

- sikologov Rossii: Sbornik trudov*. Moscow; 2013: 33–5. (in Russian)
- Onishchenko G.G. Actual problems of hygiene science and practice in the preservation of public health. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(3): 5–9. (in Russian)
 - Onishchenko G.G. Health risk assessment and management as an effective tool to solve issues to ensure the health and epidemiological well-being of the Russian Federation population. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (1): 4–14. (in Russian)
 - Gorshkova K.G., Bubnova O.A., Maerova E.D., Dolgikh O.V. Immunological and genetic markers of the environmental exposure by strontium. *Sanitarnyy vrach*. 2014; (3): 72–4. (in Russian)
 - Zaytseva N.V., Dolgikh O.V., Krivtsov A.V., Starkova K.G., Luchnikova V.A., Bubnova O.A. et al. Polymorphism's assessment of children's candidate genes associated with low-level long-term exposure to strontium in drinking water. *Analiz riska zdorov'yu*. 2015; (4): 21–7. (in Russian)
 - Dolgikh O.V., Starkova K.G., Krivtsov A.V., Bubnova O.A. Variability of immunoregulatory and genetic markers under the combined influence of environment factors. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(1): 45–8. (in Russian)
 - Dolgikh O.V., Zaytseva N.V., Dianova D.G. Analysis of the apoptotic activity of lymphocytes of women of childbearing age in the conditions of exposure to reprotoxins. *Rossiyskiy immunologicheskiy zhurnal*. 2015; 9(1): 58–9. (in Russian)
 - Ob'edkov V.G., Sidorenko V.N., Gelda A.P., Levdanskiy O.D., Goloenko I.M. The dependence of the severity of outcomes in schizophrenia from genetic polymorphism of the glutathione system in the dyad mother-foetus in families with different character genetic history of the disease. *Meditsinskiy zhurnal*. 2015; (4): 87–91. (in Russian)
 - Dolgikh O., Zaitseva N., Dianova D., Krivtsov A. Molecular markers of apoptosis in industrial workers. *In Vivo*. 2011; 25(3): 523–4.
 - Montalvão-de-Azevedo R., Vasconcelos G.M., Vargas F.R., Thuler L.C., Pombo-de-Oliveira M.S., de Camargo B. et al. RFC-1 80G>A polymorphism in case-mother/control-mother dyads is associated with risk of nephroblastoma and neuroblastoma. *Genet. Test. Mol. Biomarkers*. 2015; 19(2): 75–81.
 - Kutsenko S.A. *Basics of Toxicology [Osnovy toksikologii]*. St. Petersburg: Voenno-meditsinskaya akademiya im. S.M. Kirova; 2002. (in Russian)
 - Rakhmanin Yu.A., Novikov S.M., Ivanov S.I. Modern scientific problems of improving of the methodology of risk to public health assessment. *Gigiena i sanitariya*. 2005; 84(2): 3–8. (in Russian)
 - Revazova Yu.A., Khripach L.V., Sidorova I.E., Yurchenko V.V., Zykova I.E. A complex approach to evaluation of human genome instability. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2006; (4): 36–41. (in Russian)
 - Descotes J., Nicolas B., Vial T. Assessment of immunotoxic effects in humans. *Clin. Chem*. 1995; 41(12 Pt. 2): 1870–3.
 - Descotes J., Vial T. Immunotoxic effects of xenobiotics in humans: A review of current evidence. *Toxicol. in Vitro*. 1994; 8(5): 963–6.
 - Mulder G.J. Metabolic Activation of Industrial Chemicals and Implications for Toxicity. In: Thomas H., Hess R., Waechter F., eds. *Toxicology of industrial compounds*. London: Taylor & Francis Ltd; 1995: 37–44.

Поступила 19.09.16

Принята к печати 07.11.16

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 614.7:546.3:628.5

Клейн С.В.^{1,2}, Вековщина С.А.¹, Балашов С.Ю.¹, Камалтдинов М.Р.¹, Атискова Н.Г.^{1,2}, Недошитова А.В.¹, Ханхареев С.С.³, Мадеева Е.В.³

АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ УРОВНЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ЭКСПОЗИЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИХ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКОЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ КРУПНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь;

²ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, Пермь;

³Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Бурятия, 670013, Улан-Удэ

В статье рассмотрены и апробированы методические подходы к практической реализации одного из основных этапов формирования доказательной базы вреда здоровью, обусловленного негативным воздействием факторов среды обитания – установление причинной зависимости (доказанной связи) содержания химических веществ в биосредах экспонированного населения от персонафицированной дозовой нагрузки. Исследование выполнено для населения (224 человека), проживающего в зоне влияния отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Республика Бурятия). Выполнены картографическая привязка мест проживания населения, аппроксимация данных натурных исследований факторов среды обитания по 7 тяжелым металлам, рассчитана суммарная персонафицированная дозовая нагрузка, обусловленная воздействием свинца, кадмия, никеля, хрома, цинка, меди, марганца – компонентов отходов металлургического комбината. Показано, что неудовлетворительное качество среды обитания приводит к контаминации биосред (крови) химическими веществами. Получено более 90 достоверных биологически обоснованных математических моделей в системе «экспозиция – маркер экспозиции». На примере кадмия установлена суммарная доза 0,0003 мг/(кг·сут) для детского населения, превышение которой значимо увеличивает шансы превышения концентрации вещества в крови над контрольным уровнем и приводит к формированию устойчивой причинно-следственной связи маркеров экспозиции с многосредовой нагрузкой.

Ключевые слова: доказательная база; среда обитания; тяжелые металлы; геоинформационная система; население под воздействием; комплексное комбинированное воздействие; доза химических веществ; маркер экспозиции; моделирование зависимостей.

Для цитирования: Клейн С.В., Вековщина С.А., Балашов С.Ю., Камалтдинов М.Р., Атискова Н.Г., Недошитова А.В., Ханхареев С.С., Мадеева Е.В. Анализ причинно-следственных связей уровней биологических маркеров экспозиции тяжелых металлов с их персонафицированной дозовой нагрузкой в зоне влияния отходов крупного металлургического комбината. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(1): 29–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-1-29-35>

Для корреспонденции: Клейн Светлана Владиславовна, канд. мед. наук, зав. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: kleyun@ferisk.ru

Kleyn S.V.^{1,2}, Vekovshina S.A.¹, Balashov S.Ju.¹, Kamaltdinov M.R.¹, Atiskova N.G.^{1,2}, Nedoshitova A.V.¹, Khankhareev S.S.³, Madeeva E.V.³

ANALYSIS OF CAUSE-EFFECT RELATIONS OF THE LEVELS OF BIOLOGICAL MARKERS OF EXPOSURE TO HEAVY METALS WITH THEIR PERSONALIZED LOADING DOSE IN THE AREAS OF WASTES' INFLUENCE INDUCED BY THE OPERATION OF THE METALLURGICAL PLANT IN THE PAST

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

²Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation;

³Center for Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare for the Republic of Buryatia, Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

The article analyses and demonstrates methodical approaches to the practical implementation of the one of key stages in the formation of the evidential base of hazard to health caused by the negative impact of environmental factors. The stage comprises the establishment of the causal dependence (proven relation) of the chemicals' content in biological media of exposed population on the personalized loading dose. The experiment included the local population (224 cases) living in the area of the exposure of the Dzhidinsky tungsten-molybdenum combine waste (Republic of Buryatia). The cartographic association of the residential areas of the population has been made as well as the approximation of the field study data of environmental factors due to 7 heavy metals has been performed. The total personalized loading dose caused by exposure to lead, cadmium, nickel, chromium, zinc, copper, manganese (the wastes of the metallurgical plant) was calculated. It is evident that the poor quality of the environment leads to the contamination of biological media (blood) by chemicals. More than 90 significant biologically-based mathematical models of the system "exposure - exposure marker" have been received. On the example of cadmium there was established the total dose of 0.0003 mg/(kg*d) for the child population, the excess of which significantly increases chances of both exceeding the concentration of a substance in blood over the control level and leading to the formation of a stable causal relationship with exposure markers of the multimedia load

Key words: evidential base; living environment; heavy metals; geo-informational system; population under exposure; complex combined exposure; chemicals' dose; exposure marker; dependencies simulation

For citation: Kleyn S.V., Vekovshina S.A., Balashov S.Ju., Kamaltdinov M.R., Atiskova N.G., Nedoshitova A.V., Khankhareev S.S., Madeeva E.V. Analysis of cause-effect relations of the levels of biological markers of exposure to heavy metals with their personalized loading dose in the areas of wastes' influence induced by the operation of the metallurgical plant in the past. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(1): 29-35. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-1-29-35>

For correspondence: Svetlana V. Kleyn, MD, PhD, Head of The Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation; Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation. E-mail: kleyn@ferisk.ru

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 19.09.2016

Accepted: 07.11.2016

Введение

Доказательство вреда здоровью населения негативным воздействием факторов среды обитания является сложным многоэтапным процессом. Проблема формирования доказательной базы вреда здоровью объясняется сложностью установления самого факта причинения вреда здоровью вследствие нарушения качества (параметров безопасности) факторов среды обитания и неспецифичностью и многофакторностью ответов организма человека (функциональных отклонений, заболеваний и пр.) [1–11]. В то же время, согласно данным отечественных и зарубежных исследований, в вопросах изучения причинно-следственных связей воздействия вредных факторов среды обитания на состояние здоровья человека (населения) корректно выстроенное исследование дает возможность доказать причинную связь факторов среды обитания с нарушением здоровья человека [9].

Оценка и доказательство вреда здоровью является актуальной задачей в рамках деятельности органов и организаций Роспотребнадзора. Принципы доказательной медицины должны применяться при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз, расследований, обследований, исследований, испытаний и иных видов оценок (ст. 42 ФЗ № 52-ФЗ). Этого же требуют материалы судебных разбирательств, поскольку проводятся в целях установления и предотвращения вредного воздействия факторов среды обитания на человека.

При эпидемиологических исследованиях, как правило, рассматривается экспозиция, которая характерна для исследуемой группы в целом [12, 13]. Однако даже компактная территория зачастую характеризуется спецификой отдельных ее участков [14, 15]. Очевидно, что чем более корректно определена экспозиция каждого человека, подверженного воздействию, тем точнее и надежнее выводы об уровнях риска для здоровья и данные по исследуемой группе в целом. Кроме того, дифференцирован-

ные значения экспозиции и ответов существенно повышают качество получаемых математических зависимостей в системе «доза–эффект».

В современных эпидемиологических исследованиях существует ряд подходов к измерению персональной экспозиции – это и использование персональных датчиков (как выполнено в исследованиях С.В. Кузьмина и соавт. [16]), и выполнение расчетов через учет параметров отдельных микросред и сценариев поведения исследуемых лиц, как рекомендовано в статье Н. Ozkaunak [17]. При любых подходах оценка персонализированной дозовой нагрузки, обусловленной воздействием химических факторов среды обитания, и установление причинной зависимости (доказанной связи) содержания химических веществ в биосредах экспонированного населения от персонализированной дозовой нагрузки является одним из основных этапов всего алгоритма формирования доказательной базы как на индивидуальном, так и на популяционном и/или групповом уровнях [18].

Целью исследования являлась разработка и апробация методических подходов оценки персонализированной экспозиции населения в условиях комплексного комбинированного воздействия тяжелых металлов и анализ причинно-следственной связи этой экспозиции с уровнями контаминации биологических сред организма.

Объектами исследования являлись территория и население г. Закаменск (Республика Бурятия). Город в течение многих лет находился в условиях загрязнения среды обитания тяжелыми металлами – наиболее опасными компонентами жидких и твердых отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината.

Материал и методы

Настоящее исследование включало в себя три основных последовательных этапа:

– расчет персонифицированной дозовой нагрузки лиц, включенных в исследование;

– определение химических веществ (маркеров экспозиции) в биосреде (крови) указанных групп лиц;

– установление зависимости (доказанной связи) уровня содержания химических веществ в биосредах (маркеров экспозиции) от персонифицированной дозовой нагрузки, формируемой воздействием химических факторов среды обитания.

Группа исследования включала 156 детей в возрасте 5–7 лет и 128 взрослых в возрасте 17–80 лет. При этом 125 детей (64 девочки и 61 мальчик) и 99 взрослых (25 мужчин и 74 женщины) постоянно проживали на территории г. Закаменск в зоне влияния отходов комбината. 31 ребенок (14 девочек и 17 мальчиков) и 29 взрослых (24 женщины и 5 мужчин) проживали в с. Михайловка – на территории, сопоставимой с Закаменском по национальному составу и социально-экономическим характеристикам жизни населения, но расположенной вне зоны влияния Джидинского комбината.

Для адресной привязки точек проживания исследуемых лиц была использована векторная карта территории. В среде ArcGIS 9.3 был создан точечный слой адресного реестра зданий и сооружений поселений (всего было идентифицировано и нанесено на векторную карту 1953 точечных объекта, включающих 68 улиц). Для осуществления связи между непространственными данными адресов проживания населения и пространственными данными адресного реестра векторной карты – геокодирования, – использован локатор адресов. Таким образом, у каждого обследованного жителя в атрибутивных данных, кроме адреса, пола и возраста, добавились координаты X и Y в городской системе координат.

Экспозицию населения оценивали по данным шестилетних натуральных наблюдений (2010–2015 гг.) с применением пространственного анализа на базе ГИС-технологий. Использовали данные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Бурятия» (аттестат аккредитации № RA.RU.516360 от 25.08.2015 г.); ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511445 от 03.04.2013 г.); ФГБУН «Институт физического материалообразования Сибирского отделения Российской академии наук» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.5122069 от 20.12.2013 г.). Пять точек отбора проб атмосферного воздуха отражали уровни содержания 7 основных загрязнителей (свинца, кадмия, хрома, меди, никеля, марганца, цинка) в разных зонах г. Закаменск и с. Михайловка. Более 25 точек отбора проб питьевых вод отражали качество воды централизованного водоснабжения, нецентрализованных скважин, общественных и частных колодцев, которые являлись источниками питьевого водоснабжения населения. Более 90 точек отбора проб почвы характеризовали гигиенические параметры почвенного слоя г. Закаменск и с. Михайловка. Качество продуктов принимали единым для всей территории г. Закаменск (4 точки отбора проб) и с. Михайловка (3 точки отбора проб), были рассчитаны пространственно усредненные значения 95% персентили содержания (концентрации) исследуемых тяжелых металлов в плодоовощной продукции, мясе и молоке для каждой территории. Персональные различия учитывали через объемы потребления местной продукции по данным анкет.

В рассмотрение принимали результаты 482 проб атмосферного воздуха, 347 проб питьевой воды, 555 проб почвы и 240 проб пищевой продукции местного производства (плодоовощная продукция, мясо и молоко) в Закаменске, а также 14, 168, 28 и 35 проб соответственно в с. Михайловка.

По результатам инструментальных замеров параметров факторов среды обитания (атмосферный воздух, питьевая вода, почва) по 7 тяжелым металлам для г. Закаменска была выполнена процедура аппроксимации 95% персентили значений концентрации с применением метода триангуляции Делоне [19, 20]. В результате в точках проживания обследуемого населения г. Закаменск (99 взрослых и 125 детей) получены персонифицированные концентрации исследуемых веществ в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве. В отношении пищевых продуктов местного производства, в связи с невозможностью точного учета места производства (выращивания) продуктов питания, для всего обследуемого населения

г. Закаменск были рассчитаны пространственно усредненные значения 95% персентили содержания (концентрации) исследуемых тяжелых металлов в плодоовощной продукции, мясе и молоке.

Для с. Михайловка (территории сравнения) в связи с отсутствием возможности картографической привязки мест отбора проб на содержание исследуемых химических веществ в факторах среды обитания и мест проживания обследуемого населения были рассчитаны пространственно усредненные значения 95% персентили содержания исследуемых тяжелых металлов в атмосферном воздухе, питьевой воде, почве, продуктах питания.

Результаты анализа факторов среды обитания (для с. Михайловка) и параметры персонифицированной экспозиции (для г. Закаменск) легли в основу расчета персонифицированной дозовой нагрузки.

Дозы рассчитывали в соответствии с Руководством [21], учитывая персонифицированные возрастно-весовые характеристики обследуемого населения и поступление исследуемых тяжелых металлов разными путями из разных сред.

Сценарии экспозиции формировали на основании анкет, заполненных каждым участником исследования или его родителем. Это позволило оценить характер питания обследованных лиц, учесть длительность проживания на территории, частоту и длительность выездов за пределы города (то есть за границы высокого загрязнения среды обитания) и ряд прочих факторов, которые влияли на уровень персональной экспозиции.

Уровни содержания химических элементов в крови жителей рассматривали как маркеры экспозиции. Кровь в качестве объекта исследования была выбрана в связи с ее высокой информативностью в отношении содержания тяжелых металлов в биосредах организма.

Исследования крови детского и взрослого населения выполнены в 2015 г. испытательным лабораторным центром ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Всего выполнено 1568 элементно-определений в 224 пробах населения г. Закаменск и 490 элементно-определений в 60 пробах населения с. Михайловка.

Отборы проб крови проводили в полном соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации, получив компетентное согласие пациента или его родителя. Количественное определение металлов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой по утвержденному методу, включенному в российский реестр методов измерений [22, 23].

Отношение шансов как показатель силы взаимосвязи уровня маркера экспозиции в крови от наличия/отсутствия воздействующего фактора рассчитывали по стандартной методике с использованием четырехпольной таблицы сопряженности [24]. В качестве критерия повышенного уровня маркера экспозиции в крови использовали его превышение над средним значением в контрольной группе ($> M + m$). Расчет осуществляли для всего населения и отдельно для детского и взрослого населения с градацией по половому признаку.

Доказательство наличия причинно-следственной связи между воздействием химического фактора среды обитания и его содержанием в биосредах обследуемых (кровь) выполняли на основе математического моделирования зависимости «экспозиция – маркер экспозиции». В качестве показателя экспозиции использовали персонифицированную суммарную дозу, рассчитанную для многосредового комплексного воздействия исследуемых химических веществ. В качестве маркера экспозиции использовали персонифицированный уровень содержания химических веществ в крови обследуемых. Моделирование зависимости осуществляли с использованием уравнения линейной регрессии и метода «скользящего окна» [25, 26].

Для определения уровня дозы, превышение которой значительно увеличивает шансы превышения концентрации вещества в крови над контрольным уровнем и приводит к формированию устойчивой причинно-следственной связи маркеров экспозиции с многосредовой нагрузкой, осуществляли моделирование «доза химического вещества из среды обитания – вероятность превышения уровня химического вещества в крови над контрольным значением» с использованием уравнения логистической регрессии (1) [26]:

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

где p – вероятность отклонения содержания химического вещества в крови (маркера воздействия) от контрольного уровня (физиологической нормы, безопасного уровня, параметра контрольной территории) при воздействии химического вещества из объектов среды обитания; x – уровень экспозиции (доза химического вещества из объектов среды обитания); b_0, b_1 – параметры математической модели.

Моделирование выполняли с использованием показателей для всего населения и с градацией по возрасту (дети, взрослые) и полу.

Оценку достоверности параметров и адекватности модели проводили на основе однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера. При построении математических моделей осуществляли определение 95%-ных доверительных границ и области действия получаемых моделей. За область действия модели принимали интервал между минимальным и максимальным экспериментальными значениями.

Таблица 1

Результаты расчета суммарных персонифицированных доз исследуемых химических веществ из объектов среды обитания в точках проживания обследуемого населения г. Закаменск, мг/(кг·день)

Хим. элемент	Закаменск, $M \pm m$	Михайловка, $M \pm m$	Достоверность отличия по средним
<i>Дети</i>			
Свинец	0,00160 ± 0,00009	0,00219 ± 0,00025	0,0001
Кадмий	0,00055 ± 0,00003	0,00036 ± 0,00005	0,0000
Медь	0,01161 ± 0,0009	0,25403 ± 0,0032	0,0000
Цинк	0,1399 ± 0,0099	0,014383 ± 0,0017	0,0000
Никель	0,00153 ± 0,00009	0,00657 ± 0,00076	0,0000
Марганец	0,00619 ± 0,00045	0,0069 ± 0,00079	0,6470
Хром	0,00059 ± 0,000041	0,00096 ± 0,0001	0,0000
<i>Взрослые</i>			
Свинец	0,00155 ± 0,00007	0,00131 ± 0,00011	0,0005
Кадмий	0,00049 ± 0,000014	0,000134 ± 0,000052	0,0000
Медь	0,01039 ± 0,00041	0,19265 ± 0,0029	0,0000
Цинк	0,13581 ± 0,0053	0,01071 ± 0,0016	0,0000
Никель	0,00137 ± 0,00006	0,00528 ± 0,0007	0,0000
Марганец	0,00538 ± 0,00022	0,00478 ± 0,00079	0,0583
Хром	0,00055 ± 0,000022	0,00039 ± 0,00013	0,0000

Результаты и обсуждение

Гигиеническая оценка факторов среды обитания в точках проживания обследуемого населения г. Закаменск показала, что превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха получено только по свинцу до 1,75 ПДКс.с. в 40 точках проживания детей и 26 точках проживания взрослых, в питьевой воде – по свинцу до 1,72 ПДК в 30 точках проживания детей и 27 точках проживания взрослых; в почве – по цинку до 1,8 ПДК (в 24 точках проживания детей и взрослых), свинцу до 3 ПДК (в 98 точках), меди до 1,6 ПДК (в 43 точках); в пищевых продуктах превышений гигиенических нормативов не установлено. Превышение референсных концентраций (RFC) по атмосферному воздуху зарегистрировано в отношении кадмия до 1,3НҚ (в 17 точках проживания детей и взрослых), меди – до 7,5НҚ (в 99 точках), марганца – до 7,7НҚ (в 99 точках), хрома – до 2,8НҚ (в 54 точках).

В с. Михайловка превышений гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха и пищевых продуктов зарегистрировано не было. В питьевых водах присутствовали все исследуемые металлы, превышение ПДК зарегистрировано только по никелю до 1,45 ПДК (в 3 из 24 проб, 12,5%). В почве превышение гигиенических нормативов отмечено по цинку до 1,48 ПДК (в 1 из 4 проб) и марганцу до 2,95 ПДК (в 1 из 4 проб).

Рассчитанные по результатам оценки персонифицированной экспозиции суммарные (из всех сред) персонифицированные дозы исследуемых химических веществ из объектов среды обитания в точках проживания обследуемого населения г. Закаменск и с. Михайловка представлены в табл. 1.

Достоверно более высокие по средним значениям суммарные персонифицированные дозы получены для детского населения г. Закаменск в отношении кадмия и цинка, для взрослого населения – в отношении свинца, кадмия, цинка, хрома ($p \leq 0,05$) (см. табл. 1).

Наибольший вклад в формируемые суммарные персонифицированные дозы для исследуемого населения г. Закаменск вносит поступление анализируемых металлов с пищевыми продуктами, питьевой водой и из атмосферного воздуха (табл. 2).

Сравнение рассчитанных по каждой среде персонифицированных концентраций и доз с референсными уровнями с последующим суммированием полученных коэффициентов опасности (НҚ) показало, что в Закаменске суммарные значения НҚ для исследуемых веществ составили для кадмия от 0,36 до 2,2 (превышение допустимого значения НҚ установлено для 153 человек); меди – от 3,04 до 8,6 (превышение допустимого значения НҚ установлено для всей исследуемой группы); марганца – от 4,05 до 7,81 (превышение допустимого значения НҚ установлено для всей исследуемой группы); никеля – от 0,64 до 1,13 (превышение допустимого значения НҚ установлено для 12 человек); свинца – от 0,31 до 1,77 (для 67 человек установлено превышение допустимого значения НҚ); хрома – от 0,51 до 3,07 (превышение допустимого значения НҚ установлено для 154

Таблица 2

Долевой вклад поступления химических веществ из объектов среды обитания в суммарные персонифицированные дозы исследуемого населения г. Закаменск, %

Среда	Химический элемент						
	свинец	медь	никель	марганец	хром	кадмий	цинк
<i>Дети</i>							
Воздух	11,21 ± 1,4	0,79 ± 0,07	2,13 ± 0,16	4,32 ± 0,34	13,27 ± 1,36	4,32 ± 0,51	0,06 ± 0
Вода	21,04 ± 1,69	2,91 ± 0,45	27,69 ± 1,59	11,27 ± 1,08	26,34 ± 1,22	8,19 ± 0,62	1,83 ± 0,36
Пища	67,75 ± 2,08	96,3 ± 0,47	70,17 ± 1,65	84,42 ± 1,23	60,39 ± 1,83	87,49 ± 0,91	98,11 ± 0,36
Почва	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01
<i>Взрослые</i>							
Воздух	5,61 ± 0,83	0,41 ± 0,03	1,13 ± 0,06	2,43 ± 0,15	7,59 ± 0,86	2,27 ± 0,28	0,03 ± 0
Вода	21,47 ± 1,54	3,25 ± 0,52	29,08 ± 1,61	13,71 ± 1,12	28,07 ± 1,07	8,16 ± 0,59	0,96 ± 0,17
Пища	72,92 ± 1,69	96,34 ± 0,53	69,79 ± 1,63	83,86 ± 1,15	64,35 ± 1,44	89,57 ± 0,71	99,02 ± 0,17
Почва	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01

Среднегрупповое содержание химических элементов в крови жителей г. Закаменск и с. Михайловка

Хим. элемент	г. Закаменск, $M \pm m$, мкг/см ³		с. Михайловка, $M \pm m$, мкг/см ³		p		Референсные концентрации*, мкг/см ³	
	дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые
Кадмий	0,00033 ± 7E-5	0,00066 ± 0,00013	0,00018 ± 0,00012	0,00052 ± 0,00027	0,04	0,37	0–0,005	0–0,005
Марганец	0,010 ± 0,001	0,010 ± 0,001	0,012 ± 0,002	0,013 ± 0,002	0,03	0,10	0,0042–0,0165	0,0042–0,0165
Медь	0,964 ± 0,028	0,996 ± 0,047	0,915 ± 0,059	1,023 ± 0,063	0,13	0,50	6 лет: 0,9–1,9 12 лет: 0,8–1,6	Мужчины: 0,7–1,4 Женщины: 0,8–1,55 > 60 лет м.: 0,85–1,7 > 60 лет ж.: 0,85–1,9
Никель	0,0037 ± 0,00067	0,0045 ± 0,0009	0,0033 ± 0,0013	0,0052 ± 0,0021	0,58	0,54	0,001–0,028	0,001–0,028
Свинец	0,0254 ± 0,0021	0,0256 ± 0,0028	0,032 ± 0,0062	0,0274 ± 0,0063	0,04	0,73		0,0–0,249
Хром	0,0035 ± 0,0004	0,0033 ± 0,0005	0,0032 ± 0,0006	0,0033 ± 0,0007	0,38	0,87	0,0007–0,028	0,0007–0,028
Цинк	4,69 ± 0,13	5,72 ± 0,18	5,1 ± 0,38	5,98 ± 0,45	0,04	0,28	3,5–9,1	3,5–9,1

Примечание. * – (Н.У. Тиц, данные 2013 г., метод ИСП-МС [28]).

человек); цинка – от 0,23 до 1,15 (превышение допустимого значения HQ установлено для 3 человек).

Основной вклад в величину суммарного HQ для кадмия связан с поступлением с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 10,52 до 85,5%) и пищевыми продуктами (вклад в величину HQ от 12,64 до 85,8%); меди – с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 72,27 до 95,99%); марганца – с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 98,1 до 99,71%); никеля – с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 81,29 до 95,7%); свинца – с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 14,96 до 82,96%) и пищевыми продуктами (вклад в величину HQ от 9,94 до 72,75%); хрома – с атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 49,42 до 95,57%); цинка – с пищевыми продуктами (вклад в величину HQ от 54,62 до 90,8%) и атмосферным воздухом (вклад в величину HQ от 8,88 до 44,05%).

Результаты проведенных химико-аналитических исследований у 224 человек г. Закаменск (125 детей и 99 взрослых) и 60 человек с. Михайловка (31 ребенок и 29 взрослых) показали (табл. 3):

- все исследуемые вещества идентифицировали в значимых концентрациях в крови и взрослых и детей на обеих территориях;
- достоверно более высокие уровни содержания токсикантов в крови жителей Закаменска (в сравнении с Михайловкой) установлены только по кадмию для детского населения 0,00033 ± 7E-5 при 0,00018 ± 0,00012 мкг/см³ на территории сравнения;

- отмечена тенденция к более высокому уровню содержания в крови жителей никеля (и у взрослых, и у детей) и хрома (у детей), но разница между Закаменском и Михайловкой не была достоверной;

- в крови детского населения Закаменска регистрировали достоверно более низкие уровни цинка и свинца (см. табл. 3), что может быть обусловлено особенностями обменных процессов тяжелых металлов в организме с учетом их антагонистического действия и природными особенностями почв территории с. Михайловка;

- по другим компонентам разницы между уровнями токсикантов в крови не установлено;

- все среднегрупповые показатели идентифицированных химических веществ находились в диапазонах, которые в ряде исследований отнесены к референсным [28].

Результаты расчета отношения шансов показали, что шансы получить повышенный уровень содержания кадмия в крови у всего населения, в том числе у детей и взрослых, в 1,6–3,8 раза статистически значимо выше в Закаменске, население которого проживает под воздействием отходов прошлой хозяйственной деятельности Джидинского вольфрамомолибденового комбината, чем на контрольной территории (OR 1,6–3,8, значения ДИ > 1, ширина ДИ 2,8–11,03, в частности ДИ для всего населения 1,2–3,9).

Моделирование связей в системе «экспозиция – маркер экспозиции» («доза химического вещества из внешней среды – концентрация химического вещества в крови») показало наличие достоверной прямой зависимости в 93 биологически обоснованных моделях для детского, взрослого и всего населения, в том числе с разбивкой по полу, при изолированном и многосредовом (комплексном) поступлении химических веществ из объектов среды обитания ($R^2 = 0,02–0,94$; $F = 4,2–245,7$; $p < 0,05$) (табл. 4).

Полученные модели и их параметры свидетельствуют, что содержание исследуемых тяжелых металлов в крови в числе прочих факторов обусловлено их поступлением из объектов среды обитания, в частности из атмосферного воздуха и из пищевых продуктов, которые составляют в рационе жителей до 90% рациона питания.

Результаты моделирования в системе «доза химического вещества из среды обитания – вероятность превышения уровня химического вещества в крови над контрольным значением» позволили на примере кадмия установить суммарную дозу 0,0003 мг/(кг•сут) для детского населения при многосредовой экспозиции ($b_0 = -1,979$; $b_1 = 2768,7$; $R^2 = 0,39$; $F = 44,9$; $p = 0,000$), превышение которой значимо увеличивает шансы превышения концентрации кадмия в крови над контрольным уровнем (0,0002 мкг/см³) и приводит к формированию устойчивой причинно-

Таблица 4

Параметры ряда моделей в системе «экспозиция – маркер экспозиции» для детского населения при многосредовом поступлении химических веществ

Хим. элемент из среды обитания	Хим. элемент в крови	Население	Ax	B	n	R^2	F	p
Марганец	Марганец	Дети все	0,1982	0,0093	150	0,04	6,4	0,012
Медь	Медь	Дети все	0,2635	0,9591	133	0,44	103,4	0,000
Никель	Никель	Дети все	0,0990	0,0034	136	0,05	7,0	0,009
Свинец	Свинец	Дети все	3,9851	0,0200	145	0,37	84,3	0,000
Хром	Хром	Дети все	0,8492	0,0029	153	0,14	23,9	0,000
Кадмий	Кадмий	Дети муж.*	0,3533	0,0001	63	0,09	6,4	0,014
Марганец	Марганец	Дети муж.	0,9392	0,0057	61	0,24	18,8	0,000
Медь	Медь	Дети муж.	1,6123	0,9370	60	0,56	77,4	0,000
Никель	Никель	Дети муж.	1,8242	0,0009	60	0,69	130,6	0,000
Свинец	Свинец	Дети муж.	3,3055	0,0251	65	0,12	9,1	0,004
Хром	Хром	Дети муж.	1,5164	0,0024	54	0,32	25,3	0,000
Медь	Медь	Дети жен.*	3,1706	0,9274	65	0,75	198,2	0,000
Свинец	Свинец	Дети жен.*	8,5628	0,0084	63	0,57	84,3	0,000

Примечание.* Дети муж. – детское население мужского пола, дети жен. – детское население женского пола.

следственной связи маркеров экспозиции с многосредовой нагрузкой. Полученный уровень суммарной дозы для детского населения хорошо коррелирует с референсной дозой при хроническом переральном воздействии для всего населения 0,0005 мг/(кг•сут) [21].

Выводы

1. Использование разработанных методических подходов к оценке персонифицированной экспозиции населения в условиях комплексного комбинированного воздействия исследуемых химических веществ и анализ связи этой экспозиции с уровнями контаминации биологических сред организма позволили реализовать один из основных этапов формирования доказательной базы негативного воздействия факторов среды обитания на здоровье экспонированного населения.

2. Полученные достоверные и биологически обоснованные модели в системе «экспозиция – маркер экспозиции» (в том числе модели «экспозиция – вероятность изменения маркера экспозиции») подтвердили обусловленность идентификации тяжелых металлов в крови населения, длительное время проживающего в условиях неблагоприятных факторов среды обитания, воздействием тяжелых металлов, поступающих из объектов этой среды. Кроме того, описанная процедура моделирования позволила на примере одного из исследуемых металлов (кадмия) установить суммарную дозу 0,0003 мг/(кг•сут) для детского населения, превышение которой значимо увеличивает шансы превышения концентрации вещества в крови над контрольным уровнем и приводит к формированию в исследуемой популяции устойчивой причинно-следственной связи маркера экспозиции с многосредовой нагрузкой.

3. Полученные результаты, являясь более корректными в отношении качества оценки персональной экспозиции и дальнейшего анализа моделей «экспозиция – маркер экспозиции», могут быть использованы для реализации последующих этапов алгоритма формирования доказательной базы и будут повышать достоверность и значимость окончательных оценок проводимых исследований в системе «среда–здоровье».

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п. п. 9–11 см. References)

1. Ананьев В.Ю. Факторы риска среды обитания, влияющие на здоровье населения Приморского края. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2011; (4): 13а.
2. Воробьев В.А. К вопросу о понятии и содержании права человека на компенсацию вреда, причиненного жизни и здоровью. *Право и государство: теория и практика*. 2008; (1): 37–9.
3. Зайцева Н.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А. Воздействие факторов окружающей среды на репродуктивное здоровье работающих женщин фертильного возраста *Экология человека*. 2005; (6): 56–9.
4. Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю. Медико-биологические показатели состояния здоровья населения в условиях комплексного природно-техногенного загрязнения среды обитания. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009; 11(1-6): 1144–8.
5. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянный Е.Г., Козлова Н.Ю. Химико-аналитические аспекты исследования комплексного действия факторов окружающей среды на здоровье населения. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(7): 5–10.
6. Клейн С.В., Веквшинина С.А., Криулина Н.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха в зоне воздействия источников выбросов фенола и крезолов. *Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук*. 2012; 14(5-3): 603–6.
7. Май И.В., Клейн С.В., Седусова Э.В. К вопросу о порядке проведения санитарно-эпидемиологического расследования нарушения прав граждан на безопасное питьевое водоснабжение. *Здоровье семьи – 21 век*. 2012; (4): 113–27.
8. Май И.В., Хорошавин В.А., Евдосенко В.С. Алгоритм и методы санитарно-эпидемиологического расследования нарушений прав граждан на благоприятную среду обитания с этапом оценки риска для здоровья. *Здоровье населения и среда обитания*. 2010; (11): 28–30.
9. Батожагарлова Б.Ц., Мизерницкий Ю.Л. Влияние экспозиции к табачному дыму на респираторное здоровье подростков. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина*. 2012; 10(3): 112–21.
10. Талькова Л.В., Сивачалова О.В. Репродуктивное здоровье женщин, занятых в производстве никеля, в современных социально-экономических условиях. *Экология человека*. 2010; (6): 16–23.

11. Землянова М.А., Уланова Т.С., Синецкая О.О., Гилева О.В. Обоснование реперного уровня содержания ванадия в биосредах (кровь) населения. *Анализ риска здоровью*. 2013; (4): 32–40.
12. Зайцева Н.В., Шляпников Д.М., Шур П.З., Алексеев В.Б., Унгурану Т.Н., Бузинов Р.В. Изучение здоровья населения, проживающего в зоне влияния крупного промышленного предприятия, с применением оценки риска и эпидемиологических методов исследования. *Экология человека*. 2013; (12): 33–9.
13. Кузьмин С.В., Кузьмина Е.А., Гурвич В.Б., Воронин С.А., Привалова Л.И., Матюхина Г.В. Использование многосредовой персональной токсической экспозиции для оценки факторов экологического риска у детей (на примере г. Первоуральска). В кн.: *Охрана здоровья населения промышленных регионов: стратегия развития, инновационные подходы и перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Екатеринбург; 2009: 72–5.
14. Ozkaynak H. Модели персональной экспозиции. В кн. Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия № 85. *Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека*. Available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/119675/E67902R.pdf.
15. МУ 2.1.10.3165–14. Порядок применения результатов медико-биологических исследований для доказательства причинения вреда здоровью населения негативным воздействием факторов среды обитания. М.; 2014.
16. Скворцов А.В. *Триангуляция Делоне и ее применение*. Томск: Изд-во Томского университета; 2002.
17. Клейн С.В. Опыт сопряжения расчетных и инструментальных данных при мониторинге атмосферного воздуха. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2011; (4): 26.
18. Май И.В., Клейн С.В., Чигвинцев В.М., Балашов М.Ю. Методические подходы к повышению точности оценки экспозиции населения на основе сопряжения расчетных и натуральных данных о качестве атмосферного воздуха. *Анализ риска здоровью*. 2013; (4): 17–25.
19. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
20. МУК 4.1.3161–14. Методика измерений массовых концентраций свинца, кадмия, мышьяка в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. М.; 2014.
21. МУК 4.1.3230–14. Методика измерений массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. М.; 2014.
22. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*. Пер. с англ. М.: Практика; 1999.
23. Кирьянов Д.А. Моделирование парных зависимостей «экспозиция-ответ» для оценки неканцерогенного риска. В кн.: Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., ред. *Гигиенические и медико-профилактические технологии управления рисками здоровью населения: материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь: Книжный формат; 2011: 420–4.
24. МР 2.1.10.0062–12. Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей. М.; 2012.
25. Ву Алан Г.Б., ред. *Клиническое руководство Тица по лабораторным тестам*. Пер. с англ. М.: Лаборатория; 2013.

References

1. Anan'ev V.Yu. Environmental risk factors that influence population health in the Primorsky Territory. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2011; (4): 13a. (in Russian)
2. Vorob'ev V.A. To a question about concept and content of the right of man for the compensation for the harm, the reason for life and to the health. *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika*. 2008; (1): 37–9. (in Russian)
3. Zaytseva N.V., Alekseev V.B., Kir'yanov D.A. Impact of environmental factors on reproductive health of working women at the fertile age. *Ekologiya cheloveka*. 2005; (6): 56–9. (in Russian)
4. Zaytseva N.V., May I.V., Balashov S.Yu. Medical and biologic parameters of the population health state in conditions of inhabitanсy complex natural-technogenic pollution. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2009; 11(1-6): 1144–8. (in Russian)
5. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Rastyannikov E.G., Kozlova N.Yu. Chemical-analytical aspects of the complex impact of the environmental factors on the population's health. *Gigiya i sanitariya*. 2015; 94(7): 5–10. (in Russian)
6. Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Kriulina N.V. Hygienic air quality assessment in the impact area of sources of phenol and cresol emission. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2012; 14(5-3): 603–6. (in Russian)
7. May I.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V. To the question of the procedure of sanitary and epidemiological investigation of the infringement of citizens' rights for safe drinking water supply. *Zdorov'e sem'i – 21 vek*. 2012; (4): 113–27. (in Russian)
8. May I.V., Khoroshavin V.A., Evdoshenko V.S. Algorithms and methods of sanitary-epidemiological investigation of civil rights violations on a

- favorable habitats with step of health risk assessment. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2010; (11): 28–30. (in Russian)
9. *Identifying the Environmental Cause of Disease: How Should We Decide What to Believe and When to Take Action?* UK, London: Academy of Medical Sciences; 2007.
 10. Shelton D. *Health and Human Rights Working Paper Series No 1. Human Right & Environmental Protection: Linkages in Law & Practice*. Available at: http://www.who.int/hhr/Series_1%20%20Sheltonpaper_rev1.pdf
 11. Rosenberg D. The Causal Connection in Mass Exposure Cases: «A public Law» Vision of the Tort System. *Harv. L. Rev.* 1984; 97: 849–919.
 12. Batozhargalova B.Ts., Mizernitskiy Yu.L. Influence on exposition to tobacco smoke on respiratory health of teenagers. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya, klinicheskaya meditsina*. 2012; 10(3): 112–21. (in Russian)
 13. Talykova L.V., Sivochalova O.V. Reproductive health of the women occupied of nickel-refining industry in modern social and economic conditions. *Ekologiya cheloveka*. 2010; (6): 16–23. (in Russian)
 14. Zemlyanova M.A., Ulanova T.S., Sinityna O.O., Gileva O.V. The substantiation of a benchmark level for vanadium in human biomed (blood). *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (4): 32–40. (in Russian)
 15. Zaytseva N.V., Shlyapnikov D.M., Shur P.Z., Alekseev V.B., Unguryanu T.N., Buzinov R.V. Study of human health under big industrial plant exposure using health risk assessment and epidemiological study methods. *Ekologiya cheloveka*. 2013; (12): 33–9. (in Russian)
 16. Kuz'min S.V., Kuz'mina E.A., Gurvich V.B., Voronin S.A., Privalova L.I., Matjuhina G.V. The use of a multimedia personal toxic exposure for assessment of environmental risk factors in children (the example of Pervouralsk). In: *Health Protection of Population in Industrial Regions: Strategy of Development, Innovative Approaches and Prospects: Materials of all-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation [Okhrana zdorov'ya naseleniya promyshlennykh regionov: strategiya razvitiya, innovatsionnye podkhody i perspektivy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Ekaterinburg; 2009: 72–5. (in Russian)
 17. Ozkaynak H. Personal exposure models. In: WHO Regional Publications, European Series, No. 85. *Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment*. Available at: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf
 18. MU 2.1.10.3165–14. The usage procedure of the results of biomedical research for evidence of harm done to human health by the negative impact of chemical environmental factors. Moscow; 2014. (in Russian)
 19. Skvorcov A.V. *Delaunay Triangulation and its Application [Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye.]*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta; 2002. (in Russian)
 20. Kleyn S.V. Experience in interfacing the calculation and instrumental data during ambient air monitoring. *Zdravookhraneniye Rossiyskoy Federatsii*. 2011; (4): 26. (in Russian)
 21. May I.V., Kleyn S.V., Chigvintsev V.M., Balashov M.Yu. Methodical approaches to increasing the accuracy of exposure assessment based on the conjugation of simulation and monitoring data on ambient air quality. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (4): 17–25. (in Russian)
 22. R 2.1.10.1920–04. Guide to health risk assessment when exposed to chemicals polluting the environment. Moscow; 2004. (in Russian)
 23. MUK 4.1.3161–14. Method of determination of mass concentrations of lead, cadmium, arsenic in the blood by mass spectrometry with inductively coupled plasma. Moscow; 2014. (in Russian)
 24. MUK 4.1.3230–14. Method of determination of mass concentration of chemical elements in biological fluids (blood, urine) by mass-spectrometry with inductively coupled plasma. Moscow; 2014. (in Russian)
 25. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics*. New-York: McGraw-Hill; 1994.
 26. Kir'yanov D.A. Simulation of the paired dependencies «exposure – response» for non-cancer risk assessment. In: Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., eds. *Hygienic and Medical Preventive Technologies of Health Risk Management Population: Materials of the 2nd all-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation [Gigienicheskie i mediko-profilakticheskie tekhnologii upravleniya riskami zdorov'yu naseleniya: materialy 2-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm': Knizhnyy format; 2011: 420–4. (in Russian)
 27. MR 2.1.10.0062–12. Quantitative assessment of non-cancer risk under exposure to chemicals on the basis of constructing evolutionary models. Moscow; 2012. (in Russian)
 28. Alan H.B. Wu, ed. *Tietz Clinical Guide to Laboratory Tests*. London: Elsevier Health Sciences; 2006.

Поступила 19.09.16
Принята к печати 07.11.16

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.164

Май И.В.^{1,2}, Кошурников Д.Н.¹, Галкина О.А.²

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГОРОДСКОГО ШУМА (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕРМИ)

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь;

²ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614028, Пермь

В рамках исследования выполнены акустические расчеты на территории оценки в границах расчетного прямоугольника площадью 5,6 км², содержащего более 1200 линейных источников шума, 2514 узловых точек, 138 расчетных точек. Дополнительно в расчетных точках оценки были выполнены инструментальные измерения уровней шума на исследуемой территории, где проживает более 60 тыс. человек. Расчетные и инструментальные уровни шумовой нагрузки были сопряжены методом аппроксимации. По результатам сопряжения расчетных и инструментальных данных было выделено 4 зоны с разными уровнями потенциального хронического акустического воздействия на население. С использованием математических моделей эволюции риска установлено формирование умеренного, высокого и чрезвычайно высокого риска в отдельных зонах в границах рассматриваемой территории. Показано, что под влиянием шума проживает более 74% населения в условиях недопустимого риска для здоровья. Установлены критические точки качественного изменения уровней риска умеренный – высокий – чрезвычайно высокий, что для наихудшей 4-й зоны составляет 7; 30; 40 лет, соответственно. В рамках исследования предложены меры по снижению уровней шума, эффективность которых достигает 27 дБА.

Ключевые слова: городской шум; шумовая карта; математические модели; риски для здоровья.

Для цитирования: Май И.В., Кошурников Д.Н., Галкина О.А. Пространственно-временной анализ риска для здоровья населения при воздействии городского шума (на примере г. Перми). *Гигиена и санитария*. 2017; 96(1): 35–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-1-35-39>

May I.V.^{1,2}, Koshurnikov D.N.¹, Galkina O.A.²

SPACE-TIME ANALYSIS OF RISK TO PUBLIC HEALTH UNDER THE EXPOSURE TO URBAN NOISE (ON THE EXAMPLE OF PERM)

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

²Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation;

The study included acoustic calculations carried out on the territory of the assessment within the boundaries of the settlement area of the rectangle with the square 5.6 km², containing more than 1200 linear noise sources, 2514 nodal points, 138 calculation points. In addition, in reference evaluation points there were performed instrumental measurements of noise levels in the study area, where more than 60 thousand people live. Calculated and instrumental noise pollution levels were associated