

Гигиена окружающей среды и населённых мест

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Кольдибекова Ю.В.¹, Землянова М.А.^{1,3}, Игнатова А.М.^{1,3}, Тихонова И.В.², Маркович Н.И.¹, Четверкина К.В.¹, Ухабов В.М.⁴

ОЦЕНКА РИСКА НАРУШЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ У ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ГЛИНОЗЁМА

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь;

²Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю, Россия, 660097, Красноярск;

³ФГБОУ ВО «Пермский научно-исследовательский политехнический университет», 514000, Пермь;

⁴ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера», 614000, Пермь

Введение. Наиболее высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха стабильно отмечаются в промышленно-развитых регионах, лидирующими из которых являются регионы с активным производством продукции цветной металлургии.

Материал и методы. Объектами исследования явились пробы атмосферного воздуха территории с размещением предприятия по производству металлургического глинозёма и территории с отсутствием изучаемого производства, базы данных по заболеваемости детского населения, материалы по оценке неканцерогенного риска и численности экспонированного населения, результаты эпидемиологического обследования.

Результаты. Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха по содержанию взвешенных веществ, твёрдых частиц PM_{10} , диоксида азота, диоксида серы и постоянное присутствие соединений марганца, никеля, меди, обусловленное хозяйственной деятельностью объектов производства металлургического глинозёма, формируют неприемлемый риск развития неканцерогенных эффектов в отношении органов дыхания. Значительный вклад в величину индекса опасности формируют взвешенные вещества, частицы PM_{10} , $PM_{2,5}$. Мелкодисперсная фракция характеризуется сложным химическим составом (оксиды железа, алюминия, кремния, никеля, хрома, титана, марганца), что может усугублять негативное действие идентифицированных факторов риска на органы дыхания. Распространённость заболеваний органов дыхания детского населения в зоне экспозиции подтверждает реализацию внешнесредовых рисков в части формирования повышенного уровня общей и первичной заболеваемости. Доказаны зависимости вероятности возникновения заболеваний органов дыхания у детей от содержания в атмосферном воздухе изучаемых веществ, в том числе взвешенных веществ и мелкодисперсных фракций PM_{10} , $PM_{2,5}$, азота оксида, азота диоксида, серы диоксида, соединений марганца, никеля, меди.

Выводы. В селитебной застройке в зоне влияния хозяйственной деятельности объекта по производству металлургического глинозёма у детей формируется хронический аэрогенный риск развития заболеваний органов дыхания, реализация которого выявляется в виде повышенного уровня заболеваемости болезнями органов дыхания, доказано связанного с воздействием взвешенных веществ и мелкодисперсных фракций PM_{10} , $PM_{2,5}$, азота оксида, азота диоксида, серы диоксида, марганца, никеля, меди.

Ключевые слова: атмосферный воздух; взвешенные вещества; взвешенные частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$; производство металлургического глинозёма; детское население; риск здоровью; болезни органов дыхания.

Для цитирования: Кольдибекова Ю.В., Землянова М.А., Игнатова А.М., Тихонова И.В., Маркович Н.И., Четверкина К.В., Ухабов В.М. Оценка риска нарушений состояния здоровья у детей, проживающих в зоне влияния производства металлургического глинозёма. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(2): 135-141. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-135-141>

Для корреспонденции: Землянова Марина Александровна, доктор мед. наук, проф., зав. отд. биохимических и цитогенетических методов диагностики ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». E-mail: zem@fcrisk.ru

Финансирование. Исследование выполнено в рамках бюджетного финансирования в соответствии с государственным заданием. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 03.10.2018

Принята к печати 06.02.2019

Koldibekova Yu.V.¹, Zemlyanova M.A.^{1,3}, Ignatova A.M.^{1,3}, Tikhonova I.V.², Markovich N.I.¹, Chetverkina K.V.¹, Ukhayov V.M.⁴

ASSESSMENT OF THE RISK FOR HEALTH DISORDERS IN CHILDREN WHO LIVE IN A TERRITORY OF THE ZONE OF EXPOSURE TO PRODUCTION OF METALLURGICAL ALUMINUM

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

²Management of Rospotrebnadzor in the Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, 660097, Russian Federation;

³Perm Research Polytechnic University, 514000, Perm, Russian Federation;

⁴E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, 614000, Russian Federation

Introduction. The atmospheric air is known to be the most contaminated on territories where industries are highly developed; non-ferrous metallurgy is one of them that make the greatest contribution into atmospheric air contamination.

Data and methods. Our research objects were air samples taken on territories where there was located an enterprise producing metallurgical aluminum and our reference samples were taken on a territory where there was no such pro-

duction; we also examined databases containing data on morbidity of children population, non-carcinogenic risk assessment, number of exposed population, and the results of epidemiologic examination.

Results. Quality of the atmospheric air was unsatisfactory as there were concentrations of suspended substances, PM_{10} solid particles, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, as well as persistence occurrence of manganese, nickel, and copper compounds resulted from activities of enterprises that produced metallurgical aluminum. All the above-mentioned admixtures cause an unacceptable risk of non-carcinogenic effects emerging in the respiratory organs. A significant contribution into hazard index is made by suspended substances, PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles. Fine-dispersed fraction having a complicated chemical structure (ferric oxides; aluminum, silicon, nickel, chromium, titanium, and manganese oxides), can aggravate negative impacts on the respiratory organs, exerted by the identified risk factors. The prevalence of respiratory organs diseases among children population living on an exposed territory confirms environmental risks to make increased levels of the overall and primary morbidity rate. We proved a probability of respiratory organs diseases to be depended on concentrations of the examined substances in the atmosphere, including suspended substances and fine-dispersed fractions of PM_{10} and $PM_{2.5}$, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, compounds of nickel, manganese, and copper.

Discussion. The detected cause-and-effect relations between a risk of increased morbidity with respiratory organs diseases in children and exposure to chemical risk factors, primarily suspended particles, PM_{10} and $PM_{2.5}$, are also confirmed by results obtained in a number of research that concentrates on peculiarities of effects produced by the examined chemical factors on respiratory organs diseases in children.

Conclusions. Children living on a territory exposed to the exposure exerted by an enterprise that produces metallurgical aluminum have a chronic aerogenic risk for respiratory organs diseases; this risk becomes apparent due to the elevated morbidity rate of respiratory organs diseases. This risk is proved to be related to impacts exerted by suspended substances and fine-dispersed fractions of PM_{10} and $PM_{2.5}$, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, manganese, nickel, and copper.

Key words: atmospheric air; suspended substances; PM_{10} and $PM_{2.5}$ suspended particles; metallurgical aluminum production; children population; health risk; respiratory organs diseases.

For citation: Koldibekova Yu.V., Zemlyanova M.A., Ignatova A.M., Tikhonova I.V., Markovich N.I., Chetverkina K.V., Ukhov V.M. Assessment of the risk for health disorders in children who live in a territory of the zone of exposure to production of metallurgical aluminum. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(2): 135-141. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-135-141>

For correspondence: Marina A. Zemlyanova, MD, Ph.D., DSCI., Professor, Head of Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques Department, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: zem@fcrisk.ru

Information about the author: Koldibekova J.V., <http://orcid.org/0000-0002-3924-4526>; Zemlyanova M.A., <http://orcid.org/0000-0002-8013-9613>; Ignatova A.M., <http://orcid.org/0000-0001-9075-3257>; Tikhonova I.V. <http://orcid.org/0000-0003-4111-8454>; Markovich N.I. <https://orcid.org/0000-0002-5596-4611>; Chetverkina K.V., <http://orcid.org/0000-0002-1548-228X>; Ukhov V.M., <https://orcid.org/0000-0001-6316-7850>

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

Acknowledgements. The study was carried out in the framework of budget financing in accordance with the state task.

Received: 03 October 2018
Accepted: 06 February 2019

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из основных проблем санитарно-эпидемиологического состояния окружающей среды не только в России, но и в мире [1, 2]. Наиболее высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха стабильно отмечаются на промышленно-развитых территориях. К числу лидирующих отраслей по вкладу в уровень загрязнения атмосферного воздуха относятся цветная металлургия¹. По масштабам производства и потребления первое место среди подотраслей цветной металлургии в мировой экономике занимает алюминий. Производство алюминия осуществляется по полному циклу, включающему добычу и переработку алюминий-содержащей руды в глинозём (оксид алюминия), из которого получают чистый алюминий. В России металлургическое производство глинозёма высшей марки (Г-00) составляет более 1 млн тонн в год [3].

В регионах РФ с размещением объектов производства металлургического глинозёма в перечень приоритетных веществ, тропных к органам дыхания и формирующих неу-

довлетворительное качество атмосферного воздуха, входят взвешенные вещества, твёрдые частицы PM_{10} и $PM_{2.5}$, азота диоксид, серы диоксид, марганец, медь, никель и др.² [4]. В соответствии с Руководящими принципами по качеству атмосферного воздуха и на основании данных об уровнях его загрязнения в мире ВОЗ рассматривает взвешенные вещества и взвешенные частицы как приоритетные загрязнители атмосферного воздуха, характерные для всех стран [5].

По оценкам ВОЗ, в 2016 году загрязнение атмосферного воздуха привело к 4,2 млн случаев преждевременной смерти в мире, вызванной воздействием мельчайших твёрдых частиц PM_{10} , $PM_{2.5}$ (диаметром 10 или менее микронов), которые приводят к развитию респираторных и других заболеваний [6, 7]. При возрастании в атмосферном воздухе концентраций частиц размером PM_{10} и менее на каждые 10 мкг/м³ обращаемость или госпитализация населения по поводу заболеваний органов дыхания увеличивается до 3,4% [8, 9]. Многочисленными исследованиями доказано влияние роста концентраций взвешенных частиц PM_{10} на увеличение случаев смертности среди населения [10–12]. Частицы PM_{10} и менее способны про-

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека: официальный сайт. 2018. Available at: http://rosпотребнадzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=10145 (дата обращения: 06.06.2018).

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2016 году: Государственный доклад. Красноярск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 2017: 307.

никать в верхние отделы дыхательных путей и лёгких, осажаясь в них. Частицы $PM_{2,5}$ и менее поступают в нижние отделы лёгких и оседают в альвеолярной области. В лёгких происходит процесс фагоцитоза пылевых частиц клетками лёгочного эпителия, следствием чего может развиваться пролиферативная реакция [13]. Неблагоприятное воздействие взвешенных частиц часто связано с их способностью к нарушению функции эпителиального барьера и воздействию на клетки иммунной системы органов дыхания [14]. Хроническое воздействие твёрдых частиц формирует риск развития респираторных и аллергических заболеваний, рост числа случаев осложнённых форм [11, 15–17].

В целом по Российской Федерации среди детей в возрасте от 0 до 14 лет показатель первичной заболеваемости бронхитом хроническим и неуточнённым, бронхиальной астмой и астматическим статусом составляет от 34,0 до 144,0 случаев на 100 тыс. детей. В динамике за последние три года количество дополнительных случаев астмы, бронхита, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха, выросло в 1,7–2,2 раза³. На промышленно-развитых территориях с размещением металлургических производств, в том числе металлургического глинозёма, у детей болезни органов дыхания встречаются в 1,8–2,0 раза чаще, в том числе аллергический ринит, рецидивирующий ларинготрахеит, рецидивирующий бронхит и бронхиальная астма в 1,5–4,6 раза чаще, чем на территориях с отсутствием данного вида производства⁴.

Учитывая вышеизложенное, гигиеническая оценка факторов риска и первым делом взвешенных веществ, мелкодисперсных частиц и их влияние на формирование повышенной заболеваемости болезнями органов дыхания является чрезвычайно актуальной и требует дальнейших углублённых исследований [18].

Целью исследования является оценка потенциального риска и его реализации в виде повышенной заболеваемости болезнями органов дыхания у детей, проживающих в зоне влияния предприятия по производству металлургического глинозёма.

Материал и методы

Объектами исследования являлись пробы атмосферного воздуха территории с размещением предприятия по производству металлургического глинозёма (территория наблюдения) и для сравнения территория с отсутствием изучаемого производства (территория сравнения), базы данных по заболеваемости детского населения, материалы по оценке риска, численности экспонированного населения, результаты эпидемиологического обследования.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха территории наблюдения и сравнения по содержанию химических веществ, тропных к органам дыхания, проведена по данным Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга (СГМ) за период с 2012 по 2017 г. Оценку данных проводили в соответствии с ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест».

Для анализа параметров и химического состава взвешенных частиц выполнен отбор проб атмосферного воз-

духа воздухозаборным устройством ПА-300М-2 на фильтры АФА-ВП-20-2 (с 00.00 до 18.00 ч) в жилой застройке, в точке, расположенной на расстоянии 2,5 км от санитарно-защитной зоны объектов производства металлургического глинозёма. Всего отобрано 50 среднесуточных проб. Исследование взвешенных частиц на морфометрический и химический состав частиц выполнено методом рентгеноспектрального (микронного) анализа с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-63090LV, дополнительно оснащённого приставкой-анализатором типа РЭМ-100У. Морфометрические параметры частиц оценивали по показателям: среднепоперечный размер; площадь (S); периметр (P); коэффициент сферичности ($k_{сф}$), характеризующий сходство формы частиц со эквивалентной сферой (при $k_{сф} \rightarrow 1,0$ – идеальная сфера, при $k_{сф} \rightarrow 0,1$ – наиболее неправильная форма) [19]; фактор дисперсности ($f_{дисп}$), определяемый как отношение площади поверхности к объёму частицы [20].

Оценка неканцерогенного риска развития заболеваний органов дыхания у детей территории наблюдения и сравнения в условиях хронического комплексного аэрогенного воздействия химических факторов выполнена по расчёту коэффициентов и индексов опасности (HQ , HI) в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920–04).

Сравнительный анализ общей и первичной заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения (0–14 лет) территорий наблюдения и сравнения в разрезе выполнен по данным формы федерального статистического наблюдения № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» за 2014–2016 гг. Оценка достоверности различий в заболеваемости детского населения территории наблюдения и сравнения проведена с использованием t -критерия Стьюдента. Статистически значимым считали уровень $p \leq 0,05$ [21].

Эпидемиологические исследования заболеваемости болезнями органов дыхания у детей территории наблюдения и сравнения проводили по данным обращаемости населения за медицинской помощью в 2014–2016 гг. Численность экспонированных детей в возрасте 4–17 лет составила 11 264 человека, неэкспонированных детей аналогичного возраста – 5 429 человек. Для сравнительного анализа фактической заболеваемости болезнями органов дыхания по данным обращаемости за медицинской помощью за 2014–2016 гг. экспонированным и неэкспонированным населением выполнено адресное геокодирование точек проживания населения территории наблюдения и сравнения. С помощью пространственного пересечения с использованием *ArcGIS 9.3* установлено количество детского населения, находящегося в зоне экспозиции химических факторов риска заболеваний органов дыхания от источников производства металлургического глинозёма.

Эпидемиологические исследования заболеваемости болезнями органов дыхания у детей территории наблюдения и сравнения проводили по данным обращаемости населения за медицинской помощью в 2014–2016 гг. Численность экспонированных детей в возрасте 4–17 лет составила 11 264 человека, неэкспонированных детей аналогичного возраста – 5 429 человек.

Статистический анализ информации выполнен с помощью программы Statistica 6.0 и специальных программных продуктов с приложениями *MS-Office*. Проверку на нормальность распределения измеряемых переменных осуществляли на основе теста Колмогорова–Смирнова.

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека: официальный сайт. 2018. Available at: http://rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=10145 (дата обращения: 06.06.2018).

⁴ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2016 году: Государственный доклад. Красноярск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 2017: 307.

Характеристика морфометрического состава взвешенных частиц в пробах атмосферного воздуха в зоне влияния компонентов выбросов от источников производства металлургического глинозёма

Диапазон размера частиц, мкм	Доля частиц, %	Диапазон размера частиц, мкм	Коэффициент сферичности, у.е.	Доля частиц, %	Статистический показатель	Размер частиц, мкм	Коэффициент сферичности частиц, у.е.
0,5–0,1	1,79	1,0–5,0	0,6–0,7	10,7	Медиана логнормального распределения	2,40 ± 0,41	0,82 ± 0,01
1,1–1,5	12,5	1,0–5,0	0,71–0,8	17,9	То же	2,40 ± 0,41	0,82 ± 0,01
1,6–2,0	19,6	1,0–5,0	0,81–0,9	64,3	" "	2,40 ± 0,41	0,82 ± 0,01
2,1–2,5	7,14	1,0–5,0	0,91–0,99	7,1	Среднее значение	3,27 ± 0,23	0,79 ± 0,02
2,6–3,0	3,57	5,0–10,0	0,6–0,7	30,0	Минимальное значение	1,10	0,56
3,1–4,0	1,79	5,0–10,0	0,71–0,8	60,0	То же	1,10	0,56
4,1–5,0	7,14	5,0–10,0	0,81–0,9	10,0	Максимальное значение	18,09	0,89
5,0–6,0	3,57	10,0–20,0	0,6–0,7	43,3	То же	18,09	0,89
6,0–7,0	5,36	10,0–20,0	0,7–0,8	45,7	" "	18,09	0,89
7,0–8,0	3,57	10,0–20,0	0,8–0,9	11,0	" "	18,09	0,89
8,0–9,0	5,36	> 20,0	0,6–0,7	33,1	" "	18,09	0,89
9,0–10,0	5,36	> 20,0	0,7–0,8	50,0	" "	18,09	0,89
>10,1	25,0	> 20,0	0,8–0,9	16,9	" "	18,09	0,89

Для количественной характеристики исследуемых показателей использовали значения средней (M) и её ошибки (m), так как случайные величины анализируемых показателей соответствовали закону нормального распределения [21].

Оценку связи заболеваний у детей болезнями органов дыхания с воздействием изучаемых химических факторов риска проводили по результатам расчёта отношения шансов (OR). Для оценки достоверности наличия связи «воздействие–ответ» рассчитывали 95%-ный доверительный интервал (DI), в пределах которого находится истинное значение OR с вероятностью 95%, а вероятность получения ошибочных значений в выполненных исследованиях не превышает 5%. Критериями наличия достоверной связи являлись $OR \geq 1$ и нижняя граница $DI > 1$ [22].

Для оценки риска формирования повышенной заболеваемости болезнями органов дыхания относительно фона (группы детей территории сравнения) вычисляли отношение рисков по формуле (1):

$$OP = P_s / P_o, \quad (1)$$

где OP – отношение рисков; P_s – абсолютный риск в группах, подвергавшихся воздействию факторов; P_o – абсолютный риск в группах, не подвергавшихся воздействию факторов.

Популяционный риск рассчитывали по формуле (2):

$$PP = PP \cdot \text{численность населения}, \quad (2)$$

где PP – популяционный риск; PP – расчёт разницы рисков.

Разность рисков определяли по формуле (3):

$$PP = P_s - P_o, \quad (3)$$

где PP – расчёт разницы рисков; P_s – абсолютный риск в группах, подвергавшихся воздействию факторов; P_o – абсолютный риск в группах, не подвергавшихся воздействию факторов.

Популяционный риск заболеваний болезнями органов дыхания показывает число дополнительных случаев, которые могут возникнуть в следующем году при данном уровне воздействия изучаемых факторов.

Выявление и оценку причинно-следственных связей вероятности возникновения заболеваний органов дыхания от дозы идентифицированных химических факторов при

хроническом ингаляционном поступлении выполняли с помощью парных моделей регрессии с оценкой достоверности и адекватности модели на основании однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера ($F \geq 3,96$), коэффициенту детерминации (R^2) и t -критерию Стьюдента ($t \geq 2$) при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$ [22].

Результаты

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха по данным СГМ за 2012–2017 гг. на территории наблюдения показала превышения среднесуточных ПДК по диоксиду азота (максимальные значения достигали 30,0 ПДК_{сс}), по диоксиду серы (до 3,6 ПДК_{сс}), по взвешенным веществам (до 43,6 ПДК_{сс}), в том числе по взвешенным частицам PM_{10} (до 8,9 ПДК_{сс}) и $PM_{2,5}$ (до 3,1 ПДК_{сс}), а также постоянное присутствие марганца, никеля и меди в концентрации до 0,3 ПДК_{сс}. При этом в атмосферном воздухе территории наблюдения среднесуточные концентрации марганца и диоксида серы превышают в 1,9 и 3,0 раза соответственно, концентрации взвешенных веществ и взвешенных частиц PM_{10} – в 4,8 и 2,6 раза, соответственно, аналогичные показатели в атмосферном воздухе на территории сравнения.

Оценка результатов морфометрического анализа показала, что среднепоперечный размер взвешенных частиц, содержащихся в пробах атмосферного воздуха, колеблется от 1,1 до 18,09 мкм (табл. 1).

Медиана логнормального распределения установлена на уровне $2,40 \pm 0,41$ мкм частиц. Наибольшую долю составляют частицы с размером в диапазоне 1,5–2,0 мкм – 19,6% и в диапазоне более 10,1 мкм – 25%. Ультратонкие частицы PM_{10} и менее (наночастицы) составляют порядка 10%. Периметр исследованных частиц мелкодисперсных фракций составил от 0,31 до 625,22 мкм, площадь – от 0,24 до 5755,6 мкм². Оценка геометрической формы частиц показала, что наибольшую долю (45,7–60,0%) составляют частицы с коэффициентом сферичности 0,71–0,8, соответствующему форме призмы.

Оценка результатов исследования химического состава мелкодисперсных частиц показала, что состав частиц различного размера сложный и включает комплекс оксиды металлов, идентифицированных рентгеноспектрально.

Практически в состав всех исследованных мелкодисперсных частиц входят оксиды железа, алюминия, кремния. Их массовая доля составляет от 1,7 до 75,4%. Реже в составе частиц встречаются оксиды никеля, хрома, титана, марганца с массовой долей от 0,7 до 54,4% (табл. 2).

Максимальная концентрация взвешенных частиц PM_{10} в исследованных пробах атмосферного воздуха составила $0,679 \text{ мг/м}^3$ ($11,3 \text{ ПДК}_{\text{с.с.}}$), взвешенных частиц $PM_{2,5} - 0,371 \text{ мг/м}^3$ ($10,6 \text{ ПДК}_{\text{с.с.}}$).

Оценка неканцерогенного риска хронического ингаляционного воздействия выявила превышение допустимого уровня коэффициента опасности ($HQ \leq 1$) для детского населения в отношении: взвешенных веществ ($HQ = 4,31$), твёрдых частиц PM_{10} ($HQ = 2,96$) и $PM_{2,5}$ ($HQ = 2,10$), азота диоксида ($HQ = 2,12$), серы диоксида ($HQ = 1,97$), меди ($HQ = 2,98$), марганца ($HQ = 3,2$). При комплексном поступлении химических веществ установлены превышения допустимого уровня индекса опасности в отношении органов дыхания в 19,6 раза. Вклад взвешенных веществ, взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в величину индекса опасности в отношении органов дыхания составил 47,8%. Численность детского населения, находящегося в зоне неприемлемого хронического риска развития заболеваний органов дыхания, ассоциированных с воздействием химических факторов риска от источников производства металлургического глинозёма, составила 11 264 человека.

Общая и первичная заболеваемость детского населения болезнями органов дыхания, по данным государственной статистической отчетности за 2014–2016 гг., на территории наблюдения составила 151 274,35 случаев на 100 тыс. детей и 142 536,42 случаев на 100 тыс. детей соответственно, что в 1,8 раза выше аналогичных показателей у детей на территории сравнения (84 802,31 случаев на 100 тыс. детей и 80 734,38 случаев на 100 тыс. детей соответственно, $p = 0,0001$). Заболеваемость детей болезнями органов дыхания по данным обращаемости за медицинской помощью за 2014–2016 гг. на территории наблюдения и сравнения составила 3296,61 случаев на 1000 детей и 1870,59 случаев на 1000 детей соответственно, кратность различий – 1,8 раза (или 1426,02 случаев на 1000 детей, $p = 0,0001$).

Таблица 2

Морфометрическая характеристика и химический состав отдельных дисперсных частиц в пробах атмосферного воздуха в зоне влияния компонентов выбросов от источников производства металлургического глинозёма

Размер, мкм	Морфометрические параметры				Химический состав, массовая доля, %						
	$S, \text{ мкм}^2$	$P, \text{ мкм}$	$K_{\text{сф}}$	$f_{\text{дочн}}$	FeO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	NiO	Cr_2O_3	MnO
1,98	2,15	7,38	0,71	3,52	75,37	5,01	10,46	–	–	–	–
3,50	8,20	11,71	0,86	1,85	60,18	3,99	6,57	–	7,71	12,37	–
4,47	10,77	13,89	0,83	1,61	45,32	5,05	11,64	13,13	3,84	8,57	–
8,80	49,52	31,49	0,79	0,75	65,20	1,84	2,27	–	8,55	17,02	0,66
10,18	57,55	33,16	0,81	0,70	1,68	10,92	26,17	54,38	–	–	–
15,33	134,3	60,20	0,68	0,45	22,28	21,86	34,99	–	–	–	–
20,85	257,1	69,96	0,81	0,33	30,35	17,10	33,94	2,28	–	–	0,56

По данным эпидемиологических исследований, установлен риск формирования повышенной заболеваемости болезнями органов дыхания (OP) у детей территории наблюдения в виде аллергического ринита неуточнённого, превышающий допустимый уровень в 4,6 раза, астмы неуточнённой – в 10,1 раза, других хронических болезней миндалин и аденоидов – в 3,4 раза, хронического ринита – в 30,3 раза, хронического тонзиллита – в 3,0 раза относительно уровня заболеваемости детей территории сравнения (табл. 3).

Установлена достоверная связь между повышенным уровнем заболеваемости болезнями органов дыхания экспонированных детей с воздействием идентифицированных химических факторов риска по следующим нозологиям: аллергический ринит неуточнённый ($OR = 4,7$; $DI = 2,59-8,52$), астма неуточнённая ($OR = 10,14$; $DI = 1,36-75,39$), другие хронические болезни миндалин и аденоидов ($OR = 3,40$; $DI = 2,13-5,44$), хронический тонзиллит ($OR = 3,12$; $DI = 2,38-4,09$), хронический ринит ($OR = 30,53$; $DI = 4,23-220,18$).

Установлена прямая зависимость вероятности повышения уровня заболеваемости болезнями органов дыхания (по данным обращаемости за медицинской помощью) при воздействии хронической экспозиции идентифицированных химических факторов риска (азота диоксида, азота оксида, серы диоксида, марганца, никеля, меди, взвешенных веществ и мелкодисперсных фракций PM_{10} , $PM_{2,5}$) при комплексном ингаляционном поступлении. Доля объясненной дисперсии данных по заболеваемости органов дыхания в связи с воздействием взвешенных

Таблица 3

Показатели достоверной связи заболеваний органов дыхания у детей с воздействием химических факторов риска, связанных с хозяйственной деятельностью предприятия по производству металлургического глинозёма

Нозологическая форма (по МКБ-10)	Дети	Ответ на воздействие		Отношение шансов, OR	Доверительный интервал, DI	Отношение рисков, OP
		есть	нет			
Аллергический ринит неуточнённый (J30.4)	Экспонированные	116	11148	4,70	2,59–8,52	4,64
	Неэкспонированные	12	5417			
Астма неуточнённая (J45.9)	Экспонированные	21	11 243	10,14	1,36–75,39	10,11
	Неэкспонированные	1	5428			
Другие хронические болезни миндалин и аденоидов (J35.8)	Экспонированные	140	11 124	3,40	2,13–5,44	3,36
	Неэкспонированные	20	5409			
Хронический тонзиллит (J35.0)	Экспонированные	392	10 872	3,12	2,38–4,09	3,01
	Неэкспонированные	62	5367			
Хронический ринит (J31.0)	Экспонированные	63	11 201	30,53	4,23–220,18	30,28
	Неэкспонированные	1	5428			

Таблица 4

Зависимость вероятности возникновения болезней органов дыхания от дозы идентифицированных факторов при комплексном хроническом ингаляционном поступлении

Химический фактор	Параметры математической модели «среда–заболеваемость»		Критерий Фишера, F	Коэффициент детерминации, R^2	Достоверность различий, $p \leq 0,05$
	b_0	b_1			
Азота оксид	-1,188	0,082	49,99	0,18	0,0001
Азота диоксид	-1,237	0,014	111,35	0,25	0,0001
Взвешенные вещества	-1,114	2,556	53,18	0,33	0,0001
PM ₁₀	-1,084	1,080	20,67	0,18	0,0001
PM _{2,5}	-1,046	0,035	8,96	0,13	0,004
Марганец	-0,867	53,373	8,54	0,15	0,004
Медь	-0,921	410,92	28,32	0,21	0,0001
Никель	-0,972	363,10	12,97	0,15	0,002
Серы диоксид	-1,273	0,172	38,09	0,14	0,0001

веществ и фракций PM₁₀, PM_{2,5} суммарно составляет 64% (табл. 4).

Для детского населения территории наблюдения популяционный риск возникновения болезней органов дыхания (в виде аллергического ринита неуточнённого, бронхиальной астмы неуточнённой, хронических болезней миндалин и аденоидов, хронического ринита, хронического тонзиллита) может составить в следующем году дополнительно 526 случаев (или 37% от общего количества), из которых 195 случаев связано с поступлением взвешенных веществ, взвешенных частиц PM₁₀ и PM_{2,5}, азота оксида, азота диоксида, серы диоксида, марганца, никеля, меди.

Обсуждение

Представленные результаты выполненных исследований показали, что существующее качество атмосферного воздуха по содержанию взвешенных веществ, частиц PM₁₀, PM_{2,5}, диоксида азота, диоксида серы, соединений марганца, меди, никеля, обусловленное хозяйственной деятельностью объектов производства металлургического глинозёма, формируют неприемлемый риск развития неканцерогенных эффектов в отношении органов дыхания. Вклад взвешенных веществ, частиц PM₁₀ и PM_{2,5} в величину индекса опасности является значительным и может влиять на уровень заболеваемости органов дыхания, что согласуется с мнением экспертов ВОЗ по данной проблеме [5]. При этом достаточно маленький размер (преимущественно от 1,5 до 10 мкм), неправильная форма и содержание в составе частиц высоко- и умереннотоксичных оксидов железа, марганца, титана, хрома, кремния могут усугублять негативное действие на органы дыхания изучаемых соединений. Эпидемиологическими исследованиями подтверждена связь между загрязнением атмосферного воздуха взвешенными веществами, в том числе мелкодисперсными фракциями твёрдых частиц, и негативными эффектами со стороны здоровья, и в первую очередь в виде заболеваний органов дыхания и преждевременной смерти по данной причине [23, 24].

Результаты анализа заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения территории наблюдения, как по данным государственной статистики, так и по данным обращаемости за медицинской помощью, свидетельствуют о реализации внешнесредового риска в части формирования повышенного уровня общей и первичной заболева-

емости болезнями органов дыхания до 1,8 раза относительно показателей у детского населения территории сравнения. Полученные результаты подтверждают ряд российских научных исследований об установлении устойчивой тенденции к росту заболеваемости групп населения, обусловленной повреждающим действием изучаемых загрязняющих веществ атмосферного воздуха в регионах с размещением стационарных источников промышленных предприятий, в том числе металлургического профиля [25].

Установленный риск формирования повышенной заболеваемости болезнями органов дыхания (аллергическим ринитом, бронхиальной астмой, хроническими болезнями миндалин и аденоидов, ринитом и тонзиллитом) у детей в зоне экспозиции относительно территории сравнения подтверждается результатами ряда исследований, характеризующих особенности воздействия химических факторов (взвешенные вещества, частицы PM₁₀, соединения марганца, никеля) на здоровье детей, в том числе на органы дыхания [26–29]. Установленные достоверные связи между воздействием идентифицированных химических факторов риска при комплексном поступлении и уровнем первичной заболеваемости болезнями органов дыхания позволяют предположить, что при сохранении уровня аэрогенной экспозиции можно ожидать дополнительно к фоновому уровню увеличение общей заболеваемости болезнями органов дыхания у детей (более 500 случаев в год), одна треть которой обусловлена воздействием идентифицированных химических факторов риска, связанных с хозяйственной деятельностью объекта по производству металлургического глинозёма.

Учитывая существенный вклад ингаляционного риска, связанного с взвешенными веществами и мелкодисперсными фракциями PM₁₀ и PM_{2,5}, в уровень заболеваемости детского населения необходимо рекомендовать контрольно-надзорным органам Роспотребнадзора принятие мер по снижению загрязнения атмосферного воздуха вышеуказанными примесями. В рамках оказания медико-профилактической помощи детскому населению, проживающему в регионах с размещением предприятий металлургического глинозёма, рекомендуется осуществлять углублённую целенаправленную диагностику и дополнительные профилактические мероприятия, направленные на снижение заболеваемости и дополнительной смертности, связанной с длительным воздействием химических факторов риска прежде всего взвешенных веществ и мелкодисперсных фракции на органы дыхания.

Выводы

1. Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха по содержанию взвешенных веществ, твёрдых частиц PM₁₀, PM_{2,5}, диоксида азота, диоксида серы (от 3,6 до 43,6 ПДК_{с.г.}) и постоянное присутствие марганца, никеля и меди, обусловленное хозяйственной деятельностью объектов производства металлургического глинозёма, формируют неприемлемый риск развития неканцерогенных эффектов в отношении органов дыхания, превышающий приемлемый уровень до 19,6 раза.

2. Мелкодисперсная фракция взвешенных веществ характеризуется преимущественным размером 10 и 2,5 мкм и сложным химическим составом (оксиды железа, алюминия, кремния, никеля, хрома, титана, марганца), что может усугублять негативное действие идентифицированных факторов риска на органы дыхания.

3. Внешнесредовой риск развития заболеваний у детей в зоне экспозиции реализуется в части формирования повышенного уровня общей и первичной заболеваемости до 1,8 раза относительно показателей у детей территории сравнения.

4. Доказаны зависимости вероятности возникновения заболеваний органов дыхания от содержания в атмосферном воздухе взвешенных веществ и мелкодисперсных фракций PM_{10} , $PM_{2,5}$, азота оксида, азота диоксида, серы диоксида, марганца, никеля, меди.

Литература

(пп. 1, 2, 6–8, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 28 см. References)

- Экономика России, цифры и факты. Часть 8 Металлургия. 2015. *Utmagazine*. Available at: <https://utmagazine.ru/posts/10561-ekonomika-gossii-cifry-i-fakty-chast-8-metallurgiya> (дата обращения 09.09.2018).
- Вековшинина С.А., Клейн С.В., Жданова-Заплевичко И.Г., Четверкина К.В. Качество среды обитания и риск здоровью населения, проживающего под воздействием выбросов предприятий цветной металлургии и деревообрабатывающей промышленности. *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (1): 16–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-16-20
- Качество атмосферного воздуха и здоровье. Информационный бюллетень. *Всемирная организация здравоохранения*. 2016. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/ru/> (дата обращения 20.05.2018).
- Безуглая Э.Ю. *Воздух городов и его изменения*. Санкт-Петербург: Астерион, 2008: 253.
- Куренкова Г.В. *Пыль как вредный фактор производственной среды*. Иркутск: ИГМУ, 2015: 88.
- Галеев К.А., Хакимова Р.Ф. Связь между концентрациями в атмосферном воздухе химических веществ и распространенностью аллергических заболеваний у детей. *Гигиена и санитария*. 2002; 4: 23–4.
- Новиков С.М., Иваненко А.В., Волкова И.Ф. и др. Оценка ущерба здоровью населения Москвы от воздействия взвешенных веществ в атмосферном воздухе. *Гигиена и санитария*. 2009; 6: 41–3.
- Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Д. и др. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью*. 2015; 2: 4–11. DOI: 10.21668/health.risk/2015.2.01
- Гланс С. *Медико-биологическая статистика*. М.: Практика, 1998: 459.
- Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. *Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины*. М.: Медиа Сфера, 1998: 352.
- Health risk assessment of air pollution. General principles. WHO Regional Office for Europe UN City. Copenhagen, 2016: 40.
- Кузьмин С.В., Привалова Л.И., Кацнельсон Б.А. и др. Оценка риска и эколого-эпидемиологические исследования как взаимосвязанные инструменты социально-гигиенического мониторинга на местном и региональном уровнях. *Гигиена и санитария*. 2004; 5: 62.
- Шамсияров Н.Н., Галлиев К.А., Хакимова Р.Ф. и др. Количественная оценка влияния загрязнений атмосферного воздуха на заболеваемость детей острыми респираторными инфекциями верхних дыхательных путей. *Гигиена и санитария*. 2002; 4: 11–3.
- Прусакова А.В., Прусаков В.М. Оценка эпидемиологического риска заболеваемости детей от воздействия факторов среды обитания. *Экология человека*. 2016; 9: 46–56.
- Провирыяков И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий. *Анализ риска здоровью*. 2018; 2: 14–23.
- Петров С.Б., Онучина Е.Н. Эколого-эпидемиологическая оценка влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на распространенность болезней органов дыхания в городской детской популяции. *Здоровье населения и среда обитания*. 2011; 6: 17–20.

References

- Heroux M.E., Braubach M., Korol N., et al. The main conclusions about the medical aspects of air pollution: the projects REVIHAAP and HRA-PIE WHO/EC. *Gigiena i Sanitarija*. 2013; 6: pp. 9-14. PMID: 24624813.
- Niu Y, Chen R., Kan H. Air pollution, disease burden, and health economic loss in China. *Advances In Experimental Medicine And Biology*. 2017; 1017: 233–42. PMID: 29177965
- The Economy of Russia. Figures and facts. Part 8 Metallurgy [Экономика России, tsifry i fakty. Chast' 8 Metallurgiya]. 2015. Available at: <https://utmagazine.ru/posts/10561-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-8-metallurgiya> (accessed: 24.08.2018) (in Russian).
- Vekovshinina S.A., Kleyn S.V., Zhdanova-Zaplevichko I.G., Chetverkina K.V. the quality of environment and risk to health of the population

- residing under the exposure to emissions from colored metallurgy enterprises and wood processing industry. *Gigiena i Sanitarija*. 2018; 97 (1): 16–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-16-20 (in Russian).
- WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Summary of risk assessment. WHO/SDE/ PHE/OEH/06.02, 2005. Available at: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/69477> (accessed: 20.05.2018).
- Air quality and health. Newsletter. The world health organization, 2016. [Kachestvo atmosfernogo vozduha i zdorov'e. Informacionnyj bjulleten']. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/ru/> (accessed: 24.05.2018) (in Russian)
- Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. WHO Regional Office for Europe UN City, Copenhagen, 2013: 20.
- Esposito S., Galeone C., Lelii M., Longhi B. et al. Impact of air pollution on respiratory diseases in children with recurrent wheezing or asthma. *BMC Pulmonary Medicine*. 2014; 14: 130. PMID: 25098250
- Fan X.J., Yang C., Zhang L., Fan Q., et al. Asthma symptoms among Chinese children: the role of ventilation and PM10 exposure at school and home. *The International Journal Of Tuberculosis And Lung Disease: The Official Journal Of The International Union Against Tuberculosis And Lung Disease*. 2017; 21 (11): 1187–93. PMID: 29037301
- Bezuglaja E. Yu. The air of cities and its changes [Vozduh gorodov i ego izmenenija]. St. Petersburg, Asterion, 2008 (in Russian).
- Yorifuji T., Kashima S., Doi H. Acute exposure to fine and coarse particulate matter and infant mortality in Tokyo, Japan (2002-2013). *The Science of The Total Environment*. 2016; 551-2: 66-72. PMID: 26874762
- Melgar-Paniagua E.M., Vega-Rangel E., Del Razo L.M., Lucho-Constantino C.A., et al. Distributed lag associations between respiratory illness and mortality with suspended particle concentration in Tula, a highly polluted industrial region in Central Mexico. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2013; 86 (3): 321–32. PMID: 22484788
- Kurenkova G.V. Dust as a harmful factor of the production environment. [Pyl' kak vrednyj faktor proizvodstvennoj sredy]. Irkutsk: IGMU, 2015: 88 (in Russian)
- Galeev K. A., Khakimova R. F. The Relationship between the concentrations of chemicals in the atmospheric air and the prevalence of allergic diseases in children. *Gigiena i sanitarija*. 2002; 4: 23–4. (in Russian)
- Novikov S.M., Ivanenko A.V., Volkova I.F. et al. Assessment of Moscow population health risk from exposure to ambient air suspended matter. *Gigiena i sanitarija*. 2009; 6: 41–3 (in Russian).
- Pope C. A., Dockery D. W. Acute health effects of Pm 10 pollution on symptomatic and non-symptomatic children. *American Review Respiratory Diseases*. 1992; 145(5): 1123–28.
- Callén M.S., López J.M., Mastral A.M. Apportionment of the airborne PM10 in Spain. Episodes of potential negative impact for human health. *Journal of Environmental Monitoring: JEM*. 2012; 14 (4): 1211–20. PMID: 22398666.
- Rakhmanin Y.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., et al. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015; 2: 4–11. DOI: 10.21668/health.risk/2015.2.01.eng
- Mora C.F., Kwan A.Kh., Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing. *Cement and Concrete Research*. 2000; 30: 351-8.
- Weibel E.R. Fractal geometry: a design principle for living organisms. *American Journal of Physiology*. 1991. 261:361-9.
- Glants S. *Medical and Biological Statistics [Mediko-biologicheskaya statistika]*. Moscow: Praktika, 1998: 459 (in Russian).
- Fletcher R., Fletcher S., Vagner E. *Clinical Epidemiology: The Basics of Evidence-Based Medicine [Klinicheskaya epidemiologiya: Osnovy dokazatel' noy meditsiny]*. Moscow: Media Sfera; 1998: 352 (in Russian).
- Health risk assessment of air pollution. General principles. WHO Regional Office for Europe UN City. Copenhagen, 2016.
- Kuzmin S.V., Privalova L.I., Katsnelson B.A., et al. Risk assessment and epidemiological studies as interrelated tools of socio-hygienic monitoring at the local and regional levels. *Gigiena i sanitarija*. 2004; 5: 62 (in Russian).
- Shamsijarov N.N., Galliev K.A, Hakimova R.F., et al. Quantitative assessment of the impact of air pollution on morbidity from acute respiratory infections of the upper respiratory tract. *Gigiena i sanitarija*. 2002; 4:11–3. (in Russian)
- Prusakova A.V., Prusakov V.M. Epidemiologic Risk Assessment of Children's Morbidity from Environmental Exposure. *Jekologija cheloveka*. 2016; 9: 46-56. (in Russian)
- Prosviryakova I.A., Shevchuk L.M. Hygienic assessment of PM 10 and PM 2.5 contents in the atmosphere and population health risk in zones influenced by emissions from stationary sources located at industrial enterprises. *Health Risk Analysis*. 2018; 2: 14–22. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.02.eng
- Petrov S.B., Onychina E.N. Ecological and epidemiological assessment of the influence of suspended solids in atmospheric air on the prevalence of respiratory diseases in urban children's populations. *Zdorov'je nasilinia i sreda obitania*. 2011; 6: 17–20. (in Russian).
- Buka I., Koranteng S., Osornio-Vargas A.R. The effects of air pollution on the health of children. *Paediatr. Child Health*. 2006; 11(8): 513–6.