения иммунологических тестов при возрастании концентрации формальдегида в крови позволило установить достоверное ($p < 0{,}05$) увеличение экспрессии раннего маркера апоптоза Annexin V+/-7AAD–, а также индуктора клеточной гибели TWEAK ($R^2 = 0{,}85$ при $p < 0{,}05$; $R^2 = 0{,}78$ при $p < 0{,}05$).

В нашем исследовании наблюдается чрезмерная активация содержания Аннексина V в крови, который является мембранным маркером апоптоза. Изменения в плазмотической мембране клетки являются одними из наиболее ранних признаков клеточной гибели [8]. Также увеличивается содержание лиганда TWEAK, что может быть связано с хроническим воспалением и патологическими изменениями в организме [6]. Рост данного показателя сопровождается стимуляцией его за счет увеличения концентрации интерферона-гамма в крови исследуемого контингента учащихся [7].

Выводы. Таким образом, у детей, проживающих и посещающих образовательные учреждения в зоне размещения крупных автомагистралей, характеризующихся контаминацией биосред формальдегидом, отмечается ускорение гибели клетки по раннему ее типу (апоптоз), сопровождающееся гиперэкспрессией интерферона и индуктора клеточной гибели CD255, а также гиперпродукцией специфических антител к формальдегиду, что отражает статус иммунного профиля школьников как иммунодефицитный.

Список литературы

1. Бра М., Квинан Б., Сузин С.А. Митохондрии в программированной гибели клетки: различные механизмы гибели // Биохимия. – 2005. – Т. 70, № 2. – С. 284–293.

2. Кутузова Л.А., Тончева К.С. Роль апоптоза в канцерогенезе [Электронный ресурс] // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 6. – URL: https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19316 (дата обращения: 05.09.2022).

3. Куценко С.А. Основы токсикологии. – СПб.: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2001. – 395 с.

4. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Землянова М.А. Влияние факторов внешней среды на здоровье человека / под ред. Г.Г. Онищенко. – Пермь: Книжный формат, 2011. – 532 с.

5. Akt decreases lymphocyte apoptosis and improves survival in sepsis / U. Bommhardt, K.S. Chang, P.E. Swanson, T.N. Wagner, K.W. Tinsley, I.E. Karl, R.S. Hotchkiss // J. Immunol. – 2004. – Vol. 172, № 12. – P. 7583–7591. DOI: 10.4049/jimmunol.172.12.7583

6. Burkly L.C. TWEAK/Fn14 axis: the current paradigm of tissue injury-inducible function in the midst of complexities // Semin. Immunol. – 2014. – Vol. 26, № 3. – P. 229–236. DOI: 10.1016/j.smim.2014.02.006

7. Burkly L.C., Michaelson J.S., Zheng T.S. TWEAK/Fn14 pathway: an immunological switch for shaping tissue responses // Immunol. Rev. – 2011. – Vol. 244, № 1. – P. 99–114. DOI: 10.1111/j.1600-065X.2011.01054.x

8. Newton K., Strasser A. Cell death control in limphocytes // Adv. Immunol. – 2001. – Vol. 76. – P. 179. DOI: 10.1016/s0065-2776 (01) 76020-8

Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения при потреблении питьевой воды

О.М. Басова

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии»,
г. Чебоксары, Россия

Приведены результаты оценки неканцерогенного риска здоровью детского населения, проживающего в различных городах Чувашской Республики.

Результаты оценки риска показали, что величина суммарного риска во всех зонах соответствует допустимому (приемлемому) уровню неканцерогенного риска (*HI* 1–3).

Основное воздействие и риск для органов-мишеней обусловлены критическим воздействием нитратов (кроветворная, сердечно-сосудистая системы), фторидов (зубы, костная система) и бора (репродуктивная система, развитие, ЖКТ).

Ключевые слова: питьевая вода, детское население, оценка риска, неканцерогенный риск.

Одним из важнейших экологических факторов среды обитания, влияющих на здоровье населения, является качество питьевой воды [1]. Наиболее чувствительными к действию неблагоприятных факторов окружающей среды являются дети, поэтому их здоровье может служить надежным индикатором экологического благополучия региона [2]. В силу физиологических особенностей, по сравнению со взрослыми, дети более подвержены воздействию токсичных веществ в питьевой воде, потому что они потребляют больше воды на единицу веса тела (мг/кг) [3].

Цель исследования – провести оценку риска для здоровья детского населения при пероральном поступлении химических соединений с питьевой водой на основе стандартных факторов экспозиции.

Материалы и методы. Для оценки химического состава питьевой воды были использованы данные регионального информационного фонда (РИФ) социально-гигиенического мониторинга за 2018–2021 гг., результаты лабораторных исследований, выполненных на базе аккредитованных испытательных лабораторных центров ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии» и филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии в Цивильском районе».

Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения проводилась в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ». Расчет средних суточных доз при хроническом пероральном поступлении анализируемых химических веществ с питьевой водой для детского населения проводили с использованием стандартных значений факторов экспозиции для детского населения. Коэффициент опасности *HQ* определяли отношением величины потенциальной суточной дозы вещества, поступающего пероральным путем, к уровню безопасного воздействия при этом же пути поступления. Суммарный индекс опасности (*HI*), который является характеристикой риска развития неканцерогенных эффектов при комбинированном и комплексном воздействии химических соединений для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем, рассчитывался как сумма коэффициентов опасности (*HQ*) для отдельных химических веществ [3].

За допустимый уровень неканцерогенных эффектов принимались значения *HQ* в диапазоне от 0,11 до 1,0, а *HI* – от 1,1 до 3,0.

Статистический анализ полученных данных реализован в операционной системе Windows 2007 с использованием стандартных прикладных пакетов Excel 2007 и Statistica v. 6.0.

Результаты. Оценку неканцерогенного риска при поступлении химических веществ с питьевой водой проводили для детского населения, проживающего в городах Козловке, Мариинском Посаде, Цивильске и селе Красноармейском.

Население городов Козловки, Мариинского Посада, Цивильска и с. Красноармейского обеспечивается питьевой водой из подземных источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

По данным РИФ социально-гигиенического мониторинга, к числу приоритетных веществ, загрязняющих питьевую воду систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, можно отнести: барий, бор, литий, сульфаты, фториды – за счет поступления из источников водоснабжения; железо – за счет поступления в воду в процессе транспортировки.

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой проведена для 10 химических веществ: барий, бор, железо, литий, нитраты, марганец, кобальт, цинк и фториды.

На основе среднегодовых концентраций химических веществ в питьевой воде был выполнен расчет среднесуточных доз, коэффициентов и индексов суммарной опасности (табл. 1).

На этапе оценки экспозиции установлено, что рассчитанные дозы при хроническом пероральном поступлении анализируемых химических веществ с питьевой водой не превышают верхней границы референтного уровня (*RfD*) (табл. 2).

Таблица 1

Средние значения концентраций химических веществ в питьевой воде по зонам исследования

Название вещества	ПДК СанПиН 1.2.3685-21	Предел обнаружения	Среднегодовые концентрации, мг/л			
			г. Козловка	с. Красно-армейское	г. Мариинский Посад	г. Цивильск
Барий	0,7	0,01	0,107	0,150	0,079	0,099
Бор	0,5	0,05	0,091	0,28	0,255	0,491
Железо	0,3	0,1	0,103	0,108	0,101	0,209
Литий	0,03	0,001	0,02	0,03	0,02	0,02
Нитраты	45,0	0,1	18,58	16,92	1,11	1,49
Никель	0,02	0,001	0,002	0,009	0,004	0,004
Марганец	0,1	0,01	0,011	0,014	0,07	0,04
Кобальт	0,1	0,001	0,0015	0,0015	0,0051	0,0011
Цинк	0,3	0,0005	0,0007	0,00055	0,0067	0,0064
Фториды	1,5	0,05	0,534	0,359	0,557	0,755

Таблица 2

Среднесуточная доза поступления химических веществ с питьевой водой по зонам исследования

Название вещества	*RfD*, мг/кг	Среднесуточная доза для детского населения, мг/кг			
		г. Козловка	с. Красно-армейское	г. Мариинский Посад	г. Цивильск
Барий	0,07	0,00684	0,009589	0,004475	0,006329
Бор	0,2	0,005753	0,0179	0,016621	0,031324
Железо	0,3	0,007032	0,003644	0,0002	0,013425
Литий	0,02	0,001119	0,003292	0,008374	0,002813
Нитраты	1,6	1,189041	1,081963	0,070959	0,095251
Никель	0,02	0,000128	0,000575	0,000256	0,000256
Марганец	0,14	1,0E-05	0,0001	0,000473	0,00032
Кобальт	0,02	9,59E-05	8,59E-05	1,21E-05	6,39E-05
Цинк	0,3	0,000505	3,52E-05	4,16E-05	4,09E-05
Фториды	0,06	0,033881	0,022374	0,035799	0,047945

Результаты расчета коэффициента опасности (*HQ*) при поступлении химических веществ с питьевой водой для детского населения приведены в табл. 3.

Результаты показали, что величина суммарного риска для детского населения по зонам исследования соответствует приемлемому уровню риска (*HI* от 1,1 до 3,0). Наибольший уровень суммарного коэффициента опасности (*HI* = 1,53) отмечается в г. Козловке. Основной вклад в величину риска вносят нитраты – 48,7 %, фториды – 36,9 %, барий – 6,4 %. Второе место по уровню риска занимает с. Красноармейское, где основная доля для величины риска определяется нитратами – 45,5 %, фторидами – 25,5 %, литием – 11,1 %. В г. Цивильске основной вклад в суммарную величину риска вносят фториды – 61,0 %, бор – 11,96 % и литий – 10,7 %. Такая же тенденция характерна для г. Мариинского Посада, где фториды составляют 48,3 %, литий – 34,5 %, бор – 6,7 % от величины суммарного риска.

В соответствии с критериями уровней риска при *HQ* < 0,1 риск оценивается как минимальный (пренебрежимый). Практически во всех зонах большинство ана-

лизируемых химических веществ, поступающих с питьевой водой, оказывают данный уровень риска. Исключение составляют фториды, нитраты, бор и литий, уровень риска каждого определяется как приемлемый (*HQ* = 0,1–1,0).

Таблица 3

Оценка неканцерогенного риска при поступлении химических веществ с питьевой водой по зонам исследования

Название вещества	CAS	Коэффициент опасности (*HQ*)			
		г. Козловка	с. Красно-армейское	г. Мариинский Посад	г. Цивильск
Барий	7440-39-3	0,098	0,137	0,0641	0,090
Бор	7440-42-8	0,029	0,089	0,083	0,156
Железо	7439-89-6	0,024	0,012	0,012	0,045
Литий	7439-93-2	0,056	0,164	0,418	0,141
Нитраты	14797-55-8	0,743	0,676	0,044	0,059
Никель	7440-02-0	0,0064	0,028	0,0127	0,012
Марганец	7439-96-5	0,0012	0,0013	0,0033	0,0023
Кобальт	7440-48-4	0,0048	0,0048	0,0028	0,0032
Цинк	7440-66-6	0,0017	0,00012	0,00014	0,00013
Фториды	–	0,564	0,371	0,596	0,799
Суммарный риск *HI*	–	1,53	1,49	1,22	1,31

По результатам анализа во всех зонах были определены основные критические органы и системы. Анализ комбинированного поступления химических веществ с питьевой водой показал, что основное воздействие и риск для органов-мишеней обусловлены критическим воздействием нитратов (кроветворная, сердечно-сосудистая системы), фторидов (зубы, костная система) и бора (репродуктивная система, развитие, ЖКТ).

Значения суммарных индексов опасности, рассчитанные на уровни стандартных факторов экспозиции для детского населения, не превышают верхней границы референтного уровня и соответствуют приемлемому уровню риска (*THI* от 1–3,0) (табл. 4).

Таблица 4

Суммарные индексы опасности для веществ однонаправленного действия

Критические органы / системы	Индекс опасности (*HI*)			
	г. Козловка	с. Красно-армейское	г. Мариинский Посад	г. Цивильск
Иммунная система	0,023	0,012	0,011	0,045
Кроветворная система	0,768	0,688	0,047	0,106
Репродуктивная система	0,023	0,089	0,083	0,156
Сердечно-сосудистая система	0,840	0,813	0,108	0,149
Костная система	0,564	0,372	0,596	0,799
ЖКТ	0,129	0,129	0,101	0,241
Почки	0,098	0,136	0,064	0,090
Развитие	0,035	0,118	0,095	0,169
Суммарный индекс опасности (*THI*)	2,52	2,37	1,22	1,81

Результаты оценки риска при поступлении химических веществ с питьевой водой показали, что величина суммарного риска во всех зонах соответствует допустимому (приемлемому) уровню неканцерогенного риска (*HI* 1–3), данные уровни подлежат постоянному контролю.

Полученные результаты исследований предполагают дальнейшее изучение этого вопроса с включением ингаляционного и накожного поступления химических загрязнителей воды и расчета уровней канцерогенного риска.

Список литературы

1. Березин И.И., Мустафина Г.И. Региональные особенности химического состава питьевой воды хозяйственно-питьевого водоснабжения города Самары // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1 (8). – С. 1837–1840.

2. Онищенко Г.Г., Новиков С.М. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

О результатах анализа меню общеобразовательной организации для школьников младших классов

А.И. Бурганова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

При организации питания детей школьного возраста необходимо учитывать особенности этого периода. В младшем школьном возрасте происходит замена молочных зубов, наблюдается четкий половой диморфизм физического развития. Быстро развиваются сложные координационные движения мелких мышц. К 9–10 годам почти заканчивается увеличение массы мозга. Улучшается память, повышается интеллект. Обучение в школе дисциплинирует детей, стимулирует их самостоятельность и волевые качества, расширяет круг интересов. Часто нарушается режим питания, возрастают нагрузки на нервную систему и психику [1].

Ключевые слова: питание, энергетическая ценность, макро- и микронутриенты, двухнедельное меню, дети младшего школьного возраста.

Исследованиями установлено, что одним из факторов сохранения здоровья детей является рациональное питание. В школьном возрасте активно растет организм. Соответственно, развивается скелет, сердечно-сосудистая система. Нарастает мышечная масса. Именно в этот период необходима правильная организация детского питания [3].

Питание школьника должно быть калорийным. Этого можно достигнуть включением в суточный рацион достаточного количества пищевых веществ: белков, жиров, углеводов. Питание школьника должно быть сбалансированным, то есть включающим все пищевые вещества в оптимальных соотношениях. На каждый грамм белка должны приходиться 1 г жира и 4 г углеводов [1].

Для правильного развития детского организма, сохранения высокой работоспособности особое значение имеет соблюдение режима питания, построение которого зависит от особенностей обучения в школе, нагрузки, занятий спортом, общественной работы. Срывы в режиме, несоблюдение постоянных часов приема пищи, изменение интервалов между приемами пищи часто приводят к нарушению аппетита, расстройствам желудка и кишечника, развитию заболеваний желудочно-кишечного тракта [6, 7, 8].

Цель исследования – проанализировать меню общеобразовательной организации для школьников младших классов.

Задачи:

1. Изучить двухнедельное меню-раскладку.

2. Рассчитать количество калорий, макро- и микронутриентов, витаминов и оценить полученные результаты.

Материалы и методы. Проведен анализ двухнедельного школьного меню для учащихся 7–11 лет в столовой школы г. Казани, которое было разработано в школе и утверждено директором. Было организовано двухразовое горячее питание при школьной столовой. Полноценный обед состоял из закуски, горячего блюда и горячего напитка, также включены фрукты (три раза в неделю). В качестве закуски использовался салат из свежих овощей. В качестве основного горячего блюда дети получали макароны, котлеты, отварную птицу, крупы, овощи. Из горячих напитков школьники пили чай, напиток апельсиновый, компот из сухофруктов.

Изучено двухнедельное меню-раскладка с подсчетом количества калорий, макро- и микронутриентов, витаминов.

Продукты, которые не допускаются к реализации в организациях общественного питания образовательных учреждений, в меню отсутствуют.

Затем проводилось сравнение полученных результатов с нормами СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения» [7] и МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [5].

В ходе проведенного анализа установлено, что в представленном меню выдерживается кратность включения мяса, ржаного и пшеничного хлеба, не выдерживается – молока, сливочного и растительного масел. Использование блюд с рыбой присутствует в данном меню только один раз, яйца, сыр и творог также не включены в рацион.

В меню не выявлено повторение одних и тех же блюд или кулинарных изделий в один и тот же день или в последующие 2–3 дня.

С учетом возраста обучающихся в примерном меню соблюдены требования настоящих санитарных правил по массе порций блюд (не менее 500 г для завтрака, во всех днях данного меню масса порций блюд соблюдается).

В возрастной группе детей от 7 до 11 лет нормы калорийности и углеводов превышаются в течение 10 дней, а количество белков и жиров находится в дефиците. Пищевые волокна употреблялись в количестве, превышающем необходимые нормы. Микронутриентный состав также не гармоничен: наблюдался избыток Mg, Fe и недостаток Ca, Zn. Содержание витаминов A, PP было в избытке, а витаминов C, B_1 и B_2 в дефиците (табл. 1).

Таблица 1

Энергетическая ценность, витаминный, макро- и микронутриентный состав за 10 дней

Изучаемый показатель	День										Среднее за 10 дней
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	
ЭЦ, ккал	616	604	599	617	593	608	592	616	616	582	604,3
Белки, г	20,20	20,17	19,58	20,16	19,48	20,23	17,85	20,20	20,27	19,32	9,74
Жиры, г	20,27	20,55	18,85	19,27	20,70	18,86	20,43	20,75	20,70	20,53	11,09
НЖК, г	7,005	13,42	8,04	13,73	11,75	10,14	15,73	11,84	17,56	15,31	12,45
Холестерин, мг	27,96	138	53,2	101,6	109,4	50,06	375,69	56,3	116,64	72,9	110,175
Углеводы, г	84,35	87,04	87,79	87,67	82,89	87,62	82,19	87,36	87,76	78,94	78,36
Пищевые волокна, г	10,24	7,31	13,8	11,59	7,97	7,79	11,66	10,32	8,176	12,66	11,17
А-ретиноловыйэквивалент, мкг	881,1	1127,9	661,7	1541,4	396,6	253,09	849,75	1002,5	1169,3	405,3	828,86
E, мг	6,58	6,94	6,77	6,58	3,625	6,47	7,829	6,595	3,504	10,25	6,51
C, мг	43,6	5,2	45,67	34,64	25,53	13,63	52,52	17,095	30,769	51,505	32,02
B1, мг	0,43	0,391	0,553	0,47	0,359	1,034	0,687	0,425	0,342	0,605	0,53
B2, мг	0,52	0,423	0,574	0,709	0,278	0,34	1,070	0,446	0,606	0,647	0,56
PP, мг	15,23	18,12	15,74	16,80	20,24	7,689	21,85	12,92	12,14	15,73	15,65
Ca, мг	354,98	151,2	486,23	356,94	488,75	615,95	476,83	338,8	339,72	498,1	410,74
Mg, мг	201,18	108,75	198,58	197,48	136,9	183,55	164,76	151,15	112,55	148,35	160,33
Fe, мг	9,24	8,55	8,39	9,43	5,87	8,98	8,974	7,21	5,927	8,85	8,14
P, мг	591,12	545,9	770,56	742,39	711,48	636,45	880,01	624,55	481,4	182,9	616,67
Zn, мг	3,2	0,895	1,99	4,306	4,0348	2,19	1,877	2,063	0,688	1,824	2,31

Вместе с тем в представленном меню не соблюдается оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов. Наблюдается избыток углеводов во 2-й, 3-й, 4-й, 6-й, 8-й и 9-й дни, избыток жиров – в 4-й, 7-й и 9-й дни, а недостаток жиров в 3-й и 6-й дни. В суточном рационе питания оптимальное соотношение пищевых веществ: белков, жиров и углеводов в процентном отношении от калорийности – 10–15 %, 30–32 % и 55–60 % соответственно (табл. 2).

За 10 дней оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов не соблюдено по нормам физиологических потребностей для детей младшего школьного возраста.

Таблица 2

Энергетическая ценность и макронутриентный состав в процентном соотношении за 10 дней

День	ЭЦ, ккал	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %
1-й	616	15,53	23,42	61,91
2-й	604	14,06	34,86	62,22
3-й	599	13,28	28,12	58,74
4-й	617	13,41	36,15	57,15
5-й	593	14,69	30,59	55,62
6-й	608	12,81	22,98	67,72
7-й	592	14,61	31,07	57,08
8-й	616	12,67	26,47	62,04
9-й	616	13,45	36,99	66,43
10-й	582	10,80	30,86	60,22
Среднее значение	604,3	9,74	11,09	78,36

Наблюдается почти ежедневный избыток углеводов в рационе, а белка и жиров недостаточно. В возрастной группе детей от 7 до 11 лет нормы калорийности были то превышены, то понижены в течение 10 дней.

Выводы. В представленном меню для школьников не выдерживается кратность включения сливочного и растительного масел. Блюда с рыбой включены в рацион детей только один раз. Сыр, творог, молоко в рационе отсутствовали. Требования по массе порций блюд соблюдены. Наблюдается избыточная калорийность в течение всех дней (от 20 до 122 ккал).

Имеется неоптимальное соотношение белков – 9,74 %, жиров – 11,09 % и углеводов –78,36 %. Наблюдается избыток углеводов и недостаток белков и жиров.

Также прослеживается недостаток витаминов С, B_1, B_2, избыток витаминов А и РР; витамин Е в норме. Имеет место дефицит таких минералов, как Ca, Zn, P, избыток Mg, Fe.

Питание школьника обычно состоит из частичного питания в школе и основного питания дома. На долю домашнего питания соответственно отводится 75–80 % суточного рациона. Домашнее питание должно дополнять школьное, что обеспечивало бы полноценность всего суточного пищевого рациона. Сбалансированное, рациональное питание школьников в домашних условиях является залогом здоровья и нормального развития организма детей, а также высокой учебной работоспособности [3].

В результате изучения меню столовой общеобразовательной организации выяснилось,что питание детей младшего школьного возраста несбалансированное.

Но в 2021 г. с целью организации бесплатного горячего питания учеников, осваивающих программы начального образования, Министерством образования и науки Республики Татарстан было разработано четыре варианта единого сезонного примерного десятидневного меню. По предписанию Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан» была проведена санитарно-эпидемиологическая экспертиза каждого из четырех меню, в ходе которой было установлено их соответствие требованиям санитарного законодательства [4].

Список литературы

1. Конь И.Я., Тутельян В.А. Руководство по детскому питанию. – М.: Медицинское информативное агентство, 2004. – 662 с.

2. Королев А.А. Гигиена питания. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 544 с.

3. Кучма В.Р. Гигиена детей и подростков: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 528 с.

4. Межведомственное взаимодействие Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан при реализации поручения по обеспечению учеников 1–4-х классов бесплатным горячим питанием / М.А. Патяшина, Л.Г. Авдонина, Г.Б. Фомичёва, М.В. Карпова, Л.Р. Гимадиева // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – № 2. – С. 47–55. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-2-47-55

5. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации / утв. Управлением Роспотребнадзора 22.07.2021 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/402816140/#friends (дата обращения: 14.07.2022).

6. Порецкова Г.Ю., Печкуров Д.В. Формирование культуры питания и культуры здорового образа жизни как один из аспектов медицинского обеспечения детей школьного возраста // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – № 3. – С. 112–119.

7. СанПиН 2.3/2.4.3590-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 октября 2020 года № 32 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/566276706 (дата обращения: 14.07.2022).

8. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ,проф. И.М. Скурихина и акад. РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

9. Щеплягина Л.А. Закономерности формирования роста и развития здорового ребенка // Российский педиатрический журнал. – 2003. – № 6. – С. 4–9.

Культура здоровья участников образовательного процесса – педагогического персонала и родителей обучающихся

Е.В. Васильев

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пензенской области»,
г. Пенза, Россия

Многолетняя совместная работа школ и родителей обучающихся по формированию здорового образа жизни (ЗОЖ) на территории сельского муниципального района позволила добиться определенных успехов в системе «педагог – учащийся – родители». По сравнению с контрольным районом отмечаются лучшие показатели приверженности здоровому образу жизни у педагогов, обучающихся и их родителей. Основой положительных изменений явилось внедрение в школах района непрерывной системы образования по формированию здорового образа жизни. Внедрение данной системы возможно без вложения крупных материальных затрат и на территориях других районов.

Ключевые слова: культура здоровья, приверженность, педагоги, обучающиеся, родители.

В вопросах приверженности подрастающего поколения здоровому образу жизни ключевая роль отводится системе образования, поскольку согласно профессиональному стандарту формирование у обучающихся культуры здорового и безопасного образа жизни считается одной из трудовых функций педагога, который должен служить образцом поведения для воспитанников и способствовать тому, чтобы они вели здоровый образ жизни [1, 7, 9, 10]. Соответственно уровень культуры здоровья учителей можно рассматривать как один из факторов формирования ЗОЖ у обучающихся образовательных организаций. Между тем исследования последнего десятилетия указывают на низкий уровень культуры здоровья среди педагогов [2, 8], а также на несовершенство в системе «педагог – учащийся – родители» [3–6], в результате чего все участники образовательного процесса недостаточно вовлечены в созидательную работу по формированию ЗОЖ. В связи с этим изучение состояния культуры здоровья педагогов и родителей на современном этапе развития общества является востребованной научной проблемой.

Цель исследования – сравнительное изучение сформированности культуры здоровья у педагогов и родителей обучающихся на территории двух сельских муниципальных образований.

Материалы и методы. Объекты исследования – общеобразовательные организации, субъекты исследования – учителя и родители, предмет исследования – состояние культуры здоровья. Метод исследования – социологический опрос. Опрос проводился в двух соседних сельских районах (Бековский и Тамалинский), которые по природно-климатическим и экологическим условиям, уровню социально-экономического развития, в том числе медицинского обеспечения, количеству учащихся отличаются незначительно. Сравниваемые районы отличаются подходами к решению проблемы формирования ЗОЖ на территории муниципального образования. В Бековском районе, экспериментальном (ЭР), во всех школах многие го-

ды педагоги, обучающиеся и родители массово вовлечены в работу по формированию ЗОЖ. Учителя и родители применяют имеющиеся у них знания не только в отношении несовершеннолетних, но и самих себя, стараются стать образцом в области сохранения и укрепления здоровья. Во всех школах ЭР с первого по одиннадцатый класс в образовательный процесс внедрена система непрерывного образования по формированию культуры здоровья обучающихся (проект). Проект в 2010 г. принял участие во Всероссийском конкурсе проектов по здоровому образу жизни «ЗДОРОВАЯ РОССИЯ» и вошел в библиотеку лучшего российского опыта по формированию здорового образа жизни. В контрольном районе (КР) подобной работы не ведется.

Почти все учителя школ ЭР ежегодно проходят подготовку и переподготовку на семинарах, проводимых управлением образования по вопросам формирования культуры здоровья с привлечением специалистов (педагогов, врачей, психологов, специалистов управления социальной защиты населения). Четверть (23,3 %) учителей прошли повышение квалификации по дисциплине «Формирование культуры здоровья и ЗОЖ» на базе регионального института повышения квалификации. В школах Тамалинского района, контрольного (КР), подобной практики в подготовке учителей не имеется.

На момент проведения опроса в 2021 г. в 10 школах и филиалах КР работали 137 педагогов-предметников, анкеты заполнили 131, отклик составил 95,6 %, в 10 школах и филиалах КР работали 133 учителя, прошли опрос 128 (отклик – 96,2 %). Нами была разработана анкета для опроса педагогов, которая состояла из 30 вопросов, объединенных в три блока. Первый блок содержит вопросы по изучению знаний и компетенций в области здоровьесбережения и ЗОЖ. Во второй блок входят вопросы по оценке различных элементов культуры здоровья. В третьем блоке представлены вопросы приверженности респондентов здоровому образу жизни.

В каждом районе родителям раздали по 800 анкет. В экспериментальном районе ими заполнено 787 анкет (отклик – 98,3 %), в КР – 754 (отклик – 94,25 %). В анкете 36 вопросов, которые позволяют получить всестороннее представление о том, являются ли родители образцами для подражания в сфере формирования ЗОЖ и в целом культуры здоровья.

Статистическую обработку полученных результатов опроса проводили по общепринятым методам. Сравнение результатов ответов двух выборок проводилось путем расчета хи-квадрата Пирсона (χ^2). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Девять из 10 опрошенных педагогов в сравниваемых группах осведомлены о роли школы в охране здоровья обучающихся. В то же время половина опрошенных учителей в КР не обращают внимания на двигательный компонент обучающихся, что в свою очередь позволяет предположить, что они также недостаточно внимания уделяют вопросам физической активности в собственном образе жизни. Поскольку в школах ЭР внедрена система непрерывного формирования ЗОЖ, то среди них достоверно больше учителей, одобряющих внедрение в учебный процесс отдельных учебных дисциплин, посвященных здоровью человека, «Дневников здоровья», заполняющихся обучающимися самостоятельно (табл. 1).

Таблица 1

Мнения педагогов о формировании культуры здоровья, %

Вопрос	ЭР	КР	χ^2	*p*
Школа должна уделять внимание сохранению и укреплению здоровья обучающихся?	95,342 ± 4,92	89,05 ± 3,14	3,672	0,055
Санитарно-гигиенические факторы в школе влияют на здоровье обучающихся?	97,71 ± 1,4	88,28 ± 3,26	8,90	0,003*
Нужен контроль со стороны учителей за осанкой обучающихся?	96,18 ± 1,95	92,97 ± 2,56	1,308	0,253
Длительное использование (более 3 ч в день) компьютеров (гаджетов) может неблагоприятно отразиться на зрении?	95,42 ± 2,17	92,19 ± 2,72	1,167	0,280
В ходе урока необходимы физкультурные паузы для снятия утомления?	96,18 ± 1,95	55,47 ± 5	15,611	0,000*
В школе нужно изучать отдельные учебные дисциплины, посвященные здоровью человека?	72,52 ± 4,43	50,78 ± 4,16	12,956	0,000*
Нужны дополнительные занятия, посвященные вопросам гигиенического воспитания и организации ЗОЖ, проводимые приглашенными специалистами?	80,15 ± 3,99	73,44 ± 4,46	1,640	0,20
В школе должно проводиться психологическое тестирование, направленное на выявление обучающихся, относящихся к группе риска по фактору безопасного образа жизни?	79,39 ± 4,06	81,25 ± 3,94	0,142	0,707
Целесообразно ведение «Дневников здоровья» обучающимися самостоятельно?	66,41 ± 4,73	50,78 ± 4,16	6,524	0,011*

Примечание: χ^2 – коэффициент Пирсона, *p* – достоверность различий; * $p < 0,05$.

Среди респондентов ЭР достоверно больше, чем в КР, педагогов, удовлетворенных проводимой в школе работой по формированию у обучающихся навыков ЗОЖ, включая двигательный компонент, питание. Большая часть педагогов школ ЭР, чем КР, ориентирована на ведение ЗОЖ в будущем в своей жизни и готова к формированию культуры здорового и безопасного образа жизни обучающихся в рамках ФГОС. Следует отметить критическое отношение учителей в ЭР к удовлетворенности своим образом жизни в отличие от коллег из КР (табл. 2).

Оценка приверженности педагогов здоровому образу жизни, проведенная по методике Росстата, учитывающей пять показателей: отсутствие курения; потребление овощей и фруктов ежедневно в количестве не менее 400 г; адекватная физическая активность (не менее 150 мин умеренной или 75 мин интенсивной физической нагрузки в неделю); потребление соли не выше 5 г в сутки; употребление алкоголя не более 168 г чистого спирта в неделю для мужчин и не более 84 г для женщин, позволила выявить долю лиц с высокой и средней степенью приверженности и долю лиц, у которых отсутствует приверженность здоровому образу жизни.

В школах экспериментального района доля педагогов, имеющих высокую приверженность здоровому образу жизни, составляет 9,92 %, в контрольном районе – 8,59 %, имеющих среднюю степень приверженности – 74,81 и 69,53 % соответственно. Доля педагогов, у которых не сформирована приверженность здоровому образу жизни, больше в КР, чем в ЭР.

Таблица 2

Оценка педагогами формирования культуры здоровья, %

Вопрос	ЭР	КР	χ^2	*p*
Довольны количеством физкультурных пауз на уроках?	70,23 ± 4,57	55,47 ± 5,0	6,047	0,014*
Уроки физкультуры восполняют потребность учащихся в движении?	55,73 ± 4,95	43,75 ± 4,98	3,714	0,05*
Довольны уровнем своей физической подготовленности?	41,99 ± 4,92	39,84 ± 4,92	0,123	0,726
Довольны школьным питанием?	87,79 ± 3,24	72,66 ± 4,46	9,372	0,002*
Удовлетворены проводимой в школе работой по формированию у школьников навыков ЗОЖ?	83,21 ± 3,75	60,94 ± 4,9	15,995	0,000*
Доступны ли в школе обобщенные статистические данные о выявленных в школе показателях уровня культуры здорового и безопасного образа жизни обучающихся?	71,76 ± 4,48	52,35 ± 4,79	10,372	0,001*
Повлияла ли образовательная и воспитательная работа, проводимая в школе, на ваше решение повысить культуру здорового образа жизни?	67,94 ± 4,65	54,69 ± 5	4,796	0,029*
Удовлетворены своим образом жизни с точки зрения охраны и развития вашего здоровья?	59,54 ± 4,89	60,94 ± 4,9	0,053*	0,819
Ориентированы на ведение ЗОЖ в своей жизни в будущем?	79,39 ± 4,06	55,47 ± 5	16,905	0,000*
Удовлетворены собственным физическим здоровьем?	41,98 ± 4,92	38,28 ± 4,87	0,370	0,543
Удовлетворены собственным психоэмоциональным здоровьем?	56,49 ± 4,93	52,34 ± 4,76	0,448	0,503
Удовлетворены образом жизни коллег с точки зрения охраны и развития их здоровья?	58,01 ± 4,92	57,03 ± 4,97	0,026	0,873
Удовлетворены образом жизни обучающихся с точки зрения охраны и развития их здоровья?	67,18 ± 4,69	53,13 ± 3,38	5,336	0,021*
Готовы к формированию культуры здорового и безопасного образа жизни обучающихся в рамках ФГОС?	71,75 ± 4,48	60,16 ± 4,92	3,883	0,049*

Выявлено, что в экспериментальном районе доля родителей, регулярно заботящихся о здоровье ребенка (детей), выше, чем в контрольном районе: 94,02 против 89,25 % (χ^2 = 11,5; p = 0,001). В экспериментальном районе родители чаще, чем в контрольном районе, прививают своим детям ЗОЖ с помощью бесед (80,18 и 74,4 % соответственно, χ^2 = 7,3; p = 0,007), а также личным примером – 69,63 против 59,94 % соответственно (χ^2 = 15,8; p < 0,001).

Несмотря на то что 9 из 10 респондентов как в ЭР, так и в КР считают, что малоподвижный образ жизни вредит здоровью, в ЭР утреннюю гимнастику делают 22,01 % родителей, в КР – только 13,79 % (χ^2 = 14,2; p < 0,001). Доля детей, делающих утреннюю гимнастику, составляет соответственно 23,5 и 16,84 % (χ^2 = 10,6; p = 0,001). В спортивных секциях занимаются 8,26 % родителей из ЭР и 4,64 % – из КР (χ^2 = 8,3; p = 0,004), соответственно 30,5 и 17,77 % детей (χ^2 = 33,9; p < 0,001). Физической культурой вместе со своими детьми занимаются 21,6 % родителей, проживающих в ЭР, и 14,06 % родителей из КР (χ^2 = 14,9; p < 0,001). Значок ГТО («Готов к труду и обороне») имеется менее чем у 9 % респондентов – в ЭР – у 8,35 %, в КР – у 5,7 % (χ^2 = 3,8; p = 0,049). В экспериментальном районе доля детей, выполнивших нормативы ГТО, существенно больше, чем в КР – 33,03 против 15,51 % (χ^2 = 63,9; p < 0,001).

Физическим закаливанием своих детей занимается каждый четвертый родитель (28,21 %) в ЭР, и лишь каждый пятый – в КР (20,16 %) (χ^2 = 13,6; p < 0,001). О положительном воздействии психологического микроклимата на детей отметили трое из четырех опрошенных (74,72 %) в ЭР и 65,78 % в КР (χ^2 = 14,7; p < 0,001). Режим дня соблюдается чаще детьми из ЭР: у 90,98 % детей сон длится не менее 8 ч, в КР доля таких детей составляет 74,8 % (χ^2 = 71,6; p < 0,001). Доля детей, проводящих время за компьютерами и гаджетами более 3 ч в день, в ЭР существенно меньше, чем в КР (23,89 против 35,27 % соответственно; χ^2 = 351,9; p < 0,001). По мнению родителей, режим питания в семье соблюдается в 94,41 % случаев в ЭР и в 90,18 % – в КР (χ^2 = 9,7; p = 0,002).

Несмотря на то что 9 из 10 опрошенных (в ЭР – 94,79 %, в КР – 93,1 %; χ^2 = 1,9; p = 0,165) считают, что курение вредит здоровью, доля курящих родителей в ЭР составила 14,61 %, в КР даже больше – 27,32 % (χ^2 = 37,7; p < 0,001).

На вопрос «Ведет ли ваша семья здоровый образ жизни?» только 61,25 % опрошенных в ЭР дали положительный ответ, в КР – 79,17 %, что явно не согласуется с ответами на предыдущие вопросы. У родителей, проживающих в КР, скорее всего не сформировано понимание сути ЗОЖ и собственной роли в этом процессе. Вместе с тем как в ЭР, так и в КР 93,65 и 93,89 % родителей соответственно считают, что школа должна заниматься формированием ЗОЖ обучающихся, а свою роль в формировании здорового поведения собственных детей отметили 92,63 % родителей в ЭР и 81,3 % в КР. Работу школы по формированию ЗОЖ у обучающихся как достаточную оценили 63,79 % родителей в ЭР и 70,42 % в КР, что явно указывает на объективный подход родителей в ЭР и некритическое отношение к существующей проблеме в КР.

Таким образом, многолетняя совместная работа школ и родителей обучающихся по формированию здорового образа жизни на всей территории сельского муниципального образования позволила добиться определенных успехов в этой сфере. Основой положительных изменений явилось внедрение в школах района непрерывной системы образования по формированию здорового образа жизни. Считаем целесообразным и возможным без вложения крупных материальных затрат внедрение данной системы и на территориях других районов.

Список литературы

1. Авчинникова С.О. К разграничению и интеграции понятий «готовность», «компетентность», «культура» в контексте подготовки специалистов социального профиля к здоровьесберегающей деятельности // Научно-педагогическое обозрение. – 2016. – № 1 (11). – С. 73–79.

2. Вершинина Н.А., Малафеева С.Н. Формирование культуры здоровья и здорового образа жизни у педагогов начальных классов // Специальное образование. – 2017. – № 4 (48). – С. 43–54.

3. Кузнецова Д.А., Братцева О.А. Влияние семьи и школы на формирование отношения подростков к здоровому образу жизни // Молодой ученый. – 2018. – № 20 (206). – С. 68–71.

4. Ларионова Т.А. Роль родителей в формировании здорового образа жизни ребенка // NovaInfo. – 2017. – № 60. – С. 401–404.

5. Липанова Л.Л., Насыбуллина Г.М., Короткова М.О. Роль семьи и общеобразовательных учреждений в укреплении здоровья и формировании образа жизни детей и подростков // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 3–1 (91). – С. 90–95.

6. Малафеева С.Н., Вершинина Н.А. Сравнительный анализ результатов формирования здорового образа жизни у младших школьников и педагогов // Специальное образование. – 2016. – № 3 (43). – С. 50–59

7. Малярчук Н.Н. Развитие культуры здоровья педагогов как базовое условие сохранения здоровья воспитанников // Ученые записки Педагогического института СГУ им. Н.Г. Чернышевского. Серия: Психология. Педагогика. – 2011. – № 1. – С. 120–131.

8. Осик В.И., Ончукова Е.И. Анализ результатов самообследования состояния здоровья учителей общеобразовательных школ г. Краснодара и края по учебным предметам «Физическая культура» и «Основы безопасности жизнедеятельности» // Физическая культура и массовый спорт. – 2016. – № 4. – С. 67–73.

9. Чедов К.В. Методология здоровьесберегающей компетентности педагогов в условиях межведомственного взаимодействия // Теория и практика физической культуры. – 2019. − № 6. − С. 97.

10. Belcastro P.A., Ramsaroop-Hansen H. Addressing the Antinomy Between Health Education and Health Literacy in Advancing Personal Health and Public Health Outcomes // Journal of School Health. – 2017. – Vol. 87, № 12. − P. 968–974. DOI: 10.1111/josh.12570

Факторы, влияющие на распространение острых кишечных инфекций вирусной этиологии в детских организованных коллективах Республики Коми

Л.И. Глушкова[1], А.Г. Георгиева[2]

[1]Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми,
[2]Территориальные отделы Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми в г. Воркуте, г. Инте,
г. Сыктывкар, Россия

На территории Республики Коми за период с января 2019 г. по август 2022 г. выявлен рост случаев острых кишечных инфекций (ОКИ) вирусной этиологии в дошкольных образовательных организациях. Дескриптивный анализ материалов, полученных в ходе санитарно-эпидемиологических расследований по установлению причин возникновения случаев ОКИ в детских коллективах, позволил выявить ряд факторов, способствующих распространению инфекционной заболеваемости в детских коллективах.

Ключевые слова: детские организованные коллективы, острые кишечные инфекции, дезинфекция, профилактика, противоэпидемические мероприятия.

В результате трехэтапного исследования «случай – контроль» установлено, что за период с января 2019 г. по август 2022 г. наибольший удельный вес острых кишечных инфекций (ОКИ) регистрировался среди детей в возрасте 0–6 лет, посещающих детские образовательные организации (ДОО) [5–7]. На первом этапе исследования в качестве «контрольной группы» рассматривалось все население Республики Коми, в качестве «случаев» учитывались зарегистрированные случаи ОКИ. На втором этапе в качестве «контролей» – все случаи ОКИ за исследуемый временной период, в качестве «случаев» – заболевшие дети в возрасте 0–6 лет, как превалирующая возрастная группа, выявленная при анализе экстенсивных показателей заболеваемости кишечными инфекциями. На заключительном этапе опытной группой стали дети, посещающие ДОО. Также была выявлена тенденция к росту заболеваемости ОКИ, несмотря на снижение численности населения в исследуемой возрастной категории: спад в 10,7 % наблюдался только в 2020 г., тогда как в 2021 г. прирост составил 37 %, а в 2022 г. – 35,2 %. Наибольший удельный вес имели вспышки ОКИ ротавирусной этиологии – от 48,5 до 84,4 %. Для указанной инфекции характерным является фекально-оральный механизм распространения, реализуемый контактно-бытовым путем. Реализации данного пути передачи способствует устойчивость вируса к окружающей среде, высокая контагиозность, малая заражающая доза при тесном общении с заболевшими, особенно среди детей [2, 3].

Для выявления факторов, способствующих распространению ОКИ в детских организованных коллективах, авторами проанализированы материалы, полученные в ходе проведенных за период с 01.01.2019 по 31.08.2022 санитарно-эпидемиологических расследований по установлению причин возникновения случаев ОКИ в детских организованных коллективах: карты эпидемиологических очагов, экспертные заключения ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Коми» по результатам лабораторных исследований биоматериала от заболевших и контактных лиц, экспертные заключения ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Коми» по результатам лабораторных исследований объектов окружающей среды (смывов на наличие бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Staphylococcus aureus*), актов, составленных специалистами Управления Роспотребнадзора по Республике Коми и его территориальных отделов по итогам проведенных расследований.

Дескриптивный анализ указанных материалов позволил смоделировать «стандартную» вспышку ОКИ в детском организованном коллективе: источником инфекции являлся ребенок, заразившийся ранее в «семейном» эпидочаге, эпидемический процесс реализовывался за счет контактно-бытового пути, распространялся с низкой интенсивностью и не выходил за пределы групповой ячейки.

При ОКИ вирусной этиологии, для которых характерен контактно-бытовой путь передачи, профилактические мероприятия должны основываться на общем оздоровлении окружающей среды [4]. К таким мероприятиям в контексте данного исследования относятся регулярное и качественное проведение дезобработки рук персонала ДОО, контактирующего с детьми, инвентаря, мебели и помещений ДОО, приготовление и хранение рабочих растворов дезинфицирующих средств в соответствии с действующими санитарными правилами и инструкцией производителя.

На основании полученных данных и в соответствии со вторым законом Л.В. Громашевского [2] авторами сформулирована следующая гипотеза: ведущим фактором распространения ОКИ вирусной этиологии в дошкольных образовательных организациях является нарушение дезинфекционного режима. Для подтвер-

ждения выдвинутой гипотезы проанализированы нарушения санитарно-эпидемиологических норм со стороны детских садов и медицинских организаций, за которыми были закреплены воспитанники ДОО, выявленные в ходе проведенных эпидемиологических расследований.

Нарушения были распределены по категориям в соответствии с главами санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней», регламентирующих проведение противоэпидемических мероприятий в отношении больных инфекционными болезнями и контактных лиц, а также мероприятий, направленных на профилактику острых кишечных инфекций [8]. Наибольший удельный вес (36 %) имеют нарушения проведения текущей дезинфекции групповых помещений и инвентаря, 23 % – нарушения хранения и / или приготовления рабочих растворов дезинфицирующих средств. Медицинскими работниками несвоевременно организовывалось и проводилось наблюдение за контактными лицами (11 %), несвоевременно регистрировались новые случаи ОКИ в детских организованных коллективах (9 %) и несвоевременно изолировались заболевшие и дети с подозрением на заболевание ОКИ вирусной этиологии (7 %). Нарушения проведения текущей дезинфекции включали в себя нарушения кратности проведения текущих и генеральных уборок и низкое качество проводимых дезинфекционных мероприятий, лабораторно подтвержденное наличием БГКП в смывах с объектов окружающей среды (игрушек, предметов мебели, рук сотрудников ДОО, имеющих тесный контакт с воспитанниками). Нарушения хранения и приготовления рабочих растворов дезинфицирующих средств приводили к снижению концентрации действующего вещества (активного хлора) в используемых дезинфектантах, что также подтверждалось лабораторными исследованиями. Использование данных дезинфицирующих средств при проведении текущей и заключительной дезинфекции в эпидемическом очаге не позволяло уничтожить вирионы на контаминированных поверхностях. Вышеописанные обстоятельства создают благоприятные условия для вспышек острых кишечных инфекций вирусной этиологии, распространяющихся контактно-бытовым путем [1]. На это указывает и выросший показатель пораженности ОКИ среди воспитанников дошкольных организаций: в 2019 г. он составил 2,0 %, в 2020 г. – 1,9 %, а в 2021 г. – уже 2,8 %.

Выводы. Одним из ведущих факторов распространения кишечных инфекций с контактно-бытовым путем передачи в детских организованных коллективах являлось систематическое нарушение дезинфекционного режима. Профилактика этих нарушений не только уменьшит распространение инфекционной заболеваемости среди детей дошкольного возраста, но и косвенно улучшит экономические показатели Республики Коми за счет уменьшения количества больничных листов, выдаваемых родителям по уходу за заболевшим ребенком.

Список литературы

1. Возможные пути распространения ротавирусной инфекции в организованных коллективах / Б.Я. Васильев, Л.Г. Марченко, Р.Ю. Грицко, Р.И. Васильева, Б.А. Герасун // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 1998. – № 4. – С. 31–33.

2. Громашевский Л.В. Общая эпидемиология. – 3-е изд. – М.: Медгиз, 1942. – 320 с.

3. Кишечные инфекции. Эпидемиология и профилактика: уч. пособие для врачей / Г.В. Ющенко, А.А. Шапошников, К.Х. Хацуков, Т.Г. Суранова. – М.: ЗАО МП «Гигиена», 2009. – 416 с.

4. Клиника, эпидемиология и профилактика ротавирусной инфекции: методические рекомендации / под ред. акад. РАМН проф. Ю.В. Лобзина. – СПб.: НИИДИ, 2013. – 48 с.

5. О состоянии санитарно–эпидемиологического благополучия в Российской Федерации по Республике Коми в 2019 году: Государственный доклад. – Сыктывкар: Управление Роспотребнадзора по Республике Коми, 2020. – 139 с.

6. О состоянии санитарно–эпидемиологического благополучия в Российской Федерации по Республике Коми в 2020 году: Государственный доклад. – Сыктывкар: Управление Роспотребнадзора по Республике Коми, 2021. – 132 с.

7. О состоянии санитарно–эпидемиологического благополучия в Российской Федерации» по Республике Коми в 2021 году: Государственный доклад. – Сыктывкар: Управление Роспотребнадзора по Республике Коми, 2022. – 107 с.

8. СанПиН 3.3686-21. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней / утв. Постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 4 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573660140 (дата обращения: 12.08.2022).

Инновационные технологии для формирования здорового образа жизни у школьников 5–11-х классов

А.Р. Ибрагимова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

Рассматриваются проблемы распространения вредных привычек и формирования здорового образа жизни среди молодежи, а также их неразрешенность, несмотря на многочисленные меры, которые предпринимаются для изменения данной ситуации. Скорость нарастания остроты проблемы прямо пропорциональна скорости мирового развития информационной среды. Поэтому важно рассмотреть потенциал и роль современных технологий (фитнес-браслеты, биоимпедансометрии, трекер активности) для формирования здорового образа жизни молодежи, а также профилактики таких вредных привычек, как курение, алкоголизм и др.

Ключевые слова: здоровье, здоровый образ жизни, подростки, современные технологии, фитнес-браслет, биоимпедансометрия.

Тенденция проявления особого внимания населения России к поддержанию здорового образа жизни является сегодня чрезвычайно высокой, что можно проследить благодаря быстрорастущей популярности гаджетов-помощников. Популярные средства для формирования здорового образа жизни плотно закрепились в нашей жизни [8].

В последнее время здоровому образу жизни подростков уделяется повышенное внимание, что отражает обеспокоенность общества физическим состоянием будущих специалистов, ростом заболеваемости, снижением трудоспособности, ранним профессиональным выгоранием и апатией.

В связи с кризисным состоянием проблемы снижения здоровья подрастающего поколения в физкультурном образовании особую актуальность приобретает разработка здоровьесберегающих технологий для детей и подростков, предназначенных для формирования, сохранения и укрепления их здоровья. Так, грамотное и целенаправленное внедрение фитнес-технологий в систему непрерывного физкультурного образования для оздоровления, развития и воспитания является в настоящее время одной из основных и актуальных задач для формирования здорового образа жизни у молодежи [7].

Литературный обзор современных источников о состоянии здоровья школьников [1, 2, 4, 6, 7] показал, что современным подросткам для достижения высоких результатов требуется много времени, усилий и, самое главное, здоровья. Именно поэтому необходимо прививать здоровый образ жизни с раннего возраста и пропагандировать его повсюду до того, как сформировались вредные привычки и неправильные идеалы.

Наиболее распространенным патологическим состоянием в современном мире является гиподинамия.

Гиподинамия приводит к функциональным изменениям сердечно-сосудистой и дыхательной систем [1], так как не работают мышцы, помогающие движению крови по сосудам.

Ведущими симптомами гиподинамии являются: вялость, усталость, сонливость, быстрая утомляемость, апатия. Уменьшается выносливость, неокрепший молодой организм перестает достаточно долго и нормально переносить различные нагрузки. В будущем длительное данное состояние ведет к снижению трудоспособности, сердечно-сосудистым заболеваниям, ожирению и увеличивает факторы смертности [5].

Помимо гиподинамии современный ритм жизни у подростков связан с систематическим недосыпанием, нерегулярными приемами пищи, недостаточным пребыванием на свежем воздухе, отсутствием физической активности и закаливающих процедур.

Эффективным инструментом для решения проблем повышения качества физического здоровья и поддержания здорового образа жизни сегодня могут служить современные высокотехнологичные гаджеты [7]. Одним из современных гаджетов, позволяющих следить за своим здоровьем и физической подготовкой, является фитнес-браслет.

Фитнес-браслет – многофункциональное устройство, позволяющее следить за текущим состоянием здоровья организма человека, а также контролировать его энергозатраты. При длительном отсутствии двигательной активности фитнес-браслет уведомит о необходимости повышения подвижности. Браслет позволяет

отслеживать количество шагов, пройденных за день, и расстояние в целом. Особенно он эффективен при занятии физическими нагрузками, так как позволяет рассчитать необходимую длительность тренировки, достаточную для поддержания формы и не превышающую рекомендуемые значения.

С течением времени становится очевидно, что в связи с напряженным графиком не всегда удается соблюдать принципы правильного питания, возможно как недоедание, так и, наоборот, переедание. Многие молодые люди не знают, как правильно питаться, и тем самым ослабляют свой иммунитет, подвергая организм опасности [2]. Еще одной функцией браслета и приложения является отслеживание потребляемых и сожженных калорий, что очень важно для подрастающего поколения [1]. Фитнес-браслеты дают отличную возможность следить за необходимым уровнем калорий, а также пищевой ценностью рациона, что также очень важно, так как правильное питание студента должно включать в себя оптимальное соотношение углеводов, жиров и белков.

В целом главнейшим предназначением браслета является помощь человеку в процессе слежения за своим физическим состоянием [4].

Цель исследования – оценить возможности применения биоимпедансного анализа среди учащихся 5–11-х классов.

Материалы и методы. Для оценки возможности применения биоимпедансного анализа был проведен опрос-анкетирование среди учащихся 5–11-х классов по использованию фитнес-браслетов по специально разработанной анкете-опроснику. Было опрошено 210 учеников с оформлением информированного согласия.

Результаты. Результаты анкетирования показали, что фитнес-браслеты используют 24 % опрошенных учеников 5–8-х классов и более половины (57 %) опрошенных учеников 9–11-х классов. Таким образом, применение фитнес-браслетов увеличивается среди учащихся старших классов более чем в 2 раза, что может говорить о росте популярности применения современных технологий.

При опросе о целях применения фитнес-браслетов было установлено, что основными целями подростков старших классов являются трекер активности и шагомер. В качестве цели «трекер активности» указывали 41 % учеников, цель «шагомер» – 32 % учеников. Стоит отметить, что применение трекера активности и шагомера преобладает у школьников, занимающихся в спортивных секциях и кружках. Далее в порядке убывания следуют такие цели, как «для контроля сна» – 15 %, «контроль питьевого режима» – 4 %, иные цели определили для себя 8 % учеников-респондентов.

Также на сегодняшний день существует возможность применения биометрического анализа для учащихся старших классов, например, биоимпедансометрии, так как данная категория подростков активно применяет современные гаджеты, в том числе фитнес-браслеты, в своей повседневной жизни. В основе биоимпедансного анализа лежит определение электрического импеданса биологических объектов. Физическая составляющая данного метода заключается в измерении электрического сопротивления организма при помощи биоимпедансного анализатора [3]. Данный метод является инновационным решением в области поддержания здорового образа жизни, но при этом недостаточно распространенным ввиду своей труднодоступности. Исследования показывают, что о данном виде анализа знают не более 10 % опрошенных среди учащихся 5–11-х классов.

Выводы. Можно сделать вывод о том, что фитнес-браслет помогает контролировать ежедневные показатели физического состояния, а также скорректировать вес благодаря рекомендациям приложения, что поможет повысить качество физического здоровья современного молодого поколения. Выявлена возможность применения современных технологий и методов для поддержания здорового образа жизни среди школьников.

Список литературы

1. Александров Д.С., Кущева Д.В. Экспериментальные средства проведения занятий по физической культуре со студентами образовательных организаций высшего образования // Гуманитарное образование в экономическом вузе: материалы V Международной научно-практической заочной интернет-конференции: в 2 т. – 2017. – С. 163–167.

2. Анализ реализации проектов развития спортивной инфраструктуры в Российской Федерации / Д.Г. Степыко, Д.С. Александров, Д.В. Грачёва [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 9. – С. 9–11.

3. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская [и др.]. – М.: ФГУП «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр “Наука”», 2009. – С. 21–23.

4. Взаимосвязь хронотипа и режима дня студента как неотъемлемая часть здорового образа жизни (на примере ФГБОУ ВПО РЭУ им. Г.В. Плеханова) / Д.В. Кущева, Д.Г. Степыко, Т.В. Григорьева [и др.] // Физическая культура и здоровый образ жизни студенческой молодежи: материалы VII Межвузовской научно-практической конференции. – Саратов, 26 ноября 2015 г. – С. 39–41.

5. Мархоцкий Я.Л., Полянская А.В. Профилактика гипокинезии и гиподинамии // Мир медицины. – 2010. – № 2–4. – С. 8–9.

6. Организация пищевого поведения до и после тренировки на каждый соматотип / Д.А. Фарзалиев, Д.Г. Степыко, Н.Н. Кудряшов [и др.] // Физическая культура и здоровый образ жизни студенческой молодежи: материалы VII Межвузовской научно-практической конференции. – Саратов, 26 ноября 2015 г. – С. 59–62.

7. Петров К.В., Никитенко С.В. Применение здоровьесберегающих технологий в школе полного дня // Акмеология. – 2005. – № 4 (16). – С. 50.

8. Эффективность фитнес-браслетов в системе оздоровления студентов / Д.С. Александров, Д.В. Грачева, Д.А. Фарзалиев [и др.] // Инновационные тенденции развития системы образования: сб. материалов VIII Международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 1 октября 2017 г. – С. 120–126.

Иммунный статус и генетический полиморфизм у детей с иммунодефицитом в условиях контаминации биосред тяжелыми металлами

О.А. Казакова, О.В. Долгих

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

Исследование посвящено изучению состояния маркеров ответа иммунной системы и полиморфизма генов в условиях хронической контаминации организма тяжелыми металлами (ванадий, хром и никель) у детей дошкольного возраста с установленным диагнозом общего вариабельного иммунодефицита. На основании полученных результатов предложен перечень химических (ванадий, никель, хром), иммунных (CD16+CD56+, CD19+, CD3+, CD3+CD4+, CD4+CD8+, CD3+CD95+, CD3+CD25+; IgM, IgA, абсолютный фагоцитоз, Bcl-2) и генетических (GPX, HLA-DRA, TNF) маркеров формирования иммунодефицитных состояний у детей дошкольного возраста с целью ранней диагностики и профилактики развития патологии иммунной системы.

Ключевые слова: CD, Ig, ванадий, никель, хром, дети, GPX, HLA-DRA, TNF.

Состояние окружающей среды крупного промышленного центра Сибирского региона характеризуется повышенным уровнем загрязнения тяжелыми металлами, что может негативно сказываться на состоянии здоровья детского населения дошкольного возраста как наиболее уязвимого перед воздействием высоко опасных химических веществ [2].

Адаптивная иммунная система детей формируется в период 4–7 лет, что связано с увеличением частоты контактов с бактериальными и вирусными агентами. В случае если активность иммунных клеток организма будет подвергаться модификации экзогенными химическими веществами, в особенности тяжелыми металлами, во взрослом возрасте это может отразиться на несостоятельности иммунной системы перед воздействием внешних факторов, на качестве жизни и развитии иммуноопосредованных заболеваний [5].

Генетическая предрасположенность в развитии заболевания может составлять порядка 20 %, а в сочетании с химической нагрузкой вероятность развития патологии может достигать до 50 %. Полиморфизм генов, ассоциированный с развитием иммунных заболеваний, формирует условия, реализация которых приводит к развитию тяжелых клинических состояний (онкологические и сердечно-сосудистые заболевания) [4].

В связи с этим поиск генов, ответственных за иммунорегуляцию, полиморфизм которых реализуется в условиях техногенной химической нагрузки и приводит к патологии, является весьма актуальным в настоящее время [1, 3, 6]. Выявленный комплекс химических, генетических и иммунных маркеров позволит в досимптоматический период диагностировать, корректировать и предотвращать формирование заболевания иммунной системы у детей дошкольного возраста.

Цель исследования – оценить состояние иммунного статуса, а также полиморфизм генов у детей с диагнозом иммунодефицита в условиях контаминации биосред (кровь) ванадием, никелем и хромом.

Материалы и методы. Исследование состояния иммунной системы детей дошкольного возраста, проживающих в условиях хронической контаминации биосред тяжелыми металлами, включало 126 человек в возрасте 4–6 лет. Группу наблюдения составили 66 детей (4,75 ± 0,58 г.) с диагнозом общего вариабельного иммунодефицита (неуточненный), группу сравнения – 60 детей (4,58 ± 0,78 г.) условно здоровых, не имеющих патологии иммунной системы.

Содержание ванадия, хрома и никеля в крови определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISP MS) в соответствии с МУК 4.1.3230-14 «Методика измерений массовых химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой».

Популяции и субпопуляции лимфоцитов (CD3+, CD3+CD4+, CD3+CD8+, CD19+, CD16+CD56+, CD3+CD25+, CD3+CD95+), антиапоптотический фактор Bcl-2 определялись методом мембранной иммунофлюоресценции на проточном цитофлюориметре FACSCalibur (Becton Dickinson, США). Оценка фагоцитарной активности осуществлена методом В.Н. Каплина с использованием формалинизированных эритроцитов барана. Уровень экспрессии иммуноглобулинов IgA и IgM определен методом радиальной иммунодиффузии.

Оценка полиморфизма генов GPX rs713041 C718T, HLA-DRA rs3135388 C/T, TNF rs18010629 G4682A выполнена методом PCR-RT на приборе BioRAD CFX96 (Сингапур).

Статистическая обработка метрических данных выполнена в программе Statistica 6.0 с оценкой параметров: *X* – среднего, *SD* – стандартного отклонения, *p* – уровня значимости различий. Сравнительная оценка категориальных генетических данных выполнена с использованием генетических моделей наследования с использованием параметров: *HWE* – равновесие Харди – Вайнберга, χ^2 – хи квадрат, *F* – критерий Фишера, *p* – уровень значимости, *OR* – отношение шансов, *CI* – доверительный интервал. Различия считались достоверными при $p < 0{,}05$.

Результаты. По данным химико-аналитического исследования установлено, что группа наблюдения характеризовалась достоверно более выраженной контаминацией крови ванадием, никелем и хромом в 1,5, 1,9 и 4,0 раза соответственно относительно группы сравнения (относительно верхней границы референтного интервала – в 3,4, 3,3 и 2,1 раза соответственно) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная оценка уровня контаминации биологических сред детей гаптенами (тяжелыми металлами)

Показатель	Референтный диапазон	Наблюдение $X \pm SD$	Сравнение $X \pm SD$	*p*
Ванадий, мкг/см^3	0,00012–0,00013	0,00043 ± 9E-5	0,00019 ± 5E-5	**0,01**
Никель, мкг/см^3	0,00202–0,00225	0,00748 ± 0,00127	0,00302 ± 0,00113	**0,00**
Хром, мкг/см^3	0,00199–0,0027	0,00554 ± 0,00086	0,00139 ± 0,00019	**0,00**

Примечание: *X* – среднее; *SD* – стандартное отклонение; *p* – уровень значимости.

По результатам оценки состояния иммунного профиля установлено, что группа наблюдения характеризуется достоверным снижением: абсолютного фагоцитоза – в 1,6 раза, иммуноглобулинов IgM и IgA – на 17 и 19 % соответственно; абсолютной и относительной экспрессии NK-лимфоцитов CD16+CD56+ – в 1,7 и 1,4 раза соответственно; абсолютной экспрессии В-лимфоцитов CD19+ – в 1,2 раза; абсолютной экспрессии Т-лимфоцитов CD3+ – на 13 %; абсолютной экспрессии Т-хелперов CD3+CD4+ – на 17 %; абсолютной экспрессии Т-цитотоксических лимфоцитов CD4+CD8+ – в 1,3 раза; абсолютной и относительной экспрессии активированных Т-лимфоцитов CD3+CD95+ – в 1,3 раза относительно группы сравнения; маркера апоптоза Bcl-2 – в 1,8 раза. Группа наблюдения также характеризуется достоверным повышением абсолютной и относительной экспрессии активированных Т-лимфоцитов CD3+CD25+ в 1,5 и 1,7 раза соответственно относительно группы сравнения в пределах границ нормы (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика иммунных маркеров исследуемых групп

Показатель	Норма (нижний и верхний пределы)		Наблюдение $X \pm SD$	Сравнение $X \pm SD$	p
Bcl-2, %	1	4,5	4,34 ± 1,41	7,99 ± 1,54	**0,00**
CD16+56+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,09	0,59	0,25 ± 0,04	0,42 ± 0,06	**0,00**
CD16+56+-лимфоциты,отн., %	5	27	9,61 ± 1,39	13,92 ± 1,62	**0,00**
CD19+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,09	0,66	0,36 ± 0,05	0,45 ± 0,05	**0,01**
CD3+-лимфоциты, абс, 10^9/л	0,69	2,54	1,74 ± 0,137	1,97 ± 0,14	**0,02**
CD3+CD25+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,1	0,3	0,27 ± 0,064	0,17 ± 0,03	**0,01**
CD3+CD25+-лимфоциты, отн., %	5	12	10,48 ± 2,11	6,23 ± 1,14	**0,00**
CD3+CD4+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,41	1,59	0,91 ± 0,08	1,07 ± 0,08	**0,01**
CD3+CD8+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,19	1,14	0,64 ± 0,06	0,86 ± 0,14	**0,01**
CD3+CD95+-лимфоциты, абс., 10^9/л	0,4	0,7	0,54 ± 0,12	0,72 ± 0,08	**0,02**
CD3+CD95+-лимфоциты, отн., %	15	25	20,11 ± 3,64	25,23 ± 2,93	**0,03**
IgM, г/дм^3	1,26	2,2	1,24 ± 0,05	1,45 ± 0,08	**0,00**
IgA, г/дм^3	1,17	2,2	1,15 ± 0,09	1,38 ± 0,11	**0,00**
Абсолютный фагоцитоз, 10^9/дм^3	1	2	1,55 ± 0,16	2,53 ± 0,50	**0,00**

Примечание: *X* – среднее; *SD* – стандартное отклонение; *p* – уровень значимости.

По результатам исследования полиморфизма генов установлено, что группа наблюдения характеризовалась достоверно повышенной частотой: дикого аллеля С гена глутатионпероксидазы GPX rs713041 C718T – в 1,7 раза (*OR* = 2,00; *CI*: 1,12–3,48; $p < 0,05$); дикого аллеля С гена гистосовместимости HLA-DRA rs3135388 C/T – в 1,3 раза (*OR* = 2,12; *CI*: 1,06–4,23; $p < 0,05$); а также вариантного аллеля А (*OR* = 2,28; *CI*: 1,03–5,02; $p < 0,05$) гена фактора некроза опухоли TNF rs1800629 G4682A (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительный анализ полиморфизма генов в исследуемых группах

Группа	Генотип, %	GPX	HLA-DRA	TNF
		rs713041	**rs3135388**	**rs1800629**
		C718T	**C/T**	**G4682A**
		C/C	**C/C**	**G/G**
		C/T	**C/T**	**G/A**
		T/T	**T/T**	**A/A**
Наблюдение	Гомозигота 1	44,44	75,00	69,23
	Гетерозигота	44,44	23,44	26,15
	Гомозигота 2	11,11	1,56	4,62
Сравнение	Гомозигота 1	26,92	59,57	82,76
	Гетерозигота	46,15	31,91	17,24
	Гомозигота 2	26,92	8,51	0,00

Выводы. Таким образом, установлено, что дети дошкольного возраста, биосреды которых избыточно контаминированы ванадием, никелем и хромом, с диагнозом общего вариабельного иммунодефицита (неуточненный), характеризовались достоверным снижением экспрессии иммуноглобулинов класса A и M, снижением уровня экспрессии CD кластеров клеточной дифференцировки CD (CD16+CD56+, CD19+, CD3+, CD3+CD4+, CD4+CD8+, CD3+CD95+), маркера апоптоза Bcl-2, а также достоверным повышением экспрессии активированных Т-лимфоцитов CD3+CD25+. Показано, что дети группы наблюдения отличались достоверно повышенной частотой дикого аллеля генов GPX и HLA-DRA, а также вариантного аллеля гена TNF, ассоциированных с развитием иммунных нарушений, что указывает на вероятностную (*OR* = 2,00–2,28) ассоциацию полиморфизма иммунотропных генов и генов детоксикации и избыточности контаминации биосред тяжелыми металлами с формированием иммунодефицита.

Список литературы

1. Вклад генов главного комплекса гистосовместимости класса II в предрасположенность к аутоиммунным заболеваниям / М.Ю. Захарова, Т.А. Белянина, А.В. Соколов [и др.] // Acta naturae (русскоязычная версия). – 2019. – Т. 11, № 4 (43). – С. 4–12. DOI: 10.32607/20758251-2019-11-4-4-12

2. Ефимова Н.В. Медико-экологические проблемы: ретроспективный анализ на примере Иркутской области // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 3 (1). – С. 57–61.

3. Иммуногенетика и прогрессирование хронических вирусных гепатитов / Е.Г. Белобородова, И.А. Гончарова, Э.И. Белобородова [и др.] // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2015. – № 3 (115). – С. 45–49.

4. Полиморфизм генов иммунного ответа и его роль в противоинфекционной защите / Р.М. Хаитов, Л.П. Алексеев, М.Н. Болдырева, Л.В. Сароянц // Иммунология. – 2013. – Т. 34, № 3. – С. 132–144.

5. Савченко О.В. Влияние загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на здоровье детей дошкольного возраста // Экология человека. – 2018. – № 3. – С. 16–20. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-3-16-20

6. Starkova K.G., Dolgikh O.V. Some aspects of the immune status of primary and secondary schoolchildren living in conditions of technogenic pollution of the urban environment by industrial pollutants // Advances in Health Sciences Research. Proceedings of the Conference on Health and Wellbeing in Modern Society (CHW 2021). – 2022. – Vol. 42. – P. 214–218. DOI: 10.2991/ahsr.k.220103.043

Анализ химических отравлений среди несовершеннолетних и меры их профилактики в Республике Татарстан

Е.В. Калеева, А.А. Титова, О.Н. Панкратова, Р.Г. Билалова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

В структуре первичной заболеваемости среди несовершеннолетних детей Республики Татарстан травмы и отравления занимают вторую ранговую позицию и составляют в среднем 7,2 %. С целью изучения частоты острых отравлений химической этиологии среди детей и подростков Республики Татарстан, их структуры и медико-социальных факторов проведены исследования с использованием автоматизированной информационной системы «Социально-гигиенический мониторинг». Проанализированы данные учетных форм № 58-1/у «Экстренные извещения о случае острого отравления химической этиологии» по Республике Татарстан, отчетные формы отраслевого статистического наблюдения № 12-15 «Сведения о результатах токсикологического мониторинга». Общий объем наблюдений составил 7297 случаев.

Ключевые слова: токсикологический мониторинг, острые отравления химической этиологии, отравления несовершеннолетних.

К основным причинам смерти от непреднамеренных травм среди детей относятся дорожно-транспортные происшествия, утопления, отравления, термические повреждения и падения, при этом отравления устойчиво занимают третье ранговое место. Безусловно, токсических воздействий без летального исхода значительно больше, но они являются важной причиной заболеваемости и длительной инвалидности детей и подростков. К токсическим веществам (ядам) относятся некоторые лекарственные препараты, вещества, используемые в домашнем хозяйстве, растворители, пестициды и другие химикаты.

В структуре первичной заболеваемости среди несовершеннолетних детей Республики Татарстан травмы и отравления занимают вторую ранговую позицию и составляют в среднем 7,2 %[1].

Учитывая актуальность и практическую значимость данной проблемы, **цель исследования** – изучение частоты острых отравлений химической этиологии среди детей и подростков Республики Татарстан в динамике за период 2012–2021 гг., их структуры и медико-социальных факторов.

Исследования проведены за период с 2012–2021 гг. с использованием автоматизированной информационной системы «Социально-гигиенический мониторинг»[2]. Проанализированы данные учетных форм № 58-1/у «Экстренные извещения о случае острого отравления химической этиологии» по Республике Татарстан, отчетные формы отраслевого статистического наблюдения № 12-15 «Сведения о результатах токсикологического мониторинга». Общий объем наблюдений составил 7297 случаев.

Анализ экстренных извещений о случаях острых отравлений химической этиологии выявил снижение случаев среди детей (0–14 лет) на 27,1 % и рост у подростков (15–17 лет) на 12 % (рисунок). Среди всех возрастных групп доля детского и подросткового населения в среднем составила 17,2 и 4,4 % соответственно.

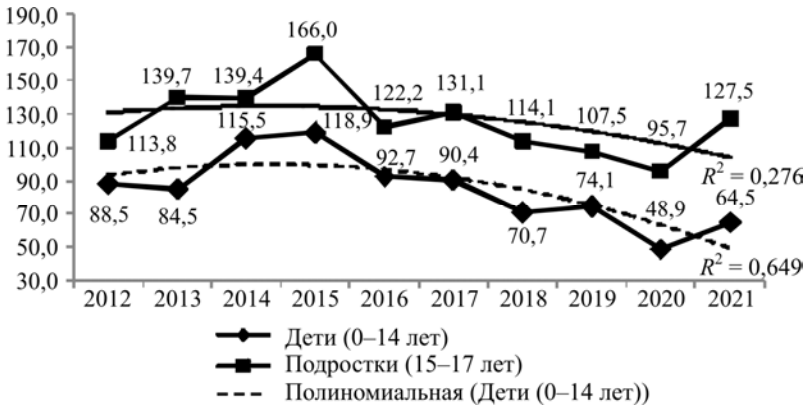


Рис. Динамика острых отравлений химической этиологии среди детского и подросткового населения Республики Татарстан

Из общего числа случаев острых отравлений химической этиологии в быту лидирующие позиции занимают случайные обстоятельства, отравления с целью опьянения, с целью самолечения, побочное действие и составили в среднем 72,6 %; преднамеренные обстоятельства отравления с целью получения эффекта наркотического опьянения, с целью одурманивания, суицидальное – 15,9 %; на другие обстоятельства приходится 11,5 %.

[1] Форма 58-1/у «Экстренное извещение о случае острого отравления химической этиологии» / утв. Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 29.12.2000 г. № 460 «Об утверждении учетной документации токсикологического мониторинга.

[2] Статистика здоровья населения и здравоохранения: учебно-методические пособия / А.Ю. Вафин, В.Г. Шерпутовский, Е.И. Шишмерева, Н.И. Молокович [и др.]. – Казань, 2012–2021.

За анализируемый период наибольший удельный вес среди всех отравлений среди несовершеннолетних занимают отравления лекарственными препаратами и составляют в среднем 53,3 %. Далее следуют отравления алкоголем, спиртосодержащими жидкостями – 8,3 %, и угарным газом – 9 %. В динамике с 2012 г. наблюдается снижение отравлений лекарственными препаратами в 1,2 раза и рост отравлений алкоголем и угарным газом в 1,3 и в 2,3 раза соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Структура острых отравлений среди несовершеннолетних от этиологического фактора за период 2012–2021 гг., %

Этиологический фактор	Год									
	2012, $n = 678$	2013, $n = 693$	2014, $n = 904$	2015, $n = 977$	2016, $n = 771$	2017, $n = 781$	2018, $n = 634$	2019, $n = 658$	2020, $n = 467$	2021, $n = 620$
Лекарственные препараты	59,9	53	55,1	56,2	54	55,6	54,4	48,6	47,8	48,2
Алкоголь и спиртосодержащие жидкости	8,7	6,3	7,1	5,9	7,4	8,7	8,7	8,4	10,9	11,1
Наркотические вещества	1,3	8,5	6	4,7	3,9	2,4	1,7	1,1	1,7	1,3
Разъедающие вещества	12,9	12,5	15,2	15,2	13,8	15,3	16,8	16,7	18,5	18,5
Средства бытовой химии и пестициды	6,3	5,9	5,1	5,6	4,9	5,1	5,8	6,4	4,1	4,5
Угарный газ	6,0	7,5	4,9	8,6	10,4	8,3	8,2	13,2	9,9	13,7
Растительные и животные яды	4,9	6,3	6,6	3,8	5,6	4,6	4,4	5,6	7,1	2,7
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В возрастной структуре детей с острыми отравлениями преобладают дети от 0 до 3 лет, на долю которых приходится в среднем 46,3 %. Дети дошкольного возраста от 4 до 6 лет составляют в среднем 11,4 %, а в возрасте от 7 до 10 лет и от 11 до 14 лет – 6,3 и 15,5 % соответственно; подростки 15–17 лет – 20,4 %. В динамике с 2012 по 2021 г. доля детей младшего (7–10 лет), среднего (11–14 лет) и старшего (15–17 лет) школьного возраста с острыми отравлениями возросла в 2,0; 1,8 и в 1,2 раза соответственно, а среди детей до 3 лет – сократилась с 52,4 до 34 %. Существенных гендерных различий в структуре острых отравлений у детей и подростков не установлено (табл. 2).

За последние 10 лет у детей младшего (0–3 лет) и дошкольного (4–6 лет) возрастов преобладают отравления лекарственными препаратами и на их долю приходится 63,8 и 55,2 % соответственно. У детей 7–10 лет основная доля случаев приходится на отравления лекарственными препаратами – 34,7 % и угарным газом – 24,3 %. В возрастных группах 11–14 лет и 15–17 лет наибольшая доля отравлений – лекарственными препаратами – 35,7 и 46,6 % соответственно. На втором месте отравления алкоголем и спиртосодержащими жидкостями – 24,3 и 18,4 % соответственно (табл. 3).

Таким образом, проблема острых отравлений химической этиологии среди несовершеннолетних для Республики Татарстан остается актуальной.

Таблица 2

Половозрастная структура несовершеннолетних с острыми отравлениями за период 2012–2021 гг., %

Группа	Год									
	2012, *n* = 678	2013, *n* = 693	2014, *n* = 904	2015, *n* = 977	2016, *n* = 771	2017, *n* = 781	2018, *n* = 634	2019, *n* = 658	2020, *n* = 467	2021, *n* = 620
Возраст										
0–3 лет	52,4	45,6	53	49	50,8	51	45,7	42,9	38,8	34,0
4–6 лет	10,0	10,8	9,4	12,3	11,8	10,2	11,4	13,2	13,3	11,3
7–10 лет	4,7	5,1	5,2	5,7	5,3	6,3	6,0	8,7	7,3	9,0
11–14 лет	12,3	14,8	14,7	13,8	14,2	14,2	16,6	16,5	16,6	21,7
15–17 лет	20,6	23,7	17,7	19,2	17,9	18,3	20,3	18,7	24,0	24,0
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Пол										
Мальчики	50,8	53,2	55,3	53,7	51,4	50,6	48,7	53,0	55,5	55,5
Девочки	49,2	46,8	44,7	46,3	48,6	49,4	51,3	47,0	44,5	44,5
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 3

Структура острых отравлений среди несовершеннолетних от этиологического фактора по возрастам за период 2012–2021гг., %

Этиологический фактор	Возраст, лет				
	0–3	4–6	7–10	11–14	15–17
Лекарственные препараты	63,8	55,2	34,7	35,7	46,6
Алкоголь и спирт. жидкости	0,8	0,5	5,4	24,3	18,4
Наркотические вещества	0,3	0,2	0,5	6,4	10,6
Разъедающие вещества	4,3	2,2	1,6	1,0	0,5
Средства бытовой химии и пестициды	9,9	3,7	3,5	0,8	0,6
Угарный газ	5,8	17,7	24,3	9,4	6,5
Растительные и животные яды	3,1	8,0	14,7	8,6	4,3
Прочие	12,1	12,5	15,3	13,8	12,5
Всего	100	100	100	100	100

Настораживает рост отравлений среди детей дошкольного возраста разъедающими веществами, средствами бытовой химии, пестицидами, угарным газом и растительными и животными ядами, что является следствием неправильно организованного взрослыми хранения химических веществ, используемых в быту, и ненадлежащего присмотра за детьми. Данные отравления могут привести к инвалидности детей.

С целью профилактики отравлений среди несовершеннолетних Управлением Роспотребнадзора по Республике Татарстан (далее – Управление) публикует на официальном сайте информационные материалы по данным токсикологического мониторинга.

В межведомственной работе с органами МВД по Республике Татарстан, Министерством образования и науки Республики Татарстан, Министерством по делам молодежи Республики Татарстан и следственными органами Республики Татарстан Управление информирует о росте отравлений среди детей школьного возраста.

С целью организации профилактической работы принято Постановление Республиканской комиссии по делам несовершеннолетних и защите их прав от

15.12.2021г. № 27-21 «Об организации работы по профилактике употребления несовершеннолетними алкогольной и спиртосодержащей продукции». Согласно Постановлению Управлением продолжается работа по ведению мониторинга острых алкогольных отравлений среди несовершеннолетних и ужесточён контроль за легальной реализацией алкогольной продукции.

На уровне исполнительных комитетов муниципальных образований республики в рамках профилактических программ проводятся с разными слоями населения мероприятия, направленные на формирование здорового образа жизни (спортивно-массовые мероприятия, проведение на базе общеобразовательных учреждений познавательных уроков и квестов, флешмобов).

Вопросы здорового образа жизни у школьников подросткового возраста

Г.Р. Каримова, М.В. Карпова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

Проблема формирования здорового образа жизни обусловлена тем, что здоровье – одна из важнейших жизненных ценностей человека, залог благополучия и долголетия. На современном этапе, когда в стране уровень продолжительности жизни людей сравнительно невелик, очень важно с раннего детства прививать ребенку понятие о здоровье как о главной ценности в жизни человека, воспитывать в нем необходимость и важность сохранения здоровья в сильно нарушенной среде обитания человека. Исследования показали, что среднее звено школьников проявляет интерес к активному образу жизни. Значительная часть обучающихся школы достаточно адекватно оценивает значимость состояния здоровья для качества жизни и пытается активно влиять на его сохранение, учителя предпринимают все необходимое для формирования основ здорового образа жизни школьников.

Ключевые слова: здоровье, здоровый образ жизни, физическая активность.

Цель исследования – изучение здорового образа жизни подростков.

Материалы и методы. Объектом исследования являются ученики с 5-го по 11-й класс Сабинского муниципального района Республики Татарстан. Предметом исследования – образ жизни учащихся 5–11-х классов Сабинского муниципального района Республики Татарстан. Осуществлен анализ научно-популярной, методической литературы, информации из СМИ и сети Интернет, анкетирование.

Задачи исследования: 1) выявить уровень осведомленности подростков о здоровом образе жизни; 2) изучить возрастную динамику изменения информированности школьников и мотивации на ведение здорового образа жизни; 3) оценить уровень информационно-профилактической работы среди подростков.

В современных социально-экономических условиях развития российского общества одним из приоритетных направлений государственной политики является формирование культуры здоровья школьников через их здоровьеобучение для укрепления и сохранения здоровья, воспитания здорового подрастающего поколения [7, 11].

Состояние здоровья подрастающего поколения – важнейший показатель благополучия общества и государства, не только отражающий настоящую ситуацию, но и дающий прогноз на будущее. Трудовые ресурсы страны, ее безопасность, политическая стабильность, экономическое благополучие и морально-нравственный уровень населения непосредственно связаны с состоянием здоровья детей, подростков, молодежи. Фундамент здоровья молодежи формируется в детском и подростковом возрасте. Статистические данные свидетельствуют, что уровень заболеваемости подростков традиционно выше, чем всего населения [5].

На состояние здоровья детей оказывают существенное влияние такие факторы, как неблагоприятные социальные и экологические условия. Резко отрицательная экологическая обстановка в районах проживания и обучения детей и подростков существенно повышает их заболеваемость [8–10].

По данным специалистов НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков в последние годы наметились следующие негативные тенденции: значительное снижение числа абсолютно здоровых детей (их остается не более 10–12 %); стремительный рост числа функциональных нарушений и хронических заболеваний, которые регистрируются более чем у 50–60 % школьников; резкое увеличение доли патологии органов пищеварения, опорно-двигательного аппарата, почек и мочевыводящих путей; увеличение числа школьников, имеющих несколько диагнозов [1, 3, 4].

Организация правильного здорового питания детей и подростков имеет не только медицинское значение как фактор сохранения здоровья конкретного ребенка и его последующего развития, но и большое социальное значение как фактор, определяющий здоровье будущих поколений [6].

С целью изучения проблемы формирования здорового образа жизни обучающихся муниципальной общеобразовательной организации Сабинского муниципального района была составлена анкета, которая включала в себя восемь вопросов, касающихся образа жизни подростков, в том числе и здорового образа жизни, и проведено анонимное анкетирование 115 подростков старшего школьного возраста.

На вопрос «Как Вы понимаете выражение “здоровый образ жизни”?» дети отмечали двигательную активность (15 %), рациональное здоровое питание (33 %), соблюдение режима дня и личной гигиены (15 %), а также отказ от вредных привычек (36 %).

На вопрос «Считаете ли Вы необходимым придерживаться принципов здорового образа жизни?» 72 % ответили, что это необходимо, 10 % считают, что это не главное в жизни, 18 % вообще не задумывались над этим вопросом. На вопрос «Можно ли сказать, что Вы заботитесь о своем здоровье?» 61 % опрошенных ответили «Да, конечно», 26 % опрошенных сообщили, что заботятся недостаточно, остальные 13 % дали отрицательный ответ.

Свободное время большинство школьников тратят на игру с помощью гаджетов (49 %), кто-то любит ходит в кино и театры (21 %), читать книги, но их меньшинство (16 %). Лишь 14 % отметили занятия спортом.

Детей, в семьях которых дружественные отношения, где присутствуют удовольствие и радость от безвредных для здоровья вещей в жизни, где всегда родители интересуются эмоциональным состоянием ребенка, где говорят о проблемах подростка, относятся к алкоголю и курению отрицательно, – 67 %; безразлично – 30 %, и хорошо относятся – 3 %.

Если школьников поддерживать в добрых начинаниях, в увлечениях чем-то полезным, то их мало будут интересовать курение, алкоголь. Таких оказалось 94 %, только 6 % опрошенных сказали, что пробовали курить сигареты.

Мы проанализировали с помощью классных журналов количество детей, занимающихся в спортивных кружках и секциях. Оказалось, что самыми активными спортсменами являются подростки. Они посещают и школьные секции, и занимаются спортом вне школы (баскетбол – 11 %, бег – 7 %, волейбол – 9 %, гимнастика – 7 %, пробежка – 13 %, теннис – 12 %, фитнес – 11 %, хоккей – 10 %, не занимаются – 20 %).

Последним вопросом мы пытались выяснить, как оценивает свое здоровье каждый из опрошенных: 48 % оценили, как «хорошо», 48 % – «удовлетворительно», 4 % затруднились ответить.

Обращает на себя внимание тот факт, что представления о составляющих здоровья разрозненны, не систематизированы, а ответы на последний вопрос не дают оснований верить, что отвечавшие действительно будут прилагать те усилия по сохранению своего здоровья, о которых говорят.

Необходимо сохранить, укрепить здоровье обучающихся и сформировать представление у всех детей о том, что такое ЗОЖ – здоровый образ жизни.

По итогам проведенной работы можно рекомендовать полученные результаты к внедрению в практическую деятельность школьного психолога:

• приобщать подростков к здоровому образу жизни: вовлекать детей в спортивные секции, танцевальные кружки, плавание;

• контролировать школьное меню в столовой с учетом принципов правильного питания;

• включать в учебную программу практические задания о здоровом образе жизни;

• соблюдать все гигиенические предписания в отношении распорядка дня;

• вредные привычки всегда ведут к постепенной утрате здоровья, поэтому школьники должны контролировать свою жизненную позицию.

Результаты исследования показали, что школьники среднего звена проявляют интерес к активному образу жизни. Значительная часть обучающихся школы достаточно адекватно оценивает значимость состояния здоровья для качества жизни и пытается активно влиять на его сохранение, учителя предпринимают все необходимое для формирования основ здорового образа жизни школьников.

Если каждый школьник будет правильно питаться, вести здоровый образ жизни, заниматься спортом, не превышать время нахождения у компьютера и телевизора, заботиться о ближайшей среде обитания, то здоровье будет крепким.

Существует необходимость в дальнейшей более глубокой разработке проблемы изучения состояния здоровья учащихся, а также изучения их отношения к собственному здоровью.

Список литературы

1. АиФ. Здоровье. – 2018. – № 38. – 53 с.

2. Аргунова М.В. Стратегия формирования экологической культуры школьников // Химия в школе. – 2009. – № 1. – С. 40–44.

3. Ашихмина Т.Я. Школьный экологический мониторинг. – М.: АО «МДС», 2000. – 386 с.

4. Величковский Б.Т., Кирпичёв В.И., Суравегина И.Т. Здоровье человека и окружающая среда: уч. пособие. – М.: Новая школа, 1997. – 240 с.

5. Ланина А.П. Роль здоровья в жизни человека. – М., 2018. – 30 с.

6. Мажейкин А.В. Поговорим о здоровом питании. – Киев, 2019. – 68 с.

7. Меньшов И.В. Формирование культуры здоровья среди школьников 1–11 классов на основе трилогии здоровьеобучающих учебных изданий: «Культура здоровья школьников 1–4 классов», «Культура здоровья школьников 5–8 классов», «Культура здоровья школьников 9–11 классов» // Инновационная наука. – 2021. – № 12–1. – С. 96–105.

8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология России. – М.: АО «МДС», 2018. – 194 с.

9. Миронеский С.А. Надо ли делать зарядку. – М., 1999. – 85 с.

10. Практикум по экологии / С.В. Алексеев, Н.В. Груздева, А.Г. Муравьёв [и др.]. – М.: АО «МДС», 1996. – 192 с.

11. Проблемы сохранения и укрепления здоровья обучающихся на современном этапе развития образования / Н.П. Абаскалова, Ю.В. Харламова, С.С. Кривовицин [и др.] // Образование. Наука. Культура: традиции и современность: материалы V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Краснодар, 2022. – С. 6–72.

Особенности иммунологических показателей у детского населения, проживающего в условиях техногенной провинции (на примере маркеров эффекта бенз(а)пирена и формальдегида)

Е.А. Красулина[2], О.В. Долгих[1,2,3], М.Н. Вершинин[2]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2] ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
[3] ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Выполнен анализ особенностей иммунологических показателей детского населения, проживающего в условиях техногенной провинции, характеризующейся экспозицией органическими канцерогенами (на примере формальдегида и бенз(а)пирена). По результатам прове-

дённых исследований выявлены изменения со стороны показателей иммунной системы, проявляющиеся в повышенной по сравнению с группой контроля продукции иммуноглобулина класса E к формальдегиду и иммуноглобулина класса G к бенз(а)пирену, а также в достоверно высоком по отношению к контрольной группе уровне карциноэмбрионального антигена.

Ключевые слова: иммунный статус, специфическая сенсибилизация, детское население, органические канцерогены.

Активное развитие промышленного комплекса неизбежно приводит к повышению загрязнённости окружающей среды [3, 10]. Наиболее уязвимыми перед внешнесредовыми воздействиями являются дети, что связано с процессами роста, развития регуляторных систем, а также повышенной скоростью метаболических процессов [6]. Здоровье детей дошкольного возраста – один из наиболее чувствительных показателей воздействия окружающей среды на популяцию человека. Это имеет особое значение при оценке качества окружающей среды в промышленных регионах, где население постоянно подвергается антропогенной нагрузке [8].

Поступление формальдегида в организм происходит ингаляционным, пероральным и накожным путём. Это раздражающий газ, оказывающий общетоксическое, мутагенное и сенсибилизирующее действие на организм [4, 5]. Поражает нервную систему, печень, почки, оказывает сильное раздражающее действие на слизистые оболочки дыхательных путей [9]. Также формальдегид часто является причиной аллергопатологии [5].

Бенз(а)пирен, относящийся к группе полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), является одним из самых токсичных продуктов горения [3, 10]. Содержание бенз(а)пирена в окружающей среде принято считать одним из основных показателей канцерогенной нагрузки на человека [2, 11]. Бенз(а)пирен – вещество первого класса опасности, такие вещества обладают чрезвычайно высоким уровнем воздействия на организм человека и окружающую среду, причём вызываемые ими изменения носят необратимый характер [10]. Наиболее высокие концентрации бенз(а)пирена в воздухе характерны для городов, которые расположены вблизи заводов по производству алюминия.

Бенз(а)пирен обладает свойством биоаккумуляции. Это вещество хорошо растворяется в сыворотке человеческой крови и, накапливаясь в организме, стимулирует образование злокачественных опухолей [1]. Кроме канцерогенного действия, известно также мутагенное, эмбриотоксическое и гематотоксическое действие. Бенз(а)пирен оказывает негативное влияние на органы дыхания, вызывая парез дыхательных путей, на кожный покров, являясь причиной дерматитов, экзем, а также на нервную систему [7].

Цель исследования – изучить особенности иммунологических показателей детского населения, проживающего в условиях техногенной провинции, характеризующейся экспозицией органическими канцерогенами (бенз(а)пирен, формальдегид).

Материалы и методы. Было выполнено иммунологическое исследование биосред дошкольников в возрасте от 3 до 7 лет, проживающих в условиях техногенной провинции, характеризующейся экспозицией органическими канцерогенами (бенз(а)пирен, формальдегид). Всего обследовано 267 детей (120 мальчиков, 147 девочек). Группу контроля составили 97 детей (53 мальчика, 44 девочки).

Изучение содержания специфических антител класса E (IgE к формальдегиду), а также специфических иммуноглобулинов класса G (IgG к бенз(а)пирену) проводилось методом аллергосорбентного тестирования с ферментной меткой.

Анализ содержания общего иммуноглобулина класса E (IgE), а также содержания карциноэмбрионального антигена (КЭА) выполнен методом иммуноферментного анализа.

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием методов статистики при помощи пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Уровень достоверности оценивался с использованием критерия Стьюдента. При $p < 0,05$ различия между группами считались статистически значимыми.

Результаты. В результате иммунологического исследования биосред дошкольников, проживающих в условиях техногенной провинции, были выявлены изменения состава биосред обследованных групп по отношению к норме и к показателям группы контроля (таблица).

Особенности состава крови детского населения, проживающего в условиях экспозиции органическими соединениями-канцерогенами

Показатель	Физиол. норрма	Группа наблюдения		Контрольная группа		Отклонение от группы контроля (по средним значениям)	Межгрупповое различие *p*	
		среднее значение ($M \pm m$)	достоверность различий с физ.нормой (*p*)	среднее значение ($M \pm m$)	достоверность различий с физ.нормой (*p*)		по средним	по кратностям превышения нормы
IgE общий, МЕ/см^3	0–49,9	71,7 ± 17,6	**0,017**	80,06 ± 29,3	**0,001**	0,8	0,628	0,542
IgE спец. формальдегид, МЕ/см^3	0–1,5	0,183 ± 0,021	Норма	0,082 ± 0,009	Норма	2,23	**0,000**	–
IgE спец. к бенз(а)пирену, усл. ед.	0–0,3	0,176 ± 0,03	Норма	0,067 ± 0,021	Норма	2,62	**0,000**	**0,000**
КЭА, нг/см^3	0–2,9	2,03 ± 0,59	Норма	1,21 ± 0,16	Норма	1,67	**0,011**	**0,041**

Установлено повышенное содержание специфических антител класса G к бенз(а)пирену по отношению к показателям группы контроля. При этом частота фиксации проб с повышенным по отношению к норме содержанием антител в группе наблюдения составила 24,4 %.

Кроме того, выявлено повышенное по отношению к группе контроля содержание иммуноглобулинов класса E к формальдегиду, количественно содержание в 2,2 раза превышает усреднённый результат группы контроля.

Содержание общего IgE в группе наблюдения превышает физиологическую норму в 1,4 раза, в группе контроля – в 1,6 раза.

В группе наблюдения содержание карциноэмбрионального антигена оказалось в 1,6 раза выше, чем в группе контроля. Уровень содержания КЭА в крови может говорить о наличии пролиферативных воспалительных процессов.

Выводы. Постоянное проживание детей в условиях техногенной провинции, характеризующейся экспозицией органическими канцерогенами (на примере бенз(а)пирена, формальдегида), приводит к формированию повышенной чувствительности к гаптенам экзогенной природы по критерию IgG к бенз(а)пирену и IgE к формальдегиду. Выявленное превышение содержания в крови детей группы наблюдения по отношению к группе контроля карциноэмбрионального антигена указывает на наличие воспалительных пролиферативных процессов в организме.

Список литературы

1. Влияние газомоторного топлива на здоровье населения / В.А. Грачев [и др.] // Вестник НИЦ МИСИ: актуальные вопросы современной науки. – 2019. – № 18. – С. 142–155.

2. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) / Р.А. Голиков [и др.] // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2017. – № 5. – С. 20–31.

3. Гребенкина А.С., Свидерский Н.Г. Бензапирен как один из факторов загрязнения атмосферного воздухе в городе // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2020. – № 1. – С. 197–200.

4. Дорогова В.Б., Тараненко Н.А., Рычагова О.А. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор) // Acta Biomedica Scientifica. – 2010. – № 1. – С. 32–35.

5. Зайцева Н.В., Долгих О.В., Дианова Д.Г. Особенности иммунологических и генетических нарушений человека в условиях дестабилизации среды обитания. – Пермь: изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2016. – 300 с.

6. Зайцева Н.В., Ланин Д.В., Черешнев В.А. Иммунная и нейроэндокринная регуляция в условиях воздействия химических факторов различного генеза. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2016. – 236 с.

7. Калиманова Л.С., Тасейко О.В. Оценка ингаляционных дозовых нагрузок на здоровье населения города Красноярска // Решетневские чтения. – 2018. – Т. 2. – С. 42–43.

8. Лещук С.И., Очиржапова Д.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на здоровье населения // Вестник ИрГСХА. – 2012. – Т. 51. – С. 52–61.

9. Малютина Н.Н., Тараненко Л.А. Патофизиологические и клинические аспекты воздействия метанола и формальдегида на организм человека // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 2. – С. 367–367.

10. Риккер Ю.О., Кобылкин М.В., Батухтин А.Г. Проблема загрязнения атмосферы уходящими газами ТЭС (на примере выбросов бензапирена) // Инновационные технологии в технике и образовании. – 2018. – С. 61–66.

11. Шелепова В.С., Звягинцева А.В. Бензапирен-химико-биологическая проблема современности (C20H12) // Пожарная безопасность: проблемы перспективы. – 2017. – Т. 1. – № 8.

Особенности формирования клеточного иммунного профиля и апоптоз иммуноцитов у детского населения приполярной территории Восточной Сибири

Н.А. Никоношина, О.В. Долгих

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

Изучены особенности формирования клеточного иммунного профиля, а также апоптоз иммуноцитов у детского населения приполярной территории Восточной Сибири, проживающего в условиях стрессорного воздействия климатогеографических факторов (низкая температура, фотопериодическая асимметрия и т.д.). Избыточность событий апоптоза иммунокомпетентных клеток (повышение содержания $CD3^+CD95^+$-лимфоцитов, Annexin V-$FITC^+7AAD^+$-клеток, экспрессии рецептора фактора некроза опухоли TNFR и проапоптотического белка Bax) сопряжена с активацией экспрессии $CD3^+CD8^+$ кластеров Т-клеточной дифференцировки (Т-цитотоксических лимфоцитов). Таким образом, выявленные изменения клеточного иммунного профиля и ассоциированные с ним нарушения процессов запрограммированной клеточной гибели иммунокомпетентных клеток формируют комплекс индикаторных иммунорегуляторных показателей, характеризующих ранние дезадаптационные изменения состояния здоровья детского населения в ответ на стрессорное воздействие неблагоприятных климатогеографических факторов северных территорий.

Ключевые слова: апоптоз, лимфоциты, иммунная система, дети, климатогеографические факторы.

Неблагоприятные климатогеографические условия приполярных территорий (низкая температура воздуха, значительная фотопериодическая асимметрия, резкие колебания атмосферного давления, избыточная напряженность электромагнитного поля Земли) оказывают негативное, стрессорное влияние на состояние здоровья детского населения вследствие угнетения адаптационных реакций, связанных с иммунной системой [1, 3, 4, 7]. Апоптоз – генетически детерминированный процесс гибели клетки в ответ на клеточный стресс или повреждение. Выполняя иммуномодулирующую функцию, апоптоз играет важную роль в стабилизации и поддержании оптимального количества иммунокомпетентных клеток в многоклеточном организме, что повышает эффективную адаптацию организма к воздействию различных стрессогенных факторов [2, 5, 6, 8]. В связи с этим выявление особенностей запрограммированной клеточной гибели у детей дошкольного возраста, проживающих на приполярной территории Восточной Сибири, является актуальным в аспекте идентификации особенностей иммунной регуляции населения как важнейшего инструмента адаптации к неблагоприятным климатогеографическим условиям северных территорий.

Цель исследования – изучить особенности формирования клеточного иммунного профиля, а также апоптоз иммуноцитов у детского населения приполярной территории Восточной Сибири.

Материалы и методы. Проведено клинико-лабораторное обследование 350 детей в возрасте 4–12 лет, проживающих на территории Восточной Сибири. Группу наблюдения составили 205 детей, проживающих на приполярной территории

(69° с.ш.). Группу сравнения составили 145 детей, проживающих на территории средней широты (55° с.ш.) Восточной Сибири. Половозрастной, этнический и социальный статусы обследованных детей в выборках были сопоставимыми. Определение содержания популяций и субпопуляций лимфоцитов, а также маркеров апоптоза ($CD3^+$-, $CD3^+CD8^+$-, $CD3^+CD95^+$-, Annexin V-$FITC^+7AAD^-$, Annexin V-$FITC^+7AAD^+$-лимфоциты, рецептор фактора некроза опухоли TNFR и проапоптотический белок Bax) проводили методом проточной цитофлюориметрии на приборе FACSCalibur (Becton Dickinson, США) с использованием универсальной программы CellQuest Pro.

Для статистической обработки результатов исследования применялись методы математической статистики с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Для оценки уровня достоверности полученных данных использовали параметрический критерий Стьюдента с учетом нормального распределения переменных в сравниваемых группах. В случае отклонения от нормального распределения для сравнения данных использовали непараметрический *U*-критерий Манна – Уитни. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. При иммунологическом обследовании детского населения приполярной территории Восточной Сибири, характеризующейся воздействием стрессорных климатогеографических факторов, установлены достоверные изменения субпопуляционного состава лимфоцитов и нарушения процессов запрограммированной клеточной гибели (таблица).

Особенности клеточного иммунного профиля и апоптоза иммуноцитов детского населения приполярной территории Восточной Сибири

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения, $n = 205$	Группа сравнения, $n = 145$	p
Annexin V-$FITC^+7AAD^+$-лимфоциты, %	7–11	9,535 ± 1,248	6,365 ± 0,736	0,035
Bax, %	5–9	6,312 ± 0,998	2,079 ± 0,373	0,001
$CD3^+$-лимфоциты, %	55–84	70,080 ± 3,360	74,944 ± 1,299	0,008
$CD3^+CD8^+$-лимфоциты, %	13–41	33,240 ± 2,762	25,208 ± 1,270	0,010
$CD3^+CD95^+$-лимфоциты, %	15–25	20,200 ± 2,263	14,400 ± 0,787	0,019
TNFR, %	1–1,5	4,118 ± 0,384*	2,220 ± 0,261	0,001

Примечание: * – различия с референтным уровнем статистически значимы ($p < 0,05$).

У 63,9 % (131) детей в группе сравнения установлено снижение общего содержания Т-лимфоцитов ($CD3^+$-клетки), в то время как содержание цитотоксических $CD3^+CD8^+$-клеток у 66,8 % (137) детей превышает аналогичные значения группы сравнения ($p < 0,05$). Развитие Т-клеточного иммунодефицита может свидетельствовать об угнетении адаптивного иммунного ответа. При этом активация цитотоксических Т-клеток является регуляторным механизмом компенсации клеточного иммунного ответа на фоне общей Т-клеточной недостаточности, формируемой в стрессорных климатогеографических условиях приполярной территории [6].

Формирование клеточного иммунодефицита у детей, проживающих на приполярной территории Восточной Сибири, обусловлено избыточностью апоптоза лимфоцитов, о чем свидетельствует повышенный уровень экспрессии соответствующего рецепторного аппарата и регуляторных белков данного процесса. Так,

у 67,8 % (139 детей) в группе сравнения уровень экспрессии Fas-рецептора ($CD95^+$) лимфоцитами достоверно повышен по отношению к группе сравнения ($p < 0,05$). Иммунный профиль 67,3 % детей характеризуется повышенным процентным содержанием рецептора фактора некроза опухоли TNFR как по отношению к группе сравнения, так и к референтному уровню ($p < 0,05$). Гиперпродукция рецепторов запрограммированной клеточной гибели сопровождается повышенной экспрессией проапоптотического регуляторного белка Bax у 76,1 % (156) детей относительно группы сравнения ($p < 0,05$). Выявленное у 56,1 % (115) детей повышенное содержание Annexin V-$FITC^+7AAD^+$-лимфоцитов относительно группы сравнения отражает увеличение доли клеток на поздней стадии апоптоза и некроза ($p < 0,05$). Полученные результаты изучения особенностей клеточного иммунного профиля и апоптоза лимфоцитов у детей, проживающих на приполярной территории Восточной Сибири, указывают на признаки формирования клеточного иммунодефицита, сопряженного с избыточностью процессов запрограммированной клеточной гибели иммуноцитов, в условиях стрессорного воздействия климатогеографических факторов северных территорий.

Выводы. Таким образом, формирование Т-клеточного иммунодефицита (снижение $CD3^+$-лимфоцитов при компенсаторном повышении цитотоксических $CD3^+CD8^+$лимфоцитов) у детей, проживающих на приполярной территории Восточной Сибири, обусловлено избыточностью апоптоза иммунокомпетентных клеток, о чем свидетельствует повышение содержания $CD3^+CD95^+$-лимфоцитов, Annexin V-$FITC^+7AAD^+$-клеток, рецептора фактора некроза опухоли TNFR и Bax ($p < 0,05$). Выявленные изменения клеточного иммунного профиля и нарушения процессов запрограммированной клеточной гибели иммунокомпетентных клеток представляют собой комплекс индикаторных иммунорегуляторных показателей, характеризующих процесс адаптации детского организма к стрессорному воздействию климатогеографических факторов северных территорий.

Список литературы

1. Гудков А.Б., Попова О.Н., Лукманова Н.Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера: обзор литературы // Экология человека. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 12–17. DOI: 10.17816/humeco17513

2. Долгих О.В., Мазунина А.А., Никоношина Н.А. Полиморфизм гена белка-переносчика органических анионов 1B1 *OATP1B1* rs2306283 у детей с заболеваниями щитовидной железы, проживающих в условиях Крайнего Севера // Якутский медицинский журнал. – 2022. – № 1 (77). – С. 16–19. DOI: 10.25789/YMJ.2022.77.04

3. Молчанова Е.В. Факторы здоровья населения северных регионов (на примере Республики Карелия) // Народонаселение. – 2012. – № 3 (57). – С. 028–033.

4. Новицкая В.П., Прахин Е.И. Влияние дополнительной витаминизации районов Заполярья на вариабельность морфофункциональных параметров иммунной системы // Якутский медицинский журнал. – 2019. – № 3 (67). – С. 91–93. DOI: 10.25789/YMJ.2019.67.25

5. Смирнова О.Е., Кирилина В.М., Алисова В.В. Особенности иммунологического статуса жителей Северных территорий // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 44–7. – С. 85–87. DOI: 10.18411/lj-11-2018-196

6. Ставинская О.А., Добродеева Л.К. Митохондриальный путь инициации апоптоза лимфоцитов на фоне подавления пролиферации Т-клеток при лимфопе-

нии у практически здоровых жителей Арктики // Экология человека. – 2018. – Т. 25, № 5. – С. 22–27. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-5-22-27

7. Шерстюков Б.Г. Климатические условия Арктики и новые подходы к прогнозу изменения климата // Арктика и Север. – 2016. – № 24. – С. 39–67. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2016.24.39

8. Apoptosis as anticancer mechanism: function and dysfunction of its modulators and targeted therapeutic strategies / G. Pistritto, D. Trisciuoglio, C. Ceci, A. Garufi, G. D'Orazi // Aging (Albany NY). – 2016. – Vol. 8, № 4. – P. 603–619. DOI: 10.18632/aging.100934

Иммунный статус детей с расстройствами вегетативной нервной системы в условиях повышенного содержания в биосредах ряда экзогенных химических веществ

Е.А. Отавина, О.В. Долгих

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

Представлены результаты изучения особенностей иммунного статуса детей школьного возраста с расстройствами вегетативной нервной системы, проживающих в крупном промышленном центре. Для детей с патологией нервной системы установлены повышенные относительно группы сравнения уровни: содержания контаминантов – алюминия, фенола и меди – в биосредах, а также специфической сенсибилизации (по критерию IgG) к данным экзогенным химическим веществам, гиперпродукции сывороточных иммуноглобулинов класса А и М в сочетании с разнонаправленными изменениями популяций иммунокомпетентных клеток (активацией абсолютной и относительной величины Т-регуляторных лимфоцитов $CD127^{-}$ и угнетением экспрессии $CD25^{+}$-клеток).

Ключевые слова: расстройства нервной системы, экзогенные химические вещества, иммунный статус, специфическая сенсибилизация.

Важным фактором, влияющим на функциональное состояние организма, является химический состав окружающей среды [1]. Население современных промышленно развитых регионов проживает в условиях многокомпонентного воздействия техногенных химических факторов. Наиболее чувствителен к влиянию неблагоприятных факторов окружающей среды детский контингент, особенно дети младшего школьного возраста в силу особенностей гомеостаза и увеличения нагрузки на начальных этапах обучения. Влияние промышленных токсикантов является стрессовым фактором для детского организма, ведущим к снижению общей резистентности и иммунобиологической реактивности организма, нарушению деятельности его регуляторных систем, в том числе вегетативной нервной системы (ВНС) [2, 4, 5]. Нервная и иммунная системы взаимосвязаны и представляют собой

единую интегрированную систему, выполняющую в организме базисную адаптационную функцию, и вегетативные нарушения отражают изменения в нейроиммунной регуляции [3].

Цель исследования – оценка иммунного статуса детей с расстройствами вегетативной нервной системы в условиях контаминантной нагрузки биологических сред экзогенными химическими факторами.

Материалы и методы. Проведено обследование 77 детей младшего школьного возраста (8–10 лет), проживающих и посещающих общеобразовательные учреждения в крупном промышленном центре с размещением предприятий преимущественно химического и металлургического видов производств. Группу наблюдения составили 49 детей с расстройствами вегетативной нервной системы. Группа сравнения включала 28 условно здоровых школьников.

Содержание фенола в крови замеряли методом дериватизации в щелочной среде с помощью йодистого метила, концентрировании продукта дериватизации из крови экстракцией хлористым метиленом и последующим газохроматографическим анализом экстракта на хроматографе «Кристалл-2000» (Россия) с капиллярной колонкой HP-1 30 м×0,32 мм и детектором ионизации в пламени в соответствии с МУК 4.1.2108-06 «Определение массовой концентрации фенола в биосредах (кровь) газохроматографическим методом».

Определение содержания химических элементов – металлов – в крови и моче проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с помощью масс-спектрометра Agilent 7900 (производство Agilent Technologies Inc., США) в соответствии с методиками: медь определяли в соответствии с МУК 4.1.3230-14 «Методика измерений массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой»; алюминий в моче определяли в соответствии с МУК 4.1. 3589-19 «Измерение массовой концентрации алюминия в биологических средах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой».

Содержание IgG специфического к алюминию, фенолу и меди определялось аллергосорбентным методом. Фотометрическое измерение оптической плотности проводилось на иммуноферментном анализаторе Sunrise (Tecan, Austria).

Концентрации сывороточных иммуноглобулинов классов A (IgA), M (IgM) и G (IgG) определяли при помощи метода радиальной иммунодиффузии (реакция по Манчини).

Результаты были оценены с помощью универсальной программы анализа данных Statistica, Statsoft, Inc. (США). Значимость различий оценивалась с помощью *t*-критерия Стьюдента. Модели зависимости «маркер экспозиции – маркер эффекта» определяли методом корреляционно-регрессионного анализа по критерию Фишера и коэффициенту детерминации (R^2). Достоверность отличий между группами считали значимыми при $p < 0{,}05$.

Результаты. Результаты химико-аналитического исследования биосред выявили повышенные относительно фонового уровня концентрации алюминия и меди в моче обследуемых школьников (табл. 1). Концентрации меди и фенола в крови находились в пределах установленного фонового уровня, но были повышены у 16 и 45 % детей группы наблюдения. В биосредах детей с расстройствами вегетативной нервной системы отмечаются более высокие уровни содержания данных контаминантов относительно их уровней в группе сравнения.

Таблица 1

Содержание контаминантов в крови школьников, $M \pm m$

Показатель	Фоновый уровень	Группа наблюдения	Группа сравнения
Алюминий в моче, мг/дм^3	0	0,0217± 0,0062*	0,0165 ± 0,0052
Медь в крови, мкг/см^3	0,1215–0,8559	0,77527 ± 0,0387*	0,72357 ± 0,0291
Медь в моче, мкг/см^3	0,00616–0,01005	0,01195 ± 0,0023	0,01015 ± 0,0027
Фенол в крови	0,01–0,0369	0,02265 ± 0,0094*	0,017714 ± 0,0093

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

По результатам клинико-лабораторного диагностического обследования детей содержание специфического иммуноглобулина G к химическим контаминантам – алюминию, фенолу, меди – у 63; 75; 50 % детей группы наблюдения достоверно превосходило значение нормы, а также в 1,5 и 2,4 раза превышало содержание специфических антител к алюминию и фенолу в группе сравнения.

Анализ результатов показал, что у обследуемых группы наблюдения отмечается статистически значимое повышение относительной и абсолютной величины Т-регуляторных лимфоцитов CD127$^-$ в 3,4 и 1,9 раза, и одновременно снижение экспрессии относительной величины активационного маркера CD25$^+$ в отношении значений нормы, а также анализируемых показателей, полученных у детей группы сравнения (табл. 2). Анализ отношения шансов изменения показателей иммунитета при повышении концентрации контаминантов в биологических средах выявил достоверное снижение относительного содержания CD25$^+$-лимфоцитов при увеличении концентрации алюминия в моче и меди в крови (R^2 = 0,82; 0,66), увеличение относительного и абсолютного содержания CD127$^-$-клеток при увеличение концентрации меди в крови (R^2 = 0,66; 0,66).

Таблица 2

Показатели иммунной регуляции обследованных школьников, $M \pm m$

Показатель	Возрастная норма	Группа наблюдения	Группа сравнения
IgG к алюминию, усл. ед.	0–0,1	0,191 ± 0,052*	0,127 ± 0,059
IgG спец. фенол, усл. ед.	0–0,13	0,205 ± 0,07*/**	0,087 ± 0,058
IgG специфический к меди, усл. ед.	0–0,1	0,123 ± 0,066	0,12 ± 0,082
CD127$^-$лимфоциты, абс, 10^9/дм^3	0,015–0,04	0,051 ± 0,021*	0,035 ± 0,019
CD127$^-$лимфоциты, отн, %	0,8–1,2	2,323 ± 0,985*	1,384 ± 0,767
CD25$^+$-лимфоциты, отн., %	5–12	4,905 ± 0,774*/**	6,786 ± 1,814
IgM, г/ дм^3	1,26–2,2	2,213 ± 0,547*	1,678 ± 0,264
IgA, г/ дм^3	1,17–2,2	2,073 ± 0,212*	1,898 ± 0,223

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

Содержание иммуноглобулинов основных классов А и М в основной группе находилось на верхней границе возрастной нормы, с их гиперэкспрессией у 20–40 % обследуемых соответственно. Отмечается превышение в 9–32 % случаев продукции данных антител относительно данных группы сравнения. Оценка отношения шансов изменения показателей гуморального иммунитета при возрастании концентрации контаминантов в биологических средах позволила установить достоверное ($p < 0,05$) повышение IgA и IgM при увеличении меди в крови (R^2 = 0,23; 0,65) и моче (R^2 = 0,69; 0,40).

Выводы. Таким образом, проведённое обследование позволило установить, что у детей младшего школьного возраста с наличием расстройств вегетативной нервной системы, проживающих в крупном промышленном центре, повышены уровни контаминантов (алюминия и меди – в моче, меди и фенола – в крови); наблюдается функциональный дисбаланс иммунной регуляции, выражающийся в развитии гиперчувствительности к техногенным гаптенам (IgG к алюминию, фенолу и меди), изменении кластеров клеточной дифференцировки – гиперэкспрессии $CD127^{-}$ Т-лимфоцитов и дефиците активационного маркера $CD25^{+}$.

Список литературы

1. Доршакова Н.В., Карапетян Т.А. Состояние здоровья детей и подростков в контексте влияния факторов окружающей // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 12. – С. 93–94.

2. Ефимова Н.В., Мыльникова И.В. О влиянии факторов окружающей среды и образа жизни на формирование синдрома вегетативной дисфункции у школьников // Гигиена и санитария. – 2019. – № 98 (1). – С. 76–81.

3. Мальцева Т.В., Половодова Н.С. Особенности иммунного статуса при различных вариантах вегетативного обеспечения у детей и школьников, проживающих на крайнем севере // Педиатрия. – 2010. – № 4. – С. 122–126.

4. Мочалов А.В. Влияние тяжелых металлов на физиологические процессы // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8 (2). – С. 333–333.

5. Dolgikh O.V., Zaitseva N.V., Nikonoshina N.A. Conditions of aerogenic exposition to benzol and genetic status as factors of formation of immune profile features in men with vegetative regulation impairments. В сборнике: 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020 // Conference Proceedings. 2020. – С. 73–80.

Особенности иммунной регуляции у детей с аллергическими заболеваниями в условия экспозиции ароматическими углеводородами

К.Г. Старкова[1], О.В. Долгих[1,2], Т.А. Легостаева[1]

[1]ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
[2]ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

В условиях высокого уровня техногенного изменения среды обитания сохраняет актуальность задача ранней диагностики и профилактики заболеваемости у детей, детерминированной факторами внешнесредового окружения, с определением маркеров иммунной регуляции. Обследовали детей школьного возраста с аллергическими заболеваниями, проживающих в условиях избыточной контаминации ароматическими углеводородами. Повышение уровня бензола и п-, м-ксилола в крови детей с аллергопатологией сочеталось с возрастанием эозино-

фильно-лимфоцитарного индекса и $CD4^+/CD8^+$-показателя, маркеров гиперчувствительности IgE общего и IgG к бензолу относительно группы сравнения. Отмечена дизрегуляция цитокиновой экспрессии (снижение уровня IFN-γ и TNF-α). Логистический регрессионный анализ показал зависимость повышения количества моноцитов и эозинофилов, IgE общего и IgG к бензолу и снижения фракций $CD3^+$- и $CD3^+CD4^+$-лимфоцитов при возрастании концентрации бензола в крови ($R^2 = 0{,}286–0{,}980$; $p = 0{,}000–0{,}004$).

Ключевые слова: аллергические заболевания, маркеры гиперчувствительности, цитокины, бензол.

Высокий уровень техногенного преобразования среды обитания в результате индустриального воздействия определяет формирование негативных тенденций состояния здоровья населения, особенно выраженных в детской популяции, когда в период роста и развития физиологические процессы под влиянием различных экзогенных факторов могут легко трансформироваться в патологические сдвиги [4]. При этом сохраняет актуальность проблема ранней диагностики и профилактики развития нарушений, опосредованных состоянием окружающей среды, на основе научно обоснованного комплекса маркерный показателей гомеостаза, иммунных механизмов регуляции, детерминирующих развитие патологических процессов [2, 6].

Ароматические углеводороды, бензол, толуол, ксилолы, широко используются в промышленности, являются основным компонентов выбросов предприятий органического синтеза, химической и нефтеперерабатывающей отраслей и относятся к наиболее распространенным загрязнителям воздуха населенных территорий с высокой повреждающей способностью (II класс опасности). При поступлении в организм через органы дыхания они непосредственно проникают в кровь и оказывают негативные эффекты на различные функциональные системы на молекулярном, клеточном и системном уровнях, в том числе опосредуя иммунотоксическое действие при развитии атопических процессов [3, 9].

Цель исследования – проанализировать особенности иммунных механизмов, ассоциированных с развитием аллергических заболеваний у детей, проживающих в условиях экспозиции ароматическими углеводородами.

Материалы и методы. Обследовано детское население (90 человек) крупного промышленного центра с населением более миллиона человек, группу наблюдения составили 45 детей школьного возраста с аллергическими заболеваниями (средний возраст 11,2 ± 0,42 г.; 29 девочек и 16 мальчиков). Группу сравнения составили 45 детей, соматически здоровых (средний возраст 11,8 ± 0,43 г.; 23 девочки и 22 мальчика). 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 ароматических углеводородов в крови определяли газохроматографическим методом, использовали газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором «Кристалл 5000» (Россия). Соотношение основных популяций лейкоцитов определяли 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 с помощью универсальной программы CellQuestPrO, суммарно реги-

стрируя не менее 10 тыс. событий. Для выявления специфических антител IgG к бензолу использовали аллергосорбентное тестирование с ферментной меткой. Уровни IgE общего, эозинофильно-катионного протеина (ECP), интерлейкинов (IL-1β, IL-6, IL-4, 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; Aviscera Bioscience Inc., США) согласно методике производителя.

Результаты обрабатывали с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft, США). Применяли *t*-критерий Стьюдента для сравнения групп по количественным признакам. При отклонении от нормального распределения использовали трансформирующую log-трансформацию. Результаты исследования представлены в виде среднего арифметического (*M*) и ошибки среднего (*m*). Достоверными считались различия при уровне значимости $p < 0,05$.

Использовали математическое моделирование для определения вероятности отклонения маркеров эффекта в зависимости от концентрации химических соединений в крови отдельно для каждого показателя ответа методом логистического регрессионного анализа. Оценку достоверности и адекватности полученных моделей проводили по критерию Фишера (*F*) с расчетом коэффициента детерминации (R^2) при уровне значимости $p < 0,05$.

Исследования проводили в соответствие со стандартами организации и методическими указаниями.

Результаты. Химико-аналитический анализ показал (табл. 1) повышение уровня бензола и п-,м-ксилола в крови обследованной группы детей с аллергопатологией в концентрации выше в 2,5 и 1,7 раза соответственно относительно уровней группы сравнения ($p = 0,016–0,044$).

Выявлено изменение регуляторных иммунных показателей (см. табл. 1), связанное с соотношением основных популяций лейкоцитов при повышении количества эозинофилов в 1,7 раза и возрастании эозинофильно-лимфоцитарного индекса в 1,9 раза ($p = 0,003–0,009$). Показаны сдвиги в $CD4^+$- и $CD8^+$-лимфоцитарных фракциях с повышением $CD4^+/CD8^+$-показателя в 1,3 раза относительно группы сравнения ($p = 0,008$).

Отмечено повышение маркеров гиперчувствительности по уровню общей сенсибилизации с возрастанием IgE общего в 6,7 раза и специфической к бензолу сенсибилизации по критерию IgG антител в 2,5 раза относительно группы сравнения ($p = 0,000$). Уровень основного эозинофильного медиатора ECP также был повышен в 2,5 раза ($p = 0,014$).

Изменение межклеточной иммунной регуляции в обследованной группе детей отмечено по содержанию IFN-γ при снижении уровня цитокина в 1,8 раза и по TNF-α в 1,2 раза ($p = 0,012–0,035$).

Применение математического моделирования для определения вероятности изменения иммунных показателей в условиях контаминации биосред ароматическими углеводородами (табл. 2) показало зависимость повышения количества моноцитов и эозинофилов, IgE общего и IgG специфического к бензолу при возрастании концентрации бензола в крови ($R^2 = 0,286–0,980$; $p = 0,000–0,004$). Установлена достоверная обратная связь вероятности снижения содержания фракций $CD3^+$-лимфоцитов и $CD3^+CD4^+$-лимфоцитов при повышении уровня бензола в крови ($R^2 = 0,964–0,978$; $p = 0,000$).

Таблица 1

Уровень контаминации биосред и иммунной регуляции у детей с аллергическими заболеваниями в условиях воздействия ароматических углеводородов

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения	Группа сравнения	*p*
Возраст, лет	-	11,2 ± 0,42	11,8 ± 0,43	0,340
Пол, девочки/мальчики	-	29/16	23/22	0,210
Бензол (кровь), мкг/см^3	0,0	0,000605 ± 0,0003	0,000242± 0,000187	0,044
О-ксилол (кровь), мкг/см^3	0,0	0,00478 ± 0,00115	0,00463 ± 0,00139	0,867
П-,м-ксилол (кровь), мкг/см^3	0,0	0,00504 ± 0,000908	0,00304 ± 0,00136	0,016
Толуол (кровь), мкг/см^3	0,0	0,00284 ± 0,000341	0,00265 ± 0,000497	0,524
Моноциты, %	4–5	6,89 ± 0,65	7,16 ± 0,54	0,532
Базофилы, %	0–1	0,2 ± 0,15	0,136 ± 0,14	0,544
Лимфоциты, %	32–36	39,58 ± 2,33	40,66 ± 1,85	0,478
Эозинофилы, %	0–3	4,82 ± 1,26	2,89 ± 0,68	0,009
CD19$^+$-лимфоциты, %	6–25	12,4 ± 0,99	12,29 ± 1,04	0,794
CD3$^+$-лимфоциты, %	55–84	65,62 ± 2,43	68,05 ± 2,06	0,131
CD3$^+$CD4$^+$-лимфоциты, %	31–60	36,51 ± 2,15	34,67 ± 1,95	0,218
CD3$^+$CD8$^+$-лимфоциты, %	13–41	23,76 ± 1,81	28,98 ± 2,75	0,003
IgE общий, МЕ/см^3	0–99,9	229,79 ± 90,27	34,52 ± 18,19	0,000
IgG специфический к бензолу, усл. ед.	0–0,15	0,486 ± 0,089	0,196 ± 0,032	0,000
IL-10, пг/см^3	0–20	3,81 ± 1,02	3,83 ± 1,06	0,97
IL-1beta, пг/см^3	0–11	2,69 ± 1,22	2,73 ± 0,72	0,951
IL-4, пг/см^3	0–4	1,35 ± 0,39	1,84 ± 0,35	0,068
IL-6, пг/см^3	0–10	2,19 ± 0,84	3,30 ± 2,62	0,428
INF-γ, пг/см^3	0–15	1,75 ± 0,44	3,1 ± 0,94	0,012
TNF-α, пг/см^3	0–6	1,8 ± 0,3	2,17 ± 0,17	0,035
ECP, нг/см^3	0–24	5,43 ± 2,46	2,2 ± 0,81	0,014

Примечание: *p* – уровень значимости различий группы наблюдения с группой сравнения по *t*-критерию Стьюдента.

Таблица 2

Параметры моделей «маркер экспозиции – маркер эффекта» у обследованных детей с аллергическими заболеваниями

Маркер экспозиции	Маркер эффекта	Направление изменения показателя	b_0	b_1	*F*	R^2	*p*
Бензол (кровь)	Моноциты	Повышение	0,44	849,95	1638,15	0,980	0,000
	Эозинофилы	Повышение	-0,289	-87,06	13,22	0,286	0,004
	CD3$^+$-лимфоциты	Снижение	-3,29	1447,22	1421,44	0,978	0,000
	CD3$^+$CD4$^+$-лимфоциты	Снижение	-1,29	-299,01	861,19	0,964	0,000
	IgE общий	Повышение	-0,14	-287,65	32,87	0,498	0,000
	IgG специфический к бензолу	Повышение	2,12	-299,97	249,39	0,884	0,000

Примечание: b_0, b_1 – параметры математической модели; *F* – критерий Фишера; R^2 – коэффициент детерминации; *p* – уровень статистической значимости модели.

Аллергические заболевания обусловлены нарушениями регуляции в иммунной системе, несбалансированной активацией аллерген-специфических Th2-клонов, синтезом В-лимфоцитами IgE, накоплением и активацией эозинофилов, базофилов и тучных клеток и развитием патологического воспаления, опосредованного повышенной продукцией проаллергических цитокинов IL-4, IL-5, IL-9, IL-13 [5]. Исследования показывают, что бензол и его метаболиты усиливают Th2-опосредованные аллергические реакции, повышая уровень IgE, стимулируя продукцию IL-4 $CD4^{+}$Т-клетками, ингибируя Th1-ответ и подавляя продукцию провоспалительных цитокинов через изменение активности NF-κB (IL-1beta, IL-12). В то же время отмечаются преимущественно иммуносупрессивные и цитотоксические эффекты ароматических углеводородов, особенно в отношении Т-системы иммунитета, степень влияния которых определяется функциональным состоянием иммунокомпетентных клеток и стадией иммунного ответа [7, 10]. Особенности метаболизма бензола, через которые реализуется его повреждающее действие, связаны прежде всего с активацией процессов свободнорадикального окисления и развитием окислительного стресса, что может способствовать усугублению симптомов аллергии, изменяя функциональную активность клеток. Нейтрофилы, макрофаги и эозинофилы, задействованные в иммуновоспалительном каскаде, продуцируют активные формы кислорода, активируя окислительно-восстановительные внутриклеточные сигнальные механизмы и увеличивая экспрессию провоспалительных молекул [1, 8].

Выводы. У обследованного детского населения в условиях экспозиции ароматических углеводородов показаны нарушения иммунных регуляторных показателей, ассоциированных с развитием аллергических заболеваний, связанные с изменением соотношения основных лейкоцитарных фракций и повышением эозинофильно-лимфоцитарного индекса, возрастанием маркеров гиперчувствительности и снижением провоспалительных иммунных медиаторов. Показанные ассоциации развития аллергических заболеваний с изменением иммунных маркерных показателей указывают на важную роль индивидуальных адаптационных резервов в формировании нарушений здоровья, детерминированных спецификой внешнесредового факторного воздействия, и могут быть рекомендованы для разработки и реализации диагностических и лечебно-профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Влияние бензола на иммунную систему и некоторые механизмы его действия / И.В. Михайлова, А.И. Смолягин, С.И. Красиков [и др.] // Иммунология. – 2014. – № 35 (1). – С. 51–55.

2. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Долгих О.В. Геномные, транскриптомные и протеомные технологии как современный инструмент диагностики нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99 (1). – С. 6–12. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-6-12

3. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Тарантин А.В. Нарушения белкового состава крови человека в условиях воздействия ароматических углеводородов // Экология человека. – 2013. – № 7. – С. 15–26.

4. Маклакова О.А. Оценка риска развития заболеваний органов дыхания и коморбидной патологии у детей в условиях загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами техногенного происхождения (когортное исследование) // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 2. – С. 56–63. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.06

5. Симбирцев А.С. Цитокины в иммунопатогенезе аллергии // РМЖ. Медицинское обозрение. – 2021. – № 5 (1). – С. 32–37. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-1-32-37

6. Старкова К.Г., Долгих О.В., Казакова О.А. Особенности иммунного статуса школьников средней и старшей ступеней обучения в условиях повышенного содержания в крови ряда экзогенных химических веществ // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 501–506. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-501-506

7. Association between benzene exposure, serum levels of cytokines and hematological measures in Chinese workers: A cross-sectional study / J. Wang, X. Guo, Y. Chen [et al.] // Ecotoxicology and environmental safety. – 2021. – Vol. 207: 111562. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111562

8. Oxidative stress is associated with atopic indices in relation to childhood rhinitis and asthma / C.Y. Wei Choo, K.W. Yeh, J.L. Huang [et al.] // Journal of microbiology, immunology, and infection. – 2021. – Vol. 54 (3). – P. 466–473. DOI: 10.1016/j.jmii.2020.01.009

9. Vitale C.M., Gutovitz S. Aromatic Toxicity. In: StatPearls [Электронный ресурс]. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532257 (дата обращения: 26.08.2022).

10. Workers exposed to low levels of benzene present in urban air: Assessment of peripheral blood count variation / T. Casale, C. Sacco, S. Ricci [et al.] // Chemosphere. – 2016. – Vol. 152. – P. 392–398. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.096

Полиморфизм C677T гена метилентетрагидрофолатредуктазы у детей региона Сибири с патологией сердечно-сосудистой системы

А.А. Субботина, О.В. Долгих

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

В настоящее время заболевания сердечно-сосудистой системы очень распространены. В исследовании определены частоты генотипов и аллелей гена *MTHFR* (rs1801133) среди детского населения и осуществлен поиск ассоциаций с патологией сердечно-сосудистой системы. Группа наблюдения – 88 детей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы; группа сравнения – 77 детей без заболеваний кардиоваскулярной системы. Исследовали образцы ДНК на наличие полиморфизма C677T. Различия считались значимыми при $p < 0{,}05$. Нами не выявлены значимые различия распространенности генотипов и аллелей между исследуемыми выборками ($p > 0{,}05$). Однако использование доминантной модели позволило установить возрастание риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы в 1,9 раза у детей с генотипами C/T+T/T (*OR* = 1,90; 95 % *CI* = 1,02–3,54; $p = 0{,}04$). Рекомендуется использовать замену C677T гена *MTHFR* в качестве маркера риска формирования сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, дети однонуклеотидный полиморфизм, метилентетрагидрофолатредуктаза.

Болезни сердечно-сосудистой системы в структуре детской заболеваемости занимают одно из первых мест [12]. Несмотря на достижения в области кардиологии и терапии сердечно-сосудистых заболеваний у детей, профилактика и их лечение остаются серьезной проблемой [9].

У детей происходит непрерывный рост и функциональное совершенствование сердечно-сосудистой системы. Особенно энергично растет и совершенствуется сердце у детей с 2 до 6 лет, а также в период полового созревания [1]. Кардиоваскулярная система детей имеет анатомо-физиологические особенности по сравнению с сердечно-сосудистой системой взрослых. Например, сердце детей больше относительно общей массы, чем сердце взрослого человека; выше частота сердечных сокращений; местоположение сердца выше, чем у взрослых [12].

Одной из наиболее актуальных задач современной медико-биологической науки является поиск локусов генома, формирующих предрасположенность к мультифакторным заболеваниям. Для этого разработана стратегия поиска генов-кандидатов [7]. Одним из наиболее изучаемых генов-кандидатов сердечно-сосудистой патологии является ген метилентетрагидрофолатредуктазы – *MTHFR* [13].

Ген *MTHFR* локализуется на коротком плече хромосомы 1 (1p36.3) и состоит из 11 экзонов. На настоящий момент идентифицировано около 800 полиморфных вариантов данного гена, из них 74 локуса ассоциированы с развитием патологических состояний. Полиморфный локус C677T, представляющий собой миссенс-мутацию, приводящую к замене аминокислоты аланин на валин в каталитическом домене белка-фермента, считается наиболее клинически значимым [2].

Цель исследования – определение частоты генотипов и аллелей гена *MTHFR* (rs1801133) среди детского населения и поиск ассоциаций с патологией сердечно-сосудистой системы.

Материалы и методы. Для проведения исследования были выбраны 165 детей в возрасте 3–7 лет, посещающих детские дошкольные учреждения одного из регионов Сибири, родители которых подписали информированное согласие об участии в исследовании. Среди детского населения выделили две группы. В группу наблюдения были включены 88 детей (45 мальчиков, 43 девочки) с различной патологией сердечно-сосудистой системы: врожденные аномалии сердца, сердечные шумы, нарушение проводимости, нарушение сердечного ритма, блокада правой ножки пучка Гиса и другие. В группу сравнения – 77 детей (43 мальчика, 34 девочки) без заболеваний кардиоваскулярной системы. Исследование проводилось с соблюдением положений Женевской конвенции.

Материалом для исследования являлся эпителий внутренней стороны щеки, из которого получали образец ДНК с использованием набора «ДНК-сорб-АМ» (ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия), согласно инструкции производителя. Затем образцы ДНК пациентов были исследованы на наличие однонуклеотидного полиморфизма C677T в гене фермента фолатного цикла метилентетрагидрофолатредуктазы *MTHFR* (rs1801133) («Синтол», Россия) методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на амплификаторе CFX96 (Bio-Rad, Сингапур).

Для определения статистической значимости распределения генотипов и аллелей в выборках и расчета генетического риска использовали «Калькулятор для расчета статистики в исследованиях “случай – контроль”» и пакет Microsoft Office Excel. Различия считались значимыми при $p < 0,05$. Для оценки связи полиморфиз-

ма и заболевания использовали отношение шансов (*OR*) с 95%-ным доверительным интервалом (95 % *CI*).

Результаты. Для определения значимости полиморфизма C677T гена *MTHFR* среди групп детского населения проверяли условие соблюдения закона Харди – Вайнберга, отражающее частотное распределение аллелей в изучаемой популяции и необходимое для контроля качества генотипирования – частоты не отличались от ожидаемых (для группы сравнения $p = 0{,}38$; для группы наблюдения $p = 0{,}78$; $p > 0{,}05$).

Результаты генетического исследования фермента фолатного цикла метилентетрагидрофолатредуктазы у обследованных детей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Частоты встречаемости полиморфизма C677T гена *MTHFR* в группах детей региона Сибири

Ген	Генотип/ аллель	Группа наблюдения ($n = 88$), %	Группа сравнения ($n = 77$), %	Уровень значимости, p	OR (95 % *CI*)
MTHFR (rs1801133)	C/C	46,59	62,34	0,09	0,53 (0,28–0,98)
	C/T	44,32	29,87		1,87 (0,98–3,56)
	T/T	9,09	7,79		1,18 (0,39–3,58)
	C	68,75	77,27	0,08	0, 65 (0,39–1,06)
	T	31,25	22,73		1,55 (0,94–2,53)

Дикий генотип C/C у детей с патологиями сердечно-сосудистой системы установлен в 46,59 % случаев против 62,34 % случаев группы сравнения. Гетерозиготный генотип C/T в группе наблюдения выявлен в 44,32 % случаев, в группе здоровых детей – в 29,87 %. Наличие гомозиготного генотипа T/T отмечено в 9,09 и 7,79 % случаев соответственно. Частота вариантного T-аллеля в группе детей с заболеваниями кардиоваскулярной системы составила 31,25 %. Нами выявлено, что между исследуемыми выборками отсутствуют значимые различия распространенности генотипов и аллелей ($p > 0{,}05$).

При анализе данных с использованием доминантной модели наследования было установлено, что объединенное сравнение гетерозиготного и вариантного гомозиготного генотипов с диким гомозиготным генотипом приводит к возрастанию риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы в 1,9 раза ($p < 0{,}05$) (табл. 2).

Таблица 2

Результаты генотипирования с использованием доминантной модели наследования

Ген	Генотип	Группа наблюдения ($n = 88$), %	Группа сравнения ($n = 77$), %	Уровень значимости, p	*OR* (95 % *CI*)
MTHFR (rs1801133)	C/C	46,59	62,34	0,04	0,53 (0,28–0,98)
	C/T + T/T	53,41	37,66		1,90 (1,02–3,54)

Генетическая вариабельность составляет основу фенотипической изменчивости человека и имеет огромное значение для объяснения индивидуальных различий в подверженности к многофакторным заболеваниям, а также определения метабо-

лических путей, вовлеченных в прогрессирование патологических процессов. Наиболее распространенным типом вариабельности генома являются однонуклеотидные замены (SNP) [3].

Так, проведенное изучение полиморфизма генов среди подростков г. Барнаула (n = 1306) позволило выявить, что дикий генотип C/C встречается у 50,5 %; гетерозиготный генотип C/T – у 40,5 %; вариантный гомозиготный T/T – у 9,0 %. При этом частота носительства аллеля T – 29,3 %. Имеются данные, свидетельствующие, что встречаемость аллеля T в русской популяции может составлять 30 % [10]. В данном исследовании нами была установлена следующая частота генотипов и аллелей полиморфизма C677T гена *MTHFR* среди детей региона Сибири (n = 165): C/C – 53,94 %; C/T – 37,58 %; T/T – 8,48; C – 72,73; T – 27,27.

Ген метилентетрагидрофолатредуктазы и его аллель T рассматривают как генетический фактор риска развития различных сердечно-сосудистых заболеваний. Так, рядом исследователей установлена статистически значимая ассоциация между носительством T-аллеля гена *MTHFR* и развитием гипертрофии левого желудочка [2]. Также полиморфизм rs1801133 ассоциирован с таким заболеваниями сердечно-сосудистой системы, как: ишемический инсульт [14], ишемическая болезнь сердца [6], острый кардиальный синдром у пациентов молодого возраста [8], хроническая сердечная недостаточность [4], тромбозы у подростков [5], атеросклеротическое поражение сосудов нижних конечностей [11].

Выводы. В исследовании проанализирована частота встречаемости генотипов и аллельных вариантов гена фермента фолатного цикла у детей с патологией сердечно-сосудистой системы в сравнении со здоровыми детьми одного из регионов Сибири. Распределение вариантов гена *MTHFR* (rs1801133) у детей с различными заболеваниями кардиоваскулярной системы не отличалось от такового в группе сравнения ($p > 0{,}05$). Однако носители C/T+T/T-генотипов имеют значимо более высокие шансы развития сердечно-сосудистых заболеваний в сравнении с носителями гомозиготного генотипа C/C (OR = 1,90; 95 % CI = 1,02–3,54; p = 0,04). Рекомендуется использовать генетический маркер C677T для формирования диспансерной группы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у детей региона Сибири для организации и проведения профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы у детей при острых инфекционных заболеваниях, протекающих с синдромом тонзиллита / С.В. Плахотникова, Г.В. Санталова, Е.С. Гасилина, А.В. Горбунова, Ю.В. Бродерзон, Т.Ю. Ненашева, Т.П. Корнева // Практическая медицина. – 2019. – Т. 17, № 8. – С. 67–73.

2. Ген фолатного цикла MTHFR и питание / К.Д. Иевлева, Т.А. Баирова, О.В. Калюжная, О.А. Первушина, Л.В. Рычкова, Л.И. Колесникова, С.И. Колесников // Acta Biomedica Scientifica. – 2016. – Т. 1, № 3 (109). – Ч. II. – С. 138–144.

3. Генетическое разнообразие и структура неравновесия по сцеплению гена MTHFR в популяциях Северной Евразии / Е.А. Трифонова, Е.Р. Еремина, Ф.Д. Урнов, В.А. Степанов // Acta Naturae (русскоязычная версия). – 2012. – Т. 4, № 1 (12). – С. 55-71.

4. Козиолова Н.А., Чернявина А.И. Взаимосвязь полиморфизма генов с риском развития хронической сердечной недостаточности у больных гипертонической болезнью при высокой приверженности к лечению // Российский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 25 (3). – С. 3708.

5. Молекулярно-генетические маркеры предрасположенности к тромбозам у подростков с эссенциальной артериальной гипертонией / В.В. Долгих, С.Е. Большакова, Л.И. Колесникова, И.М. Михалевич // Терапевтический архив. – 2014. – Т. 86, № 9. – С. 45–48.

6. Некоторые генетические особенности метаболизма гомоцистеина, фолатов и монооксида азота как факторы риска ишемической болезни сердца / С.Г. Щербак, А.М. Сарана, С.В. Макаренко, Т.А. Камилова, А.Г. Максимов // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – 2016. – Т. 8, № 1. – С. 123–130.

7. Полиморфизм генов фолатного обмена и врожденные пороки сердца / В.Н. Максимов, И.В. Полякова, Ю.В. Максимова, О.Н. Коваль, М.И. Воевода // Сибирский научный медицинский журнал. – 2014. – Т. 34, № 2. – С. 78–84.

8. Пономаренко И.В., Сукманова И.А. Ведущие факторы развития острого коронарного синдрома у пациентов молодого возраста // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2019. – Т. 8, № 4. – С. 72–81.

9. Распределение аллельных вариантов генов ферментов фолатного цикла и уровень гомоцистеина у пациентов с врожденными пороками сердца с функционально единственным желудочком / Ю.Г. Лугачева, И.В. Кулагина, И.А. Ковалев, Е.В. Кривощеков, О.С. Янулевич, И.В. Плотникова, О.В. Мусатова // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2015. – Т. 60, № 6. – С. 55–59.

10. Распределение генов фолатного цикла в популяции подростков г. Барнаула Алтайского края / Л.А. Строзенко, В.В. Гордеев, Ю.Ф. Лобанов, А.П. Момот, Е.Н. Воронина // Мать и дитя в Кузбассе. – 2015. – № 1 (160). – С. 29–34.

11. Роль генетического полиморфизма в формировании атеросклероза сосудов нижних конечностей / М.Н. Катина, Р.Ф. Гайфуллина, В.В. Валиуллин, А.А. Ризванов, Р.Ф. Хамитов, Ф.Ф. Ризванова // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, № 3. – С. 513–516.

12. Сердечно-сосудистая система: анатомо-физиологические особенности, методы исследования и семиотика основных поражений: учебно-методическое пособие для студентов / сост.: Васильева Е.И.; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России. – Иркутск: ИГМУ, 2012. – 28с.

13. Харламова У.В., Ильичева О.Е. Аллельные варианты гена MTHFR и ремоделирование миокарда левого желудочка у больных на гемодиализе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: медицина. – 2011. – № 1. – С. 112–114.

14. Association of the methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) gene variant C677T with serum homocysteine levels and the severity of ischaemic stroke: a case-control study in the southwest of China / H. Lu-Wen, L. Lin-Lin, L. Juan, C. Xiao-Rong, Y. Ming // The journal of international medical research. – 2022. – Vol. 50 (2). – P. 3000605221081632.

Особенности физического развития школьников сельской школы Аксубаевского района Республики Татарстан

О.К. Федорова

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

Представлены результаты исследования физического развития подростков, обучающихся в сельской школе, дана оценка соответствия антропометрических данных принятым стандартам, проведен анализ примерного 14-дневного меню. По итогам исследования можно сделать вывод, что отклонение физического развития у подростков в виде дефицита массы тела превышает число случаев в виде избытка массы тела в 4 раза, дефицит массы тела связан с нерациональным питанием детей.

Ключевые слова: физическое развитие, масса тела, энергетическая ценность.

Отставание физического развития у школьников – самая изучаемая проблема в гигиене детей и подростков в настоящее время, которая требует всестороннего изучения и пристального внимания со стороны гигиенистов. В постоянно меняющихся условиях среды и ухудшения состояния здоровья детей наблюдаются негативные сдвиги в физическом развитии не только у городских школьников, но и у школьников сельской местности [2]. Наибольший интерес для изучения, с научной точки зрения, представляют подростки 14–17 лет. Именно в этом возрасте у детей заканчивается созревание организма. У девочек расширяются кости таза и замедляется рост, у мальчиков начинают развиваться спинные грудные мышцы, ускоряется рост [7].

Актуальность проведения исследования физического развития отражена в Постановлении Правительства Российской Федерации № 916 от 29.12.2001 г. «О проведении мониторинга состояния физического здоровья населения, физического развития детей, подростков и молодежи» [6].

Цель исследования – изучение состояния физического развития подростков, обучающихся в сельской школе.

Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи:

1) измерить у подростков антропометрические показатели (рост и вес);

2) рассчитать параметры физического развития по индексу Кетле;

3) сравнить полученные показатели физического развития подростков с принятыми стандартами;

4) оценить 14-дневное меню питания подростков в столовой МБОУ «Савгачевская СОШ» Аксубаевского района Республики Татарстан.

С целью оценки физического развития подростков был проведен осмотр школьников в возрасте 14–17 лет. Составной частью осмотра подростков были измерения антропометрических показателей, а именно: роста и веса учеников 8–10-х классов. Измерение длины тела производилось с помощью ростомера, измерение массы тела – на электронных весах. По полученным данным высчитывался индекс

массы тела (ИМТ) на каждого ребенка по формуле ИМТ = масса тела (кг) / рост ($м^2$) ($кг/м^2$). Оценка физического развития школьников проводилась в соответствии с методом, рекомендованным Научным центром здоровья детей и подростков [9]. Индекс массы тела ребенка сравнивался с показателями, принятыми Всемирной организацией здравоохранения [3].

Как показали результаты исследования, из 50 обследованных подростков в возрасте 14–17 лет 56 % (28 школьников, из них 20 девушек и 8 юношей) имеют недостаток веса; 12 % (6 школьников, из них 4 девушки и 2 юноши) имеют лишний вес, и только 32 % (16 школьников, из них 6 девушек и 10 юношей) имеют нормальную массу тела.

По результатам исследования обнаружено, что более половины учащихся сельской школы в возрасте 14–17 лет имеют отклонения в физическом развитии, выражающиеся в несоответствии антропометрических данных. Таким образом, распространенность отклонения физического развития у подростков за счет дефицита массы тела превышает число случаев за счет избытка массы тела в 4 раза. В большей степени дефицит массы тела отмечается среди девушек: 71,4 % против 28,6 % юношей. Избыток массы тела также чаще встречается у девушек: 66,7 против 33,3 % у юношей. Нормальная масса тела – у 37,5 % девушек и 62,5 % юношей из всех обследованных учащихся.

Для определения связи дефицита массы тела с питанием был проведен анализ 14-дневного меню МБОУ «Савгачевская СОШ» Аксубаевского района Республики Татарстан. Как показал анализ, в среднем за день по калорийности на обед и полдник приходится примерно 850 ккал, что не соответствует рациональному распределению энергетической ценности по отдельным приемам пищи для подростков 11–17 лет [8] и свидетельствует о недостаточном питании детей [1].

Выявленные отклонения в состоянии здоровья детей МБОУ «Савгачевская СОШ» Аксубаевского района Республики Татарстан в виде дефицита или избытка массы тела, несоблюдение требований к организации питания в части энергетической ценности обосновывают важность проведения работы по выполнению Поручения Президента Российской Федерации В.В. Путина из Послания Федеральному Собранию по организации здорового питания школьников [4], а также реализации мероприятий федерального проекта «Укрепление общественного здоровья», входящего в состав национального проекта «Демография», в части реализации мероприятий по формированию среды, способствующей повышению информированности граждан об основных принципах здорового питания [5].

Список литературы

1. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации / утв. Роспотребнадзором 22.07.2021 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/402816140/ (дата обращения: 05.09.2022).

2. Мальцев С.В., Зарипова Р.Т., Заболотная Л.Н. Показатели физического развития и белково-энергетического статуса у здоровых подростков и при дефиците массы тела в Республике Татарстан // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2009. – № 6. – С. 92–97.

3. Оценка физического развития детей и подростков: методические рекомендации. – М.: Российская ассоциация эндокринологов, 2017. – 96 с.

4. Паспорт национального проекта «Демография» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16) [Электронный ресурс] // Правительство России. – URL: http://static.government.ru/media/files/Z4OMjDgCaeohKWaA0psu6lCekd3hwx2m.pdf (дата обращения: 05.09.2022).

5. Послание Президента Федеральному Собранию [Электронный ресурс] // Президент России. – URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/62582 (дата обращения: 05.09.2022).

6. Постановление Правительства РФ № 916 от 29.12.2001 г. «О проведении мониторинга состояния физического здоровья населения, физического развития детей, подростков и молодежи» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: https://base.garant.ru/12125274/ (дата обращения: 05.09.2022).

7. Савченков Ю.И., Солдатова О.Г., Шилов С.Н. Возрастная физиология (физиологические особенности детей и подростков): уч. пособие для студентов пед. вузов. – М.: ГИЦ «Владос», 2014. – 143 с.

8. Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов. Книга 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 224 с.

9. Физическое развитие детей и подростков Российской Федерации: сб. материалов (выпуск VI) / под ред. акад. РАН и РАМН А.А. Баранова, член-корр. РАМН В.Р. Кучмы. – М.: Изд-во «ПедиатрЪ», 2013. – 192 с.

Нарушения функции внешнего дыхания у детей, проживающих в условиях экспозиции никеля и хрома

А.А. Щербаков, М.А. Савинков, А.Н. Болтачева, А.Е. Носов, М.А. Землянова

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

Поражение системы органов дыхания является одним из ведущих механизмов патологического воздействия аэрогенных поллютантов, в том числе у детского населения.

Изучены особенности нарушений функции внешнего дыхания у детей дошкольного возраста, проживающих на территории промышленного загрязнения соединениями никеля и хрома.

В исследование включены 83 ребенка дошкольного возраста, проживающих на территории, подверженной промышленному загрязнению соединениями никеля и хрома.

Оценка функции внешнего дыхания (ФВД) осуществлялась с помощью спирографических тестов с форсированным выдохом на спирометре Schiller PS spirometry. Связи концентрации соединений никеля и хрома в крови и показателей функции внешнего дыхания определяли на основании результатов построения моделей методом нелинейного регрессионного анализа.

Все среднегрупповые значения показателей спирографии в сравниваемых группах не имели статистически значимых различий (p = 0,13–0,77). Влияние никеля на вероятность нарушения параметров ФВД показано для пикового экспираторного потока – PEF, % (b_0 = -1,0; b_1 = 100,5; F = 182,6; R^2 = 0,49; p < 0,001), FEV1, % (b_0 = -1,1; b_1 = 16,1; F = 4,1; R^2 = 0,02; p = 0,047) и FVC, % (b_0 = -0,9; b_1 = 25,3; F = 10,5; R^2 = 0,05; p = 0,002). Связь нарушения показателей функции внешнего дыхания с концентрацией хрома в крови показана для FEV1, % (b_0 = -1,9; b_1 = 168,4; F = 156,4; R^2 = 0,48; p < 0,001), FVC, % (b_0 = -1,3; b_1 = 78,2; F = 34,8; R^2 = 0,16; p < 0,001), PEF, % (b_0 = -0,7; b_1 = 36,5; F = 11,4; R^2 = 0,06; p = 0,002).

В обследованных группах детей дошкольного возраста установлена связь концентрации в крови никеля и хрома и вероятности нарушения показателей функции внешнего дыхания, характеризующих обструктивные и рестриктивные нарушения. Обусловленность вариабельности изученных параметров согласно моделям логистической регрессии от концентрации никеля составила 2–49 %, от концентрации хрома – 6–48 %.

Ключевые слова: функция внешнего дыхания, спирография, соединения никеля, соединения хрома.

В настоящее время в России на ряде территорий не соблюдаются гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха, поэтому актуальной задачей является оценка нарушений здоровья экспонированного населения данных территорий [1, 6–8, 10]. Поражение системы органов дыхания является одним из ведущих механизмов патологического воздействия аэрогенных поллютантов, в том числе у детского населения [2, 4]. Большую роль в развитии заболеваний верхних и нижних дыхательных путей играет аэрогенное воздействие соединений никеля [11] и хрома [5, 9]. Несмотря на то что влияние соединений хрома и никеля на развитие патологии органов дыхания достаточно хорошо исследовано в профессиональных группах, изучение влияния данных соединений на здоровье детей, проживающих на территориях с промышленным загрязнением данными соединениями, является актуальной проблемой экологической медицины.

Цель исследования – изучить особенности нарушений функции внешнего дыхания у детей дошкольного возраста, проживающих на территории промышленного загрязнения соединениями никеля и хрома.

Материалы и методы. В исследование включены 83 ребенка дошкольного возраста, проживающих на территории, подверженной промышленному загрязнению соединениями никеля и хрома (35 мальчиков, 48 девочек, средний возраст – 5,4 ± 1,1 г.), и 20 детей, проживающих в аналогичных климатических условиях в населенном пункте без размещения промышленных предприятий (11 мальчиков и 9 девочек, средний возраст – 5,9 ± 1,2 г.).

По данным собственных исследований ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в крови детей групп наблюдения и сравнения концентрация никеля составила 0,0057 ± 0,0008 и 0,0050 ± 0,00089 мкг/см^3 соответственно (p = 0,26), а хрома – 0,00807 ± 0,00081 и 0,00604 ± 0,00116 мкг/см^3 соответственно (p = 0,01).

Оценка функции внешнего дыхания (ФВД) осуществлялась с помощью спирографических тестов с форсированным выдохом на спирометре Schiller PS spirometry с

применением датчика SP-1 (Schiller AG, Швейцария, зав. номер 540.10448). Для расчета должных значений использовались нормативные стандарты для детей по Knudson и интерпретировались по Клемент[1], учитывающие показатели форсированной жизненной емкости легких (FVC), объем форсированного выдоха за первую секунду (FEV1), индекс Генслера (FEV1/FVC), пиковый экспираторный поток (PEF).

Статистический анализ данных, полученных в ходе исследования, проводили с помощью программного комплекса SPSS 23 и самостоятельно разработанного программного обеспечения, совместимого с MS Excel. Количественные показатели анализировали с помощью двухвыборочного критерия Стьюдента. Данные представлены в виде среднего арифметического (*M*) и стандартного отклонения (*SD*). Проверка нормальности распределения показателей проводилась по критерию Колмогорова – Смирнова. Различия считали статистически значимыми при $p < 0{,}05$.

Связи концентрации соединений никеля и хрома в крови и показателей функции внешнего дыхания определяли на основании результатов построения моделей методом нелинейного регрессионного анализа (логистической регрессии), позволяющего определить параметры модели формулой

$$P'_k = \frac{1}{1 + e^{-(b'_0 + b'_1 x)}},$$

где P'_k – расчетная вероятность отклонения маркерного показателя негативного эффекта от физиологической нормы (или развития заболевания);

x – биомаркер экспозиции (концентрация химического вещества в крови / моче, мг/дм^3);

e – экспонента, показательная функция с основанием, равным иррациональному числу;

b'_0, b'_1 – параметры регрессионной модели, определение которых произведено методом наименьших квадратов.

Моделирование зависимостей осуществляли отдельно для каждого индикаторного показателя.

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 пациенты были информированы о цели проведения исследования, было получено добровольное информированное согласие.

Результаты. Все среднегрупповые значения показателей спирографии в сравниваемых группах не имели статистически значимых различий ($p = 0{,}13$–$0{,}77$) (табл. 1).

Сравнительный анализ результатов спирографии показал: в группе наблюдения отклонения от нормы ФВД выявлялись в сопоставимом с группой сравнения объеме (9,6 и 5 % соответственно, $p = 0{,}31$). Рестриктивные нарушения ФВД в группе наблюдения встречались одинаково часто с группой сравнения (4,4 и 5 % соответственно, $p = 0{,}42$). Обструктивные и смешанные нарушения встречались только в группе наблюдения (по 2,4 % соответственно, $p = 0{,}65$) (табл. 1).

[1] Инструкция по применению формул и таблиц должных величин, основных спирографических показателей / Р.Ф. Клемент, А.А. Лаврушин, Ю.М. Котегов [и др.]. – Л., 1986. – 79 с.

Таблица 1

Сравнительный анализ результатов спирографии у обследованных детей

Данные спирограммы	Физиологическая норма	Группа наблюдения	Группа сравнения	Достоверность межгрупповых различий, $p < 0,05$
Среднегрупповые значения показателей спирографии, M ± SD				
FVC, %	78,1–113,3	94,4 ± 3	90,5 ± 4,3	0,13
FEV1, %	78,1–113,3	94,5 ± 2,8	92,4 ± 4,9	0,48
FEV1/FVC, %	78,0–117,0	100,7 ± 1,7	101,2 ± 2,8	0,77
Результат спирографии, %				
Вариант нормы		90,4	95	0,31
Пациенты с отклонением от нормы ФВД		9,6	5	0,31
Рестриктивные нарушения ФВД		4,8	5	0,42
Обструктивные нарушения ФВД		2,4	0	0,65
Смешанные нарушения ФВД		2,4	0	0,65

Результаты математического моделирования зависимости содержания химических веществ в крови и нарушений функции внешнего дыхания у детей представлены в табл. 2.

Из представленных параметров регрессионных моделей видно, что наибольшее влияние никеля на вероятность нарушения параметров ФВД показано для пикового экспираторного потока – PEF, % (b_0 = -1,0; b_1 = 100,5; F = 182,6; R^2 = 0,49; p < 0,001). Влияние концентрации никеля в крови на вероятность снижения показателя обструкции FEV1, % (b_0 = -1,1; b_1 = 16,1; F = 4,1; R^2 = 0,02; p = 0,047) и показатель рестрикции FVC, % (b_0 = -0,9; b_1 = 25,3; F = 10,5; R^2 = 0,05; p = 0,002) было статистически значимым, но обусловленность вариабельности признака согласно модели – 2 и 5 % соответственно.

Таблица 2

Модели зависимости нарушений функции внешнего дыхания (вероятность нарушения) и концентрации химических веществ в крови

Вещество в крови	Параметр функции внешнего дыхания	Характеристика модели				
		параметры		коэффициент детерминации (R^2)	критерий Фишера ($F \geq 3,65$)	критерий достоверности ($p \leq 0,05$)
		b_0	b_1			
Никель	FEV1, %	-1,1	16,1	0,02	4,1	0,047
Никель	FVC, %	-0,9	25,3	0,05	10,5	0,002
Никель	PEF, %	-1,0	100,5	0,49	182,6	<0,001
Хром	FEV1, %	-1,9	168,4	0,48	156,4	<0,001
Хром	FVC, %	-1,3	78,2	0,16	34,8	<0,001
Хром	PEF, %	-0,7	36,5	0,06	11,4	0,002

Связь понижения показателей функции внешнего дыхания с концентрацией хрома в крови носит следующий характер: имеется значимая связь с высоким коэффициентом детерминации для FEV1, % (b_0 = -1,9; b_1 = 168,4; F = 156,4; R^2 = 0,48; p < 0,001) и FVC, % (b_0 = -1,3; b_1 = 78,2; F = 34,8; R^2 = 0,16; p < 0,001). Влияние

концентрации хрома в крови на вероятность нарушения PEF, % (b_0 = -0,7; b_1 = 36,5; F = 11,4; R^2 = 0,06; p = 0,002) было статистически значимо, но обусловливало вариабельность признака согласно модели на 6 %.

Выводы. В обследованных группах детей дошкольного возраста установлена связь концентрации в крови никеля и хрома и вероятности нарушения показателей функции внешнего дыхания, характеризующих обструктивные и рестриктивные нарушения. Обусловленность вариабельности изученных параметров согласно моделям логистической регрессии от концентрации никеля составила 2–49 %, от концентрации хрома – 6–48 %.

Список литературы

1. Долгушина Н.А., Кувшинова И.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков здоровью населения // Экология человека. – 2019. – № 6. – С. 17–22. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22

2. Заболевания верхних дыхательных путей, вызванные воздействием промышленных аэрозолей / В.Б. Панкова, И.Н. Федина, Я.А. Накатис [и др.] // Российская ринология. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 30–36. DOI: 10.17116/rosrino201624430-36

3. 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. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.05

4. Косарев В.В., Бабанов С.А. Профессиональные болезни: уч. пособие. – М.: Инфра-М, Вузовский учебник, 2011. – 252 с.

5. Мамырбаев А.А. Токсикология хрома и его соединений. – Актобе, 2012. – 284 с.

6. Мещурова Т.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в городах Пермского края // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 110–119. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/17

7. Новикова С.А. Загрязнение атмосферного воздуха крупных городов Красноярского края // Национальные приоритеты России. – 2019. – № 2 (33). – С. 80–89.

8. Огудов А.С., Креймер М.А., Турбинский В.В. Значение гигиены атмосферного воздуха в экономическом и территориальном планировании // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2015. – № 1 (29). – С. 111–128.

9. Оценка опасности воздействия на людей соединений хрома при добыче хромсодержащих руд и получении феррохрома / В.А. Узбеков, А.А. Мамырбаев, Е.Ж. Отаров, С.А. Ибраев, Н.З. Перепичко // Медицина и экология. – 2014. – № 1 (70). – С. 24–27.

10. Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края / Р.В. Арутюнян, Л.М. Воробьева, С.В. Панченко [и др.] // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2014. – Т. 23, № 2. – С. 123–136.

11. Тарновская Е.В., Сюрин С.А., Чащин В.П. Общая и профессиональная болезненность работников электролизного производства никеля в Кольском заполярье // Медицина труда и промышленная экология. – 2010. – № 4. – С. 11–14.

Авторский указатель

Аброськина Н.В. 74
Агафонов С.В. 139
Аликина И.Н. 387
Анашкина Н.Е. 149
Ахматдинов Р.Р. 55
Байдина А.С. 248
Балашов С.Ю. 97
Басова О.М. 390
Библин А.М. 55, 61
Билалова Р.Г. 415
Болтачева А.Н. 444
Борисова А.И. 244
Бояринова Н.В. 311
Бурганова А.И. 394
Вагапова Д.М. 311
Валова Я.В. 244
Васильев Е.В. 399
Вдовина Н.А. 201
Вековшинина С.А. 97
Вершинин М.Н. 205, 422
Волкова М.В. 209
Воронова А.В. 7
Вьюшков М.В. 24
Гаврильченко Д.С. 314
Гараева Л.Т. 166
Георгиева А.Г. 404
Гилева К.О. 58
Гирфанова Л.В. 311
Глушкова Л.И. 404
Гогадзе Н.В. 149
Гребенюков К.В. 13
Грынчак В.А. 212
Гусев Ю.С. 83, 238
Да Фам Ксуан.....165
Давыдов А.А. 61
Додина Н.С. 19
Долгих О.В. 201, 205, 298, 302, 341, 387, 411, 422, 426, 429, 432, 437
Дубовицкая Е.Н. 285
Егорова О.В. 189
Елкина В.Н. 171
Еремин Г.Б. 109, 118
Жукова Е.С. 71
Закирова О.М. 166
Занько Д.А. 153
Зверева Л.А. 217
Зеленкин С.Е. 46
Землянова М.А. 222, 444
Зенина М.Т. 248
Зорина А.С. 66, 128
Ибрагимова А.Р. 407
Ивашова Ю.А. 248
Игнатова А.М. 222
Илюшина Н.А. 189
Иркаева А.М. 71
Исаев Д.С. 109, 118
Казакова О.А. 302, 411
Калашников Ю.С. 349
Калеева Е.В. 415
Калюжин А.С. 358
Камалтдинов М.Р. 361
Каримов Д.Д. 244
Каримов Д.О. 244
Каримова Г.Р. 419
Карнажицкая Т.Д. 217, 265
Карнакова М.Ю. 153
Карпова М.В. 419
Кизеев А.Н. 160
Кислицин В.А. 19
Клепиков О.В. 349
Климкина К.В. 318
Климушин О.Д. 13
Клинова С.В. 291
Князев Д.К. 74
Ковальчук М.Л. 13
Кольдибекова Ю.В. 222, 229, 252
Кононенко Д.В. 61
Кошелева И.С. 83, 238
Красулина Е.А. 205, 422
Крылов А.А. 66, 128
Кудояров Э.Р. 244
Кузянов Д.А. 83, 238
Куролап С.А. 349
Кучуков А.И. 377
Кучумов А.Г. 361
Лаврентьева С.М. 106
Лазгиева Д.М. 322
Лапко И.В. 318
Леванчук А.В. 371
Легостаева Т.А. 432
Мадьярова Л.Р. 311
Мамыкина Н.И. 248
Марченко Б.И. 89
Масайлова Л.А. 349
Меньщикова Ю.В. 149
Мережко Д.В. 327
Механтьев И.И. 349
Миронова Г.Р. 311
Мозжухина Н.А. 109
Мухаммадиева Г.Ф. 244
Недошитова А.В. 58, 209
Некрасова М.М. 334
Николаева А.Е. 58
Никоношина Н.А. 426
Новикова Ю.А. 160, 371
Носков С.Н. 118
Носов А.Е. 248, 444
Нурисламова Т.В. 280

Отавина Е.А. 429
Панкратова О.Н. 415
Патяшина М.А. 166
Пескова Е.В. 229, 252
Побединский Г.Г. 24
Позднякова М.А. 71, 106
Полякова Л.В. 71
Полянских Е.И. 153
Попова Е.В. 97
Потемкина М.А. 171
Райкин С.С. 139
Райкова С.В. 139
Родионов А.С. 173
Рудой М.Д. 260
Рыжаков Н.Н. 19
Рябова Ю.В. 291
Савина К.А. 83, 238
Савинков М.А. 444
Савицкая Н.Н. 106
Сарсков С.А. 24
Седова Д.А. 103
Семисынов С.О. 106
Серазетдинова Ф.И. 166
Сомов С.С. 367
Старкова К.Г. 432
Старчикова М.О. 217, 265
Степанков М.С. 222, 270, 275
Степанян А.А. 109, 118
Субботина А.А. 437
Субботина Д.Ю. 280
Субочева К.В. 367
Суворов Д.В. 46
Суханов М.А. 285
Сухих Е.А. 66, 128
Тажигулова А.В. 291
Тарасенко К.С. 89
Телюпина В.П. 334
Ти Ан Хуонг Нгуен 164
Ти Оан Нгуен 164
Ти Тхан Коа Мак 164
Ти Хонг Хао Ле 164
Титова А.А. 415
Тихонова Н.А. 160, 371
Трубецков А.Д. 322, 327
Трунг Тан Нгуен 165
Уланова Т.С. 66, 128, 217, 265
Устинова О.Ю. 248
Федоров В.Н. 160
Федорова О.К. 442
Фёдорова Т.А. 153
Фокин В.А. 46
Ха Ву Ти Хай 165
Хан Као Конг 164
Харыбин В.Г. 106
Хасанова А.А. 27, 38
Хафизова А.С. 311
Хисматуллин Д.Р. 178, 183
Хоа Вин Ле 165
Худобородов А.И. 131
Хуен Тран Ти Тан 165
Царёва А.А. 189
Цинкер М.Ю. 377
Чекмизов В.А. 139
Чекмизова Е.В. 139
Челакова Ю.А. 341
Чернов В.В. 71
Четверкина К.В. 34, 38
Чигвинцев В.М. 178, 183
Шварц А.А. 109, 118
Ширинкина А.С. 298
Шукелайть А.Б. 349
Шумаков С.И. 13
Шур П.З. 38, 46
Щербаков А.А. 444
Щербаков Г.Д. 192
Щербатюк Т.Г. 71
Ярома А.В. 302

Содержание

Раздел I. Совершенствование научно-методических и правовых аспектов оценки, прогнозирования и управления рисками здоровью населению. Развитие подходов по доказательству вреда здоровью человека, ассоциированного с факторами среды обитания

А.В. Воронова
Особенности анализа мониторинговых исследований атмосферного воздуха при оценке рисков и ущербов здоровью населения 7

О.Д. Климушин, М.Л. Ковальчук, К.В. Гребенюков, С.И. Шумаков
Использование оценки риска как инструмента гигиенической оценки уровня загрязнения объектов окружающей среды в районе расположения полигона захоронения пестицидов 13

Н.Н. Рыжаков, В.А. Кислицин, Н.С. Додина
Особенности решения задач при расчете экспозиции в рамках оценки риска здоровью 19

С.А. Сарсков, Г.Г. Побединский, М.В. Вьюшков
Методологические исследования оперативного анализа для применения в ГИС «Эпидемиологический атлас России» 24

А.А. Хасанова
Влияние перепадов атмосферного давления на здоровье населения Арктических регионов Российской Федерации 27

К.В. Четверкина
Краткий обзор совеременных подходов к оценке степени неопределенности при разработке гигиенических стандартов 34

К.В. Четверкина, А.А. Хасанова, П.З. Шур
Обоснование ключевых показателей для количественного анализа и ранжирования риска для здоровья 38

П.З. Шур, Д.В. Суворов, В.А. Фокин, С.Е. Зеленкин
К вопросу оценки риска для здоровья населения, формируемого компонентами жесткости воды хозяйственно-питьевого водоснабжения 46

Раздел II. Региональный опыт оценки рисков здоровью населения в системе социально-гигиенического мониторинга и санитарно-эпидемиологического надзора. Лучшие практики оценки рисков здоровью в рамках национальных проектов «Экология», «Жилье и городская среда», «Генеральная уборка»

Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин
Предварительная оценка радиационного риска населения Российской Федерации в 2021 г. по данным радиационно-гигиенической паспортизации 55

К.О. Гилева, А.Е. Николаева, А.В. Недошитова
Пробоподготовка аэрозольных фильтров для определения меди и цинка в атмосферном воздухе методом масс-спектроскопии с индуктивно связанной плазмой 58

А.А. Давыдов, А.М. Библин, Д.В. Кононенко
Предикторы отношения населения к измерению содержания радона в воздухе помещений и радонозащитным мероприятиям 61

А.С. Зорина, А.А. Крылов, Е.А. Сухих, Т.С. Уланова
Определение мелкодисперсных фракций взвешенных частиц в атмосферном воздухе территорий с различной антропогенной нагрузкой 66

А.*М. Иркаева, Е.С. Жукова, Л.В. Полякова, В.В. Чернов, Т.Г. Щербатюк, М.А. Позднякова*
Освещенность как фактор риска усиления свободнорадикальных процессов в организме человека в условиях мегаполиса 71

Д.К. Князев, Н.В. Аброськина
Оценка неканцерогенного риска здоровью населения от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе городов Волгоградской агломерации.....74

И.С. Кошелева, Д.А. Кузянов, К.А. Савина, Ю.С. Гусев
Оценка рисков здоровью населения при употреблении воды из поверхностных источников питьевого водоснабжения левобережных районов Саратовской области 83

Б.И. Марченко, К.С. Тарасенко
Мониторинг демографической ситуации в задачах изучения эколого-гигиенических и социально-экономических детерминант здоровья населения промышленного города ...89

Е.В. Попова, С.А. Вековшинина, С.Ю. Балашов
Опыт актуализации программ мониторинга качества атмосферного воздуха на примере пилотной территории федерального проекта «Чистый воздух» 97

Д.А. Седова
Распространение и количественная характеристика сальмонелл в нижнем течении реки Дон 103

С.О. Семисынов, М.А. Позднякова, С.М. Лаврентьева, Н.Н. Савицкая, В.Г. Харыбин
Об итогах эпидемиологического мониторинга факторов риска хронических неинфекционных заболеваний на территории Нижнего Новгорода в 2021 г. 106

А.А. Степанян, Д.С. Исаев, Г.Б. Еремин, Н.А. Мозжухина, А.А. Шварц
Оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных источников в Кировском районе Ленинградской области 109

А.А. Степанян, Д.С. Исаев, Г.Б. Еремин, С.Н. Носков, А.А. Шварц
Оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных источников в Ломоносовском районе Ленинградской области.....118

Е.А. Сухих, А.А. Крылов, А.С. Зорина, Т.С. Уланова
Определение концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе г. Перми..... 128

А.И. Худобородов
Проблемные вопросы контроля за воздействием авиационного шума на условия проживания граждан мегаполиса.....131

Е.В. Чекмизова, С.В. Райкова, С.В. Агафонов, В.А. Чекмизов, С.С. Райкин
Изучение состояния атмосферного воздуха в районе металлообрабатывающего предприятия 139

Раздел III. Оценка безопасности и качества пищевой продукции. Опыт участия в национальном проекте «Демография»

Н.В. Гогадзе, Н.Е. Анашкина, Ю.В. Меньщикова
О некоторых результатах мониторинга качества пищевых продуктов на территории Омской области в рамках национального проекта «Демография» (2019–2021 гг.) 149

М.Ю. Карнакова, Т.А. Фёдорова, Е.И. Полянских, Д.А. Занько
Методика контроля содержания аннато (норбиксина) в молочной продукции методом ВЭЖХ 153

А.Н. Кизеев, В.Н. Федоров, Ю.А. Новикова, Н.А. Тихонова
Экспозиция населения Мурманской области к тяжелым металлам при употреблении в пищу ягод дикорастущих кустарничков 160

Ти Оан Нгуен, Хан Као Конг, Ти Тхан Коа Мак, Ти Ан Хуонг Нгуен, Ти Хонг Хао Ле
Контроль примесей в пищевых добавках для снижения веса во Вьетнаме 164

Трунг Тан Нгуен, Хоа Вин Ле, Ха Ву Ти Хай, Да Фам Ксуан, Хуен Тран Ти Тан
Полногеномный анализ бактерий *Salmonella* с множественной лекарственной устойчивостью, обнаруженных в куриных тушках в Ханое 165

М.А. Патяшина, Л.Т. Гараева, Ф.И. Серазетдинова, О.М. Закирова
О пресечении оборота фальсифицированных биологически активных добавок к пище 166

М.А. Потемкина, В.Н. Елкина
Гигиеническая оценка питания и алиментарного статуса моряков ПАО «Новошип» 171

А.С. Родионов
К вопросу безопасности пищевой продукции, произведенной с применением фунгицидных препаратов на основе меди 173

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев
Оценка доз вредных веществ, поступающих с пищевой продукцией, на примере кадмия с использованием метода Монте-Карло 178

Д.Р. Хисматуллин, В.М. Чигвинцев
Снижение негативного воздействия мышьяка на организм человека при помощи корректировки рациона питания 183

А.А. Царёва, О.В. Егорова, Н.А. Илюшина
Оценка мутагенности диоксида титана, пищевой добавки Е171, в тесте Эймса 189

Г.Д. Щербаков
Подходы к моделированию потребления продуктов питания различного качества для получения популяционных оценок 192

Раздел IV. Современные методы диагностики, коррекции и профилактики нарушений здоровья, ассоциированных с факторами среды обитания. Новые знания и подходы по оценке COVID-19, пути решения проблемы

Н.А. Вдовина, О.В. Долгих
Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на иммунную систему взрослого населения, проживающего на территории промышленно развитого региона Сибири 201

М.Н. Вершинин, О.В. Долгих, Е.А. Красулина
Особенности специфической сенсибилизации к техногенным контаминантам у взрослого населения крупного промышленного центра Восточной Сибири (на примере формальдегида) 205

М.В. Волкова, А.В. Недошитова
Определение содержания редкоземельных элементов, ниобия и тантала в крови работников металлургического предприятия 209

В.А. Грынчак
Оценка биологического действия нового инъекционного имплантата на основе гиалуроната натрия и полинуклеотидов 212

Л.А. Зверева, М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.С. Уланова
Отработка условий отбора и подготовки проб при определении полициклических ароматических углеводородов в воздухе методом ВЭЖХ/ФЛД на примере нафталина 217

А.М. Игнатова, М.А. Землянова, М.С. Степанков, Ю.В. Кольдибекова
Использование мультифрактального анализа для оценки морфологии тканей легких при патологии и без нее 222

Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова
Опыт применения биоинформационного анализа белков плазмы крови для выявления молекулярных маркеров прогнозирования риск-ассоциированных нарушений здоровья 229

Д.А. Кузянов, И.С. Кошелева, К.А. Савина, Ю.С. Гусев
Сравнительный анализ чувствительности штаммов микроводорослей *Chlorella Vulgaris* и *Chlorella Sorokiniana* к различным антибиотикам 238

Г.Ф. Мухаммадиева, Д.О. Каримов, Я.В. Валова, Э.Р. Кудояров, Д.Д. Каримов, А.И. Борисова
Поиск генетических маркеров для прогнозирования риска развития бронхиальной астмы у жителей Республики Башкортостан 244

А.Е. Носов, А.С. Байдина, Н.И. Мамыкина, Ю.А. Ивашова, М.Т. Зенина, О.Ю. Устинова
Нарушения структурно-функциональных характеристик миокарда у населения, проживающего в условиях воздействия никеля 248

Е.В. Пескова, Ю.В. Кольдибекова
Оценка изменения протеомного профиля плазмы крови детей, подвергающихся воздействию алюминия и бенз(а)пирена с атмосферным воздухом 252

М.Д. Рудой
Возможность применения ряда традиционных шкал для оценки сердечно-сосудистого риска у мужчин в ходе периодического медицинского осмотра 260

М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.С. Уланова
Отработка оптимальных параметров разделения пеноксулама и флуксапироксада методом ВЭЖХ-УФ 265

М.С. Степанков
Исследование и оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей крыс при интратрахеальной инстилляции наночастиц оксида меди (II) 270

М.С. Степанков
Патоморфологические изменения тканей органов при острой пероральной экспозиции наночастицами оксида молибдена (VI) 275

Д.Ю. Субботина, Т.В. Нурисламова
Апробация методики количественного определения фурана и метилфурана в пищевых продуктах, на примере детских каш 280

М.А. Суханов, Е.Н. Дубовицкая
О влиянии пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на снижение трудоспособного населения Ульяновской области 285

А.В. Тажигулова, С.В. Клинова, Ю.В. Рябова
Влияние наночастиц оксида свинца на дыхательную систему при субхроническом ингаляционном поступлении 291

А.С. Ширинкина, О.В. Долгих
Изучение особенностей влияния природного гаптена Chlorella Growth Factor на иммунорегуляцию *in vitro* 298

А.В. Ярома, О.А. Казакова, О.В. Долгих
Особенности иммунного и метаболомного статуса детей с патологией эндокринной системы в условиях контаминации крови гормоноподобными веществами 302

Раздел V. Современные аспекты медицины труда. Оценка профессиональных рисков здоровью работников

Д.М. Вагапова, А.С. Хафизова, Г.Р. Миронова, Н.В. Бояринова, Л.В. Гирфанова, Л.Р. Мадьярова
Условия труда и особенности вертеброгенной патологии у работников газораспределительных станций на поликлиническом этапе 311

Д.С. Гаврильченко
Оценка влияния профессионального физического перенапряжения и гиподинамии на развитие патологии сердечно-сосудистой системы у работников машиностроительного предприятия 314

К.В. Климкина, И.В. Лапко
Показатели ремоделирования костной ткани у рабочих виброопасных профессий 318

Д.М. Лазгиева, А.Д. Трубецков
Психологические аспекты помощи пациентам с профессиональными заболеваниями 322

Д.В. Мережко, А.Д. Трубецков
Социальные особенности овощеводов, связанные с выбором трудовой деятельности в постпенсионный период....327

В.П. Телюпина, М.М. Некрасова
Оценка нейрогуморальной регуляции при коррекции функционального состояния организма с помощью тренинга с биоуправлением у работников с высокой напряженностью труда 334

Ю.А. Челакова, О.В. Долгих
Анализ особенностей иммунного статуса у работников предприятия по производству фталевого ангидрида....341

Раздел VI. Использование информационных технологий и математического моделирования при проведении исследований в области гигиены и эпидемиологии

Ю.С. Калашников, И.И. Механтьев, О.В. Клепиков, Л.А. Масайлова, С.А. Куролап, А.Б. Шукелайть
Оценка эффективности реализации мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения с использованием искусственной нейронной сети 349

А.С. Калюжин
Научно обоснованный алгоритм принятия решений по выявлению и предотвращению санитарно-бактериологического загрязнения водных объектов на основе геоинформационной системы для программы ЭВМ Water Risk....358

М.Р. Камалтдинов, А.Г. Кучумов
Алгоритм применения 0D–3D-модели системного кровотока для снижения послеоперационных рисков осложнений....361

С.С. Сомов, К.В. Субочева
Возможные пути совершенствования единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан с использованием интернет-платформы....367

Н.А. Тихонова, А.В. Леванчук, Ю.А. Новикова
О критериях верификации данных информационных систем оценки санитарно-эпидемиологического благополучия 371

М.Ю. Цинкер, А.И. Кучуков
Моделирование течения воздуха в нижних дыхательных путях, созданное на основе снимков компьютерной томографии, для задач оценки рисков здоровью....377

Раздел VII. Опыт оценки и управления рисками для здоровья детей и подростков в образовательных учреждениях, организациях отдыха и оздоровления

И.Н. Аликина, О.В. Долгих
Особенности нарушений клеточной регуляции у школьников в условиях контаминации биосред формальдегидом 387

О.М. Басова
Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения при потреблении питьевой воды 390

А.И. Бурганова
О результатах анализа меню общеобразовательной организации для школьников младших классов 394

Е.В. Васильев
Культура здоровья участников образовательного процесса – педагогического персонала и родителей обучающихся 399

Л.И. Глушкова, А.Г. Георгиева
Факторы, влияющие на распространение острых кишечных инфекций вирусной этиологии в детских организованных коллективах Республики Коми 404

А.Р. Ибрагимова
Инновационные технологии для формирования здорового образа жизни у школьников 5–11-х классов 407

О.А. Казакова, О.В. Долгих
Иммунный статус и генетический полиморфизм у детей с иммунодефицитом в условиях контаминации биосред тяжелыми металлами 411

Е.В. Калеева, А.А. Титова, О.Н. Панкратова, Р.Г. Билалова
Анализ химических отравлений среди несовершеннолетних и меры их профилактики в Республике Татарстан 415

Г.Р. Каримова, М.В. Карпова
Вопросы здорового образа жизни у школьников подросткового возраста 419

Е.А. Красулина, О.В. Долгих, М.Н. Вершинин
Особенности иммунологических показателей у детского населения, проживающего в условиях техногенной провинции (на примере маркеров эффекта бенз(а)пирена и формальдегида) 422

Н.А. Никоношина, О.В. Долгих
Особенности формирования клеточного иммунного профиля и апоптоз иммуноцитов у детского населения приполярной территории Восточной Сибири 426

Е.А. Отавина, О.В. Долгих
Иммунный статус детей с расстройствами вегетативной нервной системы в условиях повышенного содержания в биосредах ряда экзогенных химических веществ 429

К.Г. Старкова, О.В. Долгих, Т.А. Легостаева
Особенности иммунной регуляции у детей с аллергическими заболеваниями в условия экспозиции ароматическими углеводородами 432

А.А. Субботина, О.В. Долгих
Полиморфизм C677T гена метилентетрагидрофолатредуктазы у детей региона Сибири с патологией сердечно-сосудистой системы 437

О.К. Федорова
Особенности физического развития школьников сельской школы Аксубаевского района Республики Татарстан 442

А.А. Щербаков, М.А. Савинков, А.Н. Болтачева, А.Е. Носов, М.А. Землянова
Нарушения функции внешнего дыхания у детей, проживающих в условиях экспозиции никеля и хрома.....444

Авторский указатель 449

Содержание 451

Научное издание

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2022

Материалы
всероссийской научно-практической интернет-конференции
молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора
с международным участием

(Пермь, 10–14 октября 2022 г.)

Под редакцией профессора А.Ю. Поповой,
академика РАН Н.В. Зайцевой

Корректор *М.Н. Афанасьева*

Подписано в печать 17.10.2022. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 37,0. Тираж 200. Заказ № 170/2022.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.

Отпечатано в издательстве «Книжный формат».
Адрес: 614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 80.

16+