

**В.В. Захаренков, А.М. Олещенко, Д.В. Суржиков, И.П. Данилов, В.В. Кислицына,  
Т.Г. Корсакова**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАНЕСЕНИЯ УЩЕРБА ЗДОРОВЬЮ РАБОТНИКОВ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**ФГБУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний» СО РАМН (Новокузнецк)**

*При электролизном производстве алюминия происходит выделение в воздух рабочей зоны фтористых соединений в виде фтористого водорода и твердых фторидов, глиноземсодержащей пыли, окиси углерода, смолистых веществ, бенз(а)пирена, представляющих опасность для здоровья работников. В статье представлены результаты исследований условий труда работников, занятых в электролитическом производстве алюминия. Даны концентрации токсичных веществ, содержащихся в воздухе рабочих зон анодчиков, электролизников, машинистов кранов, на основании которых рассчитаны риск профессионального заболевания (флюороза), риск острых токсических эффектов, риск хронической интоксикации, канцерогенный риск. Среднесменные концентрации фтористого водорода в воздухе рабочих зон электролизников составляют 0,40–0,46 ПДК, растворимых солей фтора – 0,31–0,38 ПДК, нерастворимых солей фтора – 0,08–0,09 ПДК. В воздухе рабочих зон анодчиков отмечено превышение ПДК по АПФД в 1,25 раза, по смолистым веществам – в 1,10 раза. В воздухе рабочих зон электролизников отмечается превышение ПДК по смолистым веществам в 1,06 раза. Среднесменные концентрации нерастворимых солей фтора и углерод оксида в воздухе рабочих зон электролизников, анодчиков и машинистов крана находились в пределах ПДК. Риск профессионального заболевания (флюороза), вызванный загрязнением воздуха рабочей зоны при производстве алюминия, для работников основных профессиональных групп находится в пределах от 0,045 до 0,0482. Наиболее опасным загрязнителем воздуха рабочей зоны, вносящим более чем 55 %-ый вклад в формирование риска флюороза, является фтористый водород. Риск острых токсических эффектов для работников основных профессиональных групп, связанный с достижением концентрациями загрязняющих примесей воздуха рабочих зон своих максимальных значений, находится в пределах от 0,181 до 0,230.*

**Ключевые слова:** алюминиевая промышленность, токсичные вещества, профессиональный риск

## **DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF THE DAMAGE TO THE HEALTH OF WORKERS IN ALUMINIUM PRODUCTION DUE TO THE EXPOSURE TO TOXIC SUBSTANCES**

**V.V. Zakharenkov, A.M. Oleshchenko, D.V. Surzhikov, I.P. Danilov, V.V. Kislitsyna,  
T.G. Korsakova**

**Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases SB RAMS,  
Novokuznetsk**

*In the electrolytic aluminium production fluorides in the form of hydrogen fluoride and solid fluorides, alumina-containing dust, carbon monoxide, resinous substances and benz(a)pyrene are released into the air of the working zone representing a hazard to the workers' health. The paper presents the results of the researches of the working conditions of the workers employed in the electrolytic aluminium production. The concentrations of toxic substances in the air of working areas of those engaged in anode works and electrolysis, and crane operators are given; on their basis the risks of occupational diseases (fluorosis), of acute toxic effects, of chronic intoxication, and of cancer are calculated. The average-shift concentrations of hydrogen fluoride in the air of working areas of those engaged in electrolysis are 0.40–0.46 MPC, soluble fluorine salts – 0.31–0.38 MPC, insoluble fluorine salts – 0.08–0.09 MPC. In the air of the working areas of those engaged in anode works MPC excess is noted for the aerosols of mostly fibrogenic action – in 1.25 times, for resinous substances – in 1.10 times. In the air of the working areas of those engaged in electrolysis MPC excess for resinous substances is registered in 1.06 times. The average-shift concentration of insoluble fluorine salts, and carbon monoxide in the air of the working areas of those engaged in anode works and electrolysis and crane operators are within the MPC. The risk of occupational disease development (fluorosis) due to the air pollution of the working zone in the aluminium production for the workers of the major occupational groups is ranging from 0.045 to 0.0482. Hydrogen fluoride is the most hazardous contaminant in air of the working zone contributing more than 55 % to the risk of fluorosis. The risk of acute toxic effects for the workers of the major occupational groups associated with the achievement of the concentrations of the contaminants in the air of the working areas of their maximum values are ranging from 0.181 to 0.230.*

**Key words:** the aluminum industry, toxic substances, occupational risk

Алюминиевая промышленность является одной из наиболее перспективных и быстроразвивающихся отраслей цветной металлургии. Основной производитель российского алюминия «РУСАЛ» – одна из крупнейших мировых компаний, объем производства алюминия которой в 2012 г. составил 4 173 тыс. тонн. Однако электролизная технология производства

алюминия несет потенциальную опасность для здоровья работников, поскольку необходимым условием в процессе производства является присутствие фтористых соединений в виде фтористого водорода и твердых фторидов, глиноземсодержащей пыли, окиси углерода, смолистых веществ, бенз(а)пирена [2, 3, 4, 5, 6, 9]. В связи с этим является актуальным

установление вероятности нарушения здоровья работников, занятых в электролитическом производстве алюминия, проведенное на основании методологии оценки риска.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Оценка профессионального риска для здоровья работников основных профессиональных групп ОАО «РУСАЛ Новокузнецк» проведена по следующим типам:

- Риск хронической интоксикации (неспецифических токсических эффектов) – вероятность получения работником заболевания неспецифической патологии, связанная с загрязнением воздуха рабочей зоны алюминиевого производства фтористым водородом, взвешенными веществами и оксидом углерода. Оценка риска проводилась по методике А.М. Олещенко и соавт. [10].

- Канцерогенный риск – вероятность получения работником алюминиевого производства онкологического заболевания, вызванного загрязнением воздуха рабочей зоны смолистыми веществами. Смолистые вещества идентифицированы как канцерогены ввиду содержания в них бенз(а)пирена. Содержание бенз(а)пирена в смолистых веществах, по данным литературы, составляет приблизительно 0,1 %. Поэтому 0,1 % от массы данных веществ использовалось при расчете канцерогенного риска, как от воздействия бенз(а)пирена. Расчет канцерогенного риска производился по методике Дж.М. Мастерз [7].

- Риск профессионального заболевания – вероятность развития флюороза, связанная с загрязнением воздуха рабочей зоны при производстве алюминия фтористым водородом, растворимыми и нерастворимыми солями фтора. При оценке риска использовалась методика А.П. Михайлуца и соавт. [8].

- Риск острых токсических эффектов – вероятность проявления у работников основных профессиональных групп алюминиевого производства острой интоксикации, связанной с содержанием в воздухе рабочей зоны фтористого водорода, взвешенных аэрозолей и оксида углерода. Расчет риска острых токсических эффектов проведен по методике А.М. Большакова и соавт. [1].

При расчете канцерогенного и профессионального рисков и риска хронической интоксикации

использовались значения годового потребления индивидуумом воздуха в рабочей зоне алюминиевого производства и значения средних концентраций токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. Оценка риска острых токсических эффектов проводилась с применением значений максимальных концентраций фтористого водорода, аэрозолей и оксида углерода в воздухе рабочей зоны. Все расчеты по оценке риска осуществлялись за временной период (стаж работы) 25 лет. Оценка суммарных рисков хронической интоксикации и острых токсических эффектов по отдельным профессиональным группам проводилась по правилу сложения вероятностей (рисков); оценка суммарного риска профессионального заболевания проводилась простым сложением рисков по отдельным токсичным веществам.

Расчет вероятности возникновения флюороза у работников основных профессий электролитических цехов ОАО «РУСАЛ Новокузнецк» проведен по методике С.В. Щербакова [11]. Нагрузка по иону фтора в течение рабочей смены рассчитывалась по формуле (1):

$$P_F = [C_{HF} / K_F + CF_{Tb} / K_F \cdot K_T] \cdot V \cdot T \quad (1)$$

$P_F$  – суммарная нагрузка по иону фтора (F-) мг/смена;  $C$  – концентрация фтористого водорода и солей фтора в мг/м<sup>3</sup>;

$K_F$  – коэффициент пересчета фтористого водорода на ион фтора;

$K_T$  – коэффициент пересчета солей фтора на ион фтора;

$V$  – легочная вентиляция за один час (м<sup>3</sup>/час);

$T$  – продолжительность рабочей смены (6 часов).

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Для расчета установлены средние за 5 лет концентрации фтористых соединений на рабочих местах рабочих основных профессий электролитических цехов (табл. 1).

Наиболее высокая фтористая нагрузка в течение смены приходится на анодчиков, однако погрешности измерений и индивидуальные различия позволяют принять в качестве среднесменной нагрузки дозу в 6,2 ± 1,2 мг/смену.

Вероятность развития флюороза в зависимости от стажа представлена в таблице 2. Расчет проведен по логистической регрессионной модели, предложенной С.В. Щербаковым, Д.С. Фарберовым (1978).

**Таблица 1**  
Средние концентрации фтористых соединений на рабочих местах электролизников и анодчиков

Место отбора проб	Фтористый водород (мг/м <sup>3</sup> )	Соли фтора (мг/м <sup>3</sup> )	Среднесменная фтористая нагрузка (мг/смена)
Рабочее место электролизника цех 1	0,3 ± 0,02	0,7 ± 0,02	6,6 ± 0,8
Рабочее место электролизника цех 2	0,2 ± 0,01	0,6 ± 0,05	5,2 ± 1,1
В среднем	0,25 ± 0,01	0,65 ± 0,03	7,3 ± 0,9
Рабочее место анодчика цех 1	0,3 ± 0,01	0,8 ± 0,02	7,3 ± 0,9
Рабочее место анодчика цех 2	0,3 ± 0,05	0,8 ± 0,03	7,3 ± 0,9
В среднем	0,3 ± 0,03	0,8 ± 0,02	7,3 ± 1,0
В среднем в рабочей зоне цехов	0,28 ± 0,03	0,69 ± 0,03	6,2 ± 1,2

**Таблица 2**  
**Вероятность заболеваемости флюорозом работников основных профессий в зависимости от стажа работы**

Стаж работы	Суммарная доза фтора (г)	Вероятность развития флюороза (%)
5 лет	7,5	0
10 лет	15	2–4
15 лет	22,5	6
20 лет	30	10
25 лет	37,5	14
30 лет	45	36

Эти данные свидетельствуют о том, что при стаже работы до 10 лет заболевают, по-видимому, лица, наиболее чувствительные к воздействию фтористых соединений, при стаже более 25 лет, не заболевают лица, особо устойчивые к воздействию фторидов.

Таким образом, у работников основных профессий электролизных цехов имеется высокая степень риска развития профессионального флюороза. С десятилетнего стажа работы отмечается нарастание риска развития профессионального флюороза, резко увеличиваясь при стаже работы 20–25 лет.

Среднесменные концентрации фтористого водорода в воздухе рабочих зон электролизников составляют 0,40–0,46 ПДК, растворимых солей фтора – 0,31–0,38 ПДК, нерастворимых солей фтора – 0,08–0,09 ПДК. В воздухе рабочих зон анодчиков отмечено превышение ПДК по АПФД в 1,25 раза, по смолистым веществам – в 1,10 раза. На рабочих местах электролизников и машинистов крана превышение ПДК по АПФД не отмечено. В воздухе рабочих зон электролизников отмечается превышение ПДК по смолистым веществам в 1,06 раза. Среднесменные концентрации нерастворимых солей фтора и углерод оксида в воздухе рабочих зон электролизников, анодчиков и машинистов крана находились в пределах ПДК. При дальнейших расчетах риска предполагалось, что уровень загрязнения воздуха за данный временной период сохранится в течение последующих 25 лет.

Максимальные концентрации фтористого водорода в воздухе рабочих зон электролизников, анодчиков и машинистов крана составляют 0,70 ПДК, растворимых солей фтора – 0,35–0,40 ПДК. В воздухе рабочих зон электролизников, анодчиков и машинистов крана наблюдается превышение ПДК смолистых веществ в 1,05–1,20 раза. В воздухе рабочих зон электролизников и анодчиков отмечено превышение ПДК АПФД в 1,07–1,42 раза, соответственно. Максимальные концентрации нерастворимых солей фтора и углерод оксида на рабочих местах электролизников, анодчиков и машинистов крана находятся в пределах ПДК.

Суммарный риск хронической интоксикации у работников основных профессиональных групп за временной период 25 лет находится в пределах от 0,27 до 0,32 (от 27,0 % до 32,0 %). Максимальный уровень данного риска отмечен на рабочих местах анодчиков, минимальный – на рабочих местах машинистов крана. Основной вклад в вероятность получения работника-

ми алюминиевого производства заболевания неспецифической патологии вносит загрязнение воздуха рабочей зоны фтористым водородом и взвешенными веществами. Удельный вес фтористого водорода в риске возникновения неспецифических токсических эффектов у машинистов крана достигает 53,7 %; у электролизников – 49,5 %; у анодчиков – 46,9 %. Удельный вес взвешенных веществ в суммарном риске хронической интоксикации работников алюминиевого производства у анодчиков составляет 57,5 %; у электролизников – 53,7 %; у машинистов крана – 49,6 %.

Канцерогенный риск при стаже работы 25 лет, связанный с загрязнением воздуха рабочих мест смолистыми веществами, содержащими бенз(а)пирен в количестве около 0,1 %, составляет  $2,84 \cdot 10^{-5}$  в профессиональной группе анодчиков;  $2,74 \cdot 10^{-5}$  – электролизников;  $2,5 \cdot 10^{-5}$  – машинистов крана. Следует отметить, что приемлемое значение пожизненного канцерогенного риска равно  $1 \cdot 10^{-5}$ . Таким образом, превышение приемлемого значения канцерогенного риска у работников алюминиевого производства, имеющих 25-летний стаж, достигает значений 2,5–2,84 раза.

Суммарный риск флюороза у работников основных профессиональных групп при 25-летнем стаже колеблется в пределах от 0,045 до 0,0482 (от 4,5 % до 4,82 %). Расчет проведен по линейной модели, предложенной А.П. Михайлуцом и соавторами (2000). Значения риска имеют несколько меньшие значения, чем полученные по логистической модели, что связано со сравнительно низкими концентрациями фтористых веществ в воздухе рабочей зоны алюминиевого производства (концентрации фтористого водорода и солей фтора не превышают ПДК воздуха рабочей зоны). Максимальные значения риска отмечены в профессиональной группе анодчиков, минимальные – в профессиональной группе электролизников. Основной вклад в суммарный риск профессионального заболевания вносит загрязнение воздуха рабочих мест фтористым водородом, удельный вес которого составляет в группе электролизников 55,5 %; анодчиков – 56,0 %; машинистов крана – 56,1 %.

Вероятность проявления острой интоксикации у работников электролизных корпусов при 25-летнем стаже работы составляет в группе электролизников 0,181 (18,1 %), анодчиков – 0,22 (22,0 %) и достигает максимальных значений в группе машинистов крана – 0,23 (23,0 %). Наибольший удельный вес в данном типе риска имеет такой загрязнитель воздуха рабочей зоны, как фтористый водород, вклад которого в суммарном риске может достигать 86,7 % в профессиональной группе электролизников; 83,6 % – анодчиков; 92,2 % – машинистов крана.

## ВЫВОДЫ

1. Работники основных профессиональных групп алюминиевого производства подвергаются воздействию комплекса токсичных веществ. Среднесменные концентрации фтористого водорода в воздухе рабочих зон электролизников составляют 0,40–0,46 ПДК, растворимых солей фтора – 0,31–0,38 ПДК, нераство-

ридых солей фтора – 0,08–0,09 ПДК. В воздухе рабочих зон анодчиков отмечено превышение ПДК по АПФД в 1,25 раза, по смолистым веществам – в 1,10 раза. На рабочих местах электролизников и машинистов крана превышение ПДК по АПФД не отмечено. В воздухе рабочих зон электролизников отмечается превышение ПДК по смолистым веществам в 1,06 раза. Среднесменные концентрации нерастворимых солей фтора и углерод оксида в воздухе рабочих зон электролизников, анодчиков и машинистов крана находились в пределах ПДК.

2. Риск профессионального заболевания (флюороза), вызванный загрязнением воздуха рабочей зоны при производстве алюминия, для работников основных профессиональных групп находится в пределах от 0,045 до 0,0482. Наиболее опасным загрязнителем воздуха рабочей зоны, вносящим более чем 55% вклад в формирование риска флюороза, является фтористый водород. Риск острых токсических эффектов для работников основных профессиональных групп, связанный с достижением концентрациями загрязняющих примесей воздуха рабочих зон своих максимальных значений, находится в пределах от 0,181 до 0,230.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М., 1999. – 252 с.

2. Данилов И.П. Гигиеническое обоснование системы снижения риска профессиональной фтористой интоксикации у работников, занятых в производстве алюминия // Бюлл. СО РАМН. – 2006. – № 3. – С. 29–33.

3. Данилов И.П., Олещенко А.М., Цай Л.В., Большаков В.В. и др. Мониторинг и управление риском профессиональной заболеваемости на алюминиевом заводе // Мед. труда и пром. экология. – 2006. – № 6. – С. 10–13.

4. Данилов И.П., Захаренков В.В., Олещенко А.М. Мониторинг профессионального риска как инструмент охраны здоровья работающих во вредных условиях труда // Гигиена и санитария. – 2007. – № 3. – С. 49–50.

5. Захаренков В.В., Виблая И.В., Олещенко А.М. Научный обзор результатов исследований ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН по влиянию внешнесредовых и генетических факторов на развитие профессиональных заболеваний // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. – 2012. – № 5, Ч. 2. – С. 141–145.

6. Захаренков В.В., Данилов И.П., Олещенко А.М., Суржиков Д.В. Оценка профессионального и экологического рисков для здоровья работников алюминиевой промышленности // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. – 2009. – № 1. – С. 30–34.

7. Мастерз Дж.М. Оценка риска для здоровья населения. – М., 1995. – 28 с.

8. Михайлуц А.П., Першин А.Н., Цигельник М.И. Расчет индивидуальных рисков профессиональных хронических заболеваний и отравлений, безопасного стажа работы: методические рекомендации. – Кемерово, 2000. – 28 с.

9. Медицина труда при электролитическом получении алюминия: монография / под ред. проф. О.Ф. Рослого, проф. Е.И. Лихачевой. – Екатеринбург, 2011. – 160 с.

10. Олещенко А.М., Суржиков Д.В., Большаков В.В., Кислицына В.В. и др. Оценка влияния производственных факторов на здоровье работающих на предприятиях угольной промышленности и теплоэнергетики: методические рекомендации. – Кемерово, 2003. – 27 с.

11. Щербаков С.В., Фарберов Д.С. К анализу вероятности развития хронической профессиональной интоксикации (на примере флюороза) // Гигиена труда и проф. заболевания. – 1978. – № 2. – С. 18–21.

#### Сведения об авторах

**Захаренков Василий Васильевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-979; e-mail: zacharenkov@nvkz.kuzbass.net)

**Олещенко Анатолий Михайлович** – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, руководитель отдела экологии человека ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-549; e-mail: ecologia\_nie@mail.ru)

**Суржиков Дмитрий Вячеславович** – доктор биологических наук, руководитель лаборатории прикладных гигиенических исследований ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-549; e-mail: ecologia\_nie@mail.ru)

**Данилов Игорь Петрович** – кандидат медицинских наук, руководитель лаборатории общей и профессиональной патологии ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-549; e-mail: ecologia\_nie@mail.ru)

**Кислицына Вера Викторовна** – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и гигиены окружающей среды ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-549; e-mail: ecologia\_nie@mail.ru)

**Корсакова Татьяна Георгиевна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладных гигиенических исследований ФГБУ «НИИ КППГЗ» СО РАМН (654041, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, 23; тел.: 8 (3843) 796-549; e-mail: ecologia\_nie@mail.ru)