

Читать
онлайн
Read
online

Зайцева Н.В., Май И.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А.

Актуальные аспекты цифровизации в гигиене: наука и практика

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Масштабы и комплексный характер обеспечения гигиенической безопасности населения определяют необходимость процессов цифровизации — перевода аналоговых данных в электронный формат, автоматизации бизнес-процессов, оперативной обработки результатов.

Цель исследования — рассмотреть основные научные подходы и методические приёмы цифровизации в современной гигиенической науке и практике решения актуальных гигиенических проблем. Описан опыт применения элементов искусственного интеллекта, математического моделирования, структурно-динамического анализа и пр. В рамках развития отечественной гигиенической науки отработан метод нейронных сетей при ситуационном моделировании и прогнозировании ожидаемой продолжительности жизни населения под воздействием комплекса разнородных факторов. Предложена методология анализа и параметризации волн эпидемического процесса с учётом региональной специфики. Отражена практика наукоёмких исследований в области построения цифровой модели человека как инструмента имитационного моделирования *in silico* ответов организма на любые внешние воздействия. Активно осуществляется перевод в цифровые форматы результатов клеточных, субклеточных и молекулярных технологий для задач санитарно-эпидемиологического анализа, клинической эпидемиологии и доказательной медицины. Для решения практических гигиенических задач предложена новая концептуальная схема каскадной модели системы «контрольно-надзорная деятельность — среда обитания — здоровье населения», позволяющая оценивать предотвращённые потери здоровья и экономические ущербы. Разработана концептуальная схема включения форм дистанционного контроля в общую систему автоматизации деятельности санитарной службы. Описаны методы и приёмы решения комплекса иных гигиенических задач, в том числе формирования доказательной базы негативного влияния факторов риска на здоровье населения, включая цифровую обработку данных, идентификацию загрязнителей с применением методов компьютерного зрения и ряд других.

Заключение. Процессы цифровизации, обеспечивающие использование больших многомерных массивов данных в сочетании с современными наукоёмкими методами их обработки обеспечивают максимально оперативное и корректное решение актуальных гигиенических задач, повышают точность прогноза и расширяют возможности профилактической деятельности для обеспечения гигиенической безопасности населения страны.

Ключевые слова: цифровизация; большие данные; гигиенические проблемы; наукоёмкая обработка

Для цитирования: Зайцева Н.В., Май И.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А. Актуальные аспекты цифровизации в гигиене: наука и практика. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(7): 634–641. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-634-641> <https://elibrary.ru/bsfrhw>

Для корреспонденции: Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, зам. директора по научной работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: may@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Май И.В. — сбор материала, обработка материала, написание текста; Алексеев В.Б. — сбор материала, редактирование; Кирьянов Д.А. — обработка материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки, выполнено в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания НЦ МПТ управления рисками здоровью населения.

Поступила: 03.04.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликовано: 31.07.2024

Nina V. Zaitseva, Irina V. May, Vadim B. Alekseev, Dmitry A. Kiryanov

Actual aspects of digitalization in hygiene: theory and practice

Federal Scientific Center of Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

ABSTRACT

Scopes and complexity of tasks related to providing hygienic safety of the population in the Russian Federation create great demand for up-to-date digitalization. It involves transformation of analogue data and work processes into electronic format, automation of business processes and operational data analysis.

The aim of this study was to describe basic scientific approaches and methodical techniques of digitalization in solving hygienic tasks of current importance. The study involved using neural networks, mathematical modelling, operational structural and dynamic analysis, etc. As part of domestic hygienic science, the method of neural networks has been developed for situational modelling and forecasting the population life expectancy under the influence of a complex of heterogeneous factors. We developed methodology for analysis and parameterization of epidemic waves considering regional specificity. Science-intensive research is being conducted to build a digital model of a person as a tool for *in silico* simulation of the body's responses to any external influences. The results of cellular, subcellular, and molecular technologies are being actively translated into digital formats for the purposes of sanitary-epidemiological analysis, clinical epidemiology, and evidence-based medicine. To solve practical hygienic problems, a new conceptual scheme of the cascade system “control and surveillance activities — habitat — public health” has been proposed. It makes possible to assess prevented health losses and economic damages. A conceptual scheme has been developed for incorporating forms of remote control into the general system of automation sanitary service activities. There are described methods and techniques for solving a set of other hygienic problems, including the formation of an evidence base for the negative impact of risk factors on public health, digital processing of research data, identification of pollutants using computer vision methods, and a number of others.

Conclusion. Digitalization that involves use of multi-dimensional big data together with up-to-date methods for their science intensive analysis ensures the most prompt and adequate solutions to relevant hygienic issues, allows more accurate predictions and provides wider opportunities for effective prevention activities performed by institutions responsible for hygienic safety and population health in the country.

Keywords: digitalization; big data; hygienic issues; science intensive data analysis

For citation: Zaitseva N.V., May I.V., Alekseev V.B., Kiryanov D.A. Actual aspects of digitalization in hygiene: theory and practice. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(7): 634–641. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-634-641> <https://elibrary.ru/bsfrhw> (In Russ.)

For correspondence: Irina V. May, MD, PhD, DSci., Professor, Deputy Director for Federal Scientific Center of Medical and Preventive Health Risk Management Technologies for Managing Public Health Risks, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: may@fcrisk.ru

Contribution: Zaitseva N.V. – study concept and design, editing the text; May I.V. – data collection and analysis, writing the text; Alekseyev V.B. – data collection, editing the text; Kiryanov D.A. – data analysis. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The research was supported by financing provided from the Federal Budget.

Received: April 3, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: July 31, 2024

Национальный проект «Цифровая экономика», принятый в 2018 г., и утверждённая в 2019 г. в его развитие национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹ предполагают формирование качественного информационного, коммуникационного и аналитического базиса для опережающего технологического развития страны в условиях глобальных вызовов. При этом любые технические и технологические инновации имеют ключевые цели: сохранение населения Российской Федерации как важнейшего ресурса государства; улучшение здоровья и благополучия людей; создание комфортной и безопасной для жизни среды. Все цели закреплены Указом Президента Российской Федерации № 309 от 07 мая 2024 г.² и определены на период до 2030 г. как национальные приоритеты.

Концептуально процессы цифровизации в науке и практике гигиены могут рассматриваться как неотъемлемая часть современной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, которая требует высокой скорости обоснования и принятия решений любого уровня. Фундаментальные и прикладные научные исследования, базирующиеся на интегрированной системе данных, унифицированных по кодам и классификациям, наукоёмкой информационно-программной поддержке и многомерной глубокой аналитике, в полной мере соответствуют поставленным задачам анализа и управления в обозначенной сфере [1, 2]. В гигиенических исследованиях уже нередко используется машинное обучение как средство выявления скрытых закономерностей или установления корреляций, тогда как традиционные аналитические методы обнаруживают ограничения или проблемы [3, 4]. В ряде публикаций описано применение нейросетевого моделирования и искусственного интеллекта при решении задач анализа объектов окружающей среды, оценки токсичности загрязнения, идентификации источников этого загрязнения [5–7]. Наукоёмкое математическое моделирование причинно-следственных связей позволяет выявлять зависимости в условиях сложных систем с интерактивными, динамическими, нелинейными, множественными характеристиками, каковыми и являются системы «человек – окружающая среда – социально-экономические условия жизни» [8–10].

Интенсивно развивается научное направление создания цифровых моделей органов и систем человека, что позволяет на компьютерах (*in silico*) имитировать физиологические процессы [11–13]. Реализация «цифровой модели человека» (*digital human model*) даёт преимущества запуска различных сценариев имитационного моделирования и получения ответа на вопрос «что, если» на ранних стадиях исследования. Использование платформы математического моделирования является важным элементом будущих разработок мультиорганных систем, интерпретации экспериментальных данных, прогнозирования поведения организма в условиях различных внешнесредовых воздействий [13].

¹ Паспорт национального проекта «Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждена протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>

² Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007210012>

Отечественная гигиеническая наука в части цифровизации в полной мере соответствует уровню и направленности общемировых исследований. Цифровые платформы широко используются в задачах многомерного гигиенического анализа, в том числе с применением самых современных методов обработки данных [14, 15]. Так, описаны приёмы использования искусственной нейронной сети для прогноза изменения показателя ожидаемой продолжительности жизни в зависимости от сценарных изменений факторов среды обитания. Предложен метод расчёта потенциала роста данного показателя, в том числе в результате осуществляемой проектной деятельности государства [16]. Сеть обрабатывает параметры более 150 показателей, характеризующих внешнесредовые, социально-экономические, климатические условия жизни населения и позволяет моделировать ответы при различных вариациях изменения показателей. В развитии данного направления гигиенических исследований представляется актуальным повышение качества и надёжности исходной информации о среде обитания, социально-экономических условиях и состоянии здоровья населения в регионе, а также параметризация ряда показателей, характеризующих образ жизни граждан и др.

Параллельно с совершенствованием аналитической базы анализа на цифровой основе совершенствуются и инструменты получения новых данных о качестве среды обитания и ответах на воздействия со стороны здоровья населения. Например, предложен и апробирован инновационный метод определения отобранных из воздуха твёрдых частиц с применением аппаратно-программного комплекса, включающего элементы компьютерного зрения и обработку цифровых библиотек микрофотографий методом нейронных сетей [17]. Нейронная сеть, обученная на библиотеке атрибутированных микрофотографий, обеспечивает оперативное распознавание частиц и определение их химического состава.

На цифровой платформе ведётся развитие методологии оценки риска. В виде комплекса программных средств общего доступа разрабатывается унифицированная система причинно-следственных связей, адаптированная к эволюционным моделям и собранная в библиотеку моделей [18, 19]. Библиотека моделей «воздействие факторов среды обитания – здоровье населения» включает в общей сложности порядка 3000 моделей и 200 000 их параметров, и эта библиотека систематически пополняется (табл. 1).

Отечественные модели существенно дополняют имеющуюся международную базу и обоснованы с учётом специфики российских условий.

Разработан алгоритм и прототип программного продукта системного гигиенического анализа условий причинения вреда здоровью и формирования доказательной базы этого вреда с использованием результатов углублённых направленных медико-биологических исследований [20, 21]. Подход имеет значимый потенциал развития для принятия адекватных решений в заданной области, повышения эффективности информационно-аналитической платформы деятельности Роспотребнадзора.

Наукоёмкие методы анализа санитарно-эпидемиологической ситуации с применением баз данных фондов социально-гигиенического мониторинга и цифровых геоинформационных систем последних поколений в сопряжении с современным математическим инструментарием (теория нечётких множеств, нейросети, ситуационное моделирование и др.) позволяют выполнять пространственно-временной

Таблица 1 / Table 1

Примеры параметров моделей связи «концентрация химического вещества в атмосферном воздухе – заболеваемость» (случаев на 100 тыс. населения при изменении на единицу референтной концентрации (RFC) при хроническом ингаляционном воздействии
Example parameters of models of the relation between concentration of chemical substance in ambient air – prevalence (cases per 100 thousand people under a change by 1 unit in the reference concentration (RfC) under chronic inhalation exposure

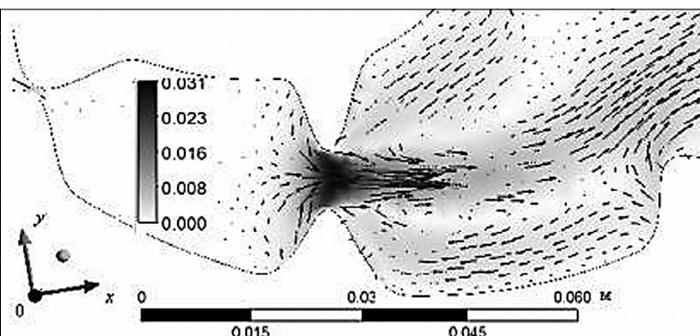
| Группа нозологических форм (коды МКБ-10) Nosologic group (ICD-10 codes) | Вещество Chemical | Дети Children | Взрослые старше трудоспособного возраста Adults above working age | Взрослые трудоспособного возраста Working age adults |
|---|---|------------------|--|---|
| Болезни конъюнктивы Disorders of conjunctiva (H10, H11) | Трихлорэтилен / Trichloroethylene | 0.46 | 1.14 | – |
| | Формальдегид / Formaldehyde | 159.79 | 73.93 | 37.70 |
| Артрозы / Arthrosis (M15–M19) | Фториды неорганические / Inorganic fluorides | – | 2978.39 | 1288.28 |
| Демиелинизирующие болезни центральной нервной системы Demyelinating diseases of the central nervous system (G35–G37) | Фенол / Phenol | – | 51.83 | – |
| | Марганец и его соединения / Manganese and its compounds | – | 0.04 | 0.12 |
| | Толуол / Toluene | – | 117.33 | 1235.86 |
| | Свинец и его соединения / Lead and its compounds | – | 2.13 | 1.31 |
| Острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей Acute respiratory infections of the upper respiratory tract (J00, J01, J02, J03, J04, J05) | Тетрахлорэтилен / Tetrachloroethylene | 885.92 | 71.97 | – |
| | Азота (II) оксид / Nitrogen (II) oxide | – | 1015.42 | 1426.06 |
| | Азота диоксид / Nitrogen dioxide | 4446.44 | 110.04 | – |
| | Взвешенные вещества / Particulate matter | 5036.79 | 307.21 | 329.62 |
| | Фенол / Phenol | 9252.80 | 1083.52 | 47.07 |
| Другие болезни верхних дыхательных путей Other diseases of upper respiratory tract (J30, J31, J32, J34, J35, J37) | Гидрохлорид / Hydrogen chloride | – | 142.53 | 722.86 |
| | Азота (II) оксид / Nitrogen (II) oxide | – | 793.42 | 709.29 |
| | Азота диоксид / Nitrogen dioxide | 1667.65 | 692.41 | 281.97 |
| | Взвешенные вещества / Particulate matter | 25.09 | 7.29 | – |
| | Фенол / Phenol | 1514.42 | 404.60 | – |
| | Сажа / Soot | 1.83 | 4.52 | 7.82 |
| | Фториды / Fluorides | 462.31 | 809.60 | 964.30 |

анализ распределения рисков и вреда для здоровья, формировать принципиально новые знания [22, 23]. Развитие этого направления представляется крайне важным в условиях роста урбанизации и расширения спектра воздействующих на население факторов.

В рамках концепции создания цифровой модели человека (НП «Наука») построены динамические морфофункциональные модели системы дыхания и пищеварения [24, 25]. Практическое внедрение результатов данных фундаментальных исследований позволяет выполнять имитационное моделирование при множественных входных условиях, оценивать и прогнозировать последствия

внешнесредовой нагрузки без проведения дорогостоящих и длительных натурных исследований, обосновывать безопасные уровни этой нагрузки. Появляется возможность компьютерного моделирования изменений функций и морфологии лёгких в условиях различного пылевого загрязнения [26], оценки изменения кислотности желудочного сока при приёме пищи различного вида и химического состава и др. [27] (см. рисунок).

В сочетании с направленными экспериментальными и эпидемиологическими исследованиями такие разработки составляют будущее гигиенического нормирования, оценки и прогнозирования.



$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_i \alpha_i Y_i) + \Delta \cdot (\rho_i \alpha_i v_i Y_i) = -\Delta \cdot J_i + R_i + S_i + \sum_j m'_{ji}$$

Элементы моделирования процессов пищеварения (снимок УЗИ желудка, фрагменты математической постановки задачи и графическое описание морфологии органа и процесса переваривания пищи).

Elements of digestion modelling (US-image of the stomach, fragments of mathematical statement and graphic description of the organ morphology and food digestion).

Не менее важным и перспективным направлением развития гигиены является перевод в цифровые форматы и расширение применения результатов клеточных, субклеточных и молекулярных технологий в задачах санитарно-эпидемиологического анализа, клинической эпидемиологии и доказательной медицины.

Разработана научно-методическая основа цифрового построения структурных биоинформационных матриц для распознавания последовательности молекулярных и клеточных событий. Это итерационная основа прогноза негативных эффектов, метаболический путь которых связан с экспрессированными белками и генами, кодирующими их экспрессию, обусловленную комбинированным воздействием химических веществ [28]. Так, построены матрицы для 20 пептидных молекулярных мишеней. Показано, что при экспериментальном воспроизведении реальной аэрогенной комбинированной экспозиции на примере оксида алюминия, фтора и бенз(а)пирена происходит двукратное увеличение экспрессии белков апополипротеина А-I (ген *APOA1*) и транстиретина (ген *TTR*). В реальных условиях у экспонированных детей подтверждено нарушение обмена липопротеинов и ожирение, прогнозируются метаболические нарушения в тканях мочевыделительной, сердечно-сосудистой и нервной систем. Данные являются основанием для выявления причин и источников загрязнения, разработки медико-профилактических программ помощи населению, находящемуся под воздействием.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, ориентируясь на достижения гигиенической науки и стремясь к их практическому применению, предпринимает усилия по объединению всех ведомственных информационных ресурсов в единую централизованную систему федерального уровня. Система базируется на облачных технологиях хранения данных, имеет координирующий общий блок нормативно-справочной информации и широкую методическую базу для аналитики. Цифровизация научной и практической деятельности предполагает повышение эффективности всех функций, возложенных на Роспотребнадзор как орган власти, уполномоченный на выработку и реализацию государственной политики и нормативно-правовое регулирование в рамках компетенции [29].

Платформенное ИТ-решение на основе свободного программного обеспечения предполагает обработку информации с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и станет удобным инструментом взаимодействия структурных подразделений Роспотребнадзора между собой, с компаниями, организациями и гражданами. Часть модулей системы уже внедрена в практическую деятельность, часть проходит этап тестирования и опытной эксплуатации.

Колоссальный аналитический потенциал информации социально-гигиенического мониторинга, которая по объёму и разнообразию соответствует признакам BigData, обеспечивает наукоёмкую обработку в системе «среда – здоровье» для решения текущих и перспективных задач управления санитарно-эпидемиологической ситуацией [30]. В сопряжении с векторными картами территорий отрабатываются вопросы пространственного и градостроительного характера [31, 32].

В рамках научной поддержки основных полномочий Роспотребнадзора цифровизация является условием совершенствования системы гигиенического нормирования. Обоснование гигиенических нормативов по критериям риска для здоровья потребовало цифровой обработки системы баз знаний, содержащих около 300 тыс. единиц. Применение комплекса методов, включающих метаанализ, цифровую трансформацию экспертных оценок, имитационное, эволюционное моделирование, позволило обосновать более 70 среднегодовых ПДК химических веществ в атмосферном воздухе и 17 МДУ содержания химических веществ и биологических агентов в пищевых продуктах [33, 34].

Одним из значимых достижений цифровизации является перевод в электронный вид (в рамках единой информаци-

онной системы Роспотребнадзора) реестра хозяйствующих субъектов, подлежащих санитарному надзору. Реестр содержит сведения о юридических лицах и индивидуальных предпринимателях (более 660 тыс. хозяйствующих субъектов), принадлежащих им производственных объектах (более 1,6 млн), реализуемых видах деятельности (более 800 тыс.) и комплекс информации, обеспечивающей установление категории риска причинения вреда охраняемым ценностям. Реестр является ядром системы, а формализация на цифровой платформе бизнес-процессов, реализуемых в Роспотребнадзоре, обеспечивает максимальное сопряжение и прослеживаемость всех действий, формирование полного спектра учётно-отчётной документации, контроль исполнения плановых показателей и оперативный многоуровневый мониторинг выполнения государственных заданий подведомственными органами и организациями. Значительный объём систематизированных и формализованных данных делает аналитические возможности системы практически неограниченными.

Важнейшая задача, которая может и должна решаться на основе всей совокупности накапливаемых данных, – выявление логики нарушения санитарных правил и обоснование широкого спектра индикаторов риска этих нарушений. На основе многомерного анализа с применением нейронных сетей, искусственного интеллекта, гибридных методов возможно построение статистических профилей риска объектов надзора с потенциальным выявлением наиболее «рисковых» объектов. Система анализирует все зафиксированные нарушения на типовых объектах, выбирает наиболее значимые виды нарушений обязательных требований и самые «рисковые» показатели и добавляет их в профиль риска. Построение и динамический анализ таких профилей риска рассматривается как важнейший признак зрелости системы управления эффективностью контрольно-надзорной деятельности³.

Преимущества статистических профилей риска, формируемых на цифровой платформе, состоят в точности и наличии обратной связи с результатами проверок, оптимальном профилировании объектов-нарушителей за счёт использования передовых математических средств, скорости реакции на автоматическое обновление исходных данных. Как и экспертный профиль, статистический профиль риска объекта является понятным и интерпретируемым с содержательной точки зрения, но более точным.

Анализ цифровой информации позволит применять подходы к формированию динамичных персонифицированных риск-ориентированных проверочных листов, учитывающих как общедоказательные закономерности нарушения обязательных требований, так и историю проверок конкретного хозяйствующего субъекта. Цель формирования персонифицированных динамических проверочных листов заключается в первоочередной проверке соблюдения тех требований, которые вероятнее всего чаще нарушаются объектами надзора определённого вида и категории и формируют наибольшие риски причинения вреда охраняемым ценностям. Приоритет проверяемого требования в чек-листе устанавливается с учётом индекса потенциальной опасности. Индекс потенциальной опасности в общем виде может быть определён как произведение функций от вероятности нарушений и их тяжести (1):

$$I = f(p_k) \cdot f(g), \quad (1)$$

где $f(p_k)$ – функция от вероятностей нарушений на k -м уровне хозяйствующего субъекта ($k = 1$, муниципальном ($k = 2$), региональном ($k = 3$) и федеральном уровнях ($k = 4$); $f(g)$ – функция от тяжести нарушений.

³ Реформа контрольно-надзорной и разрешительной деятельности. Стандарт зрелости управления результативностью и эффективностью контрольно-надзорной деятельности. Утв. протоколом заседания проектного комитета от 13 февраля 2018 г. https://knd.ac.gov.ru/wp-content/uploads/2019/12/Standart_final-19-02-2018.pdf

Таблица 2 / Table 2

Пример расчёта минимально достаточного числа проб для контроля и мониторинга продукции в обороте в отдельном регионе
 Example for calculation of the minimum sufficient number of samples for control and monitoring of food products in the market in the specific region

| Вид продукции Type of a product | % проб с нарушениями требований % of samples with detected violations | | Категория риска Risk category | Оптимальное количество проб на 10 тыс. населения Optimal number of samples per 100 thousand people | Требуемое число проб в год Required number of samples per year | Фактически отбираемое число проб (2022 г.) Actually taken samples (2022) |
|--|--|-------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| | по РФ over RF | по региону in region | | | | |
| Мясо и мясные продукты Meat and meat products | 2.96 | 5.49 | ЧВР | 5.31 | 1357 | 1455 |
| Птица, яйца и продукты из них Poultry, eggs and products made of them | 3.84 | 6.86 | ЧВР | 6.82 | 1743 | 1328 |
| Молоко и молочные продукты Milk and milk products | 3.86 | 5.05 | ЧВР | 6.85 | 1751 | 7889 |
| Рыба и нерыбные продукты Fish and non-fish seafood products | 4.42 | 10.77 | ЧВР | 7.92 | 1996 | 448 |
| Фруктовоовощная продукция Fruits and vegetables over | 1.03 | 2.14 | ВР | 1.89 | 483 | 1348 |
| Кондитерские изделия Confectionary | 3.49 | 6.00 | ВР | 6.22 | 1591 | 1000 |
| Продукты детского питания Infant formulas products | 0.96 | 3.09 | ВР | 1.75 | 448 | 203 |
| Безалкогольные напитки Non-alcoholic beverages | 2.81 | 6.84 | ЗР | 1.26 | 323 | 425 |

Примечание. ЧВР – чрезвычайно высокий риск; ВР – высокий риск; ЗР – значительный риск.

Note. ЧВР – extremely high risk; ВР – high risk; ЗР – significant risk.

Проверочные листы являются динамическими, приоритеты изменяются автоматически с учётом результатов контрольно-надзорных мероприятий как на конкретном проверяемом объекте, так и на объектах-аналогах на муниципальном, региональном и федеральном уровнях. Динамические проверочные листы формируются индивидуально для каждого поднадзорного объекта и размещаются в личном кабинете хозяйствующего субъекта.

Современный этап развития контрольно-надзорной деятельности ориентирован не столько на контроль, сколько на эффективное управление безопасностью и профилактику причинения вреда охраняемым ценностям, поэтому была предложена новая концептуальная схема каскадной модели для оценки и прогнозирования предотвращённых потерь здоровья в трюйственной системе «контрольно-надзорная деятельность Роспотребнадзора – среда обитания – здоровье населения» [35]. Получены коэффициенты нейросетевых моделей и коэффициенты модели факторного преобразования, позволяющие выполнять сценарное прогнозирование значений показателей качества среды обитания в зависимости от значений показателей, характеризующих контрольно-надзорную деятельность. Затем с применением множественных регрессионных моделей связей между показателями качества среды обитания, заболеваемостью и смертностью населения выполняется расчёт демографических потерь, достоверно ассоциированных с факторами среды обитания.

Наличие цифровых данных и современных методов их обработки существенно расширяет круг научных гигиенических задач, оперативно решаемых в интересах практики. Так, разработка подходов, основанных на методах нечёткой логики⁴, и программная реализация методики по оценке рисков для здоровья населения при воздействии объектов накопленного вреда обеспечили в максимально сжатые сроки, установленные федеральным проектом «Генеральная уборка», масштабные исследования в 2022–2023 гг. более 750 объектов в 77 регионах страны. Полученные оценки

⁴ Методика осуществления оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан, утв. приказом Роспотребнадзора от 27.11.2023 г. № 851. <https://docs.cntd.ru/document/1303736483>

риска для здоровья являются важнейшими критериями определения объектов, подлежащих первоочередной ликвидации, что закреплено Постановлением⁵ Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2023 г. № 2268.

Другой пример. На базе десятилетних данных всех регионов страны о качестве и безопасности пищевой продукции в обороте решается задача обоснования оптимального числа отбираемых проб и объёмов лабораторных исследований. Для каждой группы пищевой продукции определяется количество проб, которые обеспечат выявление небезопасной продукции с определённой точностью. Учитываются категория риска продукции, требуемый (заданный, целевой) уровень безопасности продукции и предельная ошибка выборки. По полученному значению веса нестандартных проб определяется статистически необходимый для отбора объём пищевой продукции по формуле (2):

$$n = \left(\frac{Z \cdot \sqrt{pq}}{\Delta} \right)^2, \quad (2)$$

где n – объём выборки; Z – коэффициент, зависящий от выбранного доверительного уровня (для 5%-го доверительного интервала $Z = 1,64$); p – удельный вес нестандартных проб; $q = 1 - p$ – удельный вес стандартных проб; Δ – предельная ошибка выборки.

Уровень «надёжности» (предельная ошибка выборки) задаётся с учётом категории риска продукции: продукция чрезвычайно высокого и высокого риска – 0,1%; продукция значительного и среднего риска – 0,2%; продукция умеренного риска – 0,5%; продукция низкого риска – 1,0%.

В табл. 2 приведён пример для одного из регионов, где заданным (целевым) уровнем является средняя по Российской Федерации частота выявления нарушений. Число требуемых проб установлено с учётом численности населения региона.

Из данных видно, что по таким группам товаров, как «Птица, яйца и продукты их переработки», «Рыба и нерыбные продукты», «Продукция детского питания», число отбираемых и контролируемых проб является недостаточным,

⁵ О ведении государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2023 г. № 2268.

в том числе для задач управления, по ряду групп число отбираемых проб избыточно, следовательно, затраты на них неэффективны. Цифровые данные и формализованные методы анализа позволяют учитывать динамичность ситуации в регионах, дают возможность обоснования любых целевых критериев и установления ограничений для отдельных групп товаров. Выполнять такие исследования, не имея электронной базы данных, крайне сложно.

Поскольку данные каждый год изменяются, очевидно, что итерационная оптимизация лабораторного сопровождения контроля и мониторинга возможна только на цифровой платформе. Ценность цифровых данных многократно возрастёт на следующем этапе, когда будут поставлены новые задачи управления, например, достижение уровня не более 1% нестандартной пищевой продукции.

Принципиально новым элементом санитарно-эпидемиологического надзора должно стать внедрение автоматических средств дистанционного (удалённого) слежения за санитарно-эпидемиологической ситуацией. Данные дистанционного контроля (мониторинга) существенно дополняют традиционные формы надзорных мероприятий, в том числе вне периода плановой проверки, и имеют высокую профилактическую значимость. Транслированные сведения должны подвергаться наукоёмкому анализу, что предусмотрено концепцией интеллектуальной информационной системы, которая рассматривается как перспективная составляющая единой информационной системы Роспотребнадзора [36].

Для внедрения форм автоматизированного дистанционного контроля необходимо перевести в машиночитаемые форматы все нормативно-правовые документы Роспотребнадзора, в первую очередь санитарно-эпидемиологические требования и правила. Требуется определить для хозяйствующих субъектов полный перечень документов, перевод которых в машинописные форматы будет существенно ускорять и упрощать процедуру документарной проверки. Нужна разработка принципов, правил, алгоритмов формализации и структуры хранения текстовых документов, характеризующих объекты надзора в виде, доступном для компьютерной обработки. Необходимо разработать критерии автоматизированного оценивания документации, характеризующей поднадзорные объекты с точки зрения соответствия предъявляемым требованиям.

Внедрение контрольно-надзорных мероприятий в дистанционном режиме возможно при условии полной формализации и перевода в электронную форму всех процессов, процедур и отдельных действий со стороны проверяющих органов, что позволит обеспечить взаимодействие участников контрольно-надзорной деятельности.

Следует отметить, что и количественная оценка результативности и эффективности (в том числе экономической) деятельности органов и организаций Роспотребнадзора ориентирована на использование оцифрованной системы причинно-следственных связей между показателями интенсивности проводимых контрольно-надзорных мероприятий, качеством объектов среды обитания и состоянием здоровья населения.

Расчёты показателей эффективности и результативности должны сопровождаться системой критериев и шкалированием, которые позволяют оценивать потребность в материально-техническом и кадровом обеспечении деятельности органов и организаций Роспотребнадзора и нагрузку на его территориальные подразделения; достаточность проводи-

мых надзорных действий в рамках отдельного мероприятия и осуществления контрольно-надзорной деятельности в целом; достижение индикаторных и целевых показателей деятельности органов и организаций Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации и стране в целом.

Необходимо осуществлять информационную поддержку профилактической работы, в том числе аудит, самооценку, самодекларирование проверяемого лица. Цифровая платформа Роспотребнадзора должна обеспечивать открытый для хозяйствующего субъекта анализ истории выявленных нарушений, случаев причинения вреда в результате этих нарушений и мер административного воздействия на объектах-аналогах. Дистанционный аудит и самопроверка достигаются созданием ресурса типа «интерактивный онлайн-инспектор». Ресурс обеспечивает постоянный доступ хозяйствующих субъектов к стандартным проверочным листам и автоматизированный анализ и оценку достаточности и корректности их заполнения. При этом автоматически выдаётся перечень недостатков и рекомендации (где возможно) по их устранению, инструкции, шаблоны и образцы документов.

Процессы цифровизации, позволяющие использовать большие многомерные массивы данных в сочетании с современными методами их наукоёмкой обработки, обеспечивают максимально оперативное и корректное решение актуальных гигиенических задач, повышают точность прогноза и расширяют возможности профилактической деятельности органов, ответственных за гигиеническую безопасность и здоровье населения страны.

Перспективными направлениями развития цифровизации в гигиене являются:

- трансформация текущих и перспективных функциональных и аналитических задач в формальные алгоритмы и цифровые модели;
- организация оперативного доступа к внешним информационным ресурсам для выполнения научных и прикладных работ на основе междисциплинарного подхода;
- разработка цифровых алгоритмов обработки больших данных санитарно-эпидемиологического характера с применением современных наукоёмких методов, таких как нейронные сети, искусственный интеллект, нечёткая логика и др.;
- внедрение дистанционных методов контроля и мониторинга деятельности хозяйствующих субъектов и качества объектов среды обитания, в том числе с использованием системы межведомственного электронного взаимодействия;
- интеграция в систему анализа и прогноза санитарно-эпидемиологической ситуации и формирования доказательной базы негативного влияния факторов риска на здоровье населения формализованных результатов специальных углублённых медико-биологических исследований на клеточном и субклеточном уровнях.

Заключение

Процессы цифровизации, обеспечивающие использование больших многомерных массивов данных в сочетании с современными наукоёмкими методами их обработки, обеспечивают максимально оперативное и корректное решение актуальных гигиенических задач, повышают точность прогноза и расширяют возможности профилактической деятельности для обеспечения гигиенической безопасности населения страны.

Литература

(п.п. 2–13, 16, 17, 26–28 см. References)

1. Левин А.И., Шошина В.И. Тенденции развития государственного управления в условиях цифровизации экономики. *Государство и общество: вчера, сегодня, завтра*. 2019; (2): 5–10. <https://elibrary.ru/spwbid>
14. Пяташина М.А., Юзлибаева Л.Р. Применение современных информационных технологий при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия массовых мероприятий с международным участием. *Казанский медицинский журнал*. 2015; 96(2): 241–8. <https://doi.org/10.17750/КМЖ2015-241> <https://elibrary.ru/tmhtgv>
15. Зайцева Н.В. Гигиена в решении актуальных проблем развития потенциала здоровья и продолжительности жизни населения Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1138–44. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1138-1144> <https://elibrary.ru/ctxokc>

18. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М. и др. Математическая модель эволюции функциональных нарушений в организме человека с учетом внешнесредовых факторов. *Математическая биология и биоинформатика*. 2012; 7(2): 589–610. <https://elibrary.ru/pnbukz>
19. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Бабина С.В., Клейн С.В., Андришунас А.М. Параметризация зависимостей между факторами риска и здоровьем населения при хроническом воздействии многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха. *Анализ риска здоровью*. 2022; (4): 33–44. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.4.03> <https://elibrary.ru/vylzsk>
20. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Устинова О.Ю. Методические подходы к оценке и прогнозированию индивидуального риска здоровью при воздействии комплекса разнородных факторов для задач персонализированной профилактики. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(1): 34–43. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43> <https://elibrary.ru/ywrnft>
21. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Май И.В., Алексеев В.Б., Трусов П.В., Хрущева Е.В., Савочкина А.А. Комплексная оценка эффективности митигации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраняющих мероприятий. *Анализ риска здоровью*. 2020; (1): 25–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03> <https://elibrary.ru/cueyua>
22. Фаминская М.В., Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Стальная М.В. OLAP-система для моделирования риска здоровью населения от загрязнения воздуха. *Программные продукты и системы*. 2014; (4): 234–41. <https://elibrary.ru/tpowrh>
23. Попова А.Ю., Кузькин Б.П., Демина Ю.В., Дубянский В.М., Куличенко А.Н., Малещкая О.В. и др. Использование современных информационных технологий в практике санитарно-эпидемиологического надзора в период проведения XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр в г. Сочи. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2015; 92(2): 113–8. <https://elibrary.ru/vobeil>
24. Цинкер М.Ю., Кучуков А.И. Исследование течения воздуха в нижних дыхательных путях индивидуальной формы, полученной на основе снимков компьютерной томографии. *Математическое моделирование в естественных науках*. 2022; 1: 311–4. <https://elibrary.ru/zytcto>
25. Камалтдинов М.Р., Кучуков А.Г. Применение математической модели системного кровообращения для определения параметров кровотока после операции шунтирования у новорожденных. *Российский журнал биомеханики*. 2021; 25(3): 313–30. <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2021.3.07> <https://elibrary.ru/bsgygp>
29. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Зайцева Н.В., Май И.В. Приоритеты научной поддержки деятельности санитарно-эпидемиологической службы в области гигиены: поиск ответов на известные угрозы и новые вызовы. *Анализ риска здоровью*. 2021; (1): 4–14. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.01> <https://elibrary.ru/envzjr>
30. Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Малых О.Л., Ярушин С.В. Социально-гигиенический мониторинг – интегрированная система оценки и управления риском для здоровья населения на региональном уровне. *Санитарный врач*. 2014; (1): 29–31. <https://elibrary.ru/scowet>
31. Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Геоинформационная веб-система и приборно-измерительное обеспечение оперативной оценки загрязнения атмосферы. *Автоматрия*. 2018; 54(3): 39–46. <https://doi.org/10.15372/AUT20180305> <https://elibrary.ru/xrptqb>
32. Поликарпов А.В., Голубев Н.А., Левахина Ю.С., Махов В.А. Геоинформационная система как элемент территориального планирования в здравоохранении. *Вестник Росздравнадзора*. 2022; (6): 68–74. <https://elibrary.ru/drbbve>
33. Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Скворцова Н.С., Кислицын В.А., Мишина А.Л. Проблемы гармонизации нормативов атмосферных загрязнений и пути их решения. *Гигиена и санитария*. 2012; 91(5): 75–8. <https://elibrary.ru/puhixv>
34. Шур П.З., Зайцева Н.В., Хасанова А.А., Четверкина К.В., Костарев В.Г. Совершенствование количественных критериев оценки неканцерогенного риска для здоровья при хроническом ингаляционном поступлении химического вещества. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1412–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1412-1418> <https://elibrary.ru/bdelqn>
35. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М., Бабина С.В., Кучуков А.И. Каскадная модель для оценки и прогнозирования предотвращенных потерь здоровью в результате контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2023; 31(12): 27–36. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-27-36>
36. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Колесник П.А. Дистанционный контроль соблюдения требований санитарного законодательства: цели, задачи, перспективы внедрения. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1024–34. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1024-1034> <https://elibrary.ru/eezdzz>

References

1. Levin A.I., Shoshina V.I. Trends of development of public administration in the conditions of digitization of economy. *Gosudarstvo i obshchestvo: vchera, segodnya, zavtra*. 2019; (2): 5–10. <https://elibrary.ru/spwbid> (in Russian)
2. Eom S.J., Lee J. Digital government transformation in turbulent times: Responses, challenges, and future direction. *Gov. Inf. Q.* 2022; 39(2): 101690. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101690>
3. Lindquist E., Huse I. Accountability and monitoring government in the digital era: Promise, realism and research for digital era governance. *Can. Public Adm.* 2017; 60(4): 627–56. <https://doi.org/10.1111/capa.12243>
4. Zhu J.J., Yang M., Ren Z.J. Machine Learning in Environmental Research: Common Pitfalls and Best Practices. *Environ. Sci. Technol.* 2023; 57(46): 17671–89. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00026>
5. Carriger J.F., Barron M.G., Newman M.C. Bayesian networks improve causal environmental assessments for evidence-based policy. *Environ. Sci. Technol.* 2016; 50(24): 13195–205. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03220>
6. Borba J.V.B., Alves V.M., Braga R.C., Korn D.R., Overdahl K., Silva A.C., et al. STopTox: An in silico alternative to animal testing for acute systemic and topical toxicity. *Environ. Health Perspect.* 2022; 130(2): 27012. <https://doi.org/10.1289/EHP9341>
7. Brown K.A., Brittan S., Maccaferri N., Jariwala D., Celano U. Machine learning in nanoscience: big data at small scales. *Nano Lett.* 2020; 20(1): 2–10. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b04090>
8. Fan Z., Yan Z., Wen S. Deep learning and artificial intelligence in sustainability: A review of SDGs, renewable energy, and environmental health. *Sustainability*. 2023; 15(18): 13493. <https://doi.org/10.3390/su151813493>
9. Shahid N., Rappon T., Berta W. Applications of artificial neural networks in health care organizational decision-making: A scoping review. *PLoS One*. 2019; 14(2): e0212356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212356>
10. Schlessinger L., Eddy D.M. Archimedes: a new model for simulating health care systems – the mathematical formulation. *J. Biomed. Inform.* 2002; 35(1): 37–50. [https://doi.org/10.1016/s1532-0464\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/s1532-0464(02)00006-0)
11. Lee S.H., Sung J.H. Organ-on-a-chip technology for reproducing multiorgan physiology. *Adv. Healthc. Mater.* 2018; 7(2). <https://doi.org/10.1002/adhm.201700419>
12. Zhao X., Liu Y., Ding J., Ren X., Bai F., Zhang M. Hemodynamic effects of the anastomoses in the modified Blalock-Taussig shunt: a numerical study using a 0D/3D coupling method. *Mech. Med. Biol.* 2015; 15: 1550017. <https://doi.org/10.1142/S0219519415500177>
13. Demirel H.O., Ahmed S., Duffy V.G. Digital human modeling: a review and reappraisal of origins, present, and expected future methods for representing humans computationally. *Int. J. Hum. Comput. Int.* 2022; 38(10): 897–937. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1976507>
14. Patyashina M.A., Yuzlibaeva L.R. Using modern information technologies for sanitary and epidemiologic well-being maintenance during mass events with international participation. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*. 2015; 96(2): 241–8. <https://doi.org/10.17750/KMJ2015-241> <https://elibrary.ru/tmhtgv> (in Russian)
15. Zaitseva N.V. Hygiene in resolving actual problems of developing the health potential and life expectancy of the population in the Russian Federation. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1138–44. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1138-1144> <https://elibrary.ru/ctxokc> (in Russian)
16. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R. Predicting growth potential in life expectancy at birth of the population in the Russian Federation based on scenario changes in socio-hygienic determinants using an artificial neural network. *Health Risk Analysis*. 2022; (2): 4–16. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.2.01> <https://elibrary.ru/wwenix>
17. Kokoulin A.N., May I.V., Zagorodnov S.Yu., Yuzhakov A.A. On new methods for measuring and identifying dust microparticles in ambient air. *Health Risk Analysis*. 2023; (1): 36–45. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.04> <https://elibrary.ru/ufkqeo>
18. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Chigvinsev V.M., et al. A mathematical model for evolution of human functional disorders influenced by environment factors. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*. 2012; 7(2): 589–610. <https://elibrary.ru/pnbukz> (in Russian)
19. Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Babina S.V., Kleyn S.V., Andrishunas A.M. Parameterization of relationships between risk factors and public health under chronic exposure to complex ambient air pollution. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (4): 33–44. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.4.03> <https://elibrary.ru/dwetml>
20. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Ustinova O.Yu. Methodological approaches to evaluation and prediction of individual risk to health under the exposure to a complex of different factors for tasks of personalized prophylaxis. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(1): 34–43. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43> <https://elibrary.ru/ywrnft> (in Russian)
21. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., May I.V., Alekseev V.B., Trusov P.V., Khrushcheva E.V., Savochkina A.A. Efficiency of health risk mitigation: complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. *Health Risk Analysis*. 2020; (1): 25–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03> <https://elibrary.ru/vamexc>
22. Faminskaya M.V., Balter B.M., Balter D.B., Stalnaya M.V. OLAP-system for modeling the risk to population health from air pollution. *Programmnye produkty i sistemy*. 2014; (4): 234–41. <https://elibrary.ru/tpowrh> (in Russian)

Original article

23. Popova A.Yu., Kuz'kin B.P., Demina Yu.V., Dubynskii V.M., Kulichenko A.N., Maletskaya O.V., et al. Using modern information technology in the practice of the sanitary-epidemiological surveillance during the XXII Olympic winter games and XI paralympic winter games in Sochi. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 2015; 92(2): 113–8. <https://elibrary.ru/vobeil> (in Russian)
24. Tsinker M.Yu., Kuchukov A.I. Study of air flow in the lower respiratory tract of an individual shape obtained on the basis of computed tomography images. *Matematicheskoe modelirovanie v estestvennykh naukakh*. 2022; 1: 311–4. <https://elibrary.ru/zyttero> (in Russian)
25. 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. *Rossiiskii zhurnal biomekhaniki*. 2021; 25(3): 269–84. <https://doi.org/10.15593/RJBiomech/2021.3.07> <https://elibrary.ru/nsvtjz>
26. Trusov P.V., Zaitseva N.V., Tsinker M.Yu., Nekrasova A.V. Mathematical model of airflow and solid particles transport in the human nasal cavity. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2023; 18(S): 1–16. <https://doi.org/10.17537/2023.18.t1> <https://elibrary.ru/gzpswh>
27. Kamaltdinov M.R., Zaitseva N.V., Shur P.Z. Numerical modeling of acidity distribution in antroduodenum aimed at identifying anomalous zones at consuming drinks with different pH level. *Health Risk Analysis*. 2017; (1): 38–46. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.1.05>.eng
28. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V., Bulatova N.I., Stepankov M.S. Markers of combined aerogenic exposure to metal oxides and transformed plasma proteomic profiles in children. *Health Risk Analysis*. 2023; (10): 137–46. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.13>.eng
29. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Zaitseva N.V., May I.V. Priorities in scientific support provided for hygienic activities accomplished by a sanitary and epidemiologic service: how to face known threats and new challenges. *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (1): 4–14. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.01>.eng <https://elibrary.ru/xmvyjb>
30. Gurvich V.B., Kuz'min S.V., Malykh O.L., Yarushin S.V. Public health monitoring – integrated assessment and management of risk for health at the regional level. *Sanitarnyi vrach*. 2014; (1): 29–31. <https://elibrary.ru/scowet> (in Russian)
31. Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. Web geographic information system and the hardware and software ensuring rapid assessment of air pollution. *Avtometriya*. 2018; 54(3): 39–46. <https://doi.org/10.3103/S8756699018030056> <https://elibrary.ru/ycbxad> (in Russian)
32. Polikarpov A.V., Golubev N.A., Levakhina Yu.S., Makhov V.A. Geoinformation system as an element of territorial planning in health care. *Vestnik Roszdravnadzora*. 2022; (6): 68–74. <https://elibrary.ru/drbbve> (in Russian)
33. Avaliani S.L., Novikov S.M., Shashina T.A., Skvortsova N.S., Kislitsin V.A., Mishina A.L. Problems and ways of solutions to harmonize standards for air pollution. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2012; 91(5): 75–8. <https://elibrary.ru/puhixv> (in Russian)
34. Shur P.Z., Zaitseva N.V., Khasanova A.A., Chetverkina K.V., Kostarev V.G. Improvement of quantitative indicators for assessing non-carcinogenic health risks under chronic inhalation exposure to a chemical. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1412–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1412-1418> <https://elibrary.ru/bdelqn> (in Russian)
35. Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Chigvintsev V.M., Babina S.V., Kuchukov A.I. Cascade Model for Assessing and Predicting Health Losses Prevented through Control and Supervisory Activities of Rosпотребнадзор. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2023; 31(12): 27–36. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-27-36> (in Russian)
36. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Kolesnik P.A. Distant control of sanitary legislation compliance: goals, objectives, prospects for implementation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1024–34. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1024-1034> <https://elibrary.ru/eezdxdz> (in Russian)

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, зам. директора по научной работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь, Россия. E-mail: may@fcrisk.ru

Алексеев Вадим Борисович, доктор мед. наук, директор ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора; 614045, Пермь, Россия. E-mail: root@fcrisk.ru

Кирьянов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, руководитель отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь, Россия. E-mail: kda@fcrisk.ru

Information about the author

Nina V. Zaitseva, MD, PhD, DSci., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Irina V. May, MD, PhD, DSci., Professor, Deputy Director for Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016> E-mail: may@fcrisk.ru

Vadim B. Alekseev, MD, PhD, DSci., Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232> E-mail: root@fcrisk.ru

Dmitry A. Kiryanov, MD, PhD, head of the Department of mathematical modelling of systems and processes of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961> E-mail: kda@fcrisk.ru