

© Шмакова Е.Е., Липатов Г.Я., Адриановский В.И., Самылкин А.А., Гусельников С.Р., Гоголева О.И., 2018  
УДК 61:613.632.4

## ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИ

Е.Е. Шмакова<sup>1</sup>, Г.Я. Липатов<sup>1,2</sup>, В.И. Адриановский<sup>1,2</sup>,  
А.А. Самылкин<sup>1</sup>, С.Р. Гусельников<sup>1</sup>, О.И. Гоголева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России,  
ул. Репина, д. 3, г. Екатеринбург, 620028, Россия

<sup>2</sup>ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и  
охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора,  
ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Россия

*Проведена гигиеническая оценка условий труда в современном гидрометаллургическом производстве меди, дана оценка в формировании канцерогенного риска рабочих, занятых на гидрометаллургическом комплексе медьсодержащих руд, по сравнению с пирометаллургическими процессами. Показано, что при добыче меди основным фактором, формирующим канцерогенный риск, являются неорганические соединения кадмия и свинца. Наибольшие прогнозные значения канцерогенного риска для профессий металлургических цехов наблюдаются при пирометаллургическом производстве, чем при гидрометаллургическом, что обусловлено различием в используемом оборудовании. Основным мероприятием по снижению канцерогенной опасности при получении катодной меди гидрометаллургическим способом должно стать внедрение эффективных вентиляционных установок.*

**Ключевые слова:** канцерогенный риск, прогнозные значения, гидрометаллургическое производство, пирометаллургическое производство, кадмий, свинец, суммарный риск.

*E.E. Shmakova, G.Ya. Lipatov, V.I. Adrianovskiy, A.A. Samylkin, S.R. Gusel'nikov, O.I. Gogoleva*  
□ **HYGIENE FACTORS OF THE AIR ENVIRONMENT AND THEIR ROLE IN THE  
FORMATION OF CANCER RISK IN HYDROMETALLURGICAL COPPER  
PRODUCTION** □ Ural State Medical University of the Russian Ministry of Health,  
3 Repina Str., Ekaterinburg, 620028, Russia; Ekaterinburg Medical Research Center  
for Prevention and Health Promotion of Industrial Workers of Rosпотребнадзор,  
30 Popova Str., Ekaterinburg, 620014, Russia.

*Hygienic assessment of working conditions in modern hydrometallurgical copper production has been carried out, the assessment in formation of carcinogenic risk of the workers employed in a hydrometallurgical complex of copper-containing ores in comparison with pyrometallurgical processes has been made. It is shown that in copper mining, the main factor causing a carcinogenic risk is inorganic compounds of cadmium and lead. The greatest predictive values of carcinogenic risk for metallurgical shops professions are observed in pyrometallurgical production, rather than in hydrometallurgical production, due to the difference in the equipment used. The main measure to reduce the carcinogenic hazard in obtaining cathode copper by the hydrometallurgical method should be the introduction of effective ventilation systems.*

**Key words:** carcinogenic risk, predicted values, hydrometallurgical production, pyrometallurgical production, cadmium, lead, total risk.

За последние десятилетия произошло значительное истощение запасов богатых руд, особенно в промышленно развитых районах. Так, по прогнозам среднее содержание меди в добываемых и перерабатываемых по традиционным технологиям рудах уменьшится к началу третьего тысячелетия как минимум на 0,5 %. Происходит существенное удорожание производства цветных металлов, несмотря на усовершенствование технологических процессов добычи и переработки руды. Поэтому необходимы поиск и внедрение новых способов выработки цветных металлов из нетрадиционных источников сырья [11]. Гидрометаллургическое производство меди является единственным в своем роде промышленным комплексом получения меди, где нет пирометаллургических процессов переработки сырья. Уникальность разработки заключается в том, что впервые в мире в одном производственном процессе объединились подземное выщелачивание руды, экстракция меди из раствора, электровининг –

особый вид электролиза. Новый способ отличается не только технологической оригинальностью, но и высокой экономичностью и низкой себестоимостью производства металла, а также позволяет работать с бедными рудами и отходами [8]. Многочисленными исследованиями установлено, что производство меди, несомненно, опасно для здоровья человека, и такая технология требует всесторонней гигиенической оценки. Присутствие в медьсодержащих рудах мышьяка, свинца, кадмия, никеля ставит задачу оценить канцерогенные риски (КР) для рабочих, занятых получением рафинированной меди способом подземного выщелачивания [5, 6]. Результаты оценки профессиональных КР могут служить, наряду с экспериментальными и эпидемиологическими данными, основанием для оценки канцерогенной опасности производственных процессов [2].

**Цель исследования** – изучение технологических процессов и оценка содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, канцеро-

генных рисков основных профессий при гидрометаллургическом производстве меди.

**Материалы и методы.** Проведена комплексная оценка условий труда, определены вредные вещества и канцерогенные риски (КР) для работающих на гидрометаллургическом комплексе (ГМК) предприятия ОАО «Уралгидромедь» (г. Полевской Свердловской области) – первом в России предприятии, использующем гидрометаллургическую технологию для промышленного производства рафинированной катодной меди). Измерения вредных веществ проводились в воздухе рабочей зоны аппаратчиков-гидрометаллургов, занятых в двух отделениях предприятия: геотехнологическом поле и отделении экстракции и электролиза. Максимальные разовые и среднесменные концентрации серной кислоты, кобальта, меди, минеральных масел, лингосульфоната натрия определялись по общепринятым методикам. Оценка условий труда в зависимости от уровней запыленности и содержания вредных веществ химической природы на рабочих местах проводили в соответствии с Р 2.2.2006–05 [9]. В основу расчета ингаляционного КР взяты подходы, изложенные в Р 2.1.10.1920–04 [10], исследованиях П.В. Серебрякова [11], А.В. Мельцера [7] и ряда зарубежных авторов [13–16]. Прогнозные значения КР рассчитывались для профессий, занятых в основных подразделениях ГМК, с учетом фактических среднесменных концентраций мышьяка, кадмия, никеля и свинца, экспозиции (250 рабочих смен/год по 8 часов) и факторов канцерогенного потенциала веществ при ингаляционном поступлении ( $SFi$ ,  $mg/(kg \times day)^{-1}$ ). КР оценивался от каждого из веществ и суммарно от их комбинации на 25 лет стажа работы. Для условий профессионального воздействия канцерогенов неприемлемым считался  $KP \geq 1,0 \times 10^{-3}$ . При неприемлемом КР рассчитывалась продолжительность стажа работы, при котором достигается верхний предел допустимого профессионального риска.

Все результаты исследований прошли статистическую обработку в программном пакете BioStat 2009 для WINDOWS с расчетом показателей вариационной статистики: средней арифметической ( $M$ ) и ошибки средней ( $m$ ).

**Результаты исследования.** На изучаемом предприятии технологический процесс складывается из трех этапов. Первый (подземное выщелачивание) осуществляется на геотехнологическом поле и заключается в бурении скважин, установке в них фильтрующих элементов и труб, закачивании в скважины раствора серной кислоты в концентрации 10–20 г/л для осуществления выщелачивания меди, выкачивании насыщенного раствора (1,0–1,3 г/л меди и 30–80 г/л сульфат иона) и транспортировке его по трубопроводу в отделение экстракции. Второй этап (экстракция) позволяет очистить полученный раствор от примесей и повысить концентрацию меди. В смесителе-отстойнике медь из насыщенного раствора выщелачивания в присутствии разбавителя (керосин) вступает в комплексное органическое соединение, а обедненный медью и содержащий примеси

раствор (рафинат) отправляется обратно в зону выщелачивания. В следующем смесителе-отстойнике комплексное соединение меди вступает в контакт с электролитом с высоким содержанием серной кислоты, в результате чего медь рекстрагируется из органической фазы в электролит, а обедненная органика направляется обратно на экстракцию. В результате третьего этапа (электролиз) получают медные катоды, которые промываются, сдираются со стальных основ, взвешиваются и упаковываются.

Основные профессии на предприятии представлены двумя специальностями: аппаратчик-гидрометаллург геотехнологического поля и аппаратчик-гидрометаллург отделения экстракции и электролиза. Как показали наши исследования, на рабочем месте аппаратчика-гидрометаллурга геотехнологического поля превышений ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны не отмечено. На рабочем месте аппаратчика-гидрометаллурга отделения экстракции и электролиза выявлено превышение ПДК серной кислоты в 3,2 раза при максимальном значении  $8,9 mg/m^3$  на узле электролиза. Наибольшие концентрации серной кислоты отмечены над электролизными ваннами и на участке сдирки, взвешивания и упаковки катодов, который непосредственно примыкает к зоне расположения ванн.

Результаты оценки канцерогенных рисков на всех изученных рабочих местах ГМК среднесменные концентрации мышьяка в воздухе рабочей зоны не превышали ПДК ( $0,01 mg/m^3$ ), находясь ниже чувствительности метода анализа. Также во всех отделениях ГМК ниже чувствительности метода обнаружения были максимальные разовые концентрации никеля. Содержание свинца в воздухе отделений экстракции, электролиза и операторской достигало  $0,0068–0,007 mg/m^3$ . Среднесменные концентрации кадмия в отделении экстракции были  $0,007 mg/m^3$ , а в отделениях электролиза и операторской – ниже чувствительности метода анализа. Таким образом, по химическому фактору (канцерогенные вещества), с учетом комбинированного действия свинца и кадмия, профессиям оператора, аппаратчика-гидрометаллурга отделений экстракции и электролиза присвоен класс условий труда 2 (допустимый).

Расчет прогнозных значений КР при 25-летнем стаже работы показал, что для большинства профессий суммарный риск находился в приемлемом для профессиональных групп диапазоне (менее  $1,0 \times 10^{-3}$ ), составив для оператора  $4,0 \times 10^{-6}$  и аппаратчика-гидрометаллурга отделения электролиза  $1,0 \times 10^{-5}$  (табл.). Для аппаратчика-гидрометаллурга отделения экстракции прогнозное значение КР превышало приемлемый уровень для стажа работы 20 лет ( $1,2 \times 10^{-3}$ ), достигая максимума к 25-летнему стажу ( $1,55 \times 10^{-3}$ ). КР формировался, в основном, за счет экспозиции к кадмию (97,7%). Продолжительность стажа работы, при котором достигается верхний предел допустимого канцерогенного риска, аппаратчика-гидрометаллурга отделения экстракции составила 16 лет.

**Таблица. Прогнозные значения канцерогенных рисков на 25 лет стажа для работающих, занятых в гидрометаллургическом производстве меди**

**Table. Predictive values of carcinogenic risks for 25 years of experience for workers employed in hydrometallurgical copper production**

Рабочее место	Канцерогенные вещества (SF, (мг/кг/день) <sup>-1</sup> )		Суммарный риск
	Кадмий (6,3)	Свинец (0,042)	
Аппаратчик-гидрометаллург отделения экстракции	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,55 \times 10^{-3}$
Аппаратчик-гидрометаллург отделения электролиза	–	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Оператор	–	$4,1 \times 10^{-6}$	$4,1 \times 10^{-6}$

Следует отметить, что КР для основных профессий, занятых в гидрометаллургическом производстве меди способом подземного выщелачивания, был существенно ниже, чем для профессий, занятых на всех этапах пирометаллургического производства меди, начиная с обогащения медьсодержащего сырья и заканчивая огневым рафинированием меди. В частности, прогнозные значения профессиональных ингаляционных КР, рассчитанные на 25-летний стаж работы, для большинства профессий обогатительной фабрики находились в пределах от  $2,0 \times 10^{-2}$  до  $4,4 \times 10^{-2}$ , т. е. превышали верхнюю границу приемлемого уровня КР ( $1,0 \times 10^{-3}$ ) в 20–44 раза [2, 5]. Аналогичные показатели КР при всех способах плавки медных концентратов и конвертировании находились в диапазоне от  $2,8 \times 10^{-2}$  до  $5,5 \times 10^{-3}$ , а при огневом рафинировании меди достигали  $4,6 \times 10^{-3}$  [1–4].

Таким образом, результаты оценки КР рабочих ГМК при получении катодной меди способом подземного выщелачивания свидетельствуют о значительно меньшей степени канцерогенной опасности по сравнению с технологическими процессами в пирометаллургии меди. Ведущим фактором, формирующим КР в гидрометаллургическом производстве меди, служит экспозиция работающих к кадмию. Формирование неприемлемого уровня КР к 20-летнему стажу работы аппаратчика-гидрометаллурга отделения экстракции обусловлено присутствием неорганических соединений кадмия в растворе, поступающем на экстракцию. В то же время на электролиз поступает раствор, очищенный от примесей и не содержащий кадмий и другие канцерогенные вещества.

Результат исследования свидетельствует о преимуществе гидрометаллургического метода производства меди по сравнению с традиционным пирометаллургическим.

#### Выводы:

1. Рабочему месту аппаратчика-гидрометаллурга геотехнологического поля по химическому фактору присвоен класс условий труда 2 (допустимый). Рабочему месту аппаратчика-гидрометаллурга отделения экстракции и электролиза по химическому фактору – класс 3.2 (допустимый 2 степени) с учетом превышения в 3,3 раза ПДК серной кислоты, обладающей раздражающим действием.

2. Среди существующих способов получения меди гидрометаллургические процессы характеризуются наименьшими значениями канцерогенного риска по сравнению с пирометаллургией меди.

3. При гидрометаллургическом процессе получения меди способом подземного выщелачивания значения канцерогенного риска, превышающие приемлемый уровень, отмечаются в отделении экстракции и обусловлены экспозицией к кадмию.

4. Для уменьшения канцерогенного риска для работающих в отделении экстракции снижение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны возможно путем внедрения эффективных вентиляционных установок.

#### ЛИТЕРАТУРА

(п. 13–16 см. References)

1. Адриановский В.И., Злыгостева Н.В., Кузьмина Е.А. Применение методики оценки профессионального канцерогенного риска для рабочих, занятых на разных этапах современного пирометаллургического производства меди // Санитарный врач. 2016. № 7. С. 27–31.
2. Адриановский В.И., Кузьмина Е.А., Злыгостева Н.В. О реализации системного подхода к оценке и управлению канцерогенными рисками для рабочих, занятых в металлургических цехах // Гигиена и санитария. 2017. № 12. С. 1161–1166.
3. Адриановский В.И., Липатов Г.Я. Использование оценки профессионального канцерогенного риска для рабочих, занятых в обогащении медьсодержащих руд // Санитарный врач. 2013. № 10. С. 46–49.
4. Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Кузьмина Е.А. Оценка профессионального канцерогенного риска для здоровья работников предприятия по получению черновой меди // Анализ риска здоровью. 2017. № 1. С. 98–105.
5. Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Поплавских С.Ю. Оценка содержания пыли и токсических веществ в воздухе рабочей зоны основных профессий при гидрометаллургическом производстве меди // Уральский медицинский журнал. 2011. № 9. С. 13–15.
6. Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности: СанПиН 1.2.2353–08 (с изменениями на 22 декабря 2014 года) (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 21.04.2008 № 27). М.: Роспотребнадзор, 2008. 31 с.
7. Мельцер А.В., Киселев А.В. Гигиеническое обоснование комбинированных моделей оценки профессионального риска // Медицина труда и промышленная экология. 2009. № 4. С. 1–5.
8. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Металлургия, 1974. 272 с.
9. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и класси-

- фикация условий труда: Р 2.2.2006–05. М.: НИИ проблем охраны труда ФНПР, 2005. 156 с.
- Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04. М.: Роспотребнадзор, 2004. 129 с.
  - Серебряков П.В.** Использование оценки канцерогенного риска на горнорудных и металлургических предприятиях Заполярья // Гигиена и санитария. 2012. № 5. С. 95–98.
  - Халезов Б.Д.** Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд. РИО УрОРАН, Екатеринбург, 2013. 332 с.

## REFERENCES

- Adrianovskiy V.I., Zlygosteva N.V., Kuz'mina E.A. Prime-nenie metodiki otsenki professional'nogo kantserogen-nogo riska dlya rabochikh, zanyatykh na raznykh etapakh sovremennogo pirometallurgicheskogo proizvodstva medi [Use of methods for assessing the professional carcinogenic risk for workers employed at different stages of modern pyrometallurgical copper production]. *Sanitarnyi vrach*, 2016, no. 7, pp. 27–31. (In Russ.)
- Adrianovskiy V.I., Kuz'mina E.A., Zlygosteva N.V. O realizatsii sistemnogo podkhoda k otsenke i upravleniyu kantserogennymi riskami dlya rabochikh, zanyatykh v metallurgicheskikh tsekhakh [On the implementation of a systematic approach to the assessment and management of carcinogenic risks for workers employed in metallurgical shops]. *Gigiena i sanitariya*, 2017, no. 12, pp. 1161–1166. (In Russ.)
- Adrianovskiy V.I., Lipatov G.Ya. Ispol'zovanie otsenki professional'nogo kantserogen-nogo riska dlya rabochikh, zanyatykh v obogashchenii med'soderzhashchikh rud [Use of occupational risk assessment for workers engaged in the enrichment of copper-containing ores]. *Sanitarnyi vrach*, 2013, no. 10, pp. 46–49. (In Russ.)
- Adrianovskiy V.I., Lipatov G.Ya., Kuz'mina E.A. Otsenka professional'nogo kantserogen-nogo riska dlya zdorov'ya rabotnikov predpriyatiya po polucheniyu chernovoi medi [Assessment of occupational carcinogenic risk to the employees health of the enterprise for obtaining blister copper]. *Analiz riska zdorov'yu*, 2017, no. 1. pp. 98–105. (In Russ.)
- Adrianovskiy V.I., Lipatov G.Ya., Poplavskikh S.Yu. Otsenka sodержaniya pyli i toksicheskikh veshchestv v vozdukhe rabochei zony osnovnykh professii pri gidrometal-lurgicheskome proizvodstve medi [Assessment of dust content and toxic substances in the air of the working zone of the main occupations in hydrometallurgical copper production]. *Ural'skii meditsinskii zhurnal*, 2011, no. 9, pp. 13–15. (In Russ.)
- Kantserogennye faktory i osnovnye trebovaniya k profilaktike kantserogennoi opasnosti: SanPiN 1.2.2353–08 (s izmeneniyami na 22 dekabr'ya 2014 goda) [Carcinogenic factors and the main requirements for the prevention of carcinogenic hazard: SanPiN 1.2.2353–08 (with changes for December 22, 2014)]. Utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiiskoi Federatsii ot 21.04.2008 no. 27). Moscow: Rospotrebnadzor, 2008. 31 с. (In Russ.)
- Mel'tser A.V., Kiselev A.V. Gigienicheskoe obosnovanie kombinirovannykh modelei otsenki professional'nogo riska [Hygienic justification of the combined professional risk assessment models]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2009, no. 4, pp. 1–5. (In Russ.)
- Naboichenko S.S., Smirnov V.I. Gidrometallurgiya medi [Copper hydrometallurgy]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1974, 272 p. (In Russ.)
- Rukovodstvo po gigienicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda: R 2.2.2006–05 [Manual for Hygienic Assessment of Factors for Workspace and Labor process. Criteria and Classification of Working Conditions: R 2.2.2006–05]. Moscow: NII problem okhrany truda FNPR Publ., 2005. 156 p. (In Russ.)
- Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu: R 2.1.10.1920–04 [Manual for risk assessment guide to public health when exposed to chemicals that pollute the environment: R 2.1.10.1920–04]. Moscow: Rospotrebnadzor, 2004, 129 p. (In Russ.)
- Serebryakov P.V. Ispol'zovanie otsenki kantserogen-nogo riska na gornorudnykh i metallurgicheskikh predpriyatiyakh Zapolyar'ya [Use of carcinogenic risk assessment at mining and metallurgical enterprises of the Arctic]. *Gigiena i sanitariya*, 2012, no. 5, pp. 95–98. (In Russ.)
- Khalezov B.D. Kuchnoe vyshchelachivanie mednykh i medno-tsinkovykh rud [Heap leaching of copper and copper-zinc ores]. RIO UrORAN, Ekaterinburg, 2013, 332 p. (In Russ.)
- Du Y., Chen L., Ding P., Liu L., He Q., Chen B., Duan Y. Different exposure profile of heavy metal and health risk between residents near a Pb-Zn mine and a Mn mine in Huayuan county, South China. *Chemosphere*, 2018, pp. 352–364.
- Durmusoglu E., Taspinarb F., Karademira A. Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill. *Environmental Journal of Hazardous Materials*, 2010, no. 176, pp. 870–877.
- Lee S.C., Guo H., Lam S.M.J., Lau S.L.A. Multipathway risk assessment on disinfection byproducts of drinking water in Hong Kong. *Environmental Research*, 2004, no. 94, pp. 47–56.
- Yeh S.H., Lai C.H., Lin C.H., Chen M.J., Hsu H.T., Lin G.X., Lin T.T., Huang Y.W. Estimating cancer risk increment from air pollutant exposure for sewer workers working in an industrial city. *Aerosol and Air Quality Research*, 2011, no. 11. pp. 120–127.

## Контактная информация:

**Шмакова** Екатерина Евгеньевна, ассистент кафедры гигиены и профессиональных болезней с курсом физиотерапии, ЛФК и спортивной медицины Уральского государственного медицинского университета Минздрава России  
e-mail: ekaterina-cypush@mail.ru

## Contact information:

**Shmakova** Ekaterina, Assistant of the Department of Hygiene and Occupational Diseases with a course of physiotherapy, exercise therapy and sports medicine of Ural State Medical University of the Russian Ministry of Health  
e-mail: ekaterina-cypush@mail.ru

