

УДК 614.715; 504.064

ИЗУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ЭКСПОЗИЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

© 2015 С.Ю. Загороднов, А.А. Кокоулина, Е.В. Попова

«Федеральный научный центр медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения, г. Пермь

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

В статье представлены результаты исследований дисперсного состава твердых компонентов выбросов основных пылеобразующих технологических операций крупных предприятий металлургического комплекса. Показано, что фракции менее 10 и 2,5 мкм составляют до 88% в общей структуре выбросов пылей. Компонентный состав выбросов пылей соответствует специфике предприятий и содержит соединения металлов и другие токсичные примеси. Морфологические характеристики пылевых выбросов позволили более точно установить значения коэффициента оседания F . Проведены расчеты рассеивания пылевых выбросов с учетом мелкодисперсных пылей PM_{10} и $PM_{2,5}$ и определены их зоны покрытия по территории. Повышенный уровень концентраций мелкодисперсных пылей в приземном слое атмосферы подтверждает необходимость внедрения в практику нормирования PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Ключевые слова: предприятие, черная и цветная металлургия, пыль, выброс, мелкодисперсные частицы, фракционный состав, $PM_{2,5}$, PM_{10} , экспозиция

Актуальность исследования. Промышленные предприятия металлургического комплекса являются одними из ключевых отраслей промышленности на территории Пермского края, наряду с машиностроением, лесной промышленностью и другими. Чёрная и цветная металлургия относятся к одним из самых интенсивных загрязнителей окружающей природной среды. На долю металлургии приходится около 40% общероссийских валовых выбросов вредных веществ, из них по газообразным веществам – около 34%, по твердым – около 26% [1]. Металлургические предприятия являются основными источниками выбросов в атмосферу таких токсичных аэрозолей, как пыли различного происхождения и состава, оксиды железа, марганца, цинка, свинца, алюминия. Пылевые выбросы металлургических предприятий формируют качество производственной среды и уровень загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния предприятия. В некоторых городах Пермского края промышленные площадки предприятий черной и цветной металлургии расположены в непосредственной близости проживания населения: г. Березники (150,7

тыс. жителей) – ВСМПО «Ависма»; г. Соликамск (96,3 тыс. жителей) – ОАО «Соликамский магниевый завод»; г. Чусовой (50,5 тыс. жителей) – ОАО «Чусовской металлургический завод». Уровень загрязнения атмосферного воздуха этих городов по данным Пермского ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС» на протяжении последних десятилетий практически постоянно характеризуется как «высокий» или «очень высокий» (индексы загрязнения атмосферы за 2010-2013 гг. колебались в диапазоне от 7,0 до 16,5) [2]. Превышения нарушения гигиенических нормативов содержания взвешенных веществ (соответственно пылей) регистрируются систематически. Так, в г. Соликамске в 2013 г. на постах, расположенных наиболее близко к промышленной зоне, около 37% суточных измерений (110 проб из 296) взвешенных веществ в атмосфере превышали ПДК_{с.с.} (до 2,7ПДК_{с.с.}). В Березниках на посту наблюдения регистрируются превышения как разовых, так и среднесуточных концентраций взвешенных веществ (до 2,5 ПДК_{м.р.} и 2,0 ПДК_{с.с.}). При этом контроль содержания наиболее опасных мелких нормируемых фракций с размерами менее 10 мкм (PM_{10}) и менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) в городах Пермского края не ведется. Дисперсный и компонентный состав промышленных пылей не учитывается ни при формировании нормативов выбросов предприятий, ни при обосновании санитарно-защитных зон, несмотря на утверждение в 2010 г. гигиенических нормативов содержания в атмосферном воздухе частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ и

Загороднов Сергей Юрьевич, научный сотрудник лаборатории методов социально-гигиенического мониторинга. E-mail: Zagorodnov@fcrisk.ru

Кокоулина Анастасия Александровна, научный сотрудник лаборатории методов оценки соответствия и потребительских экспертиз. E-mail: maks@fcrisk.ru
Попова Екатерина Владимировна, инженер по ГИС лаборатории методов комплексного санитарно-эпидемиологического анализа. E-mail: Popova@fcrisk.ru

включение мелкодисперсных частиц в перечень вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию» [3, 4].

Исследования компонентного и дисперсного состава выбросов комплекса технологических процессов металлургических производств, производства чугуна, стали и цветных металлов, проведенные в 80-е годы, указывают на высокую степень дисперсности - в среднем пылевые частицы имеют размер от 0.1 до 100 мкм [5]. Развитие производственной базы, появление современных технологий и использование новых химических компонентов не позволяют применить данный опыт для установления зон влияния предприятий и определения уровня пылевой экспозиции населения, попадающего под воздействие.

Цель работы: проведение комплексных исследований компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для решения задач оценки экспозиции населения, проживающего в зоне влияния.

Материалы и методы исследования. Для достижения цели исследования был изучен технологический процесс 3-х предприятий металлургического комплекса, и определены основные источники пылевыделения. Отбор проб проводили непосредственно в местах образования пыли, на минимальном расстоянии от источника выделения пылегазовых выбросов. Для каждой точки было отобрано по 3 пробы воздуха (всего проанализировано 114 проб, отобранных на 38 технологических процессах). Определение дисперсного состава пылевых выбросов осуществляли с применением лазерного анализатора частиц Microtrac S3500 (охватываемый диапазон размера частиц от 20 нм до 2000 мкм). Для микроскопирования пылей с целью установления формы частиц и определения компонентного состава пылевых выбросов использовали сканирующий

электронный микроскоп высокого разрешения (степень увеличения – от 5 до 300000 крат) с рентгено-флуоресцентной приставкой S3400N «НІТАСНІ». Определение химического состава выполняли с применением рентгенофазового анализа на дифрактометре XRD-700 «Shimadzu» на базе центра коллективного пользования Пермского национального исследовательского университета.

На примере крупного металлургического предприятия расчетным методом выполняли оценку экспозиции населения к пылям. Расчеты рассеивания проводились с использованием программного продукта УПРЗА «Эколог», версия 3.0, реализующего положения «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86) [6]. Аэродинамические параметры источников выбросов, их координатную привязку и массовые характеристики пылей (как пылей, нормируемых по химическому составу, так и взвешенных веществ) принимали в соответствии с материалами инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ исследуемого предприятия. Максимальные приземные концентрации суммы твердых частиц, $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе определяли в точках ближайшей жилой застройки и по регулярной сетке, охватывающей территорию расположения предприятия и близлежащую жилую застройку, шаг сетки по оси X и по оси Y = 50 м. Для пылевых выбросов с установленным дисперсным составом были подобраны уточнённые коэффициенты скорости оседания частиц F [7], что было использовано при прогнозировании экспозиции.

Результаты исследования. Были исследованы выбросы 38 технологических операций, характеризующихся интенсивным пылевыделением. В результате были получены данные о содержании фракций PM_{10} и $PM_{2.5}$ в рассматриваемых выбросах (табл. 1).

Таблица 1. Дисперсный состав выбросов технологических операций предприятий металлургического комплекса

Производственные участки пылеобразования	PM_{10} (%)	$PM_{2.5}$ (%)	Медианный размер частиц, мкм
	объёмный % фракций от общего объема частиц		
загрузка колошниковой шихты грейфером	24.77±3.72	5.40±0.81	40
загрузка моношихты грейфером	9.19±1.38	–	80
загрузка металлургического шлака грейфером	55.52±8.33	44.46±6.67	4
смешение шихты	31.14±4.67	11.40±1.71	30
спекание агломерата	8.43±1.26	2.93±0.44	200
выгрузка агломерата (после спекания)	15.41±2.31	5.24±0.79	200
мешалка (приготовление смеси для укладки форм)	13.67±2.05	1.65±0.25	20
электросталеплавильная печь	38.22±5.73	16.71±2.50	20
выпуск чугуна (литейный двор)	84.34±12.65	78.53±11.78	1
выпуск шлака (литейный двор)	53.9±8.09	17.56±2.63	8.5

Продолжение таблицы 1			
продувка чугуна в конвертере	10.79±1.62	1.22±0.18	20
прокат заготовок на стане	26.87±4.03	12.06±1.81	40
печь обжига извести во вращающейся печи	40.98±6.15	6.06±0.91	10
выплавка феррованадия (электростале- плавильная печь)	26.95±4.04	4.71±0.71	20
рубка стали	29.44±4.42	12.79±1.92	20
дробемётная камера (обработка рессор дробью)	47.91±7.19	35.51±5.33	10
загрузка NbOH ₃ в формы (участок парового гидролиза)	76.43±6.13	56.7±4.50	2
выгрузка готовой продукции из форм (Nb ₂ O ₅) (участок парового гидролиза)	16.69±2.67	13.69±2.20	296
выгрузка готовой продукции (редкоземельных металлов)	85.60±5.92	20.34±1.40	6.5
приготовление раствора соды	9.88±4.65	1.63±0.80	74
рафинирование Mg, приготовление сплавов	0.56±0.22	–	148
размол флюса	19.96±1.57	2.14±0.20	31
размол серы	18.79±3.67	3.33±0.70	31
разливка металла (Mg) на литейном конвейере	15.53±2.35	4.55±0.70	31
слив ШЭС из скрапного тигля в технологи- ческий короб	0.51±0.18	–	105
чистка фильтров (хлор после электролиза)	38.63±5.18	11.66±1.60	19
подъём и наполнение расходных бункеров	–	–	980
выгрузка в бункер (известь для нейтрализации хлора) известь после обжига	30.13±8.34	5.97±1.70	19
загрузка CaF ₂	30.98±3.71	3.35±0.40	19
выгонка карналлитовой пыли с в/печей	44.48±6.54	9.75±1.40	11
загрузка хлораторов шихтой	28.99±4.72	9.02±1.50	16
транспортировка карналлита на печи КС	27.60±6.18	15.31±3.40	62
транспортировка карналлита с печи КС	41.05±9.55	8.04±1.90	13
выбивка титановой губки	88.43±6.92	11.57±0.90	3.27
чистка реторты после выпресовки титановой губки	18.29±3.27	81.71±14.60	37
рубка титановой губки на дробилке	11.83±1.87	88.17±13.90	44
рассев титановой губки на барабанном грохоте	49.43±13.06	50.57±13.40	10.5
дробление титановой губки на дисковой дро- билке	26.52±5.82	73.48±16.10	26.16

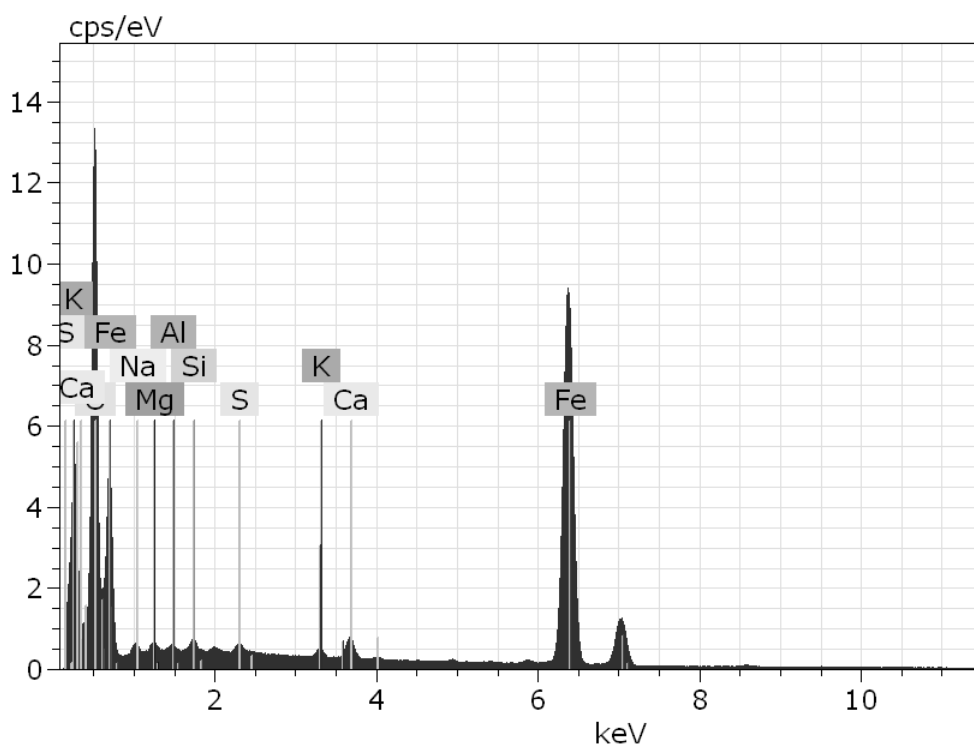


Рис. 1. Компонентный состав выбросов от проката заготовки на стане

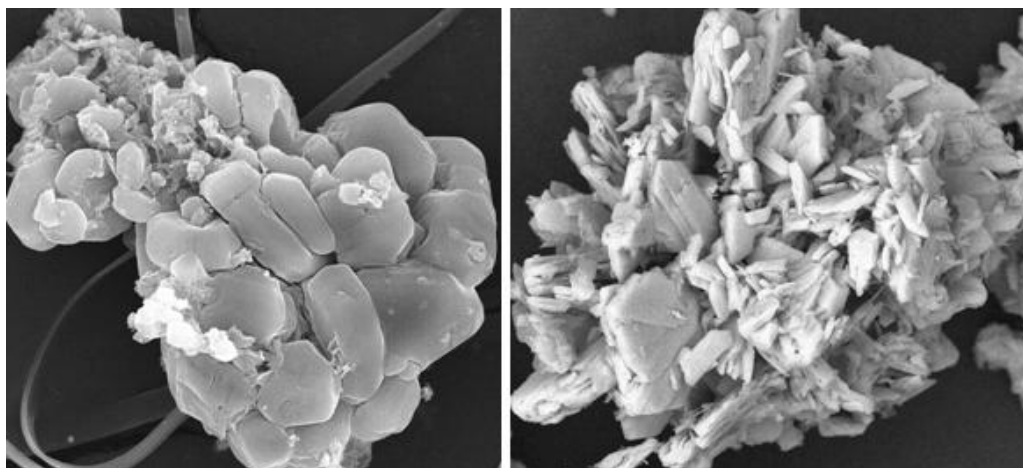


Рис. 2. Изображения частиц пыли, выбрасываемых предприятиями металлургического комплекса (x2000 и x1000 соответственно)

Результаты исследования дисперсного состава показали, что в выбросах рассматриваемых предприятий доля частиц размером до 2,5 мкм включительно составляет от 0,0 до 88,17%, частиц размером менее 10 мкм включительно – от 0,0 до 88,43%. Медианные размеры частиц отобранных образцов составляют от 1 до 980 мкм. Наибольшая доля мелкодисперсных частиц зарегистрирована на стадиях: выпуск чугуна, выгрузка готовой продукции РЗМ и выбивка титановой губки. Основную долю компонентного состава выбросов (более 50%) составляют токсические примеси и оксиды металлов: железа, алюминия, свинца, титана, меди, марганца, цинка, хрома, что соответствует специфике предприятий. Пример спектрограммы, характеризующей компонентный состав от проката заготовки на стане, представлен на рис. 1.

По морфологическим признакам изученные частицы, в зависимости от особенности технологического процесса, имеют неправильную, раздробленную, угловатую, округлую формы. Последнее было учтено при расчете коэффициента скорости оседания пыли, учитывающего форму частиц [7]. На рис. 2 представлены примеры изображений пылевых частиц, выбрасываемых в атмосферный воздух металлургическими предприятиями.

Результаты расчетов рассеивания выбросов показали, что учет компонентного и дисперсного состава существенно меняет представление о зонах влияния пылевых выбросов промышленного объекта, а соответственно и об экспозиции населения. На примере одного из рассмотренных предприятий: если выполнять оценку экспозиции отдельно для железа оксида (код 123), марганца (код 143), свинца (код 184), пыли неорганической: до 20% SiO₂ (код 2909), как это на текущий момент позволяет нормативно-методическая документация, ситуацию следует

оценивать, как благополучную, на границе санитарно-защитной зоны уровни содержания примесей не превышают 0,30 ПДК_{м.р.}. Если же рассматривать в целом всю твёрдую составляющую выбросов, а также отдельно учитывать РМ₁₀ и РМ_{2,5}, то расчётные приземные концентрации мелкодисперсных частиц достигают 0,97 ПДК_{м.р.}, что указывает на более высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. В зоне установленной экспозиции на настоящий момент проживет более 200 человек, в том числе около 20 детей (рис. 3, 4, табл.2). Изолиния уровня 1 ПДК_{м.р.} РМ₁₀ выходит за границу промышленной площадки предприятия. Полученные расчетные данные требуют инструментального подтверждения.

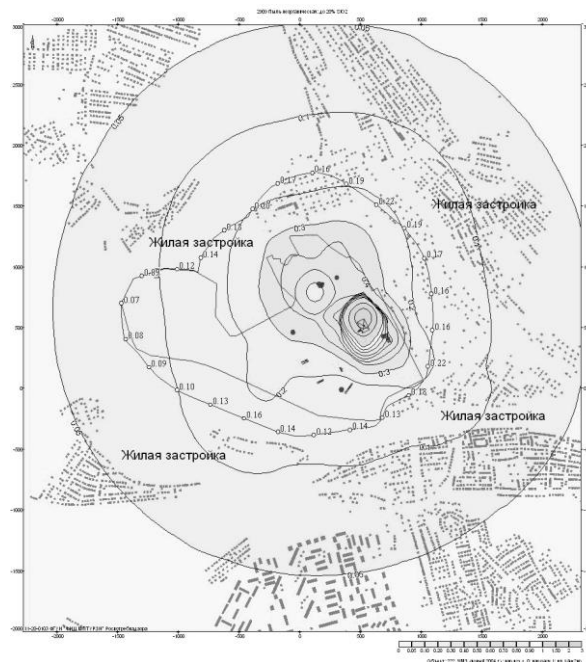


Рис. 3. Изолинии рассеивания пыли неорганической до 20% SiO₂, без учета дисперсности

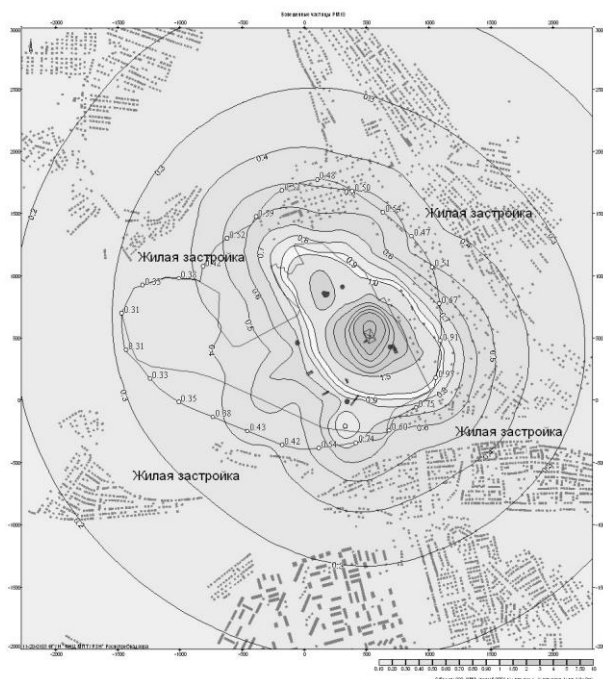


Рис.4. Изолинии рассеивания твердых частиц:
(сумма твердых частиц менее 10 мкм (PM_{10}))

В целом полученные результаты являются основанием, как для актуализации подходов к проведению инвентаризации источников выбросов предприятий металлургического комплекса, так и для внедрения в практику учета PM_{10} и $PM_{2.5}$ при нормировании выбросов и разработке проектов санитарно-защитных зон. Высокой уровень концентраций мелкодисперсных частиц на границе санитарно-защитной зоны предприятия позволяет предположить наличие рисков формирования нарушений функций органов дыхания у населения, постоянно проживающего вблизи предприятия, а также других отклонений в состоянии здоровья, характерных для воздействия мелкодисперсных частиц. Данные исследования позволяют более точно оценить риски для здоровья населения, сформировать доказательную базу реализации этих рисков и обосновать соответствующие санитарно-гигиенические меры по минимизации рисков.

Таблица 2. Приземные концентрации твердых частиц выбросов металлургического предприятия в точках на границе санитарно-защитной зоны и жилой застройкой

№ рас- четной точки	Координаты, м		Загрязняющие вещества, доли ПДК _{м.р.}					
	X	Y	PM ₁₀	PM _{2,5}	FeO (123)	Mn (143)	Pb (184)	Пыль неорганиче- ская: до 20% SiO ₂ (2909)
1	-1474	710	0.31	0.16	0.05	0.06	0.006	0.07
2	-1305	937	0.33	0.18	0.06	0.07	0.007	0.09
3	-1015	991	0.38	0.21	0.07	0.10	0.01	0.12
4	-819	1085	0.42	0.25	0.09	0.12	0.01	0.14
5	-627	1310	0.52	0.32	0.12	0.14	0.02	0.18
6	-394	1486	0.59	0.39	0.14	0.16	0.02	0.20
7	-186	1697	0.52	0.35	0.12	0.15	0.02	0.17
8	98	1785	0.48	0.30	0.11	0.14	0.02	0.16
9	378	1692	0.50	0.27	0.12	0.15	0.02	0.19
10	626	1523	0.54	0.30	0.13	0.16	0.03	0.22
11	855	1330	0.47	0.35	0.12	0.15	0.04	0.19
12	1021	1082	0.51	0.43	0.11	0.14	0.06	0.17
13	1078	788	0.67	0.56	0.10	0.13	0.09	0.16
14	1087	489	0.91	0.67	0.11	0.12	0.14	0.16
15	1051	191	0.97	0.67	0.15	0.18	0.12	0.22
16	893	-47	0.75	0.63	0.14	0.12	0.09	0.18
17	676	-232	0.60	0.51	0.09	0.21	0.06	0.13
18	408	-330	0.74	0.70	0.13	0.30	0.05	0.14
19	112	-374	0.54	0.53	0.08	0.14	0.04	0.12
20	-184	-347	0.42	0.34	0.08	0.09	0.03	0.14
21	-463	-237	0.43	0.25	0.08	0.09	0.02	0.16
22	-740	-123	0.38	0.20	0.07	0.08	0.02	0.13
23	-1015	-3	0.35	0.19	0.06	0.07	0.01	0.10
24	-1246	185	0.33	0.17	0.05	0.06	0.008	0.09
25	-1437	416	0.31	0.16	0.05	0.06	0.007	0.08

Выводы:

1. Проведенные исследования доказывают наличие мелкодисперсных пылей PM_{10} и $PM_{2.5}$ в выбросах металлургических предприятий. Пылевые

выбросы предприятий содержат до 88% частиц размером PM_{10} и $PM_{2.5}$.

2. Учет дисперсного состава пылевых выбросов позволяет установить реальные концентрации

мелкодисперсных частиц, формирующиеся на границе санитарно-защитной зоны предприятия и местах проживания населения.

3. В данном рассмотренном примере расчетная оценка экспозиции свидетельствует о высоких уровнях концентраций PM_{10} на границе санитарно-защитной зоны и в ближайшей жилой застройке. Превышений гигиенических нормативов PM_{10} и $PM_{2,5}$ не установлено.

4. Полученные расчетные данные требуют инструментального подтверждения.

5. Результаты исследования ещё раз подтвердили необходимость учёта фракционного состава выбросов загрязняющих веществ при проведении инвентаризаций источников выбросов, дальнейшего нормирования выбросов и установления границ санитарно-защитных зон промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. 528 с.
2. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году». - Пермь, 2014 г.
3. Дополнение №8 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».
4. Приказ Министерства Природных Ресурсов РФ № 579 от 31.12.2010 «О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию».
5. Скрябина, Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть 1. Летучая зола тепловых электростанций. – М.: Цинтихимнефтемаш; 1980, 50 с. Часть 2. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. – М.: Цинтихимнефтемаш; 1981, 39 с. Часть 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. – М.: Цинтихимнефтемаш; 1982, 63 с.
6. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ / ГТО им. Воейкова. – Л., 1987. – 64 с.
7. Май, И.В. Методические подходы к учёту 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.

STUDYING OF COMPONENT AND DISPERSE STRUCTURE OF DUST EMISSIONS OF METALLURGICAL COMPLEX ENTERPRISES FOR PROBLEMS OF ESTIMATION THE POPULATION EXPOSITION

© 2015 S.Yu. Zagorodnov, A.A. Kokoulina, E.V. Popova

Federal Scientific Center of Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm

Results of researches the disperse structure of firm components of emissions of the main dust-forming technological operations of the large enterprises of metallurgical complex are presented in article. It is shown that fractions make less than 10 and 2,5 microns to 88% in the general structure of dust emissions. The component structure of dust emissions corresponds to specifics of the enterprises and contains metal compounds and other toxic impurity. Morphological characteristics of dust emissions allowed to establish values of subsidence coefficient F more precisely. Calculations of dust emissions dispersion taking into account the fine dust PM_{10} and $PM_{2,5}$ and their cover zones are determined by the territory are carried out. The increased level of concentration the fine dust in a ground layer of atmosphere confirms need of introduction in practice the rationing of PM_{10} and $PM_{2,5}$.

Key words: *enterprise, ferrous and nonferrous metallurgy, dust, emission, fine particles, fractional structure, $PM_{2,5}$, PM_{10} , exposition*

Sergey Zagorodnov, Research Fellow at the Laboratory of Social and Hygienic Monitoring Methods. E-mail: Zagorodnov@fcrisk.ru
Anastasia Kokoulina, Research Fellow at the Laboratory of Estimation the Compliance Methods and Consumer Examination. E-mail: maks@fcrisk.ru
Ekaterina Popova, Engineer at the Laboratory of Social-Hygienic Monitoring Methods. E-mail: Popova@fcrisk.ru