



Научная статья

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ДЕТЕЙ БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**И.В. Тихонова¹, М.А. Землянова², Ю.В. Кольдибекова²,
Е.В. Пескова², А.М. Игнатова²**¹Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Россия, 660049, г. Красноярск, ул. Каратанова, 21²Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

В настоящее время актуальным является учет химического и фракционного состава при исследовании и оценке влияния взвешенных веществ на заболеваемость детей. Основная цель такого исследования – профилактика негативных последствий со стороны органов дыхания.

Объектами исследования являлись атмосферный воздух селитебных территорий, характеризующийся загрязнением взвешенными веществами – компонентами выбросов предприятий цветной металлургии (территория наблюдения) и отсутствием загрязнения данными компонентами (территория сравнения), и связанная с этим заболеваемость детского населения.

Оценка качества атмосферного воздуха по содержанию взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ показала превышение нормативов, рекомендованных ВОЗ, до 1,4 раза ПДК_{сс}. Респираторная фракция взвешенных частиц характеризуется сложным химическим составом с содержанием металлов, специфичных для выбросов предприятий металлургической промышленности: никеля, меди, железа, алюминия, титана, галлия и неодима. Последнее может усилить негативное воздействие взвешенных веществ на органы дыхания. В результате эпидемиологической оценки в зоне загрязнения установлен более высокий, чем в зоне сравнения, уровень общей и первичной заболеваемости по классу болезней органов дыхания до 1,8 раза, а по отдельным нозологическим формам в виде хронической болезни миндалин и аденоидов, астмы и астматического статуса – до 14,8 раза. Установлена достоверная зависимость вероятности возникновения заболеваний органов дыхания от повышенного содержания в атмосферном воздухе взвешенных веществ.

Результаты доказанной зависимости позволяют прогнозировать на территории исследования до 500–1000 дополнительных заболеваний органов дыхания в год, ассоциированных у детей с аэрогенной экспозицией взвешенных веществ.

Ключевые слова: атмосферный воздух, взвешенные вещества, PM_{10} , $PM_{2.5}$, органы дыхания, детское население, дополнительная заболеваемость.

Промышленные комплексы цветной металлургии, расположенные в регионах Российской Федерации, являются, как правило, крупными объектами как по объему производства, так и по массам выбросов загрязняющих веществ в атмосферный

воздух [1]. Отходящие пылегазовые смеси металлургических производств включают общераспространенные газообразные вещества (оксиды серы, азота, углерода), специфические соединения (железо, марганец, никель, свинец, алюминий и прочие),

© Тихонова И.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В., Игнатова А.М., 2020

Тихонова Ирина Викторовна – начальник отдела социально-гигиенического мониторинга (e-mail: tihonova_iv@24.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (391) 226-89-91; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4111-8454>).

Землянова Марина Александровна – доктор медицинских наук, заведующий отделом биохимических и цитогенетических методов диагностики (e-mail: zem@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8013-9613>).

Кольдибекова Юлия Вячеславовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник с выполнением обязанностей заведующего лабораторией метаболизма и фармакокинетики отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики (e-mail: koldibekova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3924-4526>).

Пескова Екатерина Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории биохимической и наносенсорной диагностики отдела биохимических и цитогенетических методов (e-mail: peskova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-39-30; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059>).

Игнатова Анна Михайловна – научный сотрудник (e-mail: iamptu@gmail.com; тел.: 8 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9075-3257>).

а также взвешенные вещества. Выбросы пылей вносят существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха селитебной застройки. Воздействие взвешенных веществ может приводить к негативным последствиям со стороны здоровья населения, в первую очередь в виде заболеваний органов дыхания. Особенно опасно воздействие на детский контингент в силу несовершенства защитных и адаптационных возможностей организма ребенка¹ [2].

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) взвешенные вещества и входящие в их состав мелкодисперсные частицы размером 2,5 и 10 мкм относят к перечню приоритетных загрязняющих веществ по уровню влияния на здоровье населения [3]. Исходя из рекомендаций ВОЗ, в качестве средней суточной предельно допустимой концентрации в атмосферном воздухе для $PM_{2.5}$ установлена концентрация $0,025 \text{ мг/м}^3$, для PM_{10} – $0,05 \text{ мг/м}^3$, что в 1,4 и 1,2 раза жестче соответствующих гигиенических нормативов, принятых в Российской Федерации². Химический состав взвешенных частиц металлургических предприятий зависит от особенностей технологических процессов производства и включает в себя различные неорганические компоненты, в первую очередь металлы [4–6]. В публикации по оценке воздействия взвешенных частиц на здоровье населения показан широкий спектр негативных эффектов, в том числе со стороны органов дыхания – в виде увеличения частоты бронхитов и других симптомов со стороны верхних и нижних дыхательных путей, обострения приступов бронхиальной астмы, увеличения частоты случаев пневмоний и смертности по причине болезней органов дыхания [7]. Наиболее масштабное эпидемиологическое исследование по 22 когортам в Европе подтвердило зависимость общей смертности от концентраций в атмосферном воздухе $PM_{2.5}$, которая возрастала на 7 % на каждые 5 мкг/м^3 [8].

По данным ВОЗ загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами оказывает выраженное негативное влияние непосредственно на дыхательные пути. Доказана способность частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм проникать по бронхиальному дереву и накапливаться в тканях легких, менее 2,5 мкм – достигать бронхиол и альвеол, а менее 0,1 мкм – проникать в кровоток [4, 6, 9, 10]. В экспериментальных исследованиях установлено, что воздействие $PM_{2.5}$ на слизистую респираторного тракта уменьшает количество бокаловидных клеток и толщину эпителия [11]. Данные изменения

приводят к сокращению пула фагоцитирующих макрофагов и эпителиальных клеток, участвующих в защитной функции дыхательных путей от негативного воздействия загрязняющих веществ атмосферного воздуха [6].

Многочисленные зарубежные и российские исследования свидетельствуют о прямой связи между существенным ростом заболеваний и возникновением дополнительных случаев заболеваемости со стороны органов дыхания и воздействием взвешенных частиц из атмосферного воздуха [7, 12–14]. Доказано, что при увеличении среднесуточной концентрации PM_{10} на каждые 10 мкг/м^3 обращаемость или госпитализация населения по поводу заболеваний верхних и нижних отделов дыхательных путей повышается от 2,4 до 3,4 %, а число случаев заболеваний бронхитом возрастает на 10–25 % [15, 16]. При возрастании концентрации PM_{10} на 10 мкг/м^3 в течение двух месяцев частота приступов бронхиальной астмы у детей повышается на 4,2 % [16].

В настоящее время актуальным является исследование и оценка влияния взвешенных веществ с учетом их химического и фракционного состава на заболеваемость детей для решения задач профилактики негативных последствий со стороны органов дыхания.

Цель исследования – гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния источников выбросов металлургического производства.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись пробы атмосферного воздуха селитебных территорий, характеризующихся загрязнением атмосферного воздуха взвешенными веществами от источников выбросов предприятий цветной металлургии (территория наблюдения) и отсутствием загрязнения данными компонентами (территория сравнения), базы данных по заболеваемости детского населения.

Исследование фракционного и химического состава взвешенных частиц выполнено на основании анализа отобранных суточных проб атмосферного воздуха в жилой застройке в точке, расположенной на расстоянии, удаленном от границы санитарно-защитной зоны объекта металлургического производства на 2 км. Пробы отобраны с 00.30 до 18.30 ч воздухозаборным устройством «ПА-300М-2» (Россия) на фильтры «АФА-ВП-20-2» (Россия). Исследование гранулометрического состава взвешенных частиц выполнено методом анализа изобразжений на растровом электронном сканирующем

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 254 с.

² ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 года № 165 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения: 07.02.2020).

микроскопе S-3400N (Hitachi, Япония) с программным обеспечением ImageJ-FiJi (Германия), химического состава взвешенных частиц – методом рентгеноспектрального анализа с помощью энергодисперсионного спектрометра XFlash Detektor 4010 (Bruker, Германия).

Гигиеническая оценка содержания взвешенных веществ и их фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} в пробах атмосферного воздуха выполнена в соответствии с ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» центром коллективного пользования ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Сравнительная оценка общей и первичной заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения (до 14 лет) территорий наблюдения и сравнения осуществлена по данным формы федерального статистического наблюдения № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» за 2014–2018 гг. и по результатам анализа данных фактической обращаемости населения за медицинской помощью Территориального фонда обязательного медицинского страхования (ФОМС) за 2017–2018 гг. Проведена адресная привязка данных реестра случаев обращений за медицинской помощью экспонированного и неэкспонированного населения. С помощью пространственного пересечения с использованием ArcGIS 9.3 установлено количество детского населения, находящегося в зоне экспозиции химических факторов, тропных к органам дыхания.

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. Для количественной характеристики исследуемых показателей использовали значения средней и ее ошибки, так как случайные

величины анализируемых показателей соответствовали закону нормального распределения. Оценка достоверности различий в заболеваемости детского населения территории наблюдения и сравнения проведена с использованием *t*-критерия Стьюдента. Статистически значимым считали уровень $p \leq 0,05$ [17].

Выявление и оценку причинно-следственных связей вероятности возникновения заболеваний органов дыхания от уровня взвешенных веществ в атмосферном воздухе выполняли с помощью специалистов отдела математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с использованием метода простого линейного регрессионного анализа.

Достоверность и адекватность модели регрессии оценивали на основании уровня значимости (*p*) и величины коэффициента корреляции (*r*). Проверка статистической значимости проводилась с использованием стандартной процедуры проверки статистических гипотез, основанной на расчете критерия Стьюдента (*t*) [18].

Результаты и их обсуждение. В состав выбросов предприятий металлургического профиля входит порядка 50 наименований химических веществ (связаны с деятельностью предприятия по производству глинозема). Взвешенные вещества и оксиды металлов, входящие в их состав, составляют порядка 20 % от общего числа выбрасываемых веществ.

Оценка результатов исследования фракционного состава взвешенных веществ показала, что в атмосферный воздух территории наблюдения поступают взвешенные вещества. При этом порядка 57,0 % от общего количества частиц приходится на частицы диаметром 2,5–10,0 мкм. Частицы с диаметром 0,1–2,5 мкм составили 21,0 %, частицы менее 0,1 мкм – 22,0 % (табл. 1).

Обращает на себя внимание, что доля частиц с аэродинамическим диаметром 2,5–10,0 мкм и менее 0,1 мкм в атмосферном воздухе территории наблюдения в 3,0–10,0 раза превысила соответствующие показатели территории сравнения.

Таблица 1

Фракционный состав и среднесуточная концентрация частиц отдельных размерных групп, осажденных на фильтры, при исследовании атмосферного воздуха жилой застройки

Диапазон размера частиц, мкм	ПДК _{сс} [*] , мг/м ³	ПДК _{сс} ^{**} , мг/м ³	Территория наблюдения		Территория сравнения	
			доля частиц, %	среднесуточная концентрация частиц, мг/м ³	доля частиц, %	среднесуточная концентрация частиц, мг/м ³
Менее 0,1	–	–	22,3	0,018	2,23	0,002
0,1–2,5 ($PM_{2,5}$)	0,035	0,025	20,8	0,034	79,88	0,024
2,5–10,0 (PM_{10})	0,06	0,05	56,9	0,057	17,87	0,014

Примечание:

* – величина среднесуточной предельно допустимой концентрации веществ согласно ГН 2.1.6.3492-17³;

** – величина среднесуточной предельно допустимой концентрации веществ согласно Директиве Европейского союза.

³ ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 года № 165 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения: 07.02.2020).

Примеры химического состава отдельных дисперсных частиц в пробах атмосферного воздуха жилой застройки в зоне влияния металлургического производства

Территория жилой застройки	Размер частицы, мкм	Химический состав, мас. %									
		Na	Mg	Ca	Al	Cu	Fe	Ni	Ti	Ga	Nd
Территория наблюдения	66,89	7,11	4,87	9,58	6,51	–	0,63	–	–	–	–
	39,55	6,80	1,82	1,86	–	1,25	5,48	4,14	–	–	–
	1,12	1,50	7,49	6,59	1,46	3,54	0,16	5,0	3,68	0,64	4,10
	0,98	–	–	–	–	62,01	–	11,97	–	–	–
Территория сравнения	61,58	–	10,23	1,41	3,663	–	10,10	–	–	–	–
	19,43	–	6,29	0,86	11,50	43,14	–	–	–	–	–
	72,56	–	9,08	5,00	7,25	–	0,60	–	–	–	–

Оценка качества атмосферного воздуха показала, что содержание взвешенных веществ в атмосферном воздухе территории наблюдения до пяти раз превышает предельно допустимую среднюю суточную концентрацию и до 2,5 раза превышает показатель территории сравнения. Оценка содержания PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе жилой застройки территории наблюдения показала отсутствие превышений среднесуточных гигиенических нормативов РФ. При этом установлено превышение в 1,2 и в 1,4 раза соответственно среднесуточных предельно допустимых концентраций, рекомендованных ВОЗ, а также в 1,4 и в 4,0 раза соответственно аналогичных показателей территории сравнения.

Химический состав мелкодисперсных частиц различного размера сложный и включает комплекс порядка 15 наименований оксидов металлов и неметаллов. При этом большая часть металлов, входящих в состав частиц (железо, никель, медь, титан, галлий, неодим), характерна для выбросов предприятий металлургического производства (табл. 2).

В пробах атмосферного воздуха территории наблюдения в состав исследованных мелкодисперсных частиц чаще входят общераспространенные оксиды натрия с массовой долей от 1,5 до 7,1 % и специфические оксиды металлургического производства – меди, железа, никеля, титана с массовой долей от 0,16 до 6,5 %; реже встречаются оксиды титана, галлия и неодима – от 0,6 до 11,9 %, отсутствующие в составе мелкодисперсных частиц в пробах атмосферного воздуха территории сравнения. Пример спектрограммы, характеризующей химический состав отдельной мелкодисперсной частицы и ее электронное изображение, представлен на рис. 1, 2.

Анализ заболеваемости населения по данным государственной статистической отчетности за 2014–2018 гг. показал, что первое ранговое место в структуре общей и первичной заболеваемости детского населения как территории наблюдения, так и территории сравнения занимают болезни органов дыхания. Общая заболеваемость детского населения болезнями органов дыхания на территории наблюдения составила 1342,03 случая на 1000 детей, что в 1,8 раза выше аналогичного показателя у детей территории сравнения (760,95 случая на 1000 детей, $p \leq 0,05$) (табл. 3). При этом средний за пять лет

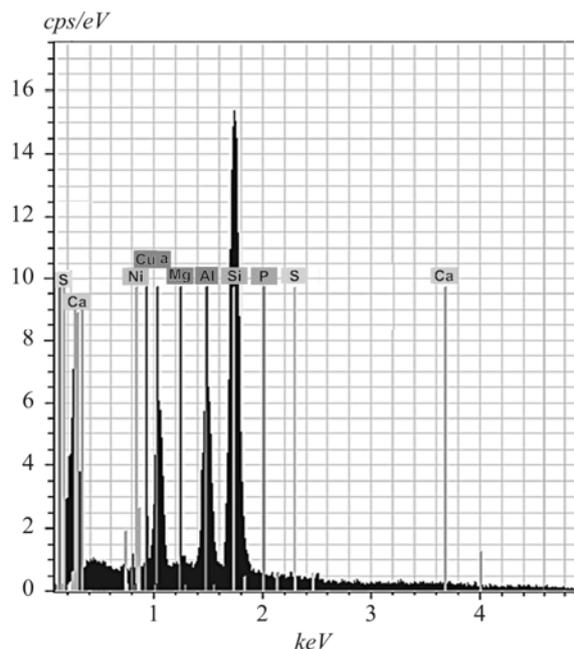


Рис. 1. Пример химического состава мелкодисперсной частицы пробы атмосферного воздуха жилой застройки территории наблюдения: cps/eV – число импульсов в секунду на электронвольт, keV – килоэлектронвольт

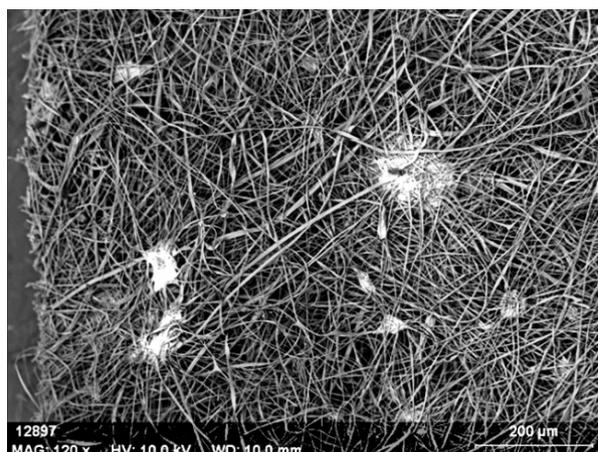


Рис. 2. Изображение на растровом электронном сканирующем микроскопе мелкодисперсных частиц пыли, осажденных на фильтре, при исследовании атмосферного воздуха территории наблюдения (масштаб 120:1)

Показатели заболеваемости детского населения территории наблюдения и сравнения за 2014–2018 гг.

Класс болезней / нозологическая форма (по МКБ-10)	Территория наблюдения		Территория сравнения		Достоверность различий по среднему, $p \leq 0,05$
	среднее за 2014–2018 гг., число сл. на 1000 детей	темп прироста к 2014 г., % *	среднее за 2014–2018 гг., число сл. на 1000 детей	темп прироста к 2014 г., % *	
<i>Общая заболеваемость</i>					
J00–J98. Болезни органов дыхания	1342,03 ± 90,11	–3,30	760,95 ± 20,14	–5,67	≤0,05
J30.1. Аллергический ринит (поллиноз)	10,44 ± 1,25	–8,72	0,13 ± 0,02	0,00	≤0,05
J35–J36. Хронические болезни миндалин и аденоидов	49,84 ± 8,52	45,62	3,36 ± 0,05	–68,55	≤0,05
J44. Другая хроническая обструктивная легочная болезнь	2,29 ± 0,51	287,55	1,55 ± 0,21	–64,09	0,29
J45–J46. Астма, астматический статус	18,12 ± 2,47	–33,77	4,37 ± 0,85	81,43	≤0,05
<i>Первичная заболеваемость</i>					
J00–J98. Болезни органов дыхания	1274,97	–1,21	752,03	–3,40	0,30
J30.1. Аллергический ринит (поллиноз)	1,47	–40,97	–	–*	≤0,05
J35–J36. Хронические болезни миндалин и аденоидов	16,66	–24,98	3,07	–90,21	≤0,05
J44. Другая хроническая обструктивная легочная болезнь	0,76	764,71	0,54	–100,00	0,34
J45–J46. Астма, астматический статус	1,78	–21,72	1,28	116,35	0,14

Примечание: * – при нулевых значениях показателя в 2014 г. темп прироста не рассчитывали.

показатель общей заболеваемости детского населения территории наблюдения по отдельным нозологиям достоверно превышал соответствующие показатели у детей территории сравнения: аллергический ринит – в 80,3 раза, хронические болезни миндалин и аденоидов – в 14,8 раза, астма и астматический статус – в 4,14 раза ($p \dots 0,05$).

Обращает на себя внимание тенденция увеличения (до 1,7 раза) первичной заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания территории наблюдения (1274,97 случая на 1000 детей) относительно аналогичного показателя территории сравнения (752,03 случая на 1000 детей). При этом показатель первичной заболеваемости детей хроническими болезнями миндалин и аденоидов в среднем за пять лет достоверно превысил в 5,4 раза соответствующие данные территории сравнения ($p \leq 0,05$).

За анализируемый период у детей территории наблюдения зарегистрированы новые случаи заболеваний аллергическим ринитом, в то время как у детей территории сравнения ситуация обратная. По остальным нозологическим формам достоверных различий не выявлено.

Заболеваемость детей болезнями органов дыхания по данным обращаемости за медицинской помощью за 2017–2018 гг. на территории наблюдения и сравнения в среднем составила 1426,46 и 788,99 случая на 1000 детей соответственно, кратность различий – 1,8 раза ($p = 0,0001$).

Оценка причинно-следственных связей в системе «качество атмосферного воздуха – заболеваемость детей» позволила установить прямую зависимость вероятности повышения уровня заболеваемости болезнями органов дыхания (по данным обращаемости за медицинской помощью) от концентрации взвешенных веществ ($a = 0,534$; $b = 1,787$; $r = 0,19$; $p = 0,0001$). При этом вклад взвешенных веществ в формирование нарушений со стороны органов дыхания составил порядка 20 %.

Результаты выполненных исследований показали превышение в атмосферном воздухе до пяти раз среднесуточных предельно допустимых концентраций взвешенных веществ и до 1,4 раза содержания PM_{10} и $PM_{2,5}$ относительно гигиенических нормативов, рекомендованных ВОЗ. При этом частицы $PM_{2,5}$ и PM_{10} составляют большую долю (до 57 %) в общем количестве взвешенных частиц в составе отходящих пылегазовых смесей от металлургических производств, что согласуется с мнением экспертов ВОЗ по данной проблеме, а также подтверждает результаты исследований российских ученых [18–20]. При этом частицы размером более 1 мкм, содержащие в своем составе специфические оксиды металлов (никель, медь, железо, титан, галлий и неодим), в силу своей токсичности могут усугублять негативное воздействие на респираторный тракт.

По данным государственной отчетности и обращаемости за медицинской помощью детского населения территории наблюдения относительно показателей у детей территории сравнения установлен повышенный в 1,7–1,8 раза уровень общей и первичной заболеваемости как в целом по классу болезней органов дыхания, так и в 4,0–14,8 раза по

отдельным нозологическим формам (хроническая болезнь миндалин и аденоидов, астма и астматический статус). Полученные результаты согласуются с данными, представленными в научных работах отечественных и зарубежных исследований по эпидемиологической оценке влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на распространенность болезней органов дыхания в детской популяции [7, 21, 22].

Установленная прямая зависимость вероятности повышения уровня заболеваемости болезнями органов дыхания у детей при аэрогенном воздействии взвешенных веществ позволяет предположить в год до 500 дополнительных случаев заболеваний на 1000 детей, ассоциированных с повышенным уровнем изучаемого фактора загрязнения атмосферного воздуха. Использование полученных научно обоснованных результатов позволяет установить причинно-следственные связи между условием проживания на территории и возникновением заболеваний, что дает возможность принимать эффективные управленческие решения, направленные на снижение негативных последствий со стороны органов дыхания у детей, подвергающихся аэрогенной химической экспозиции [23].

Присутствие взвешенных веществ, в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$, в атмосферном воздухе селитебной застройки территории с размещением предприятий металлургического профиля и развитие выраженных негативных эффектов при их воздействии позволяют предположить наличие дополнительной заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания, ассоциированной с содержанием взвешенных веществ в атмосферном воздухе, что подтверждается полученными результатами исследования. Эффективное снижение содержания взвешенных частиц в атмосферном воздухе промышленных регионов, в том числе территорий с размещением металлургических предприятий, возможно путем совершенствования нормативной базы в части регламентации содержания в атмосферном воздухе мелкой фракции взвешенных частиц и разработки технологических и санитарно-гигиенических

мероприятий в отношении источников выбросов. Для детского населения, постоянно проживающего в зонах аэрогенной экспозиции взвешенными веществами, необходимо проведение адресных медико-профилактических мероприятий, направленных на снижение случаев заболеваний со стороны органов дыхания.

Выводы:

1. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха по содержанию взвешенных веществ показала превышение предельно допустимых среднесуточных концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$ – до 1,2 и 1,4 раза ПДК_{сс} соответственно относительно нормативов, рекомендованных ВОЗ.

2. Респирабельная фракция взвешенных частиц характеризуется сложным химическим составом и включает металлы (никель, медь, железо, титан, галлий и неодим), специфичные для выбросов в атмосферный воздух от источников предприятий металлургической отрасли промышленности, что может обуславливать нарастание негативного воздействия взвешенных веществ на органы дыхания у детей.

3. Оценка заболеваемости показала повышенный уровень общей и первичной заболеваемости у детского населения по классу болезней органов дыхания в целом до 1,8 раза, а по отдельным нозологическим формам в виде хронической болезни миндалин и аденоидов, астмы и астматического статуса – до 14,8 раза относительно аналогичных показателей у неэкспонированных детей.

4. Доказана зависимость вероятности возникновения заболеваний органов дыхания от повышенного содержания в атмосферном воздухе взвешенных веществ, что позволило прогнозировать у детей до 500–1000 дополнительных случаев заболеваний органов дыхания, ассоциированных с аэрогенной экспозицией взвешенных веществ, в год.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках бюджетного финансирования в соответствии с государственным заданием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Основные показатели охраны окружающей среды – 2019 г. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – 2019. – URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr19/Main.htm (дата обращения: 04.02.2020).
2. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных частиц в атмосферном воздухе / К.С. Голохваст, Н.К. Христофорова, П.Ф. Кику, А.Н. Гульков // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2011. – № 40. – С. 94–100.
3. World Health Organization. Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2014 [Электронный ресурс] // World Health Organization. – URL: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/148114/1/9789241564854eng.pdf?ua/> (дата обращения: 04.02.2020).
4. Inhaled Pollutants: The Molecular Scene behind Respiratory and Systemic Diseases Associated with Ultrafine Particulate Matter / H. Traboulsi, N. Guerrina., M. Iu, D. Maysinger, P. Ariya, C.J. Baglolle // Int. J. Mol. Sci. – 2017. – Vol. 24, № 18 (2). – P. 243. DOI: 10.3390/ijms18020243
5. Fine particulate matter components and emergency department visits for cardiovascular and respiratory diseases in the St. Louis, Missouri-Illinois, Metropolitan Area / S.E. Sarnat, A. Winquist, J.J. Schauer, J.R. Turner, J.A. Sarnat // Environ. Health Perspect. – 2015. – Vol. 123, № 5. – P. 437–444. DOI: 10.1289/ehp.1307776
6. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Колпаков Ф.А. О роли загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами в патогенезе хронических неинфекционных заболеваний // Сибирский медицинский журнал. – 2018. – Т. 33, № 1. – P. 7–13. DOI: 10.29001/2073-8552-2018-33-1-7-13

7. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // ПЭММЭ. – 2018. – Т. XXIX, № 3. – С. 53–78. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
8. Effects of long-term exposure to air pollution on natural cause mortality: an analysis of 22 European Cohorts within the multi-centre ESCAPE project / R. Beelen, O. Raaschou-Nielsen, M. Stafoggia, Z. Andersen, G. Weinmayr, B. Hoffmann, K. Wolf, E. Samoli [et al.] // Lancet. – 2014. – Vol. 383, № 9919. – P. 785–795. DOI: 10.1016/S0140-6736 (13) 62158-3
9. Exposure to ultrafine particles, intracellular production of reactive oxygen species in leukocytes and altered levels of endothelial progenitor cells / K. Jantzen, P. Møller, D.G. Karottki, Y. Olsen, G. Bekö, G. Clausen, L.-G. Hersoug, S. Loft // Toxicology. – 2016. – Vol. 359, № 60. – P. 11–18. DOI: 10.1016/j.tox.2016.06.007
10. Fine particle components and health – a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions / R.W. Atkinson, I.C. Mills, H.A. Walton, H.R. Anderson // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. – 2015. – Vol. 25. – P. 208–214. DOI: 10.1038/jes.2014.63
11. Chemical composition modulates the adverse effects of particles on the mucociliary epithelium / R. Carvalho-Oliveira, R.C. Pires-Neto, J.O.V. Bustillos, M. Macchione, M. Dolnikoff, P.H. Saldiva, M. Garcia, M.L. Bueno Garcia // Clinics. – 2015. – Vol. 70, № 10. – P. 706–713. DOI: 10.6061/clinics/2015 (10) 09
12. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 / A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnett, H.R. Anderson, J. Frostad, K. Estep, K. Balakrishnan, B. Brunekreef [et al.] // Lancet. – 2017. – Vol. 389, № 10082. – P. 1907–1918. DOI: 10.1016/S0140-6736 (17) 30505-6
13. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale / J. Lelieveld, J.S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, A. Pozzer // Nature. – 2015. – № 525. – P. 367–371. DOI: 10.1038/nature15371
14. Неменко Б.А., Илиясова А.Д., Арынова Г.А. Оценка степени опасности мелкодисперсных пылевых частиц воздуха // Вестник КазНМУ. – 2014. – Т. 3, № 1. – С. 133–135.
15. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
16. Impact of air pollution on respiratory diseases in children with recurrent wheezing or asthma / S. Esposito, C. Galeone, M. Lelii, B. Longhi, B. Ascolese, L. Senatore, E. Prada, V. Montinaro [et al.] // BMC Pulmonary Medicine. – 2014. – Vol. 7, № 14. – P. 130.
17. Asthma symptoms among Chinese children: the role of ventilation and PM₁₀ exposure at school and home / X.J. Fan, C. Yang, L. Zhang, Q. Fan, T. Li, X. Bai, Z.-H. Zhao, X. Zhang, D. Norback // The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease. – 2017. – Vol. 21, № 11. – P. 1187–1193. DOI: 10.5588/ijtld.17.0196
18. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: summary of risk assessment, 2005 [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2005. – URL: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/69477> (дата обращения: 07.02.2020).
19. Загороднов С.Ю., Май И.В., Кокоулина А.А. Мелкодисперсные частицы (PM_{2,5} и PM₁₀) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142–147. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147
20. Загороднов С.Ю., Кокоулина А.А., Попова Е.В. Изучение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для задач оценки экспозиции населения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 5 (2). – С. 451–456.
21. 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. – Т. 6, № 219. – С. 20–23.
22. Platikanova M. Comparative analysis of the impact on air pollution on the respiratory system of children in the municipalities of Stara Zagora, Galabovo and Gurkovo // Trakia Journal of Sciences. – 2014. – Vol. 12, № 1. – P. 417–419.
23. Обоснование необходимости разработки и внедрения программы медико-профилактической помощи населению в зоне экспозиции химическими веществами / И.П. Салдан, П.З. Шур, А.А. Ушакова, О.И. Голева, А.С. Катунина, А.А. Хасанова // Экология человека. – 2015. – № 9. – С. 56–64.

Гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния источников выбросов металлургического производства / И.В. Тихонова, М.А. Землянова, Ю.В. Кольдибекова, Е.В. Пескова, А.М. Игнатова // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 61–69. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.07

Research article

HYGIENIC ASSESSMENT OF AEROGENIC EXPOSURE TO PARTICULATE MATTER AND ITS IMPACTS ON MORBIDITY WITH RESPIRATORY DISEASES AMONG CHILDREN LIVING IN A ZONE INFLUENCED BY EMISSIONS FROM METALLURGIC PRODUCTION

I.V. Tikhonova¹, M.A. Zemlyanova², Yu.V. Kol'dibekova², E.V. Peskova², A.M. Ignatova²

¹Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Krasnoyarsk Region office, 21 Karatanova Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

²Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

At present an outstanding task is to concentrate on chemical and fractional structure when examining and assessing influence exerted by particulate matter on morbidity among children. The main goal of any such research is to prevent negative effects produced on the respiratory organs.

Our research objects were ambient air in residential areas contaminated with particulate matter that were components in emissions from non-ferrous metallurgic enterprises (the test territory) and ambient air in residential areas free of such contamination; morbidity among children was also given our attention.

Our assessment of ambient air quality as per PM₁₀ and PM_{2.5} contents revealed they exceeded the standards recommended by the WHO and were by 1.4 times higher than recommended MPCa.d. Respirable fraction of particulate matter tends to have complicated chemical structure and contains metals that are specific for emissions from metallurgic enterprises such as nickel, copper, iron, aluminum, titanium, gallium, and neodymium. The latter can enhance negative effects produced by particulate matter on the respiratory organs. Epidemiologic assessment in a contaminated zone (the test territory) allowed establishing 1.8 times higher general and primary morbidity as per respiratory organs diseases than on the reference territory; it was even up to 14.8 times higher as per specific nosologies such as chronic disease of tonsils and adenoids, asthma, and status asthmaticus. We also established authentic dependence between probability of respiratory diseases and elevated concentrations of particulate matter in ambient air.

Results of the proven dependence allow predicting up to 500/1000 additional respiratory diseases cases per year on the test territory; all these additional morbidity cases among children are associated with aerogenic exposure to particulate matter.

Key words: ambient air, particulate matter, PM₁₀, PM_{2.5}, respiratory organs, children, additional morbidity.

References

1. Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchei sredy – 2019 g. [Basic ecological parameters – 2019]. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki*. 2019. Available at: https://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr19/Main.htm (04.02.2020) (in Russian)
2. Golokhvast K.S., Khristoforova N.K., Kiku P.F., Gul'kov A.N. Granulometric and mineralogic analysis of suspended particles in the air. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*, 2011, no. 40, pp. 94–100 (in Russian).
3. World Health Organization. Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2014. *World Health Organization*. Available at: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/148114/1/9789241564854eng.pdf?ua/> (04.02.2020).

© Tikhonova I.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Peskova E.V., Ignatova A.M., 2020

Irina V. Tikhonova – Head of the Department for Social and Hygienic Monitoring (e-mail: tikhonova_iv@24.rosпотреbnadzor.ru; tel.: +7 (391) 226-89-91; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4111-8454>).

Marina A. Zemlyanova – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher acting as the Head of the Department for Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques (e-mail: zem@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8013-9613>).

Yuliya V. Kol'dibekova – Candidate of Biological Sciences, Senior researcher acting as the Head of the Laboratory for Metabolism and Pharmacokinetics at the Department for Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques (e-mail: koldibekova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3924-4526>).

Ekaterina V. Peskova – Junior researcher at the Laboratory for Biochemical and Nano-sensory Diagnostics of the Department for Biochemical and Cytogenetic Diagnostic Techniques (e-mail: peskova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-39-30; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059>).

Anna M. Ignatova – Researcher (e-mail: iampstu@gmail.com; tel.: +7 (342) 236-39-30; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9075-3257>).

4. Traboulsi H., Guerrina N., Iu M., Maysinger D., Ariya P., Baglole C.J. Inhaled Pollutants: The Molecular Scene behind Respiratory and Systemic Diseases Associated with Ultrafine Particulate Matter. *Int. J. Mol. Sci.*, 2017, vol. 24, no. 18 (2), pp. 243. DOI: 10.3390/ijms18020243
5. Sarnat S.E., Winquist A., Schauer J.J., Turner J.R., Sarnat J.A. Fine particulate matter components and emergency department visits for cardiovascular and respiratory diseases in the St. Louis, Missouri-Illinois, Metropolitan Area. *Environ. Health Perspect.*, 2015, vol. 123, no. 5, pp. 437–444. DOI: 10.1289/ehp.1307776
6. Kolpakova A.F., Sharipov R.N., Kolpakov F.A. The role of air pollution by the particulate matter in pathogenesis of the chronic noninfectious diseases. *Sibirskii meditsinskii zhurnal*, 2018, vol. 33, no. 1, pp. 7–13. DOI: 10.29001/2073-8552-2018-33-1-7-13
7. Revich B.A. Fine suspended particulates in ambient air and their health effects in megalopolises. *PEMME*, 2018, vol. XXIX, no. 3, pp. 53–78. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
8. Beelen R., Raaschou-Nielsen O., Stafoggia M., Andersen Z., Weinmayr G., Hoffmann B., Wolf K., Samoli E. [et al.]. Effects of long-term exposure to air pollution on natural cause mortality: an analysis of 22 European Cohorts within the multi-centre ESCAPE project. *Lancet*, 2014, vol. 383, no. 9919, pp. 785–795. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3
9. Jantzen K., Møller P., Karottki D.G., Olsen Y., Bekö G., Clausen G., L.-Hersoug G., Loft S. Exposure to ultrafine particles, intracellular production of reactive oxygen species in leukocytes and altered levels of endothelial progenitor cells. *Toxicology*, 2016, vol. 359, no. 60, pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.tox.2016.06.007
10. Atkinson R.W., Mills I.C., Walton H.A., Anderson H.R. Fine particle components and health – a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2015, vol. 25, pp. 208–214. DOI: 10.1038/jes.2014.63
11. Carvalho-Oliveira R., Pires-Neto R.C., Bustillos J.O.V., Macchione M., Dolhnikoff M., Saldiva P.H., Garcia M., Bueno Garcia M.L. Chemical composition modulates the adverse effects of particles on the mucociliary epithelium. *Clinics*, 2015, vol. 70, no. 10, pp. 706–713. DOI: 10.6061/clinics/2015(10)09
12. Cohen A.J., Brauer M., Burnett R., Anderson H.R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B. [et al.]. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 2017, vol. 389, no. 10082, pp. 1907–1918. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6
13. Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 2015, no. 525, pp. 367–371. DOI: 10.1038/nature15371
14. Nemenko B.A., Ilyasova A.D., Arynova G.A. Otsenka stepeni opasnosti melkodispersnykh pylevykh chastits vozdukha [Assessment of threats posed by fine-dispersed dust particles in ambient air]. *Vestnik KazNMU*, 2014, vol. 3, no. 1, pp. 133–135 (in Russian).
15. Glants S. Mediko-biologicheskaya statistika [Medical and biological statistics]. Moscow, Praktika Publ., 1998, 459 p. (in Russian).
16. Esposito S., Galeone C., Lelii M., Longhi B., Ascolese B., Senatore L., Prada E., Montinaro V. [et al.]. Impact of air pollution on respiratory diseases in children with recurrent wheezing or asthma. *BMC Pulmonary Medicine*, 2014, vol. 7, no. 14, pp. 130.
17. Fan X.J., Yang C., Zhang L., Fan Q., Li T., Bai X., Zhao Z.-H., Zhang X., Norback D. Asthma symptoms among Chinese children: the role of ventilation and PM₁₀ exposure at school and home. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 2017, vol. 21, no. 11, pp. 1187–1193. DOI: 10.5588/ijtld.17.0196
18. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: summary of risk assessment, 2005. *World Health Organization*. 2005. Available at: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/69477> (07.02.2020).
19. Zagorodnov S.Yu., May I.V., Kokoulina A.A. Fine-disperse particles (PM_{2.5} and PM₁₀) in atmospheric air of a large industrial region: issues related to monitoring and standardization of suspended particles in industrial emissions. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 142–147 (in Russian).
20. Zagorodnov S.Yu., Kokoulina A.A., Popova E.V. Studying of component and disperse structure of dust emissions of metallurgical complex enterprises for problems of estimation the population exposition. *Izvestiya Samarского nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 5 (2), pp. 451–456 (in Russian).
21. Petrov S.B., Onuchina E.N. Ecological and epidemiological estimation of influence of airborne particular matters in atmospheric air on prevalence of illnesses of respiratory organs in city children's population. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2011, vol. 6, no. 219, pp. 20–23 (in Russian).
22. Platikanova M. Comparative analysis of the impact on air pollution on the respiratory system of children in the municipalities of Stara Zagora, Galabovo and Gurkovo. *Trakia Journal of Sciences*, 2014, vol. 12, no. 1, pp. 417–419 (in Russian).
23. Saldan I.P., Shur P.Z., Ushakova A.A., Goleva O.I., Katunina A.S., Khasanova A.A. Statement of need to develop and implement medical and preventive care programs for population under exposure to chemical pollutants. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 9, pp. 56–64 (in Russian).

Tikhonova I.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Peskova E.V., Ignatova A.M. Hygienic assessment of aerogenic exposure to particulate matter and its impacts on morbidity with respiratory diseases among children living in a zone influenced by emissions from metallurgic production. Health Risk Analysis, 2020, no. 3, pp. 61–69. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.07.eng

Получена: 07.07.2020

Принята: 21.09.2020

Опубликована: 30.09.2020