

Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Лисецкая Л.Г., Мешчакова Н.М.

БИОМОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА У РАБОТНИКОВ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск

Введение. Работники современных алюминиевых заводов испытывают длительное воздействие комплекса токсических химических соединений, компонентами которого являются фтористые соединения, оказывающие хроническое токсическое действие на организм. В связи с этим становится актуальным проведение биомониторинговых исследований по оценке уровня и динамики экскреции фтора у экспонированных работников современного алюминиевого производства.

Материал и методы. Были обследованы 186 работников производства первичного алюминия, лица повышенного профессионального риска (42 человека) и 77 пациентов с установленными профессиональными заболеваниями.

Результаты. Средние концентрации фторид-иона в моче работников алюминиевого производства варьировали от $1,2 \pm 0,3$ до $3,6 \pm 0,9$ мг/дм³ и были в 1,7–5,1 раза выше, чем в контрольной группе ($0,7 \pm 0,2$ мг/дм³). Наибольшие значения отмечались у работников основных профессий цехов с технологией предварительно обожжённых анодов. У обследованных в условиях стационара работников группы повышенного риска с увеличением стажа работы содержание фторид-иона в моче возрастало в 1,1–1,4 раза во всех стажевых группах (с $1,5 \pm 0,2$ до $2,1 \pm 0,3$ мг/дм³), за исключением лиц, проработавших 25 лет и более ($1,5 \pm 0,1$ мг/дм³). У работников с установленным диагнозом профзаболевания с увеличением продолжительности постконтактного периода наблюдалось снижение экскреции фторид-иона с мочой с $1,8 \pm 0,1$ мг/дм³ в группе с временным периодом до 4 лет и до $1,2 \pm 0,1$ мг/дм³ в группе 10 лет и более.

Заключение. Полученные результаты исследований свидетельствуют о высоком содержании фторид-иона в моче у работников алюминиевых заводов и у пациентов с установленным диагнозом профессионального заболевания, которое зависит от применяемой технологии, профессии работника, стажа работы и длительности постконтактного периода. Это позволяет рекомендовать проведение биомониторинга фтористых соединений для оценки профессиональных рисков и эффективности выполненных профилактических и лечебных мероприятий.

Ключевые слова: производство алюминия; фтористые соединения; моча; биомониторинг.

Для цитирования: Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Лисецкая Л.Г., Мешчакова Н.М. Биомониторинг содержания фтора у работников современного производства алюминия. *Гигиена и санитария*. 2019; 98 (10): 1062-1067. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1062-1067>

Для корреспонденции: Шаяхметов Салим Файзыевич, доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: salimf53@mail.ru

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Шаяхметов С.Ф.; сбор и обработка материала – Меринов А.В., Лисецкая Л.Г., Мешчакова Н.М.; статистическая обработка – Меринов А.В.; написание текста – Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В.; редактирование – Шаяхметов С.Ф.

Поступила 15.07.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: октябрь 2019

Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Lisetskaya L.G., Meshchakova N.M.

BIOMONITORING OF THE CONTENT OF FLUORINE IN WORKERS IN THE MODERN ALUMINUM MANUFACTURE

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. Workers of modern aluminum plants experience long-term exposure to a complex of toxic chemical compounds, components of which are fluoride compounds. They have a chronic toxic effect on an organism. In this regard, it becomes relevant to conduct biomonitoring studies to assess the level and dynamics of excretion of fluorine in exposed workers of modern aluminum production.

Material and methods. A total of 186 workers in primary aluminum production, individuals at increased professional risk (42 people) and 77 patients with established occupational diseases were examined.

Results. The average fluoride – ion concentrations in the urine of aluminum production workers ranged from 1.2 ± 0.3 to 3.6 ± 0.9 mg/dm³ and were by 1.7–5.1 times higher than in the control group (0.7 ± 0.2 mg/dm³), the highest values were observed in workers of the main occupations of workshops with the technology of prebaked anodes. In workers of the high-risk group, examined in a hospital, content of fluoride ion in the urine increased by 1.1–1.4 times with the increase their experience of work in all experience groups (from 1.5 ± 0.2 to 2.1 ± 0.3 mg/dm³), with the exception of persons who have worked for 25 years or more (1.5 ± 0.1 mg/dm³). In workers with an established diagnosis of an occupational disease with an increase in the length of the post-exposure period there was observed a decrease in urinary fluoride ion excretion from 1.8 ± 0.1 mg/dm³ in the group with a time period up to 4 years and to 1.2 ± 0.1 mg/dm³ in the group with 10 years or more.

Conclusion. The results of studies argue a high content of fluoride ion in the urine in workers at aluminum smelters and in patients with an established diagnosis of occupational disease, which depends on the technology used,

the worker's occupation, length of service and the length of the post-contact period. This allows recommending the biomonitoring of fluoride compounds to assess occupational risks and the effectiveness of preventive and therapeutic measures.

Key words: aluminum production; fluoride compounds; urine; biomonitoring.

For citation: Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Lisetskaya L.G., Meshchakova N.M. Biomonitoring of the content of fluorine in workers in the modern aluminum manufacture. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98 (10): 1062-1067. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1062-1067>

For correspondence: Salim F. Shayakhmetov, MD, Ph.D., DSci., professor, leading researcher of Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: salimf53@mail.ru

Information about authors:

Shayakhmetov S.F., <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>; Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>; Lisetskaya L.G., <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>; Meshchakova N.M., <https://orcid.org/0000-0002-9772-0199>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. Financing of the work was carried out at the expense of funds allocated for the state assignment of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Contribution: The concept and design of the study – Shayakhmetov S.F.; Collection and processing of material – Merinov A.V., Lisetskaya L.G., Meshchakova N.M.; Statistical processing – Merinov A.V.; Writing text – Shayakhmetov S.F., Merinov A.V.; Editing – Shayakhmetov S.F.

Received: July 15, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: October 2019

Введение

Ведущее экономическое значение в структуре мировой металлургической промышленности принадлежит алюминиевым предприятиям, которые относятся к категории производств с наиболее неблагоприятными условиями труда. Производство первичного алюминия осуществляется на крупнейших алюминиевых заводах страны, более двух третей которых находятся на территории Сибири. Перспективы развития производства алюминия предполагают глубокое крупномасштабное техническое перевооружение крупных алюминиевых предприятий на основе внедрения новой техники и технологии. В этих условиях возрастает значение опережающих гигиенических исследований по оценке возможных негативных последствий для здоровья работающих.

В настоящее время работники современных алюминиевых заводов испытывают длительное воздействие комплекса токсических химических соединений [1–10]. Основными и постоянными компонентами являются фтористый водород, соли фтористоводородной кислоты и фторсодержащая пыль. Фтор и его соединения в условиях алюминиевого производства оказывают хроническое токсическое действие на работников, вызывают нарушение обмена веществ, многообразные поражения основных органов и систем организма, а также обладают кумулятивным эффектом [11–13]. При этом до 80% поглощенного и задержанного в организме токсиканта выделяется через почечную систему с мочой, что делает возможным использование количественного содержания фтора в моче для оценки экспозиции фтористыми соединениями.

В литературе имеются сведения о диагностической значимости оценки содержания фтора в различных биологических субстратах организма (кровь, моча, волосы, ногти). В отдельных публикациях приводятся данные об экскреции фтора с мочой у работников алюминиевого производства до и после смены в зависимости от стажа работы, корреляции с показателями изменения костной ткани, уровнем гемоглобина и гормонов в крови, распространённости жалоб на здоровье, респираторными и нервными расстройствами [12–20]. Большинство авторов указывают на объективность теста анализа фтора в моче для оценки степени опасности воздействия токсичных фтористых соединений на организм работников. В связи с этим становится актуальным проведение биомониторинговых исследований по оценке содержания фтора у экспонированных работников современного алюминиевого производства. На данный момент остаются недостаточно изученными уровни и динамика экскреции фтора с мочой у работников основных профессий при разных технологиях производства алюминия и после установления профессионального заболевания, что имеет значение для проведения профилактических и реабилитационных мероприятий.

Цель исследования – проведение биомониторинга содержания фтора в моче у работников в современном производстве первичного алюминия.

Материал и методы

В качестве основных объектов исследования методом случайного отбора были выбраны работники электролизных цехов крупнейшего производства первичного алюминия в Сибири, применяющих традиционную технологию с самообжигающимися анодами (ТСА) и современную – с предварительно обожжёнными анодами (ТПОА), а также пациенты с установленными профессиональными заболеваниями от воздействия комплекса токсических веществ (хроническая интоксикация фтором, хронический токсический бронхит).

Все исследуемые были разделены на четыре группы. Первую группу составил 121 работник основных профессий цехов, использующих ТСА: электролизники, анодчики и крановщики. Средний возраст работников данной группы составил $37,1 \pm 0,7$ года, средний стаж – 9 ± 5 лет. Во вторую группу вошли 35 работников основных профессий цехов, применяющих ТПОА, – операторы автоматизированного процесса производства (АППА) по обслуживанию электролизных ванн, операторы АППА по перетяжке анодных рам и операторы АППА по обслуживанию мостовых кранов. Средний возраст работников этой группы составил $37,9 \pm 1,1$ года, средний стаж – $7,1 \pm 0,7$ года. Третью группу сравнения составили 30 работников вспомогательных профессий, работающих в отделении по производству фтористых солей (11 человек; средний возраст $41,1 \pm 2,9$ года, средний стаж – $11,8 \pm 2,9$ года) и участке выливки, пуска, контактного и ковшевого хозяйства (19 человек; средний возраст $39,7 \pm 2,1$ года, средний стаж – $5,8 \pm 1,4$ года). В четвертую группу нами были отобраны 42 высокостажированных работника группы повышенного риска развития профессиональной патологии (средний возраст $49,5 \pm 1,1$ года, средний стаж – $23,8 \pm 1,2$ года) и 77 пациентов с установленными профессиональными заболеваниями (средний возраст $56,4 \pm 0,9$ года, средний стаж – $26,3 \pm 1$ год), находившихся на обследовании в клинике ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований». Все работники группы риска и пациенты в прошлом работали на этом же предприятии. Время после установления профессионального заболевания и лабораторного обследования пациентов составляло от 0,1 года до 19 лет. Контрольную группу составили 30 человек, не работающих на этом предприятии и не имевших контакта с фтористыми соединениями. При этом региональный контрольный уровень содержания фтора в моче составил $0,7 \pm 0,2$ мг/дм³.

Сбор проб мочи у работников 1-й, 2-й и 3-й групп проводился в полипропиленовые контейнеры после окончания рабочей смены в медицинском учреждении ОК РУСАЛ, а у работников

Содержание фторид-иона в моче работников алюминиевого производства

Профессия	Содержание фторид-иона в моче, мг/дм ³		% проб, превышающих контрольный уровень (0,7 ± 0,2 мг/дм ³), %
	<i>M ± m</i>	Min–max	
<i>Корпуса с ТСА</i>			
Все работники, <i>n</i> = 121	1,8 ± 0,1*	0,4–6,0	90,9
Электролизник, <i>n</i> = 51	2,0 ± 0,1**	0,42–4,7	94,1
Анодчик, <i>n</i> = 31	1,8 ± 0,2	0,5–3,8	90,3
Машинист штыревого крана, <i>n</i> = 39	1,6 ± 0,1**♦	0,35–6,0	87,2
<i>Корпуса с ТПОА</i>			
Все работники (<i>n</i> = 35)	3,3 ± 0,4*•▲■	0,50–9,6	94,3
Оператор АППА по обслуживанию ванн, <i>n</i> = 17	3,2 ± 0,6	0,85–9,6	100
Оператор АППА по перетяжке анодных рам, <i>n</i> = 8	3,6 ± 0,9	0,7–7,8	87,5
Оператор АППА по обслуживанию крана, <i>n</i> = 10	3,3 ± 0,7♦	0,5–7,6	90,0
<i>Отделение по производству фтористых солей</i>			
Аппаратчик в производстве фтористых солей, <i>n</i> = 11	1,6 ± 0,1•	1,2–2,2	100,0
<i>Участок выливки, пуска, контактного и ковшевого хозяйства</i>			
Выливщик-заливщик металла (бригада выливки), <i>n</i> = 11	1,7 ± 0,2▲	0,5–3,0	81,8
Выливщик-заливщик металла (бригада чистки), <i>n</i> = 8	1,2 ± 0,3*	0,31–3,0	50,0

Примечание. *, ♦, •, ▲, ■ – различия статистически значимы при *p* < 0,05; ** – различия статистически значимы при *p* < 0,017.

и пациентов 4-й группы – в течение суток в клинике института. Химико-аналитические лабораторные исследования содержания фтора в моче выполнялись по существующей методике* и по разработанной в институте методике определения фторид-иона в моче (Свидетельство об аттестации методики измерения № ROSS RU. 001/310430/0028.26.11.18). Количественный анализ содержания фторид-иона в моче осуществляли потенциометрическим методом с использованием иономера «Мультистест ИПЛ-211» (Россия) с помощью ионселективной электродной технологии.

Программа исследования была одобрена этическим комитетом ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований». Исследования проводились с соблюдением этических принципов, изложенных в Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации (с изменениями и дополнениями 2000 г.), и не ущемляли права и не подвергали опасности благополучие обследованных работников и пациентов.

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью программы Microsoft Excel и «Statistica 6.1» Stat_Soft® Inc., SNPStats. Проверку нормальности распределения количественных показателей выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Сравнение групп по количественным показателям проводили с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони и без неё.

Результаты

Среди технологических процессов производства первичного алюминия наиболее сложным и неблагоприятным с гигиенических позиций является процесс электролитического разложения глинозёма (Al₂O₃), растворённого в расплавленном криолите (Na₃AlF₆) с различными солевыми добавками (AlF₃, NaF, CaF₂) в электролизёрах.

В цехах, где применяется ТСА, электролизники осуществляют операции по пробивке вручную корки электролита над расплавом, обрубке гарнисажей, подтягиванию осадка, гартованию, подсыпке глинозёма. Анодчики следят за состоянием

анодов, выполняют загрузку анодной массы, перестановку штырей, замену анодов, обдувку оборудования. Машинисты кранов находятся в кабине мостового крана, осуществляют различные грузоподъёмные и транспортные операции. При использовании ТПОА применяется бригадный метод обслуживания электролизёров. В обязанности операторов АППА по обслуживанию электролизных ванн входит наблюдение за ходом технологических процессов, выполнение механизированных операций по обслуживанию электродного узла, подсыпка глинозёма, извлечение анодных огарков, выливка металла. Операторы АППА по перетяжке анодной рамы выполняют операции по обслуживанию анодов, загрузку анодной массы, замену анодов. Операторы АППА по обслуживанию кранов выполняют те же операции, что и машинисты кранов, работающие в цехах с ТСА.

В предыдущих наших исследованиях было установлено, что при использовании ТСА содержание гидрофторида и малорастворимых фтористых солей в воздухе рабочей зоны электролизников составляло по медиане 0,25 и 0,66 мг/м³ соответственно, что превышало допустимые уровни в среднем в 2,5 и 1,3 раза. Наличие высоких концентраций гидрофторида отмечено также на рабочих местах анодчиков (0,16 мг/м³) и машинистов кранов (0,21 мг/м³). При использовании ТПОА содержание фтористых солей в воздухе рабочей зоны работников основных профессий находилось в пределах безопасного уровня (0,1–0,28 мг/м³). Однако концентрации гидрофторида (0,15–0,31 мг/м³) здесь по-прежнему превышали допустимый уровень в среднем в 1,5–3,1 раза, причём на рабочем месте операторов по обслуживанию электролизных ванн они были в 2 раза выше, чем у операторов мостовых кранов [21].

Анализ результатов химико-аналитического исследования биосред групп наблюдения выявил достоверное превышение содержания фторид-иона в моче у работников электролизных цехов по сравнению с контрольной группой (см. таблицу).

В цехах, использующих ТСА, средние концентрации фторид-иона в моче электролизников, анодчиков и машинистов крана были выше контрольного регионального уровня в 2,8; 2,6 и 2,3 раза соответственно. Наибольший процент проб мочи, превышающих контрольный уровень, отмечался среди электролизников и анодчиков. Причём концентрации фторид-иона в моче у электролизников были выше, чем у машинистов крана (*p* = 0,011).

* МУК 4.1.773-99 Количественное определение ионов фтора в моче с использованием ионселективного электрода. В кн.: Определение химических соединений в биологических средах: Сборник методических указаний МУК 4.1.763–4.1.779–99. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2000: 97–105.

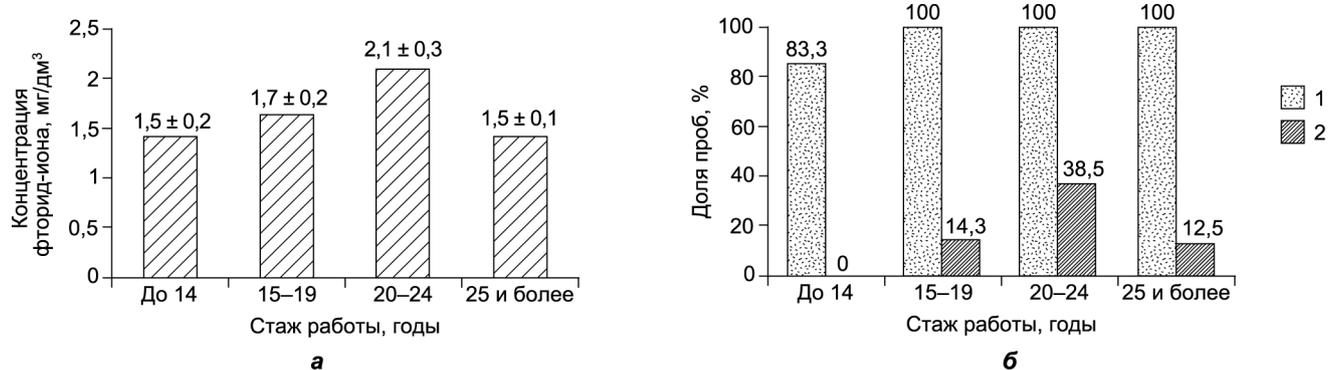


Рис. 1. Содержание фторид-иона в моче работников группы риска (а) и доля проб (б), превышающих контрольный (1) и нормативный уровни (2) в зависимости от стажа работы.

В цехах, применяющих ТПОА, превышение содержания фторид-иона в моче у работников – операторов по обслуживанию ванн, кранов и перетяжке анодных рам относительно контрольного регионального уровня составляло в среднем 4,5–5,1 раза. При этом среднегрупповые концентрации фторид-иона в моче у работников указанных профессий находились на одном уровне и не различались между собой. В то же время процент проб мочи, превышающих контрольный уровень, был наиболее высоким у операторов по обслуживанию электролизных ванн (100%).

Сравнение значений экскреции фтора с мочой у работников в зависимости от применяемой технологии получения алюминия и профессиональной принадлежности показала, что средние концентрации данного элемента в моче у операторов основных профессий в цехах с модернизированной ТПОА были выше, чем у аналогичных групп профессий, работающих в цехах с традиционной ТСА ($p < 0,04–0,07$).

У аппаратчиков отделения по производству фтористых солей и выливщиков-заливщиков участка выливки, пуска, контактных и ковшевого хозяйства средние концентрации фторид-иона в моче превышали значения контрольной группы в 1,7–2,4 раза и были достоверно ниже (в среднем в 1,9–2,8 раз), чем у работников основных профессий, занятых в цехах с ТПОА.

Исследования биоматериала у обследованных в клинике института экспонированных фтористыми соединениями контингентов работников показали, что средний уровень содержания фторид-иона в суточной моче у высокостажированных работников группы повышенного риска и пациентов на момент установления профзаболевания находились в одних пределах

($1,7 \pm 0,1$ и $1,6 \pm 0,1$ мг/дм³ соответственно). Доля проб, превышающих контрольный уровень, была на 5,4% выше у работников (97,6% против 92,2%), а доля проб, превышающих нормативный уровень содержания фторид-иона в моче (не более 2 мг/дм³ [22], используемой при диагностике профзаболеваний), была ниже, чем у пациентов, на 3,1% (19% против 22,1%).

С увеличением стажа работы содержание фторид-иона в моче у работников группы повышенного риска возрастало в 1,1–1,4 раза во всех стажевых группах, кроме четвертой, достигая наибольшего значения в стажевой группе 20–24 года – $2,1 \pm 0,3$ мг/дм³ (рис. 1). Исключение составили лишь лица, проработавшие 25 лет и более, у которых выделение фтора снижалось до уровня первой стажевой группы ($1,5 \pm 0,1$ мг/дм³). Доля проб, превышающих контрольный региональный уровень, достигала у работников 100% при стаже работы 15 и более лет, а процент проб, превышающих нормативный уровень, был наибольшим при стаже 20–24 года (38,5%), с последующим снижением при стаже 25 лет и более (12,5%).

У работников с установленным диагнозом профзаболевания с увеличением продолжительности постконтактного периода наблюдалось снижение экскреции фторид-иона с мочой с $1,8 \pm 0,1$ мг/дм³ в группе с временным периодом до 4 лет и до $1,2 \pm 0,1$ мг/дм³ в группе 10 лет и более (рис. 2). При этом доля проб, превышающих нормативный уровень, также снижалась соответственно с 31,5 до 0%; а процент проб, превышающих контрольный уровень, был наибольшим в группе с временным периодом 5–9 лет (92,3%) с последующим снижением в группе 10 лет и более (84,6%).

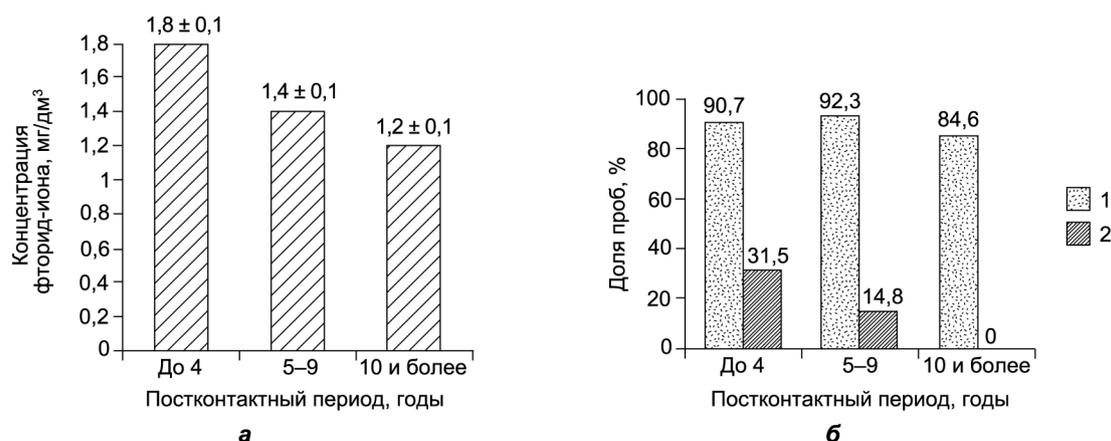


Рис. 2. Содержание фторид-иона в моче пациентов (а) и доля проб (б), превышающих контрольный (1) и нормативный уровни (2) в зависимости от продолжительности постконтактного периода.

Обсуждение

Проведённые на современных алюминиевых заводах исследования показывают, что, несмотря на модернизацию технологических процессов и применение различных санитарно-гигиенических мероприятий, содержание фторидов в воздухе остаётся высоким, что делает актуальной проблему дальнейшего снижения воздействия вредных химических веществ на организм работников [1, 21, 23].

При оценке экспозиции вредных химических веществ у работников и профилактики повреждения их здоровью важное значение имеет биологический мониторинг [24–27]. Показатели биологического мониторинга свидетельствуют о количественном содержании токсикантов, которое уже действительно поступило в организм и оказывает на него воздействие. Основываясь на результатах биологического мониторинга, можно оценить и прогнозировать реальную опасность химической нагрузки на организм и своевременно осуществлять профилактические мероприятия по предупреждению развития заболеваний [28, 29].

Ряд отечественных и зарубежных авторов, проводивших исследования на алюминиевых заводах, приводят данные о том, что содержание фтора в моче у работников электролизных цехов составляло: от 2,6 до 6,7 мг/г креатинина [16], от 0,62 до 2,63 мг/дм³ [13] и от 0,78 до 5,1 мг/дм³ [20]. По данным А.К. Susheela и соавт., у работников электролизных цехов уровни фторида в моче, сыворотке крови и ногтях были выше соответственно в 4,5–6,5; 2,3–2,8 и 10,6–11,5 раза, чем в группе контроля [20].

Таким образом, результаты собственных исследований и литературные данные указывают на значительную надёжность обнаружения фтора в моче при воздействии фтористых соединений у работающих в производстве алюминия. Как показали наши исследования в цехах, использующих традиционную технологию (ТСА), превышение содержания фтора в моче у работников относительно регионального контрольного уровня достигает 2,3–2,8 раза, а при применении модернизированной технологии (ТПОА) – 4,5–5,1 раза. Выявленные высокие уровни экскреции фтора с мочой у работников обусловлены поступлением из воздуха в организм большого количества фторидов и их выведением из депо (преимущественно костная ткань), в которых они накапливаются в процессе трудовой деятельности, что свидетельствует о существенном риске нарушения здоровья. Повышенное содержание фтора в моче у работников, занятых в цехах с ТПОА, возможно, связано с использованием более мощных электролизёров, а также наличием среди персонала лиц, ранее работавших и подвергавшихся воздействию фторидов в цехах со старой технологией.

У обследованных в стационаре стажированных работников группы повышенного риска с увеличением стажа работы в производстве наблюдалось нарастание экскреции фтора с мочой. Такая же динамика отмечалась у других исследователей [13, 30], где также с увеличением стажа работы у работников наблюдалось увеличенное выделение фтора с мочой с последующим снижением после 20 лет работы. Авторы предполагают, что у лиц с небольшим стажем работы происходит задержка соединений фтора в организме и активное депонирование его, в основном в костной ткани. А у лиц с большим стажем, как уже отмечалось выше, имеет место насыщение депо в тканях и усиление экскреции фтора из организма.

Обращает на себя внимание тот факт, что у пациентов с установленным диагнозом профессионального заболевания, по мере увеличения продолжительности постконтактного периода, наблюдается постепенное снижение уровня экскреции фторид-иона с мочой. При этом концентрации данного элемента в моче у большинства (84,6%) этих больных не достигают среднего контрольного регионального уровня за весь период наблюдения. Однако отмечается заметное снижение числа проб, превышающих нормативный уровень содержания фторид-иона в моче, который через 10 лет после окончания экспозиции фтористых соединений у пациентов не обнаруживается. Таким образом, длительное воздействие фторидов приводит к повышению экскреции фтора с мочой у работников с увеличением стажа работы и медленному выведению его из организма у пациентов с установленным диагнозом профессионального заболевания в течение продолжительного времени постконтактного периода.

Заключение

Результаты проведённых биомониторинговых исследований показывают, что уровень внутренней экскреции фторсодержащих соединений у работников алюминиевых заводов зависит от применяемой технологии, профессии работника, места и стажа работы. Концентрации фтора в моче у работников основных профессий в цехах с традиционной ТСА превышают контрольный региональный уровень в 2,3–2,9 раза, в цехах с модернизированной ТПОА – 4,6–5,1 раза.

Выявленные различия уровня содержания фторид-иона в моче у работников основных профессий и снижение его экскреции у больных с установленным диагнозом профессионального заболевания свидетельствуют о значимости этого показателя как биомаркера экспозиции, что позволяет рекомендовать проведение биомониторинга фтористых соединений для оценки профессиональных рисков и эффективности выполненных профилактических и лечебных мероприятий.

Литература

(пп. 4–7, 10, 11, 14–20, 21 см. References)

1. Рослый О.Ф., Гурвич В.Б., Плотнок Э.Г., Кузьмин С.В., Федорук А.А., Рослая Н.А. и др. Актуальные вопросы гигиены в алюминиевой промышленности России. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; 11: 8–12.
2. Шахметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Мешакова Н.М., Меринов А.В. Гигиеническая оценка газо-пылевого фактора на алюминиевом предприятии Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (12): 1155–60. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1155-60.
3. Кондрик Е.К., Сергеева Н.Л., Кавызина Л.И. Эколого-гигиенические проблемы алюминиевых заводов (обзор). *Гигиена и санитария*. 1993; 8: 7–11.
4. Жуков Е.И., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г., Кондратьев В.В. Санитарно-гигиеническая оценка воздуха рабочей зоны корпуса производства алюминия, оснащенного электролизерами с предварительным обожженными анодами. *Экология и промышленность России*. 2012; 5: 9–11.
5. Захаренков В.В., Олещенко А.М., Суржиков Д.В., Данилов И.П., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г. Определение вероятности нанесения ущерба здоровью работников алюминиевой промышленности в результате воздействия токсичных веществ. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2013; 3–2: 75–8.
6. Жовтяк Е.П., Федоров А.А., Лихачева Е.И., Рябо Е.В., Громов А.С. Биомаркеры экспозиции и эффекта действия фтористых соединений у рабочих алюминиевой промышленности. *Медицина труда и промышленная экология*. 2010; 2: 20–3.
7. Рослый О.Ф., Лихачева Е.И., ред. *Медицина труда при электролитическом получении алюминия*. Екатеринбург: Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; 2011. 160 с.
8. Шахметов С.Ф., Мешакова Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н. и др. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (10): 899–904. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904.
9. Измеров Н.Ф., ред. *Профессиональная патология: национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011. 784 с.
10. Федорук А.А., Рослый О.Ф., Слышкина Т.В., Плотнок Э.Г., Лемяев М.Ф. Актуальные вопросы гигиены труда при эксплуатации сверхмощных электролизеров для получения алюминия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; 11: 13–7.
11. Ревич Б.А. Биомониторинг токсичных веществ в организме человека. *Гигиена и санитария*. 2004; 6: 26–31.
12. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Уланова Т.С. *Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах*. Пермь: Книжный формат; 2011. 520 с.
13. Луковникова Л.В., Сидорин Г.И., Аликбаева Л.А., Фомин М.В. Биомониторинг – способ объективной диагностики острых и хронических интоксикаций химической этиологии. *Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова*. 2009; 3 (32): 61–5.
14. Зибарев Е.В., Эллинген Д.Г., Томассен И., Чашин В.П., Чашин М.В., Кузьмин А.В. Биологический мониторинг как способ управления профессиональными рисками. *Уральский медицинский журнал*. 2011; 9: 16–8.
15. Чашин В.П., Сидорин Г.И., Фролова А.Д., Луковникова Л.В., Сходкина Н.И. Биомониторинг в оценке риска развития профессиональных интоксикаций. *Медицина труда и промышленная экология*. 2004; 12: 1–4.

30. Лихачева Е.И., Жовтык Е.П., Хасанова Г.Н., Назукин А.С. Экскреция фтора с мочой у электролизников в современных условиях производства алюминия. В кн: *Материалы VIII Всероссийского Конгресса «Профессия и здоровье»*. М.; 2009: 294–6.

References

- Rosly O.F., Gurchich V.B., Plotko E.G., Kuzmin S.V., Fedoruk A.A., Roslaya N.A. et al. Emerging issues concerning hygiene in the Russian aluminum industry. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka [Occupational Health and Human Ecology]*. 2012; 11: 8–12. (in Russian)
- Shayakhmetov S.F., Lisetskaya L.G., Meshchakova N.M., Merinov A.V. Hygienic assessment of toxic dust factor at the aluminium smelter in Eastern Siberia. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2016; 95 (12): 1155–60. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1155-1160. (in Russian)
- Kondrik E.K., Sergeeva N.L., Kavyzina L.I. Ecologic and hygienic problems of aluminum factories. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 1993; 8: 7–11. (in Russian)
- Benke G., Abramson M., Sim M. Exposures in the alumina and primary aluminium industry: An historical review. *Ann Occup Hyg.* 1998; 42 (3): 173–89. DOI: 10.1093/annhyg/42.3.173.
- Sim M., Benke G. World at work: hazards and controls in aluminium potrooms. *Occup Environ Med.* 2003; 60 (12): 989–92.
- Jelinic J.D., Nola I.A., Udovicic R., Ostojic D., Zuskin E. Exposure to chemical agents in aluminium potrooms. *Med Lav.* 2007; 98: 407–14.
- Dando N., Xu W., Peace J.N. Continuous measurement of peak hydrogen fluoride exposures in aluminium smelter potrooms: instrument development and in-plant evaluation. *J Occup Environ Hyg.* 2008; 5: 67–74. DOI: 10.1080/15459620701789884.
- Zhoukov E.I., Korostovenko V.V., Shakhray S.G., Kondratov V.V. Sanitary-hygienic assessment of working zones air in the aluminium production building equipped by electrolyzers with pre-baked anodes. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2012; 5: 9–11. (in Russian)
- Zakharenkov V.V., Oleshchenko A.M., Surzhikov D.V., Danilov I.P., Kislytsyna V.V., Korsakova T.G. Determination of the probability of the damage to the health of workers in aluminium production due to the exposure to toxic substances. *Byulleten' VSNTs SO RAMN.* 2013; 3–2: 75–8. (in Russian)
- Zhang Y., Sun M., Hong J., Han X., He J., Shi W. Environmental footprint of aluminum production in China. *J Clean Prod.* 2016; 133: 1242–51. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.137.
- Taiwo O.A., Sircar K.D., Slade M.D., Cantley L.F., Vegso S.J., Rabinowitz P.M. et al. Incidence of asthma among aluminum workers. *J Occup Environ Med.* 2006; 48 (3): 275–82. DOI: 10.1097/01.jom.0000197876.31901.f5.
- Zhovtyak E.P., Fyodorov A.A., Likhatchyova E.I., Ryabko E.V., Gromov A.S. Biologic markers of exposure to and effects of fluorine compounds in workers engaged into aluminium industry. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Occupational health and industrial ecology]*. 2010; 2: 20–3. (in Russian)
- Rosly O.F., Likhacheva Ye.L., eds. *Medicine of labor for electrolytic aluminum production [Meditsina truda pri elektroliticheskom poluchenii alyuminiya]*. Ekaterinburg: Ekaterinburgskiy meditsinskiy nauchnyy tsentr profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatiy; 2011. 160 p. (in Russian)
- Soyseth V., Kongerud J. Prevalence of respiratory disorders among aluminium potroom workers in relation to exposure to fluoride. *Br J Ind Med.* 1992; 49 (2): 125–30. DOI: 10.1136/oem.49.2.125.
- Radon K., Nowak D., Heinrich-Ramm R., Szadkowski D. Respiratory health and fluoride exposure in different parts of the modern primary aluminium industry. *Int Arc Occup Environ Health.* 1999; 72 (5): 297–303. DOI: 10.1007/s004200050378.
- Seixas N.S., Cohen M., Zevenbergen B., Cotey M., Carter S., Kaufman J. Urinary fluoride as an exposure index in aluminum smelting. *Am Ind Hyg Assoc J.* 2000; 61 (1): 89–94. DOI: 10.1080/15298660008984520.
- Guo Z., Yuhua H.E., Zhu O. Study on neurobehavioral function of workers occupationally exposed to fluoride. *Ind Health Occup Dis.* 2001; 6: 346–8.
- Barnard C.G., McBride D.I., Firth H.M., Herbison G.P. Assessing individual employee risk factors for occupational asthma in primary aluminium smelting. *Occup Environ Med.* 2004; 61 (7): 604–8. DOI: 10.1136/oem.2003.009159.
- Momeni V.R., Dehghani-Beshne M., Sharifian A., Esteghamati A., Masoudi E. Thyroid function tests in aluminum potroom workers exposed to fluoride emissions. *Fluoride.* 2011; 44 (3): 173–4.
- Susheela A.K., Mondal N.K., Singh A. Exposure to Fluoride in Smelter Workers in a Primary Aluminum Industry in India. *Int J Occup Environ Med.* 2013; 4: 61–72.
- Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N. et al. Hygienic aspects of working conditions in the modern production of aluminum. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2018; 97 (10): 899–904. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904.
- Izmerov N.F., ed. *Occupational pathology: national guide [Professional'naya patologiya: natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2011. 784 p. (in Russian)
- Fedoruk A.A., Rosly O.F., Slyshkina T.V., Plotko E.G., Lemyasev M.F. Issues of occupational health in the aluminium plant with superpower equipment. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka [Occupational Health and Human Ecology]*. 2012; 11: 13–7. (in Russian)
- Morgan M.S. The biological exposure indices: A key component in protecting workers from toxic chemicals. *Environ Health Perspect.* 1997; 105 (Suppl. 1): 105–15. DOI: 10.1289/ehp.97105s1105.
- Revich B.A. Biomonitoring of toxic substances in the human body. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2004; 6: 26–31. (in Russian)
- Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Ulanova T.S. *Control of the content of chemical compounds and elements in biological media [Kontrol' soderzhaniya khimicheskikh soedineniy i elementov v biologicheskikh sredakh]*. Perm: Knizhnyy format; 2011. 520 p. (in Russian)
- Lukovnikova L.V., Sidorin G.I., Alikbaeva L.A., Fomin M.V. Biomonitoring – a means for objective diagnostics of acute and chronic intoxications of chemical etiology. *Vestnik Sankt-Peterburgskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii im. I.I. Mechnikova.* 2009; 3 (32): 61–5. (in Russian)
- Zibarev E.V., Ellingsen D.G., Thomassen Y., Chashchin V.P., Chashchin M.V., Kuzmin A.V. Biological monitoring as method occupational risk assessment. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal.* 2011; 9: 16–8. (in Russian)
- Chashin V.P., Sidorin G.I., Frolova A.D., Loukovnikova L.V., Skhodkina N.I. Biologic monitoring in evaluating risk of occupational intoxications development. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2004; 12: 1–4.
- Likhacheva Ye.L., Zhovtyak E.P., Khasanova G.N., Nazukin A.S. Fluorine excretion with urine at electrolysis cells in modern conditions of aluminium production. *Proceedings of VIII All-Russian Congress "Profession and Health" [VIII Vserossiyskiy Kongress «Professiya i zdorov'e»]*. Moscow; 2009: 294–6. (in Russian)