

УДК 613.6:616-006

## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНОВОЙ МЕДИ

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

ГБОУ ВПО «Уральская государственная медицинская академия» Минздрава России, Екатеринбург, e-mail: [adrianovsky@k66.ru](mailto:adrianovsky@k66.ru)

Приведены результаты изучения концентраций пыли и вредных веществ (медь, мышьяк, свинец, бенз(а)пирен, диоксид серы) в воздухе рабочей зоны на различных этапах современного получения черновой меди. Показано, что на всех этапах подготовки сырья определяющим фактором является степень герметизации оборудования и аспирации мест интенсивного пылеобразования. Так, наибольшие концентрации пыли отмечены на рабочих местах транспортерщика, сушильщика и шихтовщика, характеризующихся низкой герметизацией оборудования и открытым способом транспортировки шихты. При использовании автогенных процессов содержание в воздухе рабочей зоны медеплавильного цеха меди, мышьяка и бенз(а)пирена не превышало ПДК. Среднесменные концентрации свинца на рабочих местах плавильного отделения превышали ПДК, находясь в пределах 0,03–0,10 мг/м<sup>3</sup>. Наибольшая концентрация диоксида серы выявлена в плавильном отделении: от 7,8 до 13,1 мг/м<sup>3</sup> на рабочем месте плавильщика и загрузчика шихты. Однако концентрации пыли и вредных веществ при использовании печи плавки в «жидкой ванне» в десятки раз ниже, чем при шахтной, руднотермической и отражательной плавке. Гигиеническое преимущество автогенных печей обусловлено герметизацией «ванн», а также отсутствием ограничения объемов удаляемых технологических газов и пыли из подсводного пространства.

**Ключевые слова:** пирометаллургия меди, плавка в «жидкой ванне», пыль, мышьяк, свинец, бенз(а)пирен, диоксид серы

## HYGIENIC CHARACTERISTICS OF OCCUPATIONAL AIR IN THE MODERN COPPER BLISTER PRODUCTION

Adrianovskiy V.I., Lipatov G.J., Lestev M.P.

The Ural State Medical Academy, Yekaterinburg, e-mail: [adrianovsky@k66.ru](mailto:adrianovsky@k66.ru)

The results of the study the concentrations of dust and toxic substances (copper, arsenic, lead, benzo(a)pyrene, sulfur dioxide) in the occupation air at different stages of the modern obtaining blister copper are presented. It's shown that for all of stages of preparation of raw materials determining factor is the degree of sealing equipment and intensive dust extraction sites. Thus, the greatest concentration of dust observed in the workplace transporter, dryer and charger by low-sealing equipment and open transportation charge. When using the autogenous processes in the occupational air of copper-smelting shop of copper, arsenic and benzo(a)pyrene does not exceed the MACs. Middle-shift lead concentrations in the workplace melting department exceeded MACs, being in the range 0.03-0.10 mg/m<sup>3</sup>. The highest concentration of sulfur dioxide found in the melting department, from 7.8 to 13.1 mg/m<sup>3</sup> in the workplace and goldsmith charge loader. However, the concentration of dust and harmful substances when used in smelting furnace «liquid bath» is ten times lower than shaft furnace, ore-smelting and reverberatory furnace heat. Hygienic advantage of autogenous furnaces due to seal «bath», as well as the lack of technological limitations of volumes removed from the gas and dust from space under the vault of the furnace.

**Keywords:** copper pyrometallurgy, smelting in the «liquid bath», dust, arsenic, lead, benzo(a)pyrene, sulfur dioxide

Цветная металлургия является стабильно развивающейся отраслью экономики и характеризуется использованием современных технологий и высокопроизводительного оборудования. Не является исключением и производство меди, где, начиная с 80-х годов XX в., внедряются новые прогрессивные способы переработки рудного сырья. Так, в производстве черновой меди был внедрена «плавка А.В. Ванюкова» – принципиально новая технология, основанная на автогенном процессе, протекающем непосредственно в слое расплава («жидкой ванне») при перемешивании шлака с извлекающей фазой [1]. Автогенная плавка сульфидных медных руд в «жидкой ванне» при положительных технико-экономических показателях характеризуется простотой технологического оборудования и отсутствием необходимости тщательной подготовки рудного сырья. Все это обеспечило

ей в последние годы широкое внедрение на медеплавильных заводах. В частности, в 2004–2006 гг. печи Ванюкова установлены в ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (г. Ревда Свердловской области).

Техническое перевооружение медеплавильных заводов обусловило необходимость комплексной гигиенической оценки новых технологических решений и оборудования. В связи с этим представляло интерес оценить состояние воздушной среды медеплавильных цехов, где для производства черновой меди используются автогенные процессы.

**Цель исследования** – дать комплексную гигиеническую оценку воздуха рабочей зоны в современном производстве черновой меди.

### Материалы и методы исследования

Для реализации указанной цели нами проводилось изучение содержания пыли и вредных веществ

в отделении подготовки сырья и шихты, сушильном, плавильном и конвертерном отделениях медеплавильного цеха (МПЦ) ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (СУМЗ).

Определение пыли в воздухе рабочей зоны проводилось в соответствии с методическими указаниями [5]. Отбор проб пыли осуществлялся в зоне дыхания рабочих при помощи электроаспиратора с использованием фильтров АФА-ВП-20 со скоростью 20 литров 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.

Содержание в воздухе рабочей зоны меди, мышьяка, свинца, бенз(а)пирена и диоксида серы было проведено по общепринятым в гигиенических исследованиях стандартным методикам [6].

Гигиеническая оценка концентраций пыли и вредных веществ 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» [4].

### Результаты исследования и их обсуждение

На изучаемом предприятии в качестве сырья используются медный концентрат, содержащий от 12 до 40% меди, а также клинкер, известняк и лом цветных металлов.

Первый этап производства черновой меди – подготовка сырья и шихты – осуществляется в одноименном отделении, и включает в себя дробление флюсов и оборотных материалов МПЦ в конусных дробилках, последующее мокрое измельчение в шаровых мельницах, фильтрацию пульпы и движение материала по открытым транспортерам в шихтарник. Сушка шихты осуществляется в сушильных барабанах, работающих на природном газе.

Обслуживанием отделения подготовки сырья и шихты занимается бригада рабочих в составе бункеровщика, дробильщика, транспортерщика, шихтовщика, машиниста мельниц, кочегара технологических печей и сушильщика.

В плавильном отделении осуществляется процесс плавки на штейн (сплав сульфидов меди и железа) в печи Ванюкова (ПВ-1500). Медь в концентратах представлена халькопиритом ( $\text{CuFeS}_2$ ), борнитом ( $\text{Cu}_3\text{FeS}_4$ ) и ковелином ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), а железо – пиритом ( $\text{FeS}_2$ ) и пирротинном ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ). Также в состав концентратов входят минералы пу-

стой породы: шпинель ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), кристобалит ( $\text{SiO}_2$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), магнезит ( $\text{MgCO}_3$ ), а также мышьяк (As), сурьма (Sb), висмут (Bi), кадмий (Cd), селен (Se), теллур (Te) и благородные металлы – золото (Au) и серебро (Ag).

Приготовленная шихта по системе конвейеров подается в шихтовые бункера, откуда через загрузочные устройства поступает на ванну барботируемого расплава, где подвергается физико-химическим превращениям с образованием продуктов плавки – штейна, шлака и запыленных отводящих газов.

В плавильном отделении заняты транспортерщик, шихтовщик, загрузчик шихты, плавильщик, оператор по обслуживанию пылегазоулавливающих установок, машинист насосных установок, стропальщик и др.

Заключительным этапом получения черновой меди является конвертирование штейна – окисление сернистого железа и сульфидов меди путем продувки его сжатым воздухом. Процесс конвертирования проходит в горизонтальных конвертерах и состоит из двух периодов: ошлаковывания железа и окисления серы с образованием черновой меди (99,2%).

Образующиеся в ходе плавки и конвертирования отходящие газы (13–15%  $\text{SO}_2$  и 18–20%  $\text{SO}_3$ ) после охлаждения и фильтрации направляются в цех производства серной кислоты.

Обслуживание конвертерного отделения осуществляется бригадой рабочих в составе конвертерщика, разлищика цветных металлов, машиниста крана, машиниста газодувных машин, чистильщика и др.

Процесс подготовки шихты характеризуется многочисленными источниками пылеобразования, особенно в узлах перегрузки сырьевых материалов. Воздушная среда отделения подготовки сырья и шихты загрязняется преимущественно аэрозолями дезинтеграции, которые образуются при разгрузке, дроблении, измельчении, перегрузке, транспортировке шихтовых материалов и чистке оборудования. Аэрозоли конденсации встречаются в сушильном отделении при загрузке и выгрузке концентрата.

На всех перечисленных этапах подготовки сырья определяющим фактором является степень герметизации оборудования и аспирации мест интенсивного пылеобразования. Так, наибольшие концентрации пыли в отделении отмечены на рабочем месте транспортерщика (таблица), что обусловлено использованием открытого транспорта шихты и недостаточной степенью аспирации тракта шихтоподачи.

Концентрации пыли в воздухе рабочей зоны медеплавильного цеха, мг/м<sup>3</sup>

Рабочее место	n	$\bar{X} \pm S_x$	Макс.	Класс условий труда
<i>Отделение подготовки сырья и шихты</i>				
Бункеровщик	20	0,66 ± 0,01	0,70	2
Дробильщик	15	0,80 ± 0,11	1,5	2
Транспортерщик	15	1,83 ± 0,19	2,6	2
Шихтовщик	20	0,79 ± 0,04	1,0	2
<i>Сушильное отделение</i>				
Кочегар технологических линий	15	1,79 ± 0,07	2,0	2
Сушильщик	15	3,00 ± 0,36	4,1	3.1
Транспортерщик	15	2,72 ± 0,56	7,2	3.1
<i>Плавильное отделение</i>				
Плавильщик	20	0,93 ± 0,08	1,0	2
Загрузчик шихты	15	2,05 ± 0,12	2,5	3.1
Шихтовщик	10	0,88 ± 0,02	1,0	2
Транспортерщик	15	2,89 ± 0,33	4,2	3.1
<i>Конвертерное отделение</i>				
Конвертерщик	10	1,36 ± 0,17	1,9	2
Разливщик	10	0,86 ± 0,07	1,1	2
Машинист крана	10	1,05 ± 0,04	1,2	2

В сушильном отделении превышение среднесменной ПДК пыли (2,0 мг/м<sup>3</sup>) выявлено на рабочих местах сушильщика и транспортерщика. Как и в подготовительном отделении, причина в низкой герметизации оборудования (сушильные барабаны) и открытым транспорте шихты.

В плавильном отделении наиболее высокие концентрации пыли отмечены в рабочей зоне загрузчика шихты и транспортерщика. В то же время на рабочих местах шихтовщика и плавильщика даже максимальные концентрации пыли не превышали ПДК. Гигиеническое преимущество автогенных печей обусловлено герметизацией «ванн», а также отсутствием ограничения объемов удаляемых технологических газов и пыли из подсводного пространства. Как показали исследования Г.Я. Липатова (1992), содержание пыли в воздухе рабочей зоны плавильщика при более старых рудно-термической, шахтной и отражательной плавках превышает ПДК от 1,6 до 74,5 раза [2].

Основным источником загрязнения воздушной среды конвертерного отделения технологическими газами и пылью являются конвертера. Содержание пыли в воздухе рабочей зоны конвертерщика, разливщика и машиниста крана не превышало ПДК (см. таблицу)

Многокомпонентность рудного сырья определяет сложность химического состава и неоднородность физических свойств пыли, содержащей более десятка основных химических компонентов: медь, никель, мышьяк, железо, кремнезем, магний, алюминий, кальций, кадмий, свинец, селен,

теллур и др. Содержание меди в пыли возрастает с 2% на подготовительных этапах производства до 20% также при плавке и конвертировании. Напротив, доля диоксида кремния в пыли снижается с 21,2% при подготовке до 2,3% при конвертировании.

Максимально разовые концентрации меди на рабочих местах МПЦ не превышали ПДК (1,0 мг/м<sup>3</sup>) как по средним, так и по максимальным значениям, находясь в пределах 0,04–0,2 мг/м<sup>3</sup>. Среднесменные концентрации, составляющие 0,03–0,11 мг/м<sup>3</sup>, также были ниже ПДК (0,5 мг/м<sup>3</sup>).

При выплавке меди на уральских заводах, использующих мышьяксодержащие руды, в составе промышленных аэрозолей обнаруживается от 0,02 до 0,40% неорганических соединений мышьяка. Максимально разовые концентрации мышьяка на рабочих местах МПЦ не превышали ПДК (0,04 мг/м<sup>3</sup>) по средним и максимальным значениям, находясь в пределах 0,001–0,009 мг/м<sup>3</sup>. Среднесменные концентрации, составляющие 0,001–0,01 мг/м<sup>3</sup>, также были ниже ПДК (0,01 мг/м<sup>3</sup>), хотя их максимальные значения на рабочем месте плавильщика превышали ПДК в 1,5–2,0 раза. Как было показано ранее [3], содержание мышьяка в воздухе рабочей зоны плавильных цехов, использующих шахтные печи, было почти в 10 раз выше, составляя по максимально разовым значениям от 0,08 до 0,09 мг/м<sup>3</sup>.

Возросший объем переработки отходов производства цветных металлов на предприятиях медной промышленности увеличил содержание в пыли соединений свинца, особенно при плавке шихты и получении

черновой меди. Среднесменные концентрации свинца на рабочих местах плавильного отделения превышали ПДК (0,05 мг/м<sup>3</sup>) как по средним, так и по максимальным значениям, находясь в пределах 0,03–0,10 мг/м<sup>3</sup>.

До последнего времени большая часть сульфидных медно-никелевых руд перерабатывалась в рудно-термических электропечах, оборудованных самоспекающимися электродами, служащими мощными источниками смолистых продуктов возгонки каменноугольной смолы и пека. Смолистые возгоны состоят в основном из нейтральных углеводородов, в т.ч. бенз(а)пирена. Образующийся в результате спекания электродной массы бенз(а)пирен из подсводного пространства печей в связи с плохой их герметизацией поступает в цех. Концентрация бенз(а)пирена на предприятиях, плавильные цеха которых оборудованы рудно-термическими электропечами, превышала ПДК в 2,0–4,0 раза [3].

Замена рудно-термической плавки на автогенную при увеличенной мощности оборудования резко сократила загрязнение воздушной среды бенз(а)пиреном, источником которого в МПЦ служат сушильные барабаны и печи ПЖВ. Среднесменные концентрации бенз(а)пирена не превышали ПДК, составляя от 0,000011–0,000013 мг/м<sup>3</sup> (ПДК 0,00015 мг/м<sup>3</sup>).

Ведущим вредным фактором для предприятий медной промышленности является диоксид серы, выделяющийся в процессе десульфуризации рудного сырья при его сушке, плавке и конвертировании. Как показали наши исследования, наибольшая концентрация диоксида серы выявлена в плавильном отделении: от 7,8 до 13,1 мг/м<sup>3</sup> на рабочем месте плавильщика и загрузчика шихты (ПДК 10 мг/м<sup>3</sup>). Несколько ниже она была в конвертерном отделении: от 4,0 до 10,5 мг/м<sup>3</sup> на рабочем месте конвертерщика и машиниста крана. Причинами высоких уровней экспозиции рабочих МПЦ к серосодержащим газам служат неплотности плавильных агрегатов ПЖВ, отсутствие надежных средств аспирации мест слива и транспортировки продуктов плавки (шлак, штейн), а также большая концентрация диоксида серы в отходящих газах.

Самая низкая концентрация диоксида серы отмечена в сушильном отделении: от 1,5 до 2,5 мг/м<sup>3</sup> на рабочем месте кочегара технологических линий, сушильщика и транспортерщика.

При шахтной, отражательной и рудно-термической плавке содержание диоксида серы в воздухе рабочей зоны плавильщиков превышало ПДК в 1,2–2,1 раза, при мак-

симальных значениях в 120,7–393,8 мг/м<sup>3</sup>. Очевидно, что внедрение «процесса А.В. Ванюкова» хоть и не привело к радикальному снижению уровня воздействия серосодержащих газов на работающих, но все же выявило ряд преимуществ по сравнению со старыми видами плавки.

Таким образом, среди факторов производственной среды современного получения черновой меди ведущее место принадлежит промышленным аэрозолям, характер и условия образования которых определяются сложной и многоступенчатой технологией получения металла. Наиболее высокие концентрации пыли, достигающие, в среднем, 2–3 мг/м<sup>3</sup>, зафиксированы при транспортировке и сушке шихтового материала, что обусловлено недостаточной герметизацией оборудования и низкой степенью аспирации. Многокомпонентность рудного сырья определяет сложность химического состава пыли. В ней содержится более десятка основных химических компонентов, обладающих токсическим, фиброгенным и канцерогенным действием: медь, мышьяк, диоксид кремния, свинец и др. Содержание свинца в воздухе рабочей зоны превышает ПДК в 2,0 раза. Ведущую роль среди профессиональных факторов в производстве черновой меди играют серосодержащие газы (в первую очередь диоксид серы), воздействию которых подвержены рабочие сушильного, плавильного и конвертерного переделов. При этом наибольшие концентрации диоксида серы отмечены в воздухе рабочей зоны плавильщика, загрузчика шихты и конвертерщика (10,5–13,1 мг/м<sup>3</sup>). Тем не менее внедренные на СУМЗ автогенные процессы плавки убедительно продемонстрировали свое гигиеническое преимущество по сравнению с устаревшими способами получения черновой меди (шахтная, отражательная и рудно-термическая плавка).

#### Список литературы

1. Ванюков А.В. О расширении применения процесса плавки в жидкой ванне / А.В. Ванюков, В.В. Мечев // Цветные металлы. – 1987. – № 3. – С. 23–27.
2. Липатов Г.Я. Пылевой фактор, его действие на организм и профилактика заболеваемости рабочих при плавке медных и никелевых руд // Гигиена труда и профессиональные заболевания. – 1990. – № 9. – С. 34–37.
3. Липатов Г.Я. Гигиена труда и профилактика профессионального рака в пирометаллургии меди и никеля: дис. ... д-ра мед. наук. – Свердловск, 1991. – 372 с.
4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: ГН 2.2.5.1313-03. – СПб.: Информационно-издательский центр Роспотребнадзора, 2004. – 234 с.
5. Методические указания по измерению концентраций аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. – М.: Медицина, 1987. – 26 с.

6. Методические указания по измерению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Медицина, 1991. – Вып.12. – С. 79–85.

### References

1. Vanjukov A.V., Mechev V.V. *Cvetnye metally – Non-ferrous metals*, 1987, no. 11, pp. 23–27.
2. Lipatov G.Ja. *Gigiena truda i professional'nye zabol-evanija – Industrial hygiene and occupational diseases*, 1990, no. 9, pp. 34–37.
3. Lipatov G.Ja. *Gigiena truda i profilaktika professional'nogo raka v pirometallurgii medi i nikelja: dis. ... dokt. med. nauk* [Occupational health and prevention of occupational cancer in the copper and nickel pyrometallurgy: thesis of Doctor of Medicine], Sverdlovsk, 1991, 372 p.
4. *Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) vrednyh vew-estv v vozduhe rabochej zony: GN 2.2.5.1313-03* [Maximum allowable concentrations (MACs) of harmful substances in occupational air], St. Petersburg, 2004, 234 p.
5. *Metodicheskie ukazanija po izmereniju koncentracij ajerozolej preimuwestvenno fibrogennogo dejstvija* [Guidelines for the measurement of concentrations of aerosols predominantly fibrogenic action], Moscow, Medicina, 1987, 26 p.

6. *Metodicheskie ukazanija po izmereniju koncentracij vrednyh vewestv v vozduhe rabochej zony* [Guidelines for the measurement of concentrations of harmful substances in occupational air], Moscow, Medicina, 1991, Issue 12, pp. 79–85.

### Рецензенты:

Ползик Е.В., д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе Уральского научно-практического центра медико-социальных и экономических проблем здравоохранения (НПЦ «Уралмедсоцэкономпроблем»), г. Екатеринбург;

Привалова Л.И., д.м.н., профессор, главный научный сотрудник, ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора), г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 25.05.2012.