УДК 614.71, 614.715, 504.064

ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ НАСЕЛЕНИЯ К МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.В. Май, А.А. Кокоулина, С.Ю. Загороднов, Е.В. Попова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

На примере предприятий металлургической, горнодобывающей и машиностроительной отраслей промышленности приведены результаты инструментальных исследований дисперсного состава твердой составляющей пылегазовых выбросов с выделением нормируемых фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10}. Уточнены значения коэффициентов седиментации для частиц мелких фракций различных свойств. Показано, что использование данных о дисперсном составе пыли и обоснованных коэффициентов седиментации повышает точность расчётов в 1,5–2,5 раза. Описанные подходы позволяют увеличить точность оценки зон влияния пылевых выбросов промышленных предприятий и уровня экспозиции населения.

Ключевые слова: пылегазовые выбросы, мелкодисперсные частицы, PM_{10}, $PM_{2,5}$, оценка экспозиции, дисперсность, фракционный состав, коэффициент оседания.

Опасность пылевых частиц для здоровья человека подтверждена данными многолетних отечественных и зарубежных исследований [6, 9, 13–15, 17, 22]. Установлено, что размер частиц – это важный фактор их воздействия на здоровье, наряду с химическим составом и формой [13, 14, 22]. Доказано, что наибольшую угрозу с точки зрения воздействия на здоровье представляют именно частицы мелких фракций – размерами менее 10 (PM_{10}) и 2,5 мкм ($PM_{2,5}$), что обеспечивает их долгое присутствие в атмосфере, перенос на большие расстояния и способность проникать в нижние отделы дыхательных путей, доходить до бронхов и альвеол [9, 15, 17].

На сегодняшний день на территории Российской Федерации корректная оценка экспозиции населения к мелкодисперсной пыли затруднена, что обусловлено недостаточностью актуальных данных о дисперсном составе пылевых выбросов промышленных предприятий. Имеющие сведения не полностью соответствуют современному уровню развития технологических процессов и применяемого сырья [10]. Положение Приказа Минприроды РФ № 579 от 31.12.2010 г. «О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о Перечне вредных веществ, подлежащих государственному учету и нормированию», в котором утвержден регламент нормирования выбросов пыли с учетом дисперсности, реализуется крайне слабо. К примеру, по данным Управления Роспотребнадзора по Пермскому краю, на территории Прикамья к 2013 г. ни одно из промышленных предприятий не включило дан-

© Май И.В., Кокоулина А.А., Загороднов С.Ю. , Попова Е.В., 2014

Май Ирина Владиславовна – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе (e-mail: may@fcrisk.ru, тел.: 8 (342) 237-25-47).

Кокоулина Анастасия Александровна – научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: maks@fcrisk.ru, тел.: 8 (342) 237-18-04).

Загороднов Сергей Юрьевич – научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru, тел.: 8 (342) 237-18-04).

Попова Екатерина Владимировна – инженер по ГИС отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: popova@fcrisk.ru, тел.: 8 (342) 237-18-04).

ные о дисперсном составе пылевых выбросов в ведомости инвентаризации источников выделения и выбросов и, соответственно, при разработке нормативов предельно допустимых выбросов и проектировании санитарно-защитных зон мелкодисперсные пыли не рассматривались.

Сложившаяся ситуация не позволяет выполнить корректную гигиеническую оценку вероятного воздействия загрязнения атмосферного воздуха в зонах влияния стационарных источников выбросов твердых частиц промышленных предприятий.

Цель исследования состояла в отработке методических подходов к оценке экспозиции населения мелкодисперсной пылью в зонах влияния промышленных стационарных источников выбросов на базе наукоемкого анализа дисперсного и компонентного состава отходящих пылегазовых смесей.

Для достижения поставленной цели были последовательно решены задачи по установлению фракционного состава пылегазовых выбросов с выделением нормируемых фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10}; определению массы выбросов частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} (г/с, т/год); обоснованию корректных коэффициентов седиментации в зависимости от дисперсного состава пылей и условий выбросов; а также по оценке экспозиции населения в зонах влияния источников.

Объектами исследования являлись предприятия машиностроительной, горнодобывающей и металлургической отраслей на территории г. Перми и Пермского края.

Материалы и методы. Технологические процессы промышленных предприятий исследовали методом анализа технической документации с последующим выездным обследованием производственных объектов для выявления источников пылеобразования и пылевыделения, анализа их технологических особенностей и условий функционирования. На источниках выделения пыли проводили прямые инструментальные исследования выбросов. Пробоотбор осуществляли с применением двухциклонного сепаратора с последовательными ступенями отделения частиц различных фракций и фильтров с соответствующими размерами пор и свойствами, позволяющими максимально сохранить дисперсный состав выбросов. Продолжительность отбора проб определялась интенсивностью пылевыделения на источнике и составляла от 2 до 20 мин при скорости отбора – 20 $дм^3$/мин. Отбор проб воздуха проводили на расстоянии, максимально приближенном к источнику пылевыделения. Для каждого источника осуществляли по 5 повторностей отбора, формировали объединённую (усредненную) пробу, для которой выполняли все измерения.

Оценку общей массы пыли, выбрасываемой в единицу времени, выполняли гравиметрическим методом.

Определение дисперсного состава пылевых выбросов осуществляли с применением лазерного анализатора частиц Microtrac S3500 (охватываемый диапазон размера частиц от 20 нм до 2000 мкм). На основании результатов, полученных при определении дисперсного состава, вычисляли массовую концентрацию фракций частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10}.

Форму пылевых частиц устанавливали с применением сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения (степень увеличения – от 5 до 300 000 крат; ускоряющее напряжение – от 0,3 до 30 кВ) с рентгено-флюоресцентной приставкой S3400N HITACHI (предел обнаружения – порядка 10–5 мас.%, минимальная область исследования – 100 мкм) на базе Центра коллективного пользования Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Количественную оценку частиц нормируемых фракций проводили путём определения их максимальных разовых (г/с) и валовых (т/год) выбросов в соответствии со стандартными методиками [6].

Выбор корректного коэффициента скорости оседания (седиментации, F) пылей осуществляли на стадии подготовки к расчетам рассеивания выбросов мелкодисперсных частиц от источников предприятий как отношение между скоростью оседания частиц с определённым размером

к опасной скорости ветра, которая определяется расчётным путём в соответствии со стандартизованными методиками. Скорость осаждения частицы сферической формы определяли по формуле, описывающей закон Стокса, где скорость оседания частиц зависит от их диаметра и плотности, а также от свойств среды, в которой происходит осаждение. Форму частиц, установленную с использованием электронной микроскопии, учитывали в формуле закона Стокса через эквивалентный диаметр, который определяли через коэффициент χ, имеющий значения от 1 до 2,9 [4].

Расчеты рассеивания каждой фракции пылей проводили с использованием стандартизированных методов, применяемых в России [7], и программных средств, реализующих алгоритм распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Расчёты выполняли в точках на границах санитарно-защитных зон предприятий и в узлах расчётных сеток, охватывающих район расположения предприятий в радиусе до двух километров (зоны прогнозируемого загрязнения).

При оценке экспозиции населения в качестве критериев использовали значения максимальных разовых и среднесуточных предельно допустимых концентраций – $ПДК_{мр}$ и $ПДК_{сс}$, которые составляют соответственно 0,16 и 0,035 мг/м^3 для $PM_{2,5}$; и 0,3 и 0,06 мг/м^3 для PM_{10}[1] и гармонизированы с референтными уровнями, рекомендованными Всемирной организацией здравоохранения [9, 21].

Отображение и анализ экспозиции проводили на базе геоинформационной системы ArcGIS 9.3 с использованием векторных карт территорий, содержащих места расположения стационарных источников пылевых выбросов, границы санитарно-защитных зон, жилую застройку, объекты социально-культурного и рекреационного назначения и др., а также данные по численности проживающего населения.

За период 2011–2013 гг. было исследовано более 600 проб пыли, выделяемой технологическими аппаратами, станками и иными источниками, проведено более 20 оценок экспозиции в зонах влияния нескольких промышленных предприятий.

Результаты и их обсуждение. При анализе технологических процессов предприятий установлено:

– на металлургических предприятиях наибольшие объемы выбросов твердых частиц образуются на агломерационном производстве (аглофабрики), при выплавке чугуна, переработке чугуна на сталь, в доменном производстве (доменная печь, рудный двор, литейный двор), в мартеновских цехах, в конвертерных сталеплавильных цехах, на коксохимическом производстве;

– наземные участки горнодобывающих производств характеризуются повышенным пылевыделением от мест пересыпки руды и готовой продукции, комплекса погрузочно-разгрузочных работ, грохотов, просеивающих машин, участка размола, конвейеров;

– на машиностроительных предприятиях основными источниками пылеобразования и выделения являются литейные цеха (вагранки, электродуговые и индукционные печи, участки складирования и переработки шихты и формовочных материалов, участки выбивки и очистки литья), кузнечно-прессовые и прокатные цеха (процессы нагрева и обработки металла), термические цеха (нагревательные печи, дробеструйные и дробометные камеры), гальванические цеха (подготовительные операции, в основном механическая очистка), цеха механической обработки материалов (механическая обработка металлов, древесины, стеклопластиков, графита и др. на станках), участки сварки и резки металлов.

Источниками пыления являются также вспомогательные технологические участки: котельные, ремонтно-механические, ремонтно-строительные цеха и т.д.

Фракционный состав пылевых выбросов технологических процессов металлургических производств представлен в табл. 1.

[1] ГН 2.1.6.2604–10 Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

Таблица 1

Параметры дисперсного состава пылей, образующихся при некоторых технологических операциях металлургических производств

Технологическая операция	Массовая доля частиц, %			Медианный размер частиц, мкм
	менее 2,5 мкм	менее 10 мкм	более 10 мкм	
Загрузка колошниковой шихты	5,40	24,77	74,59	40,00
Загрузка моношихты	0,00	9,19	90,81	80,00
Загрузка металлургического шлака	44,46	55,52	42,58	4,00
Смешение шихты	11,40	31,14	68,16	30,00
Спекание агломерата	2,93	8,43	90,59	200,00
Выгрузка агломерата	5,24	15,41	82,33	20,00
Перегрузка руды (местного агломерата)	4,07	25,57	74,43	20,00
Выпуск чугуна	78,53	84,34	15,66	1,00
Выпуск шлака	17,56	53,91	46,12	8,50
Продувка чугуна в конвертере	1,22	10,79	89,21	8,50
Прокат заготовок на стане 370	12,06	26,87	72,15	40,00
Прокат заготовок на стане 550	0,00	8,58	91,42	90,00
Обжиг извести в печи	6,06	40,98	62,67	10,00
Выплавка феррованадия	4,71	26,95	73,05	20,00
Обработка рессоры дробью	35,51	47,91	52,09	10,00
Рубка стали	12,79	29,44	70,56	20,00
Горячая штамповка	1,32	18,01	81,99	80,00
Высверливание стержней	0,37	11,06	88,94	90,00
Отбивка от формовочной смеси	11,36	50,58	49,42	40,00
Выплавка стали в электросталеплавильной печи	16,71	38,22	61,78	20,00
Приготовление смеси в мешалке для укладки форм	1,65	13,67	86,33	20,00

Определено, что для пылей исследованного металлургического предприятия медианные размеры частиц составляли от 1,00 (операция «загрузка шлака») до 200,00 мкм (операция «спекание агломерата»). Доля частиц фракции $PM_{2,5}$ колебалась в диапазоне от 0 до 78 %, PM_{10} – от 8 до 84 % в зависимости от технологической операции и применяемого сырья.

Пример гистограммы, описывающий дисперсный состав пыли, выделяющейся при выпуске шлака, представлен на рис. 1.

В выбросах наземного участка предприятия горнодобывающего производства доля частиц размерами до 2,5 мкм включительно составляла 0–21 %; частиц размерами менее 10 мкм включительно – 0–49 %; частиц размерами более 10 мкм – 51–100 % (табл. 2).

Медианные размеры частиц для разных технологических процессов изменялись в диапазоне от 10,00 до 450,00 мкм.

Фракционный состав выбросов пыли, полученный по результатам исследований на предприятии машиностроительного профиля, представлен в табл. 3. Медианные размеры частиц в выбросах различных технологических процессов металлообработки машиностроительного предприятия колебались в диапазоне от 80 до 300 мкм.

В целом по исследованным технологически операциям выбросы от стационарных источников машиностроительного предприятия содержали от 0 до 13 объемных процентов частиц $PM_{2,5}$ и от 0 до 40 % частиц PM_{10}. Наибольшая доля мелкодисперсных частиц отмечена на участках сварки (до 70 %).

В выбросах всех исследованных производств идентифицировали частицы различных форм: шарообразные, угловатые, продолговатые, пластинчатые, смешанные и др. (рис. 2).

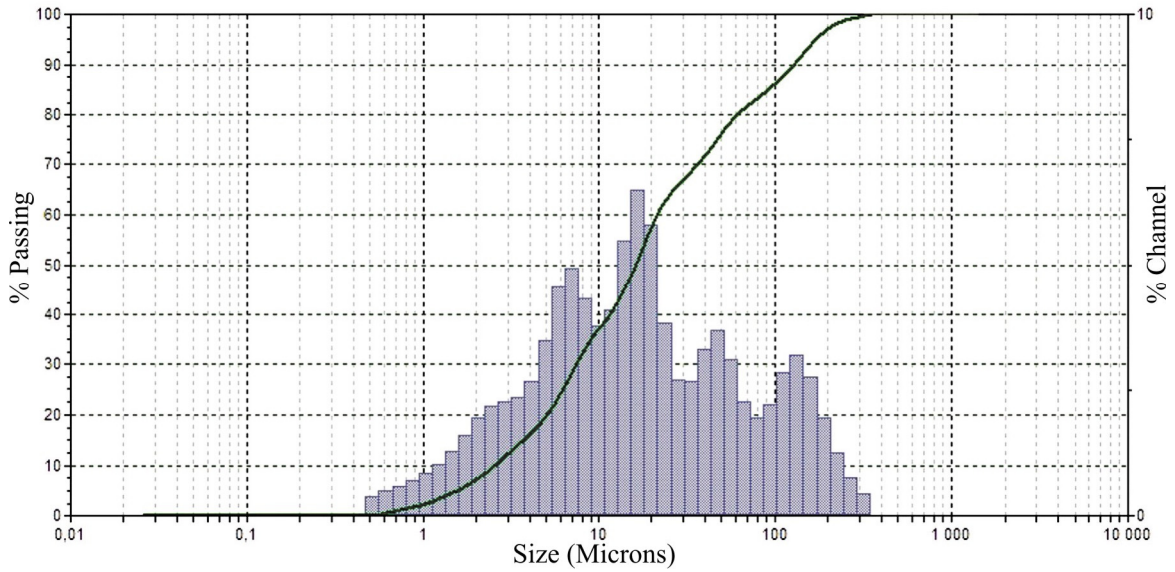


Рис. 1. Гистограмма дисперсного состава пыли от выпуска шлака

Таблица 2

Параметры дисперсного состава пылей, образующихся при некоторых технологических операциях наземного участка горнодобывающего производства

Технологическая операция	Массовая доля частиц, %			Медианный размер частиц, мкм
	менее 2,5 мкм	менее 10 мкм	более 10 мкм	
Пересып руды на ленточный конвейер	0,90	2,40	97,60	60,00
Пересып руды на ленточный конвейер	14,61	32,33	67,67	30,00
Пересып руды на ленточный конвейер	13,64	48,65	51,35	10,00
Сушка материала дымовыми газами	0,00	0,00	100,00	60,00
Смешение шихты в конвейерах	6,19	48,41	51,59	10,00
Пересып готовой продукции	2,32	14,90	85,10	80,00
Просеивание руды на грохотах	6,12	36,36	63,64	20,00
Просеивание руды на грохотах	14,25	43,76	56,24	20,00
Сушка гранулята на вибрационной сушильно-охладительной установке	9,51	35,41	64,59	30,00
Просеивание агломерата	19,72	46,46	53,54	20,00
Складирование зернового концентрата	9,84	20,80	79,20	50,00
Складирование зернового концентрата	0,00	0,00	100,00	450,00
Складирование сильвинита	20,90	40,41	59,59	20,00

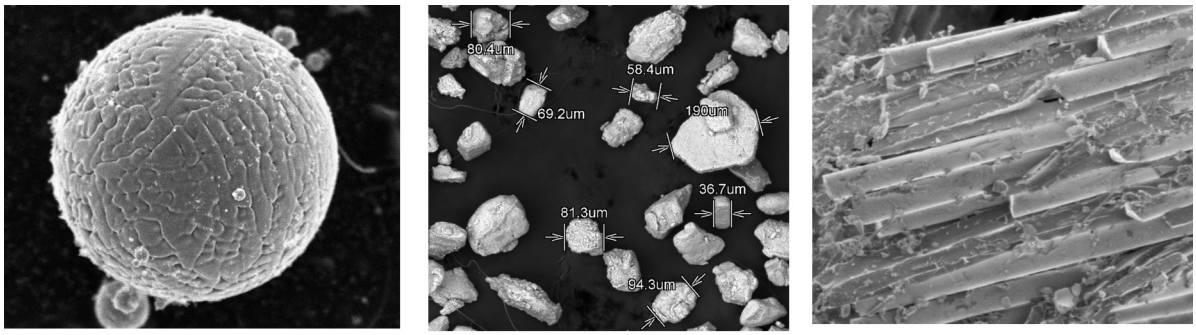
Таблица 3

Параметры дисперсного состава пылей, образующихся при некоторых технологических операциях машиностроительного производства

Технологическая операция	Массовая доля частиц, %			Медианный размер частиц, мкм
	менее 2,5 мкм	менее 10 мкм	более 10 мкм	
1	2	3	4	5
Обработка стальных деталей на плоско-шлифовальных станках	0,00	4,93	95,07	300,00
Обработка стальных деталей на отрезных станках	7,07	32,97	67,02	200,00

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Обработка стальных деталей на заточных станках с алмазным кругом	0,37	15,29	84,71	100,00
Обработка стальных деталей на заточных станках	0,00	2,67	97,33	100,00
Обработка стальных деталей на горизонтально-расточных станках	0,35	19,77	80,23	200,00
Обработка стальных деталей на сверлильных станках	6,7	13,45	86,55	100,00
Обработка стальных деталей на токарных станках	0,35	12,24	87,76	200,00
Обработка стальных деталей на фрезерных станках	5,22	38,78	61,22	300,00
Обработка стальных деталей на наждаках	5,18	30,01	69,99	100,00
Обработка стальных деталей в галтовочных барабанах	0,55	16,84	83,16	200,00
Обработка стальных деталей в дробеметных камерах	0,00	0,00	100,00	100,00
Обработка неметаллических материалов на токарных станках	0,32	8,78	91,22	100,00
Полуавтоматическая сварка стали в среде углекислого газа	13,46	39,88	60,12	80,00
Полуавтоматическая сварка стали в среде аргона	0,00	2,16	97,84	80,00



а *б* *в*

Рис. 2. Примеры различных форм пылевых частиц, установленные по результатам электронной микроскопии (*а* – шарообразная, *б* – смешанные, *в* – продолговатые)

В большинстве случаев в составе пылей было установлено присутствие частиц наноразмерного диапазона (рис. 3).

Рассчитанные для отдельных видов пылей коэффициенты седиментации составляли от 1 до 2,0. В ряде случаев обоснованные коэффициенты в 2,0–2,5 раза отличались от применяемых ранее, когда фракционный состав пылей не был идентифицирован, что существенно влияло на расчет атмосферной диффузии и, соответственно, на значение приземных концентраций примесей.

Расчеты рассеивания пылевых частиц от источников обследованного машиностроительного предприятия с учетом полу-

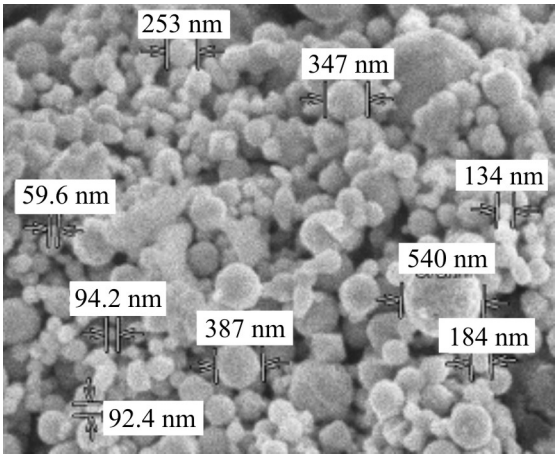
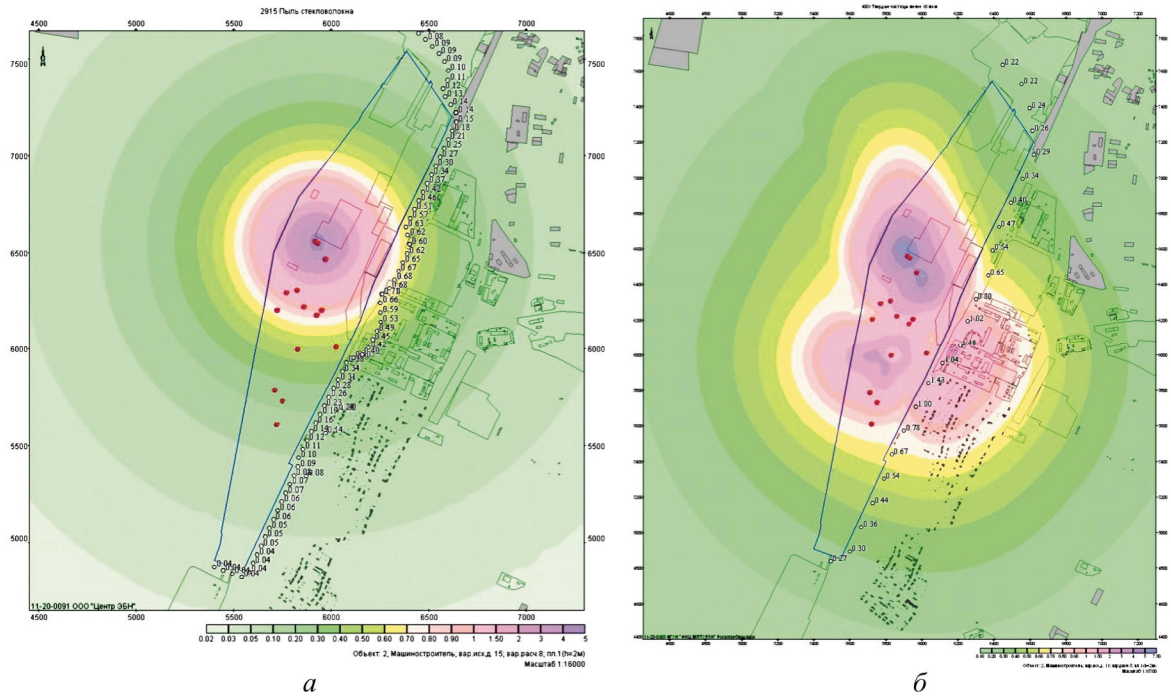


Рис. 3. Электронная фотография пыли, выделяемой при прокате заготовок на стане 550 (ув. ×10 000)



а *б*

Рис. 4. Изолинии рассеивания пылевых частиц при неблагоприятных метеорологических условиях (штиль; *t* 20 °С) (*а* – без учёта дисперсности; *б* – с учётом дисперсности)

ченных данных о фракционном составе позволили выявить, что при неблагоприятных метеорологических условиях рассеивания максимальная приземная концентрация PM_{10} на границе санитарно-защитной зоны составила 1,5 $ПДК_{мр}$. При сопряжении результатов расчётов рассеивания и электронных слоёв, характеризующих население, было установлено, что за границей санзоны предприятия, на территории, где формируется превышение гигиенических нормативов, проживает 1286 человек. Полученные данные позволили пересмотреть ранее выполненные оценки санитарно-гигиенической ситуации, при которой не было выявлено опасных уровней загрязнения атмосферы (рис. 4).

Полученные данные подтвердили гипотезу о необходимости учета дисперсного состава при обосновании проектов санитарно-защитных зон и нормативов предельно допустимых выбросов, поскольку в зонах влияния источников пылей расстояние в 50, 100, 200 метров в ряде случаев может оказаться значимым с правовой и гигиенической точки зрения [2].

Выводы. Практически все пылегазовые выбросы изученных металлургических, машиностроительных и горнодобывающих производств содержат мелкие фракции пылей – до 80 % PM_{10} и до 40 % $PM_{2,5}$. Дисперсный состав выбрасываемых пылей разнороден и зависит от специфики технологического процесса, его аппаратного оформления, типа сырья и материалов.

В выбросах многих технологических процессов присутствуют частицы наноразмерного диапазона, что требует проведения направленных исследований по изучению их воздействия на работающих в частности и на население в целом.

Расчет корректного коэффициента седиментации для пылевых частиц разных фракций и разных свойств позволяет повысить надежность оценки их приземных концентраций и, соответственно, экспозиции населения.

Учёт фракционного состава пылей существенно повышает точность определения зоны влияния источников выбросов и корректность оценки экспозиции населения к опасным фракциям твердых выбросов.

Внедрение оценки фракционного состава пылей в процедуры обоснования нормативов предельно допустимых выбросов и проектирования санитарно-защитных зон должно рассматриваться как инструмент повышения эффективности мер по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Список литературы

1. Азаров В.Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запылённости воздушной среды промышленных предприятий: автореф. … д-ра техн. наук. – Ростов-н/Д., 2004.

2. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников / Н.В. Зайцева, И.В. Май, А.А. Макс, С.Ю. Загороднов // Гигиена и санитария. – 2013. – № 5. – С. 19–23.

3. Воздействие пыли на нарушение репродуктивной функции организма / З.И. Намазбаева, М.А. Мукашева, О.В. Гулаева, Б.М. Салимбаева, Н.К. Дюсембаева, А.А. Адильбекова и др. // Гигиена и санитария. – 2005. – № 5. – С. 72.

4. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельчённых материалов. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

5. Методические подходы к учету скорости оседания различных пылевых фракций для задач оценки экспозиции населения мелкодисперсными частицами / И.В. Май, А.А. Макс, С.Ю. Загороднов, В.М. Чигвинцев // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. – 2012. – Т. 14, № 5 (3). – С. 971– 975.

6. Методическое пособие по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное). – СПб., 2012.

7. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ / ГГО им. Воейкова. – Л., 1987. – 64 с.

8. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиана, К.А. Буштуева; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

9. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М., 2004.

10. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Ч. 1. Летучая зола тепловых электростанций. – 48 с.; Ч. 2. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. – 37 с.; Ч. 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. – М.: Цинтихимнефтемаш, 1980–1982.

11. Airborne Particulate Concentrations and Numbers in the United Kingdom (phase 2) / S. Beccaceci, D. Muhunthan, D. Sarantaridis, J. Tompkins, D. Butterfield, P. Quincey, R. Brown, D. Green, A. Grieve, G. Fuller, A. Jones // Annual Report. – 2010. Report Date: 31/08/2011.

12. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe / Official Journal of the European Union. – 2008. – 11.06.

13. Effect of Air Pollution Control on Life Expectancy in the United States: An Analysis of 545 U.S. Counties for the Period from 2000 to 2007 / Correia, Andrew W.a; Pope, C. Arden IIIb; Dockery, Douglas W.c; Wang, Yuna; Ezzati, Majidd; Dominici, Francescaa // Epidemiology. – 2013. – Vol. 24. – Iss. 1. – P. 23–31. doi: 0.1097/EDE.0b013e3182770237. Air Pollution

14. Intrauterine exposure to fine particulate matter as a risk factor for increased susceptibility to acute broncho-pulmonary infections in early childhood / Wiesław A. Jedrychowski, Frederica P. Perera, John D. Spengler, Elzbieta Mroz, Laura Stigter, Elżbieta Flak, Renata Majewska, Maria Klimaszewska-Rembiasz, Ryszard Jacek // J. Hyg. Environ Health. – 2013.

15. Kassomenos P.A., Dimitriou K., Paschalidou A.K. Human health damage caused by particulate matter PM (10) and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece: Environ Monit Assess. – 2013.

16. Kirk R. Smith. Global review of national ambient air quality standards for PM10 and SO2 (24 h) // Air Qual Atmos Health DOI 10.1007/s11869-010-0131-2.2011.

17. Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand / Usanee U. Vinitketkumnuen, Kittiwan K. Kalayanamitra, Teera T. Chewonarin, Richard R. Kamens // Mutat Res. – 2002. – Vol. 519 (1–2). – P. 121–31. – PMID 12160897.

18. Physical and chemical characterization of the particulate matter suspended in aerosols from the urban area of Belgrade (Article) / Joksic Jasminka D., Jovasevic-Stojanovic Milena V., Bartonova Alena, Radenkovic Mirjana B., Yttri Karl-Espen, Matic-Besarabic Snezana, Ignjatovic Ljubisa M. // Journal of the serbian chemical society. – 2009. – Vol. 74, br. 11. – P. 1319–1333.

19. Richard D. Cadle. Particle size: theory and industrial applications. Reinhold Pub. – Corp., 1965. – 390 p.

20. Variations of PM10 Mass Concentrations and Correlations with Other Pollutants in Belgrade Urban Area (Article) / Joksic Jasminka D., Radenkovic Mirjana B., Cvetkovic Anka, Matic-Besarabic Snezana, Jovasevic-Stojanovic Milena V., Bartonova Alena, Yttri Karl Espen // Chemical industry & chemical engineering quarterly. – 2010. – Vol. 16, br. 3. – P. 251–258.

21. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants // The WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office, WHO Regional Office for Europe coordinated the development of these WHO guidelines.

22. Wilson R. and Spengler J. Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects. – Cambridge, MA: Distributed by Harvard University Press, 1996.

References

1. Azarov V.N. Kompleksnaya otsenka pylevoy obstanovki i razrabotka mer po snizheniyu zapylennosti vozdushnoy sredy promyshlennykh predpriyatiy: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Comprehensive assessment of dust conditions and development of measures to reduce dust content of industrial enterprises' air environment]. Rostov-na-Donu, 2004. 46 p.

2. Zaytseva N.V., May I.V., Maks A.A., Zagorodnov S.Yu. Analiz dispersnogo i komponentnogo sostava pyli dlya otsenki ekspozitsii naseleniya v zonakh vliyaniya vybrosov promyshlennykh statsionarnykh istochnikov [Analysis of the particulate and fractional composition of dust for the assessment of population exposure in areas of influence of emissions from industrial stationary sources]. *Gigiena i sanitariya*, 2013, no. 5, pp. 19–23.

3. Namazbaeva Z.I., Mukasheva M.A., Gulaeva O.V., Salimbaeva B.M., Dyusembaeva N.K., Adil'bekova A.A. i dr. Vozdeystvie pyli na narushenie reproduktivnoy funktsii organizma [Dust influence on organism reproductive disorders]. *Gigiena i sanitariya*, 2005, no. 5, p. 72.

4. Kouzov P.A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmel'chennykh materialov [Fundamentals of the particulate composition of industrial dusts and particulate materials]. 3-e izd. pererab. Leningrad: Khimiya, 1987. 264 p.

5. May I.V., Maks A.A., Zagorodnov S.Yu., Chigvintsev V.M. Metodicheskie podkhody k uchetu skorosti osedaniya razlichnykh pylevykh fraktsiy dlya zadach otsenki ekspozitsii naseleniya melkodispersnymi chastitsami [Methodical approaches to the consideration of sedimentation rate of different dust fractions for the tasks of assessment of population exposure to fine particles]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*, 2012, vol. 14, no. 5 (3), pp. 971– 975.

6. Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernyy vozdukh (dopolnennoe i pererabotannoe) [Guidelines on the calculation, regulation and control of emissions into the atmosphere (revised and supplemented)]. St. Petersburg, 2012. 222 p.

7. OND-86 Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukhe vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy. Obshchesoyuznyy normativnyy document [OND-86 Methods of calculating the concentrations in the air of harmful substances contained in industrial emissions. – Union regulatory document]. GGO im. Voeykova. Leningrad, 1987. 64 p.

8. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliana S.L., Bushtueva K.A. Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu [Fundamentals of assessing public health risk from exposure to chemicals polluting the environment]. Ed. by Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G. Moscow: NII ECh i GOS, 2002. 408 p.

9. R 2.1.10.1920-04. Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu [P 2.1.10.1920-04. Guidance for public health risk assessment from exposure to chemicals polluting the environment]. Moscow, 2004.

10. Skryabina L.Ya. Atlas promyshlennykh pyley. Part 1. Letuchaya zola teplovykh elektrostantsiy. 48 p. Part 2. Pyli predpriyatiy metallurgii, mashinostroeniya i stroitel'noy promyshlennosti 37 p. Part 3. Pyli predpriyatiy khimicheskoy i pishchevoy promyshlennosti [Atlas of industrial dusts. Part 1. Fly ash of thermal power plants. Part 2. Dusts of enterprises of metallurgy, engineering and construction industries. Part 3. Dusts of chemical and food industries]. Tsintikhimneftemash.: Moscow, 1980–1982.

11. Beccaceci S., Muhunthan D., Sarantaridis D., Tompkins J., Butterfield D., Quincey P., Brown R., Green D., Grieve A., Fuller G., Jones A. Airborne Particulate Concentrations and Numbers in the United Kingdom (phase 2). Annual Report – 2010. Report Date: 31/08/2011.

12. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the council of 21 May 2008 on ambient air quality and sleaner air for Europe. *Official Journal of the European Union*, 11.06.2008. 44 p.

13. Correia Andrew W. a; Pope C. Arden III b; Dockery, Douglas W. c; Wang, Yuna; Ezzati, Majidd; Dominici, Francescaa. Effect of Air Pollution Control on Life Expectancy in the United States: An Analysis of 545 U.S. Counties for the Period from 2000 to 2007. *Epidemiology*, January 2013, vol. 24, issue 1, pp. 23–31. DOI: 0.1097/EDE.0b013e3182770237. Air Pollution.

14. Kassomenos P.A., Dimitriou K., Paschalidou A.K. Human health damage caused by particulate matter PM (10) and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece. Environ Monit Assess, 2013.

15. Jedrychowski W.A., Perera F.P., Spengler J.D., Mroz E., Stigter L., Flak E., Majewska R., Klimaszewska-Rembiasz M., Jacek R. // Intrauterine exposure to fine particulate matter as a risk factor for increased susceptibility to acute broncho-pulmonary infections in early childhood. *Int J Hyg Environ Health*, 2013, vol. 216 (4), pp. 395–401.

16. Kirk R. Smith. Global review of national ambient air quality standards for PM10 and SO2 (24 h). *Air Qual Atmos Health*, DOI: 10.1007/s11869-010-0131-2.2011.

17. Usanee U Vinitketkumnuen, Kittiwan K Kalayanamitra, Teera T Chewonarin, Richard R Kamens. Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand. Mutat Res, vol. 519 (1–2), pp. 121-131 (2002), PMID 12160897.

18. Joksic J.D., Jovasevic-Stojanovic M.V., Bartonova A., Radenkovic M.B, Yttri K.E., Matic-Besarabic S., Ignjatovic L.M. Physical and chemical characterization of the particulate matter suspended in aerosols from the urban area of Belgrade (Article). *Journal of the serbian chemical society*, 2009, vol. 74 br. 11, pp. 1319–1333.

19. Richard D. Cadle. Particle size: theory and industrial applications. Reinhold Pub. Corp., 1965. 390 p.

20. Joksic J.D., Radenkovic M.B., Cvetkovic A., Matic-Besarabic S., Jovasevic-Stojanovic M.V., Bartonova A., Yttri K.E. Variations of PM10 Mass Concentrations and Correlations with Other Pollutants in Belgrade Urban Area (Article). *Chemical industry & chemical engineering quarterly*, 2010, vol. 16 br. 3, pp. 251–258.

21. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. The WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office, WHO Regional Office for Europe coordinated the development of these WHO guidelines.

22. Wilson R. and Spengler J. Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects. Cambridge, MA: Distributed by Harvard University Press, 1996.

EXPOSURE ASSESSMENT FOR POPULATION TO FINE PARTICLES IN THE INFLUENCE ZONES OF EMISSIONS FROM INDUSTRIAL STATIONARY EMISSION SOURCES

I.V. May, A.A. Kokoulina, S.Y. Zagorodnov, E.V. Popova

FBSI “Federal Scientific Center for Medical and Preventive
Health Risk Management Technologies”
82, Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russia

In the case of the metallurgical, mining and engineering industries the instrumental studies results of disperse composition of the emissions are described, normalized fractions $PM_{2.5}$ and PM_{10} are isolated. Values of the sedimentation coefficients for fine particles with different properties are clarified. It is shown that the use of data on dust dispersed composition and reasonable sedimentation coefficients improves the accuracy of calculations by 1.5–2.5 times. The described approach can improve the accuracy of influence zones for industrial enterprises dust emissions and exposure assessment.

Key words: dust and gas emissions; fine particles; PM_{10}, $PM_{2.5}$, exposure assessment, dispersion, fractional composition, sedimentation coefficient.

© May I.V., Kokoulina A.A., Zagorodnov S.Y., Popova E.V., 2014

May Irina Vladislavovna – DBS, Professor, Deputy Director for Science (e-mail: may@fcrisk.ru, tel.: 8 (342) 237-25-47).

Kokoulina Anastasiia Aleksandrovna – research associate of Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods (e-mail: maks@fcrisk.ru, tel.: 8 (342) 237-18-04).

Zagorodnov Sergey Yurievich – research associate of Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods (e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru, tel.: 8 (342) 237-18-04).

Popova Ekaterina Vladimirovna – GIS-engineer of Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods (e-mail: popova@fcrisk.ru, tel.: 8 (342) 237-18-04).