

УДК 613.6:616-006

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЫЛЕВОГО ФАКТОРА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕДЬСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Гилева Ю.М., Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Лестев М.П.

ГОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава России», Екатеринбург, e-mail: adrianovsky@k66.ru

Приведены результаты изучения дисперсности, химического состава и концентраций пыли в воздухе рабочей зоны на различных этапах обогащения медьсодержащего сырья. Показано, что преобладающее число пылинок имеют размеры 2,1–5,0 мкм, что определяет устойчивый характер присутствия данной пыли в воздухе рабочей зоны и длительное ее нахождение в глубоких отделах органов дыхания. В составе пыли преобладают кремний диоксид кристаллический и медь. Концентрации кремния диоксида кристаллического в воздухе рабочей зоны дробильного отделения превышают ПДК в 1,2 раза, а реагентного – в 1,3 раза. Присутствие в пыли кремния диоксида кристаллического и мышьяка определяет ее канцерогенную опасность.

**Ключевые слова:** обогащение медьсодержащего сырья, кремний диоксид кристаллический, канцерогенная опасность

## THE RESULTS OF STUDYING OF THE DUST FACTOR IN COPPER ORE CONCENTRATION

Gileva U.M., Adrianovskiy V.I., Lipatov G.Y., Lestev M.P.

The Ural Sate Medical Academy, Yekaterinburg, e-mail: adrianovsky@k66.ru

The results of investigation of dispersion, chemical composition and concentrations of dust in the working area at various stages of copper ore concentration are presented. It's shown that the overwhelming number of dust particles have sizes 2,1-5,0 mm, which determines the sustained presence of the dust in the working area, as well as the duration of its stay in the deepest parts of the respiratory system. Crystalline silicon dioxide and copper predominate in the dust. Concentration of crystalline silicon dioxide in the occupation air of crushing compartment exceeds MAC in 1,2 times and reagent one – 1,3 times. The presence of crystalline silicon dioxide as well as arsenic in the dust determines its carcinogenic danger.

**Keywords:** copper ore concentration, crystalline silicon dioxide, carcinogenic danger

На протяжении столетий производство меди служило показателем экономического развития государства. И сейчас по использованию в различных отраслях промышленности медь является одним из самых распространенных металлов. До начала XX в. ее основная масса использовалась для получения сплавов в основном бронзы и латуни, из которых традиционно изготавливались монеты, домашняя утварь и оружие. Настоящий медный бум начался с открытием электричества и развитием электротехнической промышленности.

Медьсодержащие руды характеризуются невысоким содержанием основного металла, в связи с чем в цикле переработки медьсодержащего сырья использование обогатительных технологий является обязательным [4].

Технологический процесс обогащения руд включает в себя подготовительные операции (дробление, измельчение и классификацию), флотацию и обезвоживание сырья (сгущение, фильтрация, сушка), которые сопровождаются пылеобразованием разной степени интенсивности.

Цель исследования – дать комплексную гигиеническую оценку пылевому фактору при обогащении медьсодержащего сырья.

## Материалы и методы исследования

Для реализации указанной цели мы изучали дисперсность, химический состав и определяли концентрации пыли в воздухе рабочей зоны дробильного отделения, а также отделения измельчения и флотации, фильтровально-сушильного и реагентного отделений ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод (г. Ревда Свердловской обл.)».

Определение пыли в воздухе рабочей зоны проводилось в соответствии с методическими указаниями [3, 6]. Отбор проб пыли осуществлялся в зоне дыхания работников при помощи электроасpirатора с использованием фильтров АФА-ВП-20 со скоростью 20 л в минуту в течение 30 минут. Содержание пыли определялось по отношению разности веса фильтров до и после отбора проб к объему исследуемого воздуха, приведенному к нормальным условиям (температура 20 °С), атмосферное давление 760 мм рт. ст., относительная влажность 50%). Среднесменные концентрации пыли рассчитывались как средневзвешенные величины на основании отдельных измерений при выполнении основных и вспомогательных операций и перерывов в работе в течение трех смен [6].

Дисперсность пыли определялась методом микроскопии просветленных в парах ацетона фильтров АФА с помощью окулярного микрометра [2].

Полуколичественный спектральный анализ пыли, отобранной в виде сметов на рабочих местах обогатительной фабрики, проводился аналитическим испытательным центром ОАО «Уральская центральная лаборатория» (г. Екатеринбург).

Медь и кремний диоксид кристаллический определялись фотометрическим методом. Фотометрическое определение меди в воздухе рабочей зоны основано на реакции взаимодействия ее катиона с дитиокарбонатом натрия в щелочной среде; чувствительность метода 10 мкг меди в анализируемом объеме раствора. Определение концентрации диоксида кремния основано на реакции его в слабокислой среде с последующим восстановлением аскорбиновой кислотой в присутствии сернокислой меди до кремнемолибденовой сини и измерении оптической плотности окрашенного раствора.

Гигиеническая оценка концентраций пыли, меди и диоксида кремния в воздухе рабочей зоны проводилась в сравнении их с ПДК на основании гигиенических нормативов 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [5].

### Результаты исследования и их обсуждение

Первый этап обогащения медьсодержащего сырья – рудоподготовка – осуществляется в дробильном отделении. Медное сырье (шлак, руда) в железнодорожных думпкарах поступает на приемную эстакаду первичных бункеров, разгружается на решетки с размером ячейки 330 на 400 мм. Надрешетный продукт (негабариты) разбивается вручную, подрешетный продукт из бункеров пластинчатыми питателями и ленточными транспортерами подается в конусную дробилку среднего дробления с предварительным грохочением на колосниковом грохоте. После стадии среднего дробления медное сырье через ситовые бункера подается для контрольного грохочения на вибрационные грохота, после чего подрешетный продукт крупностью 10 мм через систему транспортеров поступает в бункера главного корпуса, а надрешетный продукт на вторую стадию дробления в конусные дробилки мелкого дробления. Продукт после мелкого дробления возвращается в те же ситовые бункера и, далее, на грохочение. Конечным продуктом дробильного отделения является материал крупностью 10 мм.

Обслуживание дробильного отделения осуществляется бригадой рабочих в составе дробильщика, бункеровщика, грохотовщика и машиниста конвейера, которые обеспечивают бесперебойным медьсодержащим сырьем отделение измельчения и флотации.

В отделении измельчения и флотации медное сырье перерабатывается на двух технологических секциях по схеме прямой флотации с получением концентрата. Технологический процесс начинается с измельчения рудного сырья и производится в три стадии: первая стадия – в открытом цикле, вторая и третья стадии – в замкнутом цикле с классифицирующим оборудованием. Дробленый материал из бункеров тарельчатыми пита-

телями и ленточными транспортерами подается в шаровые мельницы, где в водной среде производится первая стадия измельчения.

Измельченный материал (пульпа) песковыми насосами перекачивается в шаровые мельницы второй стадии измельчения и, далее, на гидроциклоны первой стадии классификации для разделения на грубую (пески) и тонкую (слив) фракции. Пески возвращаются на доизмельчение в мельницы второй стадии, а слив самотеком вместе с ксантогенатом и флотомаслом поступает на межцикловую флотацию в механическую и в пневмомеханическую флотомашину.

Пенный продукт межциклового флотации является готовым медным концентратом. Хвосты флотации насосами перекачиваются на вторую стадию классификации в гидроциклонах.

Слив последовательно проходит еще две стадии классификации: в спиральных классификаторах и в гидроциклонах. Пески всех трех стадий классификации поступают на третью стадию измельчения в шаровые мельницы.

Бригада рабочих отделения измельчения и флотации включает в себя машиниста питателей, машиниста мельниц, растворщика реагентов и флотатора.

В фильтровально-сушильном отделении сгущение продуктов обогащения осуществляется в пяти двухмостовых сгустителях диаметром 30 м с периферическим приводом. Фильтровальное отделение имеет в своем составе две независимые технологические системы: медную и песковую (пиритную), включающие в себя дисковые вакуум-фильтры, агитчаны, фильтратные, песковые насосы и вакуум-насосы.

Сушильное отделение имеет в своем составе теплогенератор с газовой горелкой, сушильный барабан с полочной насадкой, пылеулавливающий циклон, дымосос, центробежный вентилятор для подачи первичного и вторичного воздуха в топку сушильного барабана. Из барабана концентрат по системе конвейеров подается в аварийный склад для непосредственной погрузки в железнодорожные думпкары и отправки в медеплавильный цех.

Бригада рабочих фильтровально-сушильного отделения состоит из фильтровальщика, сушильщика, машиниста питателя, транспортерщика и машиниста конвейера.

Отделение по приготовлению растворов реагентов осуществляет переработку обожженного известняка и приготовление известкового молока, приготовление растворов флотационных реагентов необходимой концентрации и перекачивание растворов

реагентов в расходные баки отделения измельчения и флотации.

Технология приготовления реагентов заключается в выгрузке сырья из железнодорожных вагонов или автотранспорта, складировании, растворении, перекачке. Затаренные реагенты при помощи электропогрузчика разгружаются и складываются в пролет подвесной кран-балки. От мест загрузки реагентов и машин для растворения сернистого натрия и ксантогената производится отсос с очисткой аспирационного воздуха. Шламы периодической чистки емкостей перекачиваются в отдельный контактный чан, затем в хвостовой желоб обогащательной фабрики с добавкой известкового молока для нейтрализации.

Приготовление известкового молока осуществляется по следующей схеме: известь из железнодорожных думпкаров разгружается в приемные бункера реагентного отделения, далее последовательно питателем в щековую дробилку и в шаровую мельницу для мокрого измельчения до крупности менее 0,074 мм и в спиральный классификатор, пески которого возвращаются на доизмельчение в мельницу.

Другие флотационные реагенты (ксантогенат, аэрофлот) загружаются в контактные чаны для растворения водой и далее перекачиваются в расходные емкости отделения измельчения и флотации.

Приготовление растворов реагентов осуществляет растворщик реагентов, рабочим местом которого являются все площадки, склады и оборудование.

При обогащении медьсодержащих руд в воздух рабочей зоны поступает пыль, представленная в основном аэрозолями дезинтеграции, которые образуются при разгрузке, дроблении, грохочении, перегрузке дробленой руды, а также при замешивании

растворов и чистке оборудования. Аэрозоли конденсации встречаются в сушильном отделении при загрузке и выгрузке концентрата.

Изучение дисперсного состава пыли позволило установить, что преобладающее число пылинок имеет размеры 2,1–5,0 мкм, что определяет устойчивый характер присутствия данной пыли в воздухе рабочей зоны, глубокое проникновение в органы дыхания, а также длительное ее нахождение альвеолах легких (табл. 1).

**Таблица 1**  
Дисперсный состав пыли, %

Отделение	Процент пылевых частиц размером			
	до 2,0 мкм	2,1–5,0 мкм	5,1–10,0 мкм	более 10,1 мкм
Дробильное	26,6	71,2	1,8	0,4
Измельчения и флотации	27,6	69,8	2,1	0,5
Фильтровально-сушильное	20,1	78,4	1,3	0,2
Реагентное	14,7	82,3	2,4	0,6

В химическом составе пыли при анализе было выявлено преобладание двуокиси кремния, меди, железа, а также серы, кальция, алюминия, кобальта (табл. 2). Согласно работе [5] кремний диоксид кристаллический и медь обладают фиброгенными свойствами. Наибольшее содержание диоксида кремния отмечено в воздухе дробильного отделения (23,4%). Обращает на себя внимание присутствие в составе пыли мышьяка на всех отделениях. Кремний диоксид кристаллический и мышьяк относятся к веществам, обладающим канцерогенным действием [1].

Химический состав пыли, %

**Таблица 2**

Отделение	Химические компоненты, %									
	Cu	Ni	SiO <sub>2</sub>	Co	As	Fe	S	Ca	Al	MgO
Дробильное	4,6	Следы	23,4	0,003	0,1	7,2	4,2	2,7	3,3	2,4
Измельчения и флотации	11,3	Следы	4,7	0,01	0,3	16,4	12,3	0,9	1,3	0,5
Фильтровально-сушильное	15,9	Следы	6,8	0,01	0,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Реагентное	2,2	Следы	3,2	0,02	0,1	1,7	9,8	3,4	1,6	0,3

В дробильном отделении на рабочем месте машиниста конвейера средние значения максимально разовых концентраций пыли составили 2,9 мг/м<sup>3</sup> в холодный период года и 2,6 мг/м<sup>3</sup> в теплый период года, при этом запыленность в холодный период несколько выше. Возможно, это объясняется тем, что

в зимнее время в производственных помещениях уменьшается кратность воздухообмена. Среднесменные концентрации пыли составляли 2,8 и 2,2 мг/м<sup>3</sup> в холодный и теплый период года соответственно.

В отделении измельчения и флотации у флотомашин среднее значение макси-

мально разовых концентраций регистрировалось на уровне  $2,6 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года и  $2,8 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года, в зоне обслуживания тарельчатого питателя соответственно  $3,2$  и  $2,9 \text{ мг/м}^3$ , и в зоне обслуживания шаровой мельницы  $3,8 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года и  $3,4 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года. Среднесменные концентрации пыли на вышперечисленных рабочих местах отделения составляли  $1,4\text{--}2,8 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года и  $2,4\text{--}3,0 \text{ мг/м}^3$  в теплый.

На рабочем месте аппаратчика сгустителей в фильтровально-сушильном отделении максимально разовые концентрации пыли по средним значениям составляли  $1,9 \text{ мг/м}^3$  в холодный и  $1,4 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года. Среднесменные концентрации пыли у сгустителя соответственно  $1,2$  и  $0,9 \text{ мг/м}^3$ .

У щековой дробилки на рабочем месте дозирщика реагентов средние значения максимально разовых концентраций пыли отмечены на уровне  $1,6 \text{ мг/м}^3$  в холодный и  $1,9 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года, а на рабочем месте растворщика реагентов на площадке по раскупорке тары максимально разовые концентрации по средним значениям составляли  $2,1$  и  $1,8 \text{ мг/м}^3$  в холодный и теплый период года соответственно. Среднесменные концентрации пыли в реагентном отделении оценивались на уровне  $1,4$  и  $1,3 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года;  $1,4$  и  $0,9 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года у дозирщика и растворщика реагентов соответственно.

На рабочем месте машиниста конвейера дробильного отделения исследовались концентрации меди и диоксида кремния. Максимально разовые и среднесменные концентрации меди в рабочей зоне машиниста конвейера, как в теплый, так и в холодный периоды года не превышали предельно допустимые значения (ПДК  $1,0/0,5 \text{ мг/м}^3$ ). В то же время нами было отмечено превышение ПДК диоксида кремния ( $4,0 \text{ мг/м}^3$ ) по среднесменным концентрациям в теплый ( $4,8 \text{ мг/м}^3$ ) и холодный ( $4,2 \text{ мг/м}^3$ ) периоды года. По-видимому, причиной столь высокой запыленности воздуха является неудовлетворительная работа вентиляции. Производительность каждой из 10 аспирационных систем, предназначенных для удаления загрязненного воздуха, была ниже проектной производительности. Ряд местных укрытий не перекрывает источник выделения вредности, что не обеспечивает достаточное улавливание пыли. Кроме того, влажная уборка помещения осуществляется только на транспортерах под дробилками (данные транспортеры герметично укры-

ты), во всех остальных случаях применяется сухая уборка.

Максимально разовые концентрации меди на рабочем месте машиниста мельниц не превышали ПДК ( $1,0 \text{ мг/м}^3$ ) в оба периода года, как по средним, так и по максимальным значениям, находясь в пределах  $0,20\text{--}0,26 \text{ мг/м}^3$ . Среднесменные концентрации, составляющие  $0,045$  и  $0,14 \text{ мг/м}^3$  в теплый и холодный периоды года, соответственно также ниже ПДК ( $0,5 \text{ мг/м}^3$ ). Концентрации диоксида кремния в воздухе рабочей зоны машиниста мельниц по средним значениям находились на уровне  $2,6 \text{ мг/м}^3$  в теплый период года и  $2,8 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года, что не превышало ПДК ( $4,0 \text{ мг/м}^3$ ).

Содержание меди и диоксида кремния в воздухе рабочей зоны флотатора (отделение измельчения и флотации), а также фильтровальщика, сушильщика, машиниста питателя, транспортерщика и машиниста конвейера (фильтровально-сушильное отделение) как в теплый, так и в холодный периоды года не превышало ПДК.

Содержание меди в рабочей зоне машиниста питателя (реагентное отделение) в теплый и холодный периоды года было в пределах ПДК по средним и по максимальным значениям. Содержание диоксида кремния превышало предельно допустимые значения и составляло по среднесменным концентрациям  $5,1 \text{ мг/м}^3$  в теплый и  $5,4 \text{ мг/м}^3$  в холодный период года. Как показали наши исследования, вентиляция в реагентном отделении не эффективна, а на складе реагентов она вообще не организована.

Таким образом, технологические процессы и оборудование на обогатительной фабрике формируют комплекс неблагоприятных факторов производственной среды, среди которых ведущим является пыль. Поступающая в воздух рабочей зоны пыль представлена аэрозолями дезинтеграции, которая образуется при дроблении, грохочении, перегрузке дробленой руды, а также при замешивании растворов и чистке оборудования. Аэрозоли конденсации встречаются в сушильном отделении при загрузке и выгрузке концентрата. Преобладающее число пылинок имеет размеры  $2,1\text{--}5,0 \text{ мкм}$ , что определяет устойчивый характер присутствия данной пыли в воздухе рабочей зоны, длительное нахождение ее в глубоких отделах органов дыхания. В составе пыли преобладают кремний диоксид кристаллический и медь, обладающие фиброгенным действием на организм. Присутствие в пыли кремний диоксида кристаллического и мышьяка определяет ее канцерогенную опасность. Повышенная запыленность воз-

духа в таких отделениях, как дробильное, измельчения и флотации и реагентное, объясняется особенностями технологического процесса и неправильной организацией воздухообмена производственных зданий.

#### Список литературы

1. Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности: СанПиН 1.2.2353-08. – М.: Информационно-издательский центр Роспотребнадзора, 2008. – 7 с.
2. Лобова Т.Т. Изучение дисперсности пыли методом микроскопии // Методы изучения производственной пыли и заболеваемость пневмокониозами: сб. науч. тр. – М.: Медицина, 1965. – С. 43–48.
3. Методические указания по измерению концентраций аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. – М.: Медицина, 1987. – 26 с.
4. Неустров А.А. Основы металлургического производства. – М.: Металлургия, 1984. – 258 с.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: ГН 2.2.5.1313-03. –

СПб: Информационно-издательский центр Роспотребнадзора, 2004. – 234 с.

6. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: Р 2.2.2006-05. – Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2006. – 184 с.

#### Рецензенты:

Константинов В.Г., д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории эпидемиологии и профилактики рака ФГУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий Роспотребнадзора», г. Екатеринбург;

Ползик Е.В., д.м.н., профессор, зам. директора по научной работе Уральского научно-практического центра медико-социальных и экономических проблем здравоохранения, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 15.03.2011.