

УДК 614.72

## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТНОГО И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Андришунас А.М., Клейн С.В.

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

*Металлургическая промышленность занимает одно из лидирующих мест по объему выбросов в атмосферу среди всех других отраслей промышленности. Ежегодно крупные промышленные предприятия выбрасывают в атмосферный воздух до 5,5 млн тонн различных загрязняющих веществ, среди которых основную часть составляют твердые частицы. Загрязнение воздушной среды может являться причиной ухудшения здоровья, снижения продолжительности жизни и повышения уровня смертности населения, проживающего в крупных промышленных центрах.*

**Цель исследования** – выполнить гигиеническую оценку компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в атмосферном воздухе в зоне влияния крупного металлургического предприятия.

**Материал и методы.** Проведена серия отборов проб атмосферного воздуха, выполнены расчеты рассеивания приземных концентраций в результате хозяйственной деятельности крупного металлургического предприятия, гигиеническая оценка расчетных и инструментальных (на ближайшем посту мониторинга) данных по качеству атмосферного воздуха, оценка риска здоровью населения в точках ближайшей жилой застройки. Дисперсный и компонентный состав частиц в атмосферном воздухе исследован с использованием электронной микроскопии. Оценка канцерогенных и неканцерогенных эффектов компонентов твердых фракций атмосферного воздуха проводилась в соответствии с Р 2.1.10.1920-04.

**Результаты.** В зоне влияния крупного промышленного предприятия регистрируются превышения гигиенических нормативов: по результатам расчетов рассеивания по 10 веществам до 6,3 ПДК<sub>мр</sub>, до 4,5 ПДК<sub>сс</sub>, до 11,1 ПДК<sub>сг</sub>; по натурным данным – по 14 веществам до 10,9 ПДК<sub>мр</sub>, до 4,9 ПДК<sub>сс</sub>, до 4,9 ПДК<sub>сг</sub>; установлены канцерогенные, острые и хронические риски, которые характеризуются как «настораживающие» и «высокие» – до 4,72 HQ<sub>ас</sub>, до 1,79 HQ<sub>сч</sub>, CR<sub>T</sub> – до 5,58·10<sup>-4</sup>. Установлено, что основную часть твердых фракций составляют мелкодисперсные примеси (менее 3,0 мкм), состоящие преимущественно из соединений меди, кремния, алюминия, железа. Выявленные примеси формируют опасность для здоровья экспонированного населения в виде ассоциированных с качеством атмосферного воздуха нарушений со стороны органов дыхания, зрения, нервной, эндокринной систем и др. Данные примеси не учитываются в ведомостях инвентаризации выбрасываемых веществ, а также не контролируются на постах наблюдения за качеством атмосферного воздуха. В этой связи рассчитанные

риски здоровью, формируемые хозяйственной деятельностью объектов металлургического производства, могут являться недооцененными.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, промышленное предприятие, гигиеническая оценка, превышения ПДК, оценка риска здоровью, компонентный состав выбросов, дисперсный состав выбросов.

**Для цитирования:** Андришунас А.М., Клейн С.В. Гигиеническая оценка компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в атмосферном воздухе в зоне влияния крупного промышленного предприятия. Медицина труда и экология человека. 2023;2:98-116.

**Для корреспонденции:** Андришунас Алена Мухаматовна – младший научный сотрудник ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Пермь, [ata@fcrisk.ru](mailto:ata@fcrisk.ru).

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10207>

## HYGIENIC ASSESSMENT OF COMPONENT AND DISPERSE STRUCTURE OF DUST EMISSIONS IN AMBIENT AIR IN A ZONE INFLUENCED BY A LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISE

**Andrishunas A.M., Kleyn S.V.**

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

*Metallurgy ranks first in terms of emissions into ambient air among other industries. Annually large industrial enterprises emit up to 5.5 tons of various pollutants into ambient air; solid particles account for the major part in them. Ambient air pollution can cause health disorders, reduce life expectancy, and increase population mortality in large industrial centers.*

**The aim of this study** was to perform hygienic assessment of component and disperse structure of dust emissions in ambient air in a zone influenced by a large metallurgic plant.

**Materials and methods.** The study involved taking a series of air samples; calculating dispersion of ground concentrations occurring due to economic activities of a large metallurgic plant; performing hygienic assessment of calculated and instrumental data (the latter were obtained at the closest monitoring post) on ambient air quality; assessing health risks in the nearest residential area. Disperse and component structure of particles in ambient air was examined by electronic microscopy. Carcinogenic and non-carcinogenic effects produced by solid fractions in ambient air were assessed in accordance with the Guide R 2.1.10.1920-04.

**Results.** Hygienic standards were established to be violated in the analyzed zone influenced by a large industrial enterprise. According to the results of dispersion calculation, levels of 10 chemicals reached 6.3 single maximum MPC, 4.5 average daily MPC, and 11.1 average annual MPC. According to field data, levels of 14 chemicals reached 10.9 single maximum MPC, 4.9 average daily MPC, and 4.9 average annual MPC. We established carcinogenic, acute and chronic risks that were identified as 'alerting' and 'high', up to 4.72 HQac, 1.79 HQch, and CR<sub>T</sub> reaching 5.58·10<sup>-4</sup>.

*Fine-dispersed particles (less than 3.0  $\mu\text{m}$ ) were established to be the major part in solid fractions; they predominantly consisted of copper, silicon, aluminum, and iron compounds. These identified chemicals pose health threats for exposed people since they induce disorders of the respiratory organs, visual organs, the nervous and endocrine system, etc. All these disorders are associated with poor ambient air quality. These pollutants are not covered by inventories of emitted chemicals and are not monitored at posts for monitoring over ambient air quality either. Given that, calculated health risks created by economic activities of the analyzed metallurgic plant can be underestimated.*

**Keywords:** *ambient air pollution, industrial enterprise, hygienic assessment, MPC exceeding, health risk assessment, component structure of emissions, disperse structure of emissions*

**For citation:** *Andrishunas A.M., Kleyn S.V. Hygienic assessment of component and disperse structure of dust emissions in ambient air in a zone influenced by a large industrial enterprise. Occupational Health and Human Ecology. 2023;2:98-116.*

**For correspondence:** *Alena M. Andrishunas, junior researcher at the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, ama@fcrisk.ru.*

**Financing:** *the study had no financial support.*

**Conflict of interest:** *the authors declare no conflict of interest.*

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10207>

Во многих крупных городах Российской Федерации санитарно-гигиеническая и экологическая ситуация оценивается как неблагоприятная. Загрязнение окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, происходит из-за газообразных, жидких и твердых отходов промышленного, энергетического производства, транспорта, коммунального хозяйства, добычи полезных ископаемых и др. Ежегодно в атмосферный воздух крупных промышленных городов поступают тысячи тонн загрязняющих веществ антропогенного происхождения, повышенные концентрации которых неблагоприятно сказываются на состоянии здоровья населения [1-3].

Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха в 2021 г. включает 122 города с суммарным населением более 10 млн человек. В этот список включены города, для которых комплексный ИЗА равен или выше 14 (Ачинск, Братск, Красноярск, Курск, Магнитогорск, Новокузнецк, Норильск, Томск, Усолье-Сибирское, Челябинск, Чита, Шелехов и др.). Большинство городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха территориально располагаются в Сибирском Федеральном округе [4-6].

Согласно данным Росстата, металлургическая промышленность занимает второе место после энергетической отрасли по степени загрязнения окружающей среды. В самой отрасли лидирует цветная металлургия, за ней следует черная [6]. Металлургические предприятия – это сложные производственные комплексы, чьи технологические процессы сопровождаются значимым выделением газов, пылевых фракций, шлаков, сточных вод, окалины и других выбросов, которые оказывают негативное влияние на среду обитания и здоровье человека.

Вредное воздействие металлургического производства обусловлено несколькими причинами: расположением промышленных предприятий в непосредственной близости от жилых районов; использованием изношенного и устаревшего технологического оборудования и низкотехнологичных процессов, в результате чего удельный вес выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ выше по сравнению с современным производством; недостаточным оснащением технологических установок системами очистки и неэффективной работой существующих пылегазоочистных сооружений и др. [3,7].

По данным бюллетеня Росстата «Основные показатели в области охраны окружающей среды» за 2021 год, на территориях, где расположены крупные металлургические предприятия, до 50% загрязнения приходится на атмосферный воздух [6]. Основными загрязняющими веществами от таких производств являются оксиды азота, оксид углерода, сернистый ангидрид, аммиак, фенол, оксиды металлов (марганца, железа, кремния, меди, свинца, алюминия, титана, кальция и др.), углерод (сажа), взвешенные вещества, в том числе мелкодисперсные частицы PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> и т.д. [3,8].

Как известно, наиболее опасными для здоровья человека являются частицы микроразмерного диапазона до 2,5 мкм. Благодаря своим физическим свойствам они проникают в организм человека и, минуя верхние дыхательные пути, непосредственно попадают в альвеолы, а затем – в кровь. Взвешенные частицы, как правило, представлены соединениями металлов разных классов опасности, в выбросах металлургических производств часто встречаются: класс 1 (высокая опасность) – мышьяк, кадмий, ртуть, ванадий, свинец и хром; класс 2 (средняя опасность) – никель, кобальт, медь, марганец, бор и цинк; класс 3 (низкая опасность) – барий, стронций, вольфрам и молибден [9,10].

Повышенные уровни содержания взвешенных веществ и мелкодисперсных пылей в атмосферном воздухе могут привести к ухудшению здоровья населения, росту заболеваемости, снижению продолжительности жизни и повышению уровня смертности. По данным официальной статистики и релевантной литературы, уровень заболеваемости населения в промышленных районах с высоким уровнем запыленности выше порядка на 15%, чем в зонах относительного санитарно-эпидемиологического благополучия по качеству атмосферного воздуха. Следует отметить, что население старшего трудоспособного возраста и дети особенно уязвимы к воздействию твердых частиц. Отмечено, что в крупных городах и загрязненных районах респираторные и кожные заболевания, аллергические изменения у детей встречаются в два раза чаще и длятся до 2,5 раза дольше, чем в районах с более благоприятной ситуацией по качеству атмосферного воздуха [2,11].

**Целью** исследования являлось выполнение гигиенической оценки компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в атмосферном воздухе в зоне влияния крупного металлургического предприятия.

#### **Задачи исследования:**

1. Выполнить оценку влияния выбросов металлургического предприятия на атмосферный воздух по данным ведомости инвентаризации;

2. Выполнить гигиеническую оценку качества атмосферного воздуха в зоне влияния металлургического предприятия по расчетным данным;
3. Выполнить гигиеническую оценку качества атмосферного воздуха в зоне влияния металлургического предприятия по натурным данным;
4. Выполнить гигиеническую оценку компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в зоне влияния крупного металлургического комплекса;
5. Выполнить оценку опасности компонентов пылевых выбросов с установлением критических органов, систем и эффектов, соответствующих установленным референтным уровням.

**Материалы и методы.** Для определения основных (приоритетных) источников пылевых выбросов в результате хозяйственной деятельности металлургического производства были выполнены серии расчетов рассеивания приземных концентраций в точках ближайшей жилой застройки. Исходной информацией для расчетной оценки воздействия пылевых выбросов от металлургического предприятия на качество воздуха являлась электронная база данных источников выбросов предприятия. Для каждой расчетной точки на основании данных расчетов рассеивания были определены максимальные разовые, среднесуточные и среднегодовые концентрации загрязняющих веществ.

Данные о приземных концентрациях загрязняющих веществ получены в результате расчетов рассеивания с использованием программного комплекса УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1, реализующего МР-2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденные приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273. Для расчетов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере использовали модуль «Средние» в программе УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1. Метеорологические характеристики для территории исследования получены от ГГО им. Воейкова в виде метеофайла по специальному запросу.

Гигиеническая оценка приземных расчетных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществлялась в проверке на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Данные натурных (инструментальных) измерений о содержании загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проанализированы за 2021 год с ближайшего поста наблюдения.

Исследование компонентного и дисперсного состава атмосферного воздуха проводилось в рамках выездного обследования территории в зоне максимального негативного влияния крупного металлургического предприятия.

Одновременно с использованием электронной микроскопии в точках проведения исследования были отобраны пробы воздуха для определения среднесуточных и разовых концентраций взвешенных пылевых частиц в атмосферном воздухе. Определение концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе проводили гравиметрическим методом в соответствии с РД 52.04.893-2020 «Массовая концентрация взвешенных веществ в



пробах атмосферного воздуха». Определение содержания частиц диаметром менее 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>) и 10 мкм (PM<sub>10</sub>) выполняли с применением анализатора аэрозоля DUSTTRAK 8533 в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» и методикой из руководства по эксплуатации анализатора пыли DUSTTRAK 8533.

Оценка риска проводилась в точке жилой застройки, максимально приближенной к металлургическому предприятию, путем последовательного выполнения всех необходимых этапов: идентификации опасности, оценки воздействия, выбора зависимости «экспозиция-ответ», характеристики риска и оценки неопределенностей в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04) [12]. Уровень экспозиции оценивался по расчетным данным, уточненным данными инструментальных исследований, в соответствии с алгоритмом изложенным в МР 2.1.6.0157-19 [13].

Для оценки канцерогенных и неканцерогенных эффектов компонентов твердых фракций атмосферного воздуха использована информация о параметрах риска возникновения канцерогенных и неканцерогенных эффектов химических веществ, поступающих ингаляционным путем, в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04).

**Результаты.** По данным ведомости инвентаризации загрязняющих веществ установлено, что крупное промышленное предприятие выбрасывает в атмосферный воздух порядка 30 загрязняющих веществ: азота оксид, азота диоксид, аммиак, бензин, бенз/а/пирен, взвешенные вещества, возгоны каменноугольного пека, гидроцианид, дигидросульфид, диалюминия триоксид, дижелеза триоксид, динатрия карбонат, керосин, метан, марганец и его соединения, масло минеральное нефтяное, мазутная зола теплоэлектростанций, соляная кислота, смолистые вещества, серы диоксид, углерода оксид, углерод, фториды газообразные, фториды плохо растворимые, этан, пропан, углеводороды предельные C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub>, пыль неорганическая: 70-20% SiO<sub>2</sub>, пыль неорганическая: до 20% SiO<sub>2</sub>, хром шестивалентный. Из общего числа выбрасываемых веществ твердые фракции веществ составляют 40%. В суммарных выбросах исследуемого предприятия не учтены взвешенные частицы PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>.

По массе загрязнения данное промышленное предприятие формирует порядка 29% от валового выброса загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу города от стационарных и передвижных источников.

По результатам сводных расчетов рассеивания установлено, что в точках жилой застройки, располагающейся в зоне максимального влияния крупного промышленного предприятия, регистрируются превышения по 10 веществам. Максимальные разовые концентрации были превышены по марганцу, азота диоксиду, углероду, серы диоксиду, углерода оксиду, фторидам газообразным, взвешенным веществам, пыли неорганической: 70-20% SiO<sub>2</sub>, пыли неорганической: до 20% SiO<sub>2</sub> (до 1,3-6,3 ПДК<sub>мр</sub>); превышения среднесуточных концентраций

установлены по бенз(а)пирену (до 4,5 ПДКсс); среднегодовых концентраций – по марганцу, азота диоксиду, бенз(а)пирену (до 1,2-11,1 ПДКсг).

На ближайшем посту мониторинга, расположенном на расстоянии 4,5 км от промплощадки крупного промышленного предприятия, проводятся инструментальные исследования 30 веществ, таких как азота оксид, азота диоксид, серы диоксид, аммиак, бенз(а)пирен, гидрохлорид, диалюминия триоксид, марганец, меди оксид, углерод, углерода оксид, фториды неорганические плохо растворимые, фтористые газообразные соединения, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM10, взвешенные частицы PM2,5, бензол, кобальт, никель, 1,2-Дихлорэтан, озон, проп-2-ен-1-аль, проп-2-еннитрил, свинец, тетрахлорметан, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен, фенол, формальдегид, хром. В отношении 14 веществ были зарегистрированы превышения гигиенических нормативов по максимально разовым концентрациям: азота оксид, азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол, формальдегид, аммиак, гидрохлорид, фтористые газообразные соединения, взвешенные вещества – концентрации этих веществ регистрировались в диапазоне до 1,2-10,9 ПДКмр. По среднесуточным концентрациям превышения гигиенических нормативов фиксировались в отношении бенз(а)пирена на уровне до 4,9 ПДКсс, взвешенных веществ, взвешенных частиц PM10 и PM2,5 до 1,6-2,7 ПДКсс. Ситуация по среднегодовым концентрациям характеризуется более высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха по азоту диоксиду, бенз(а)пирену, марганцу, взвешенным веществам, взвешенным частицам PM2,5 и PM10, никелю, формальдегиду до 1,9-4,9 ПДКсг.

По результатам оценки риска здоровью населения в ближайшей точке жилой застройки, максимально приближенной к предприятию (по расчетным данным, уточненным результатами инструментальных исследований), установлено, что при остром ингаляционном неканцерогенном воздействии формируются повышенные уровни коэффициентов опасности, классифицируемые как «высокие» – 4,72 HQac (взвешенные вещества).

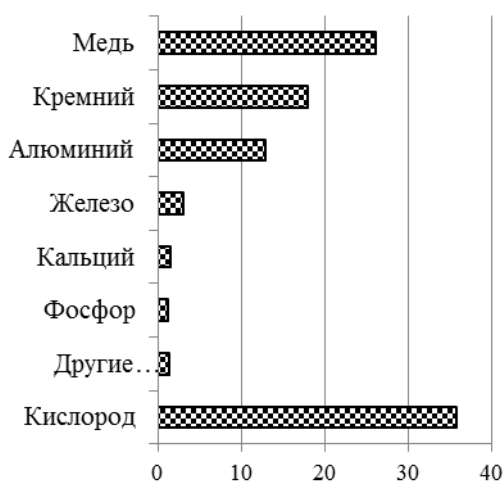
Хроническое ингаляционное неканцерогенное воздействие исследуемых химических веществ формирует «настораживающие» (1,1-3,0 HQ) уровни риска здоровью, выраженные коэффициентами опасности по 3 веществам твердых фракций: марганец и его соединения (1,79 HQсг), меди оксид (1,29 HQсг), взвешенные вещества (1,69 HQсг) и др. Установленные уровни хронической экспозиции формируют повышенные уровни индексов опасности в отношении возникновения заболеваний органов дыхания, нервной, кровеносной систем (1,46 – 4,23 HIсг).

Суммарный уровень канцерогенного риска (CR<sub>T</sub>) в ближайшей точке жилой застройки, максимально приближенной к предприятию, регистрировался на уровне  $5,21 \cdot 10^{-4}$  –  $5,58 \cdot 10^{-4}$ , что более чем в 5 раз выше допустимого уровня, приоритетными факторами риска являлись трихлорэтилен, проп-2-еннитрил.

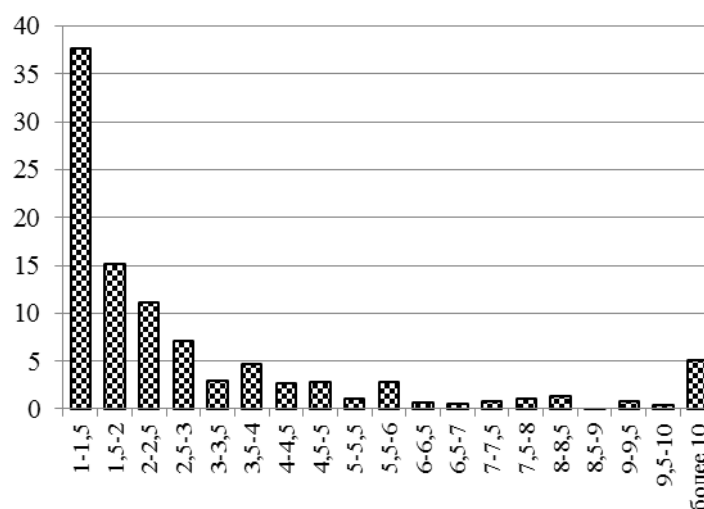
По результатам отбора проб атмосферного воздуха в зоне наибольшего влияния исследуемого предприятия регистрировались превышения гигиенических нормативов по взвешенным веществам до 2,73 ПДКсс, взвешенным частицам PM10 – до 3,2 ПДКсс, PM2,5 – до 1,7 ПДКсс.

В отобранных пробах атмосферного воздуха с использованием электронной микроскопии идентифицирован относительно широкий диапазон содержания твердых частиц и элементов: медь, кремний, алюминий, железо, фосфор, кальций, титан, сера, калий, натрий, магний, свинец, серебро, фтор и кислород. Основная масса частиц, содержащаяся в атмосферном воздухе и составляющая более 61,0%, принадлежала меди, кремнию, алюминию, железу, кальцию (рис. 1). Результаты исследования свидетельствуют о том, что часть металлов находится в атмосферном воздухе в виде оксидов металлов, кислородсодержащих и бескислородных солей.

Анализ дисперсного состава взвешенных частиц в зоне с максимальным влиянием крупного промышленного предприятия на качество атмосферного воздуха показал, что частицы имеют различную структуру, при этом в выбросах преобладают частицы более мелкого диаметра (от 1,0 до 3,0 мкм) и составляют до 70,9%, из них частицы менее 1,5 мкм составили 37,7% (рис. 2).



**Рис. 1.** Компонентный состав взвешенных частиц в зоне с максимальным влиянием предприятия на качество атмосферного воздуха, %



**Рис. 2.** Дисперсный состав взвешенных частиц (мкм) в зоне с максимальным влиянием предприятия на качество атмосферного воздуха, %

**Fig. 1.** Component composition of suspended particles in the zone with the maximum impact of the enterprise on air quality, %

**Fig. 2.** Dispersed composition suspended particles ( $\mu\text{m}$ ) in the area with the maximum impact of the enterprise on air quality, %

Следует отметить, что идентифицированные примеси, содержащиеся в атмосферном воздухе: медь, титан, натрий, магний, кальций, серебро и др. – отсутствуют в ведомостях инвентаризации данного исследуемого предприятия и обладают более выраженной токсичностью, чем учтенные взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70-20%  $\text{SiO}_2$ , пыль



неорганическая: до 20% SiO<sub>2</sub>, что может указывать на недоучет формируемой опасности для населения.

Кроме этого, данные компоненты и их соединения (соединения железа, кремния, кальция, натрия, магния, титана) не исследуются на постах мониторинга качества атмосферного воздуха.

По результатам компонентного анализа твердых пылевых фракций, идентифицированных в зоне наибольшего влияния исследуемого предприятия, были изучены данные о канцерогенной и неканцерогенной (острой и хронической) опасности химических примесей по референтным уровням и критическим органам, системам и эффектам, в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 (табл.).

Таблица

**Количественные значения критериев оценки неканцерогенной опасности при остром и хроническом воздействии твердых фракций веществ в зоне влияния крупного промышленного предприятия**

Table

**Quantitative values of the criteria for assessing non-carcinogenic hazards under acute and chronic exposure to solid fractions of substances in the area of influence of a large industrial enterprise**

Наименование вещества	Номер CAS	RfC, мг/м <sup>3</sup>	Критические органы и системы при хронической экспозиции	ARfC, мг/м <sup>3</sup>	Критические органы и системы при острой экспозиции	Фактор наклона, SFi мг/(кг ×сут) <sup>-1</sup>
<b>Учтены в ведомости инвентаризации*</b>						
Взвешенные вещества	–	0,075	органы дыхания	0,3	органы дыхания, системное действие	–
Пыль неорганическая: 70-20% SiO <sub>2</sub>	–	0,1	органы дыхания, иммунная система	–	–	–
<b>Не учтены в ведомости инвентаризации, идентифицированы по результатам электронной микроскопии</b>						
Натрий и его соединения	1310-73-2	0,002	органы дыхания, органы зрения	0,005	органы дыхания, органы зрения	–

Магний и его соединения	7439-95-4	–	–	–	–	–
Железа (III) оксид	1309-37-1	0,04	органы дыхания	–	–	–
Кремния диоксид (содержание SiO <sub>2</sub> ниже 20%)	14464-46-1	0,05	органы дыхания	–	–	–
Алюминия оксид	1344-28-1	0,005	органы дыхания, масса тела	–	–	–
Меди оксид	1317-38-0	2,00E-05	органы дыхания, системное действие	–	–	–
Медь	7440-50-8	2,00E-05	органы дыхания, системное действие	0,1	органы дыхания	–
Титана диоксид	13463-67-7	0,03	органы дыхания	–	–	–
Свинец и его неорганические соединения	7439-92-1	0,0005	ЦНС, система крови, процессы развития, репродуктивная система, гормональная система, почки	–	–	0,042**
Серебро металлическое	7440-22-4	0,02	кожа	–	–	–
Фтор	7782-41-4	–	–	3	органы дыхания	–
Серы диоксид	2025884	0,05	органы дыхания, смертность	0,66	органы дыхания	–
Взвешенные частицы PM 10	–	0,05	органы дыхания, сердечно-сосудистая система,	0,15	органы дыхания, системные эффекты	–

			развитие смертность			
Взвешенные частицы РМ 2,5	–	0,015	органы дыхания, смертность	0,065	органы дыхания, системные эффекты	–

\* Пыль неорганическая: до 20% SiO<sub>2</sub> – в соответствии с Руководством по оценке риска (Р 2.1.10.1920-04) отсутствуют данные о референтных уровнях и формируемых эффектах

\*\*Свинец по классификации U.S.EPA – B2, МАИР – 2А, РФ – Канцероген.

\* Inorganic dust: up to 20% SiO<sub>2</sub> - in accordance with the Risk Assessment Guidelines (R 2.1.10.1920-04) no data on reference levels and formed effects

\*\*Lead according to the U.S.EPA classification - B2, IARC - 2A, RF - Carcinogen.

Анализ химических веществ твердой фракции выбросов в зоне влияния крупного промышленного предприятия по их влиянию на здоровье и/или критические органы и системы позволил установить более широкий перечень канцерогенных и неканцерогенных эффектов при ингаляционном поступлении идентифицированных химических веществ, чем перечень эффектов, обусловленных влиянием неидентифицированных по составу пылей (взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70-20% SiO<sub>2</sub>, пыль неорганическая: до 20% SiO<sub>2</sub>).

Так, установленные нарушения состояния здоровья для неидентифицированных твердых фракций возможны со стороны органов дыхания, системных эффектов, преждевременной смертности. Идентифицированные компоненты дополнительно формируют: канцерогенные эффекты (соединения свинца), при остром и хроническом воздействии – нарушения органов зрения (соединения натрия), при хроническом воздействии – нарушения ЦНС, системы крови, процессов развития, репродуктивной системы, нейроэндокринной системы, почек (соединения свинца), кожи (соединения серебра).

Кроме того, референтные уровни идентифицированных химических примесей в атмосферном воздухе более жесткие, чем установленные для взвешенных веществ и пыли неорганической: 70-20% SiO<sub>2</sub> в 1,5-200,0 раз (табл.).

Результаты анализа дисперсного состава показали, что более 95% твердых частиц составляют частицы микроразмерного диапазона до 10 мкм, из них 60,1% – частицы до 2,5 мкм. Спектр негативных эффектов идентифицированных мелкодисперсных частиц шире (органы дыхания, сердечно-сосудистая система, процессы развития, преждевременная смертность). Референтные уровни при хроническом воздействии жестче в 1,5-5 раз, при остром – в 2,0-4,6 раза (табл.).

**Обсуждение.** По данным отечественных и зарубежных исследований, промышленные предприятия могут выбрасывать широкий перечень твердых веществ: соединения железа, меди, кремния, кальция, алюминия, ванадия, кадмия, калия, марганца, хрома, титана, взвешенные частицы РМ10, РМ2,5, фториды плохо растворимые и др. Попадая в организм человека ингаляционным путем, данные соединения могут формировать неблагоприятные эффекты со стороны здоровья [14-30].

Многие металлы, такие как железо, медь, натрий, калий, кальций и магний, участвуют в биологических процессах и поэтому необходимы для нормального функционирования человеческого организма. С другой стороны, когда данные токсичные металлы накапливаются в тканях в больших количествах, они могут вызывать целый ряд заболеваний со стороны дыхательной, сердечно-сосудистой, иммунной и др. систем [14, 15].

Исследование [14] показало, что пыль, содержащая различные соединения кремния, мышьяка и ванадия, снижает вентиляцию и жизненную емкость легких, повреждает слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, вызывает раздражение кожи и увеличивает смертность от рака легких и кишечника.

В исследованиях российских и зарубежных авторов [15, 16] установлено, что повышенные концентрации кремния и его соединений в атмосфере влияют главным образом на дыхательную систему, проявляясь в виде развития хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) и силикоза.

В ряде исследований [17-19] показано, что содержащийся в воздухе алюминий обладает нейротоксичностью, что проявляется в нарушении координации, когнитивных нарушениях, снижении двигательных реакций, головной боли, депрессии и усталости. Дыхательные эффекты у лиц, подвергающихся хроническому воздействию, проявляются в виде одышки, диспноэ, снижения функции легких, пневмокониоза, вызванного алюминием, и интерстициальной пневмонии.

В опубликованных исследованиях [20,21] сообщается, что медь играет важную метаболическую роль в организме человека, влияя на ход жирового, углеводного и белкового обмена. В то же время медь взаимодействует с гормонами (адреналином) и влияет на уровень некоторых витаминов (С, А и В) в органах и тканях. Избыток меди в мембранах способствует окислению липидов, активирует высвобождение кальция и ингибирует трансмембранный транспорт веществ.

Согласно исследованиям российских ученых [22,23], длительное вдыхание и попадание частиц железа в организм человека приводит к возникновению умеренно выраженного фиброза легких, который является доброкачественным и медленно прогрессирующим, часто осложняется неспецифической инфекцией и хроническим бронхитом, что в основном и определяет тяжесть заболевания.

По данным научного исследования [24], долгосрочное увеличение содержания мелкодисперсных частиц до 2,5 мкм в атмосфере на 5 мг/м<sup>3</sup> связано с прогрессирующим отложением кальция в коронарных артериях, о чем свидетельствует увеличение толщины интимы сосудов, а эндотелиальная сосудистая дисфункция и повышение регуляции вазоконстриктивных путей может привести к устойчивой гипертензии, увеличению сердечной постнагрузки, диастолической дисфункции, изменению резерва коронарного кровотока и гипертрофии левого желудочка.

По результатам релевантной литературы [25-27], критическими органами и системами при хроническом ингаляционном воздействии неорганических фторидов являются дыхательная и костная системы. Лица, находящиеся под воздействием длительной экспозиции фтористых соединений, жаловались на «ревматические приступы, боли или

чувство скованности», снижение подвижности. Рентгенологические исследования показали диффузный остеосклероз и утолщение костной ткани.

Результаты исследований российских ученых [28-30] установили, что повышенное содержание свинца, хрома, кадмия, никеля и других веществ, обладающих канцерогенной активностью, в атмосферном воздухе могут приводить к развитию онкологических заболеваний: рака легкого, желудка, почек, мозга.

Полученные в настоящей работе результаты исследования компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов согласуются с данными других релевантных исследований, а описанные негативные эффекты на здоровье в результате воздействия различных соединений твердых пылевых фракций подтверждают токсическое действие последних.

**Заключение.** В результате исследования установлено, что, по данным ведомости инвентаризации, предприятием выбрасывается порядка 30 химических веществ. В зоне влияния крупного промышленного предприятия регистрируются превышения гигиенических нормативов: по результатам расчетов рассеивания по 10 веществам до 1,3-6,3 ПДК<sub>мр</sub>, до 4,5 ПДК<sub>сс</sub>, до 1,2-11,1 ПДК<sub>сг</sub>; по натурным данным – по 14 веществам до 1,2-10,9 ПДК<sub>мр</sub>, до 4,9 ПДК<sub>сс</sub>, до 1,9-4,9 ПДК<sub>сг</sub>.

Установленные уровни экспозиции острого неканцерогенного риска, выраженные коэффициентами опасности, классифицируются как «высокие» – до 4,72 HQ<sub>ас</sub>, по хроническому неканцерогенному риску – «настораживающие» до 1,79 HQ<sub>сн</sub>. Установленные уровни экспозиции формировали повышенные индексы опасности в отношении возникновения заболеваний органов дыхания, нервной, кроветворной систем. Суммарный уровень канцерогенного риска (CR<sub>T</sub>) формировался на уровне  $5,21 \cdot 10^{-4}$  –  $5,58 \cdot 10^{-4}$ . Приоритетными факторами риска являлись взвешенные вещества, марганец и его соединения, меди оксид, трихлорэтилен, проп-2-еннитрил.

В ходе проведенного исследования установлен компонентный и дисперсный состав пылевых частиц в зоне влияния исследуемого предприятия, в котором идентифицированы такие твердые частицы и элементы, как медь, кремний, алюминий, железо, фосфор, кальций, титан, сера, калий, натрий, магний, свинец, серебро, фтор и кислород. Почти половина идентифицированных примесей (7 веществ) не исследуется на постах мониторинга и отсутствует в ведомостях инвентаризации исследуемого промышленного предприятия, при этом обладает более широким перечнем канцерогенных и неканцерогенных эффектов при ингаляционном поступлении идентифицированных химических веществ, чем эффекты, обусловленные влиянием неидентифицированных по составу пылей. Идентифицированные компоненты дополнительно формируют: канцерогенные эффекты, нарушения органов зрения, ЦНС, системы крови, процессов развития, репродуктивной и нейроэндокринной систем, почек, кожи. Ряд идентифицированных компонентов не исследуется на постах мониторинга качества атмосферного воздуха (соединения железа, кремния, кальция, натрия, магния, титана, свинца и др.).

Результаты анализа дисперсного состава показали, что более 95% твердых частиц составляют частицы микроразмерного диапазона до 10 мкм, из них 60,1% – частицы до 2,5 мкм.

Таким образом, результаты анализа качества атмосферного воздуха свидетельствуют о том, что рассчитанные по данным ведомостей инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха уровни экспозиции и риска здоровью, формируемые хозяйственной деятельностью промышленного предприятия, могут являться недооцененными.

Целесообразным является уточнение ведомостей инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха на промышленных предприятиях с ориентацией на учет и нормирование максимально полного перечня компонентов пылевых фракций с учетом их мелкодисперсного состава, являющихся факторами риска здоровью экспонируемого населения.

#### Список литературы:

1. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Бабина С.В., Клейн С.В., Андришунас А.М. Параметризация зависимостей между факторами риска и здоровьем населения при хроническом воздействии многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха. Анализ риска здоровью, 2022;(4):33-44.
2. Нецветаев А.Г. Правовая охрана атмосферного воздуха от загрязнения по законодательству Российской Федерации. Правовая безопасность личности, государства и общества: Сборник статей XIX Международной научной конференции. 2019;108-116.
3. Субботина О. Влияние металлургической промышленности на окружающую среду и здоровье человека. Меры по снижению воздействия. – Журнал о качестве жизни Greenologia. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://greenologia.ru/eko-problemy/metallurgicheskay-promyshlennost.html> (дата обращения: 10.03.2023).
4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. 684с.
5. Май И.В., Вековшина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: практический опыт выбора химических веществ для информационной системы анализа качества атмосферного воздуха Норильска. Гигиена и санитария, 2020; 99(8): 766-772.
6. Статистический бюллетень «Основные показатели охраны окружающей среды» за 2021 год. – Федеральная служба государственной статистики (Росстат) М, 2021;110 с.
7. Большая Е.П. Экология металлургического производства. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012:155 с.
8. Май И.В., Загороднов С.Ю., Макс А.А. Фракционный и компонентный состав пыли в воздухе рабочей зоны машиностроительного предприятия. Медицина труда и промышленная экология, 2012;(12):12-15.
9. Перечень веществ (атмосфера) ред. от 06.05.2022 г. // О ГК «ЭКО ЦЕНТР»: [Электронный ресурс]. URL: <https://eco-c.ru/guides/substances/> (дата обращения: 06.03.2023).



10. Никанов А.Н., Чашин В.П., Новикова Ю.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Производственно обусловленная заболеваемость среди рабочих цветной металлургии при пирометаллургическом способе получения никеля. Медицина труда и промышленная экология, 2021; 61(5): 305-310.
11. Здравоохранение. Федеральная служба государственной статистики: [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 06.03.2023).
12. Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, Москва, 2004; 144 с.
13. МР 2.1.6.0157-19 Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга, Москва, 2019; 36 с.
14. Мудрый И.В. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на организм / И.В. Мудрый, Т.К. Короленко // Врачебное дело, 2002; 5/6: 6-9.
15. Таран А.А., Бирюкова Н.В. Влияние экологии на здоровье человека в XXI веке. Актуальные вопросы современной науки и образования: монография. 2021; 258-264.
16. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) // Toxicological profile for Silica. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service [Электронный ресурс]. 2019. URL: <file:///C:/Users/ANDRIS~1/AppData/Local/Temp/tp211.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
17. The Link Between Aluminum Exposure And Alzheimer's Disease Can No Longer Be Ignored. DailyHealthPost EditorialMarch. 2020;5. URL: <https://dailyhealthpost.com/study-links-alzheimers-to-aluminum-exposure/> (дата обращения: 12.03.2023).
18. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Aluminum. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2008. URL: <file:///C:/Users/ANDRIS~1/AppData/Local/Temp/tp22-c3.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).
19. Данилов И.П., Захаренков В.В., Олещенко А.М., Шавлова О.П. и др. Профессиональная заболеваемость работников алюминиевой промышленности – возможные пути решения проблемы. Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. 2010; 4(74): 17–21.
20. Perveen S. Division of Neonatal Perinatal Medicine, Schneider Childrens Hospital at North Shore, Manhasset, NY 11030, USA / S. Perveen, W. Altaf, M.L. Bautista // Early Human Development Journal. 2002; 69(1–2):15–23.
21. Демидчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М. Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений. Успехи современной биологии. 2001; 121(5):511–525.
22. Чомаева М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор [Текст]. Национальная безопасность и стратегическое планирование. СПб.: Стратегия будущего. 2015; 2/1: 119-122. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-2-2-6-8.
23. Бабанов С., Аверина О. Пылевые заболевания легких: диагностика, лечение. Врач. 2013;(2):25-28.
24. Sanjay Rajagopalan, Sadeer G. Al-Kindi, Robert D. Brook Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review / J.Am.Coll.Cardiol. 2018;72(17):2054-2070.

25. Донских И.В. Влияние фтора и его соединений на здоровье населения (обзор данных литературы). *Acta Biomedica Scientifica. Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*, 2013;3 (91)/2: 179-185.
26. Макаров О.А., Савченков М.Ф., Охремчук Л.В., Николаева Л.А., Шин Н.С. Анализ тиреоидной патологии у детей в условиях загрязнения окружающей среды фтористыми соединениями. *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск*, 2011; 219–224.
27. Николаева Л.А. Хроническая интоксикация фтором и его соединениями. *Естествознание и гуманизм*, 2010; VI(1).
28. Ильичева С. А., Заридзе Д.Г. Современное состояние проблемы оценки потенциальной канцерогенной опасности свинца и его соединений. *Здравоохранение Российской Федерации*, 2015; 9(2): 48-52.
29. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Пережогин А.Н., Клейн С.В. Оценка аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов на здоровье детского населения в зоне влияния предприятий по производству алюминия. *Гигиена и санитария*, 2019; 98(1): 68-75.
30. Клейн С.В., Вековшинина С.А., Балашов С.Ю., Камалтдинов М.Р., Атискова Н.Г., Недошитова А.В., Ханхареев С.С., Мадеева Е.В. Анализ причинноследственных связей уровней биологических маркеров экспозиции тяжелых металлов с их персонифицированной дозой нагрузкой в зоне влияния отходов крупного металлургического комбината. *Гигиена и санитария*, 2017; 96(1): 29-35.

#### References:

1. Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.YU., Babina S.V., Kleyn S.V., Andrishunas A.M. *Parametrizatsiya zavisimostey mezhdru faktorami riska I zdorov'em naseleniya pri chronicheskom vozdeistvii mnogokomponentnogo zagryazneniya atmosfernogo vozduha.* [Parameterization of dependencies between risk factors and public health under chronic exposure to multicomponent air pollution]. *Analiz riska zdorov'yu.* [Analysis of health risks]. 2022;(4): 33-44. (in Russ).
2. Netsvetaev A.G. *Pravovaya bezopasnost' lichnosti, gosudarstva i obshchestva: Sbornik statei XIX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Right protection of atmosphere air from pollution according to the legislation of the Russian federation]. 2019; 108-116 (in Russ).
3. Subbotina O. *Vliyanie metallurgicheskoi promyshlennosti na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e cheloveka. Mery po snizheniyu vozdeistviya.* [The impact of the metallurgical industry on the environment and human health. Mitigation measures]. – *Zhurnal o kachestve zhizni Greenologia.* 2020. URL: <https://greenologia.ru/eko-problemy/metallurgicheskay-promyshlennost.html> (data obrashcheniya: 10.03.2023) (in Russ).
4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. *Gosudarstvennyi doklad.* [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021. State report.] М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022; 684 p. (in Russ.).

5. May I.V., Vekovshinina S.A., Kleyn S.V., Balashov S.YU., Andrishunas A.M., Goryaev D.V. "Chisty vozduh" federal'ny proekt: prakticheskiy opyt vybora himicheskikh veshchestv dlya informatsionnoy sistemy analiza kachestva atmosfernogo vozduha norilska. [«Pure air» Federal project: practical experience in selecting chemicals for an information system for the analysis of ambient air quality]. *Gigiena i sanitariya*, [Hygiene and sanitation], 2020; 99(8): 766-772 (in Russ).
6. Statisticheskii byulleten' «Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchei sredy» za 2021 god. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat). M, 2021; 110 p. (in Russ).
7. Bol'shina E.P. *Ekologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [Ecology of metallurgic industry]. Novotroitsk: NF NITU «MISiS». [Statistical bulletin "Key indicators of environmental protection" for 2021]. – Federal State Statistics Service (Rosstat)] 2012;155 p. (in Russ).
8. May I.V., Zagorodnov S.Yu., Max A.A. Fraktsionny i komponentny sostav pyli v vozduhe rabochey zony mashinostroitel'nogo predpriyatiya. [Fractional and component composition of dust in the air of workplace at machinery enterprise]. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, [Occupational health and human ecology]. 2012; 12: 12-15 (in Russ).
9. Perechen' veshchestv (atmosfera) red. ot 06.05.2022 g. O GK «EKO TsENTR». [List of substances (atmosphere) ed. dated May 06, 2022 About ECO CENTER Group of Companies]: URL: <https://eco-c.ru/guides/substances/> (data obrashcheniya: 06.03.2023) (in Russ).
10. Nikanov A.N., Chashchin V.P., Novikova Yu.A., Gudkov A.B., Popova O.N. Proizvodstvenno obuslovlennaya zabolevaemost' sredi rabochikh tsvetnoi metallurgii pri pirometallurgicheskom sposobe polucheniya nikelya. [Work-related morbidity among metallurgy workers in pirometallurgic method of nikel production]. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, [Occupational health and industrial ecology]. 2021; 61(5): 305-310 (in Russ).
11. Zdravookhranenie. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. [Health care. Federal State Statistics Service:] URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (data obrashcheniya: 06.03.2023).
12. R 2.1.10.1920-04 Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu, Moskva, 2004; 12. R 2.1.10.1920-04 [Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment], 144 p (in Russ).
13. MR 2.1.6.0157-19 Formirovanie programm nablyudeniya za kachestvom atmosfernogo vozdukha i kolichestvennaya otsenka ekspozitsii naseleniya dlya zadach sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa, Moskva, 2019; [ MR 2.1.6.0157-19 Formation of air quality monitoring programs and quantitative assessment of population exposure for the tasks of socio-hygienic monitoring]. 36 p (in Russ).
14. Mudryi I.V. *Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede i ikh vliyanie na organizm* [Hard metals in the environment and their impact on the body] / I.V. Mudryi, T.K. Korolenko. *Vrachebnoe delo*. [Medicine]. 2002; (5/6): 6-9 (in Russ).
15. Taran A.A., Biryukova N.V. *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i obrazovaniya – Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i obrazovaniya: monografiya*. [Modern quality of life in a

- metropolis and methods of dealing with environmental degradation ]. 2021; 258-264 (in Russ).
16. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Silica. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2019. URL: file:///C:/Users/ANDRIS~1/AppData/Local/Temp/tp211.pdf (accessed 10.03.2023).
  17. The Link Between Aluminum Exposure And Alzheimer's Disease Can No Longer Be Ignored. DailyHealthPost Editorial March. 2020; (5). URL: <https://dailyhealthpost.com/study-links-alzheimers-to-aluminum-exposure/> (accessed: 12.03.2023).
  18. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Aluminum. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2008. URL: file:///C:/Users/ANDRIS~1/AppData/Local/Temp/tp22-c3.pdf (accessed: 12.03.2023).
  19. Danilov I.P., Zakharenkov V.V., Oleshchenko A.M., Shavlova O.P. et al. *Professionalnaya zaboлеваemost' rabotnikov alyuminevoy promyshlennosti – vozmozhnye puti resheniya problemy*. [Occupational diseases in aluminium workers - possible ways of solving the problem]. Byull. VSNTs SO RAMN, 2010; 4(74): 17-21 (in Russ).
  20. Perveen S. Division of Neonatal Perinatal Medicine, Schneider Childrens Hospital at North Shore, Manhasset, NY 11030, USA / S. Perveen, W. Altaf, M.L. Bautista. Early Human Development Journal, 2002; 69(1-2): 15-23.
  21. Demidchik V.V. *Toksichnost' izbytki medi i tolerantnost' k nemu rastenii* / [Toxicity of excess copper and plant tolerance to it]. V.V. Demidchik, A.I. Sokolik, V.M. Yurin. Uspekhi sovremennoi biologii, 2001; 121(5): 511–525 (in Russ).
  22. Chomaeva M.N. Promyshlennaya pyl rfr vredny proizvodstvenny factor. / M. N. Chomaeva. Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. [Industrial dust as a negative impact factor on the human body] - SPb.: Strategiya budushchego, [Strategy of the future]. 2015; 2/1: 119-122. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-2-2-6-8 (in Russ).
  23. Babanov S., Averina O. *Pylevye zabolevaniya legkikh: diagnostika, lechenie*. [Dust diseases of the lungs: diagnosis, treatment]. Vrach, [Doctor]. 2013; (2): 25-28 (in Russ).
  24. Sanjay Rajagopalan, Sadeer G. Al-Kindi, Robert D. Brook Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review / J.Am.Coll.Cardiol, 2018; 72(17): 2054-2070.
  25. Donskikh I.V. *Vliyanie ftora i ego soedinenii na zdorov'e naseleniya (obzor dannykh literatury)*. [The impact of fluorine and its compounds on the population health (literature review)]. Acta Biomedica Scientifica. Byulleten' VSNTs SO RAMN, 2013, 3(91), Chast' 2: 179-185 (in Russ).
  26. Makarov O.A., Savchenkov M.F., Okhremchuk L.V., Nikolaeva L.A., Shin N.S. Analiz tireoidnoi patologii u detei v usloviyakh zagryazneniya okruzhayushchei sredy ftoristymi soedineniyami. [Analysis of thyroid pathology in children in the conditions environmental pollution with fluorine compounds]. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Irkutsk, 2011; 219-224.
  27. Nikolaeva L.A. *Khronicheskaya intoksikatsiya ftorom i ego soedineniyami*. [Chronic intoxication with fluorine and its compounds]. *Estestvoznaniye i gumanizm*, 2010; VI(1) (in Russ).
  28. Ilicheva S. A., Zaridze D.G. *Sovremennoye sostoyanie problemy otsenki potentsial'noy kantserogennoy opasnosti svintsa I ego soedineniy*. [The actual condition of problem of

- evaluation of potential carcinogenic danger of lead and its compounds]. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. [Russian public healthcare]. 2015; 59 (2): 48-52 (in Russ).
29. Zaitseva N.V., Zemlianova M.A., Koldibekova Yu.V., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Perezhogin A.N., Kleyn S.V. *Otsenka aerogennogo vozdeistviya prioritetnyh himicheskikh faktorov na zdorov'ye detskogo naseleniya v zone vliyaniya predpriyatiy po proizvodstvu alyuminiya*. [Evaluation of the aerogenic impact of priority chemical factors on the health of the child population in the zone of the exposure of aluminum enterprises]. *Gigiena i sanitariya*. [Hygiene and sanitation], 2019; 98(1): 68-75 (in Russ).
30. Kleyn S.V., Vekovshina S.A., Balashov S.Yu., Kamaltdinov M.R., Atiskova N.G., Nedoshitova A.V., Khankhareev S.S., Madeeva E.V. *Analiz prichinnosledstvennykh svyazei urovney biologicheskikh markerov 'rspozitsii tyazhelykh metallov s ih perconifitsirovannoy dozovoy nagruzkoy v zone vliyaniya othodov krupnogo metallurgicheskogo kombinata*. [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], 2017; 96(1): 29-35 (in Russ).

Поступила/Received: 17.04.2023

Принята в печать/Accepted: 02.05.2023