

УДК 614.7;613.2;574.24

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ВНЕШНЕСРЕДОВОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Аллаярлова Г.Р., Адиева Г.Ф., Афонькина С.Р.,  
Зеленковская Е.Е., Фазлыева А.С.

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

*Научно-исследовательская деятельность ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» в значительной мере основана на результатах различных лабораторных исследований, играющих важную роль в оценке санитарно-эпидемиологической обстановки на территории Республики Башкортостан и позволяющих выявить причинно-следственные связи между изменением здоровья населения и факторами среды обитания, разработать систему профилактических и оздоровительных мероприятий.*

*Цель работы: обоснование перечня приоритетных тяжелых металлов, определяющих качество окружающей среды на территории крупного промышленного города, и разработка информационно-аналитической базы региональных референтных уровней металлов в биологических средах организма человека для введения методов биомониторинга в практику социально-гигиенического мониторинга.*

*Для достижения поставленной цели на территории города Уфы с развитой нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленностью выполнены химико-аналитические, социально-гигиенические, статистические исследования в соответствии с этапным алгоритмом. Примененный комплексный подход в получении аналитических данных позволяет прогнозировать гигиеническую безопасность среды обитания на техногенной территории, загрязненной тяжелыми металлами.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, окружающая среда, здоровье населения.

**Для цитирования:** Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Аллаярлова Г.Р., Адиева Г.Ф., Афонькина С.Р., Зеленковская Е.Е., Фазлыева А.С. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ВНЕШНЕСРЕДОВОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ. *Медицина труда и экология человека.* 2020; 4:118-127

**Для корреспонденции:** Даукаев Рустем Аскарлович, к.б.н., заведующий химико-аналитическим отделом ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, e-mail: [ufa.lab@yandex.ru](mailto:ufa.lab@yandex.ru)

**Финансирование:** исследование не имело финансовой поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2020-10417>

## BIOLOGICAL INDICATION OF EXTERNAL EXPOSURE OF HEAVY METALS

Daukaev R.A., Larionova T.K., Allayarova G.R., Adieva G.F., Afonkina S.R.,  
Zelenkovskaya E.E., Fazlieva A.S.

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

*The research activity of the Ufa research Institute of occupational medicine and human ecology is largely based on the results of various laboratory studies that play an important role in assessing the sanitary and epidemiological situation in the Republic of Bashkortostan and allow us to identify cause-and-effect relationships between changes in public health under the influence of environmental factors, and develop a system of preventive and health measures.*

*The aim of the work: substantiation of the list of priority heavy metals that determine the quality of the environment on the territory of a large industrial city, and development of an information and analytical database of regional reference levels of metals in biological environments of the human body for the introduction of biomonitoring methods in the practice of social and hygienic monitoring.*

*To achieve this goal, chemical-analytical, social-hygienic, and statistical studies were performed in accordance with a step-by-step algorithm on the territory of the city of Ufa with a developed oil refining and petrochemical industry. The integrated approach used in obtaining analytical data makes it possible to predict the hygienic safety of the environment in a man-made area contaminated with heavy metals.*

**Key words:** *heavy metals, environment, public health*

**Citation:** *Daukaev R.A., Larionova T.K., Allayarova G.R., Adieva G.F., Afonkina S.R., Zelenkovskaya E.E., Fazlyeva A.S. BIOLOGICAL INDICATION OF EXTERNAL EXPOSITION OF HEAVY METALS. Occupational Health and Human Ecology. 2020; 4:118-127*

**Correspondence:** *Rustem A. Daukaev, CSc (Biology), Head of the Chemical Analytical Department of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, e-mail: ufa.lab@yandex.ru*

**Financing:** *The study had no financial support.*

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

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2020-10417>

Установление характера влияния факторов окружающей среды на здоровье населения, создание системы диагностики донозологических состояний организма представляет собой комплексную задачу, включающую определение реальной нагрузки на население химических компонентов среды обитания и установление региональных референтных уровней содержания химических веществ в биологических средах.

На основании многолетних исследований, проводимых химико-аналитическим отделом института, разработан и апробирован алгоритм обеспечения гигиенической безопасности среды обитания на техногенной территории, загрязненной тяжелыми металлами, сформирована информационная база референтных значений элементного состава биологических сред человека, проживающего в крупном промышленном городе.

**Цель** работы – обоснование перечня приоритетных тяжелых металлов, определяющих качество окружающей среды на территории крупного промышленного города, и разработка информационно-аналитической базы региональных референтных уровней металлов в биологических средах организма человека для введения методов биомониторинга в практику социально-гигиенического мониторинга.

### Материалы и методы

Объектом исследования была выбрана территория города Уфы, столицы Республики Башкортостан, для которой характерно загрязнение окружающей природной среды широким спектром тяжелых металлов. Основную техногенную нагрузку на среду обитания и население города оказывают предприятия нефтепереработки, нефтехимии, машиностроения и автотранспорт. Определение концентраций химических элементов (до 13 показателей) в объектах окружающей среды, пищевых продуктах, биосредах населения (кровь, волосы) было селективно осуществлено по стандартизованным методам в аккредитованном испытательном центре института. Изучение структуры фактического питания населения проводили методом ведения записей. Риски здоровью населения при воздействии тяжелых металлов оценивали согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04<sup>8</sup> и методическим указаниям МУ 2.3.7.2519-09<sup>9</sup>.

Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel и Statistica. Определена нормальность распределения по Колмогорову-Смирнову, среднее арифметическое значение ( $M$ ), стандартная ошибка среднего ( $m$ ). Достоверность различий в группах осуществляли путем вычисления критерия Стьюдента. Заданный уровень вероятности составлял 95% ( $P < 0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

Многочисленными исследованиями доказана связь между загрязнением среды обитания тяжелыми металлами, элементным составом пищевых рационов и содержанием макро- и микроэлементов в биологических средах человека [1-5]. Разработаны модели зависимости содержания металлов в крови и моче от их концентрации в объектах среды обитания (атмосферный воздух, питьевая вода, почва, продукты питания) [6, 7]. Ряд работ посвящен оценке элементного состава биосред населения, подвергающегося экспозиции металлов, обусловленной хозяйственной деятельностью промышленных предприятий в различных регионах [8, 9]. Установлено, что при оценке содержания металлов природного и техногенного происхождения в биологических средах человека, в качестве критерия сравнения могут быть использованы региональные фоновые уровни, отражающие конкретные биогеохимические особенности территории, которые могут оказывать существенное влияние на элементный гомеостаз организма человека [10, 11, 12].

Проведенные нами мониторинговые исследования различных объектов окружающей среды города Уфы показали, что наибольший вклад в загрязнение снежного покрова вносят кадмий, марганец и никель, содержание которых превышает фоновые значения. Почвенный покров города характеризуется повышенным уровнем меди, никеля, железа, цинка. Концентрация металлов в атмосферном воздухе и питьевой воде соответствует гигиеническим требованиям (рис. 1).

<sup>8</sup> Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

<sup>9</sup> МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население».

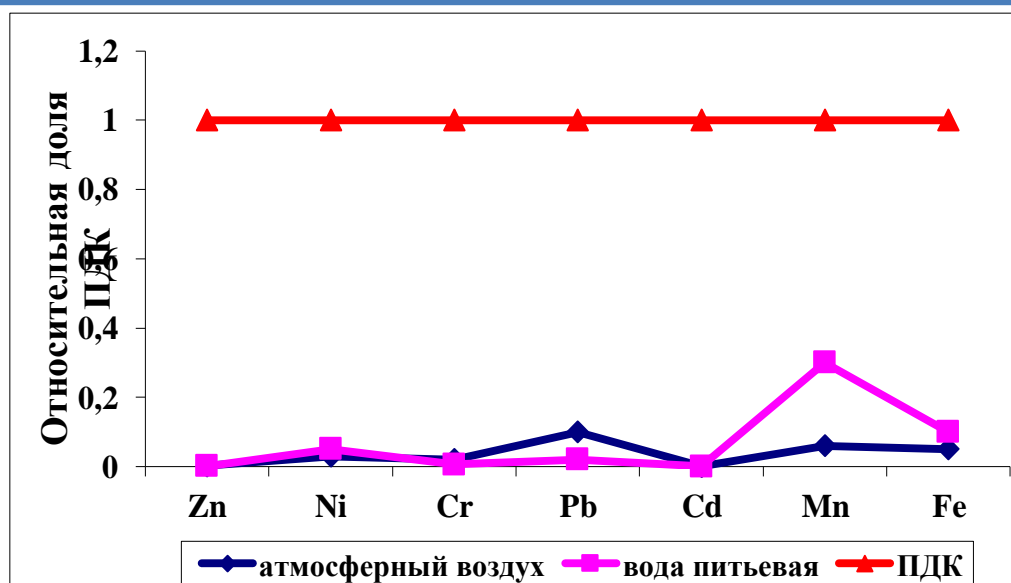


Рис. 1. Содержание химических элементов в питьевой воде и атмосферном воздухе (в долях от ПДК)

Для оценки поступления металлов с рационом питания проведен элементный анализ основных пищевых продуктов. Установлено, что в молочных продуктах больше всего накапливается кадмия (0,83 ПДУ), свинца (0,72 ПДУ), никеля и алюминия, в мясных – ртути (0,9 ПДУ) и кадмия (0,8 ПДУ), в плодоовощной продукции – кадмия (1,1 ПДУ).

Пищевой рацион жителей был изучен в пятилетней динамике на примере различных групп населения. С использованием данных элементного состава пищевых продуктов, как местного производства, так и ввозимых в республику, был произведен расчет и оценка минерального состава рациона. Установлено, что уровень поступления токсичных элементов ртути, мышьяка, свинца и кадмия не превышает референтной суточной дозы, поступление с пищевыми продуктами общего хрома ( $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{6+}$ ) в 2 раза выше нормы, при этом содержание эссенциальных элементов кальция, магния, цинка в рационе снижено (рис. 2).

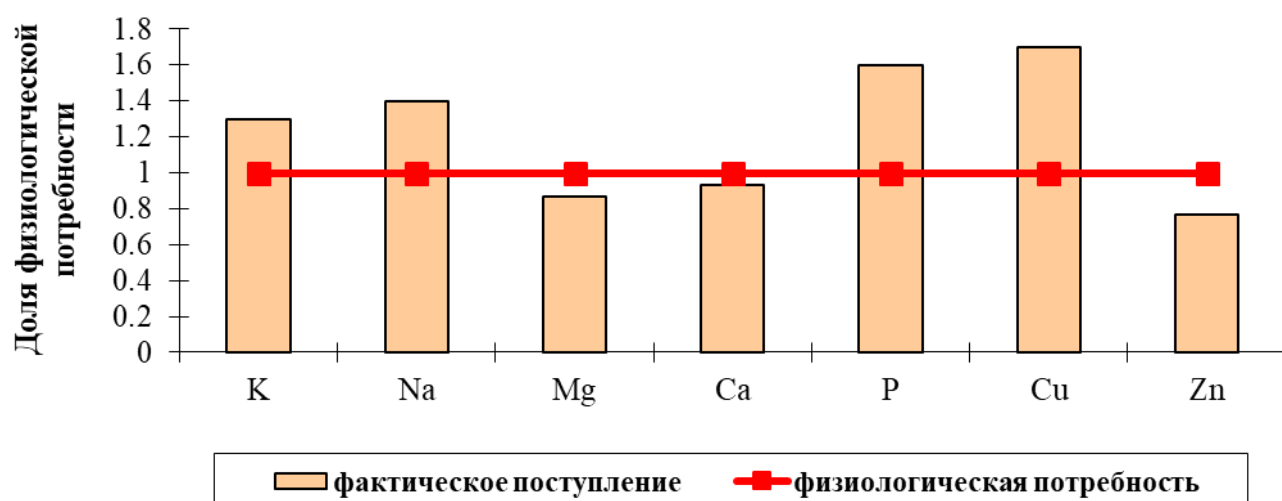


Рис. 2. Гигиеническая оценка суточного поступления макро- и микроэлементов с пищевым рационом

Следующим этапом обоснования перечня приоритетных тяжелых металлов, оказывающих негативное воздействие на население города, был расчет неканцерогенного и канцерогенного рисков здоровью.

Проведенный расчет уровня неканцерогенных эффектов от перорального поступления тяжелых металлов из питьевой воды, пищевых продуктов и почвы и ингаляционного поступления из атмосферного воздуха не выявил риска их токсического воздействия. Коэффициенты опасности при поступлении металлов с пищевыми продуктами составили: от 0,03 для ртути до 0,11 для меди, что характеризует воздействие как допустимое. Уровень канцерогенного риска здоровью населения города определяется в большей степени поступлением свинца, кадмия и мышьяка с пищевыми продуктами и оценивается как предельно допустимый ( $6,2 \times 10^{-5}$ ).

Поскольку элементный гомеостаз организма человека может служить индикатором внешнесредовой экспозиции тяжелых металлов, проведен анализ биологических сред. Целью данного этапа исследований было изучение особенностей элементного гомеостаза жителей и создание базы данных референтного уровня металлов в крови и волосах. Для этого проведено социально-гигиеническое анкетирование, по результатам которого и на основе анализа амбулаторных карт сформирована группа лиц в возрасте от 20 до 45 лет. Критерием включения в группу было отсутствие хронических заболеваний, умеренное употребление крепких спиртных напитков, отсутствие профессионального контакта с солями тяжелых металлов и проживание в данной местности не менее 5 лет. Критерий исключения – курение. Кроме исследования биологических сред взрослого населения, содержание микроэлементов определялось в волосах детей от 3 до 6 лет, которые родились в Уфе. Все обследованные дети посещали дошкольные учреждения и проживали вблизи от них.

После выполнения лабораторных исследований сформирована база данных, проведена статистическая обработка. Проверена нормальность распределения результатов, выбросы, составляющие около 10%, исключены из базы.

В таблице 1 представлены референтные значения содержания химических элементов в крови взрослого населения города Уфы. Для сравнения приведены данные по содержанию металлов в крови жителей сельского района республики (условно чистая зона), исследованного ранее [13].

Таблица 1

**Рекомендуемый референтный диапазон ( $M \pm \sigma$ ) содержания химических элементов в крови**

Элемент	Ед. изм.	Содержание элементов в крови человека	
		Сельские жители, n=116	Проживающие в г. Уфе, n=253
Ртуть	мкг/л	0,1 - 2,0	0,4 - 1,8
Свинец	мкг/л	13 - 157	37 - 114
Кадмий	мкг/л	0,3 - 2,5	2,8 - 15,6
Никель	мкг/л	8,6 - 30,1	3,3 - 22,3
Мышьяк	мкг/л	1,8 - 7,1	1,5 - 16,5

Кальций	мг/л	50 - 111	43 - 94
Магний	мг/л	17 - 28	27 - 42
Железо	мг/л	351 - 550	393 - 515
Цинк	мг/л	3,9 - 8,1	3,9 - 7,0
Медь	мг/л	0,4 - 0,7	0,7 - 1,1
Марганец	мкг/л	22 - 44	21 - 93
Кобальт	мкг/л	3 - 7	4 - 8
Хром	мг/л	3,1 - 20,1	0,4 - 0,7

На рисунке 3 приведены установленные референтные значения содержания химических элементов в волосах детского и взрослого населения города, выраженные в долях от среднероссийских данных [14] по нижней и верхней границе диапазона.

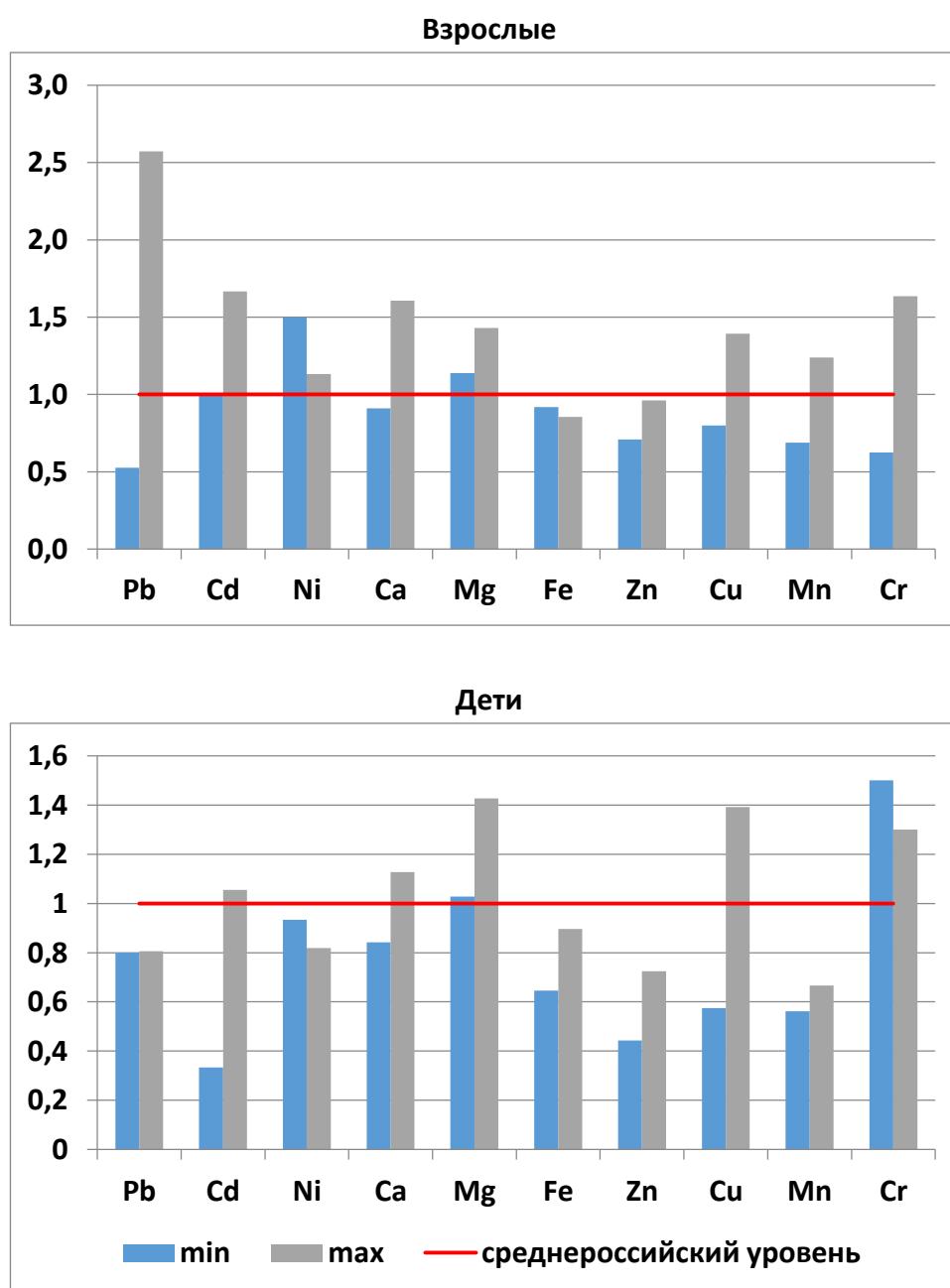


Рис. 3. Сравнительная характеристика диапазона элементного состава волос взрослого и детского населения города Уфы со среднероссийскими данными (условно приняты за 1)

Как показали проведенные исследования, в перечень приоритетных загрязнителей различных сред на территории города Уфы входят свинец, кадмий, никель, марганец, медь, железо, цинк, хром.

При сравнении полученных нами результатов анализа волос взрослого населения города с референтными значениями содержания указанных элементов (А.В. Скальный, 2003) установлено превышение верхней границы диапазона по свинцу в 2,6, кадмию – в 1,7, меди – в 1,4, марганцу – в 1,2, хрому – в 1,6 раза. В детских волосах отмечен повышенный уровень меди и хрома. Концентрации эссенциальных элементов железа и цинка снижены как у взрослых, так и у детей.

Сопоставление содержания элементов в крови городских и сельских жителей, принятых за группу контроля, выявило шестикратное превышение по кадмию, двукратное – по мышьяку и марганцу, а также повышенный в 1,5 раза уровень магния и меди.

Таким образом, в условиях крупного промышленного города происходит изменение гомеостаза организма жителей, по ряду элементов отражающее состояние среды обитания.

Референтные значения содержания химических элементов в биосредах могут быть приняты в качестве верхней и нижней границы физиологической нормы для жителей Уфы. Полученные данные адекватно отражают степень загрязнения металлами территории города, и их можно применять при ведении социально-гигиенического мониторинга, оценке риска для здоровья населения при воздействии металлов природного и техногенного происхождения, в том числе вероятности профессиональной интоксикации, а также для выявления и оценки нарушений обмена макро- и микроэлементов в организме, контроля элементного гомеостаза в процессе медикаментозной и других видах коррекции дисэлементозов, подбора рациональной диеты.

### **Заключение**

Результаты проведенных исследований позволяют определить опасность загрязнения территории тяжелыми металлами, осуществить гигиеническое ранжирование и выбрать приоритетные элементы, представляющие риск для здоровья населения. Это, в свою очередь, дает возможность обосновать и разработать комплекс профилактических мероприятий, включающих технологические, организационные решения для снижения неблагоприятного воздействия тяжелых металлов на здоровье населения.

### **Список литературы:**

1. Гальченко А.В., Яковлев М.Ю., Скальный А.А., Киричук А.А., Орлова О.Ю., Алмасри Р., Баринов А.В., Титов Н.В., Коробейникова Т.В. Оценка взаимосвязи содержания химических элементов в волосах и химического состава рациона у студентов первого курса РУДН. *Микроэлементы в медицине*. 2020; 2(21): 41–48. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-2-41-48.



2. Еремейшвили А.В., Фираго А.Л., Бакаева Е.А. Особенности содержания микроэлементов в биосубстратах детей (в возрасте 1-3 лет) в условиях антропогенной нагрузки. *Гигиена и санитария*. 2012; 2: 20-22.
3. Зайцева Н.В., Землянова М.А. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов. – Пермь: Книжный формат; 2011. 532 с.
4. Мамырбаев А.А., Бекмухамбетов Е.Ж., Засорин Б.В., Кибатаев К.М. Содержание металлов в волосах и крови детского населения городов Актюбинской области. *Гигиена и санитария*. 2012; 3(91): 61-62.
5. Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г. Эколого-физиологическая оценка элементного статуса взрослого населения Республики Башкортостан. *Гигиена и санитария*. 2016; 6(95): 533-538. DOI: 10.18821/00169900-2016-95-6-533-538.
6. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Мазунина Д.Л. Особенности изменений биохимических и гематологических показателей у детей, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием марганца. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; 2(261): 41-44.
7. Клейн С.В., Вековшина С.А., Балашов С.Ю., Камалтдинов М.Р., Атискова Н.Г., Недошитова А.В., Ханхареев С.С., Мадеева Е.В. Анализ причинно-следственных связей уровней биологических маркеров экспозиции тяжелых металлов с их персонифицированной дозой нагрузки в зоне влияния отходов крупного металлургического комбината. *Гигиена и санитария*. 2017; 1(96): 29-35. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-29-35.
8. Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В. Биомаркеры неканцерогенных негативных эффектов со стороны центральной нервной системы у детей в зоне влияния источников выбросов алюминиевого производства. *Гигиена и санитария*. 2018; 5(97): 461-469. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-5-461-469.
9. Землянова М.А., Щербина С.Г., Звездин В.Н., Пустовалова О.В. Оценка биохимического статуса детей, проживающих в условиях комплексного аэрогенного воздействия промышленных выбросов металлургических производств. *Медицинский альманах*. 2012; 2(21): 212-215.
10. Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан. *Экология человека*. 2016; 4: 38-44.
11. Журба О.М., Рукавишников В.С., Меринов А.В., Алексеенко А.Н. Содержание металлов в волосах детей Ямало-Ненецкого автономного округа. *International journal of applied and fundamental research*. 2015; 4: 175-177.
12. Лисецкая Л.Г., Ефимова Н.В. Региональные показатели содержания микроэлементов в волосах детского населения Иркутской области. *Гигиена и санитария*. 2016; 3(95): 266-269. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-3-266-269.
13. Ларионова Т.К., Такаев Р.М., Фасиков Р.М. Сравнительный анализ содержания химических элементов в биологических средах городского и сельского населения Республики Башкортостан. *Экология человека, гигиена и медицина окружающей среды*



на рубеже веков: состояние и перспективы: материалы конференции, посвященной 75-летию ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. - М., 2006: 98-102.

14. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины). Микроэлементы в медицине. 2003; 4(1):55-56.

#### References:

1. Galchenko A.V., Yakovlev M.Y., Skalny A.A., Kirichuk A.A., Orlova O.Yu., Almasry R., Barinov A.V., Titov N.V., Korobeynikova T.V. Association of chemical hair content with nutritional characteristics in first grade pfur students. *Mikrojelementy v medicine*. 2020; 2(21): 41–48. (in Russia)
2. Eremeishvili A.V., Figaro A.L., Bakayeva E.A. The content of trace elements in the biosubstrates of children aged 1 to 3 years under anthropogenic load. *Gigiena i sanitariya*. 2012; 2: 20-22. (in Russia)
3. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A. Identification of health effects caused by environmental chemical exposure. – Perm': Knizhnyj format; 2011. 532 s. (in Russia)
4. Mamyrbayev A.A., Bekmukhambetov E. Zh., Zasorin B.V., Kibataev K.M. The content of metals in hair and blood in the child population of cities of Aktobe region. *Gigiena i sanitariya*. 2012; 3(91): 61-62. (in Russia)
5. Skalny A.V., Berezkina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. Ecological and physiological assessment of the elemental status in the adult population of the republic of Bashkortostan. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 6(95): 533-538. (in Russia).
6. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Mazunina D.L. Especially changes of biochemical and hematologic indicators in children drinking potable water with high content of manganese. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2014; 2(261): 41-44. (in Russia)
7. Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Balashov S.Yu., Kamaltdinov M.R., Atiskova N.G., Nedoshitova A.V., Khankhareev S.S., Madeeva E.V. Analysis of cause-effect relations of the levels of biological markers of exposure to heavy metals with their personalized loading dose in the areas of wastes' influence induced by the operation of the metallurgical plant in the past. *Gigiena i sanitariya*. 2017; 1(96): 29-35. (in Russia)
8. Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V. Biological markers of non-carcinogenic negative impacts on the central nervous system of children in the area with exposure to aluminum production emissions. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 5(97): 461-469. (in Russia)
9. Zemlyanova M.A., Sherbina S.G., Zvezdin V.N., Pustovalova O.V. The assessment of biochemical status of children who live under the conditions of complex aerogenic action of industrial emissions of metallurgical plants. *Medicinskij al'manah*. 2012; 2(21): 212-215. (in Russia)
10. Agadzhanian N.A., Skalny A.V., Berezkina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. Reference values for chemical elements concentration in hair of adults in the republic of Tatarstan. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016; 4: 38-44. (in Russia)

11. Zhurba O.M., Rukavishnikov V.S., Merinov A.V., Alekseyenko A.N. Content of metals in children's hair Yamal-nenets autonomous okrug. *International journal of applied and fundamental research*. 2015; 4: 175-177. (in Russia)
12. Lisetskaya L.G. Efimova N.V. Regional indices of trace element levels in hair in children of the population of the Irkutsk region. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 3(95): 266-269. (in Russia)
13. Larionova T.K., Takaev R.M., Fasikov R.M. Comparative analysis of chemical elements content in biological environments of urban and rural population of the Republic of Bashkortostan. Human ecology, hygiene and environmental medicine at the turn of the century: state and prospects: proceedings of the conference dedicated to the 75th anniversary of the state research Institute of human ecology and environmental hygiene named after A. N. Sysin RAMS. [Ekologiya cheloveka, gigiena i meditsina okruzhayushchey sredy na rubezhe vekov: sostoyanie i perspektivy: materialy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu GU NII ekologii cheloveka i gigeny okruzhayushchey sredy im. A.N. Sysina RAMN]. - M., 2006: 98-102. (in Russia)
14. Skalny A.V. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO centre for biotic medicine. *Mikroelementy v medicine*. 2003; 4(1):55-56. (in Russia)

Поступила/Received: 21.10.2020

Принята в печать/Accepted: 29.10.2020