



# ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

## HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171

EDN: XLPFVE

УДК 556.53

Научная статья / Research article

### Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири

А.Е. Побилат<sup>1</sup>✉, А.А. Киричук<sup>1</sup> , О.В. Баранова<sup>2</sup> <sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

✉apobilat@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время особенно актуальными являются исследования по установлению элементного статуса территорий экологически неблагоприятных регионов с высокой антропогенной нагрузкой, к которым относится Красноярский край. Природно-геохимические особенности территорий, как комплекс факторов, постоянно действующих на организм человека, могут вызвать не только эндемические заболевания, но и потенцировать антропогенное воздействие. В разных регионах Сибири проведено большое количество исследований по агрохимии, биогеохимии, почвоведению, экологии микроэлементов в природной среде. В то же время в южной части Красноярского края недостаточно изучены, обобщены и систематизированы данные о комплексной оценке содержания химических элементов в разных звеньях экосистемы. В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение особенностей элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири. Лабораторные исследования по определению концентрации химических элементов в волосах обследованных лиц выполнены методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной аргоновой плазмой. При рассмотрении результатов исследования отдельных групп населения города Красноярска были зафиксированы половые различия в элементном статусе. У мужчин отмечалось увеличение содержания калия в 1,7 раза, фосфора в 1,2 раза относительно 75 центиля. Содержание

© Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В., 2024

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

кобальта и кальция соответствовало 25 центилю нормального содержания в биосубстратах. Для женщин, проживающих в городе Красноярске, было отмечено повышенное выведение из организма кальция и цинка в 1,2 раза относительно 75 центиля. В данной гендерной группе установлены нормальные как средние, так и медианные значения по содержанию железа и хрома в биосубстратах (волосы) и составили 21 и 0,46 мкг/г соответственно. Уровень токсичных элементов, таких как никель, ртуть, кадмий и свинец, был в норме и разброс максимальных значений не превышал 75-центильный интервал в обеих исследуемых группах.

**Ключевые слова:** элементный статус, макроэлементы, микроэлементы, тяжелые металлы

**Вклад авторов.** Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 10.01.2024; доработана после рецензирования 21.02.2024; принята к публикации 28.02.2024.

**Для цитирования:** Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В. Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 163–171. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171>

## Features of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia

Anna E. Pobilat<sup>1</sup>✉, Anatoly A. Kirichuk<sup>1</sup>, Oksana V. Baranova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

✉ apobilat@mail.ru

**Abstract.** Particularly relevant are studies to establish the microelement status of territories in environmentally unfavorable regions with high anthropogenic load, which include the Krasnoyarsk Territory. Natural and geochemical features of territories, as a complex of factors constantly acting on the human body, can cause not only endemic diseases, but also potentiate anthropogenic effects. A large number of studies on geochemistry, biogeochemistry, soil science, and the ecology of microelements in the natural environment have been carried out in different regions of Siberia. At the same time, in the southern part of the Krasnoyarsk Territory, data on a comprehensive assessment of the content of microelements in different parts of the ecosystem have not been sufficiently studied, summarized and systematized. Thus, the purpose of the work was to study the characteristics of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia. Laboratory studies to determine the concentration of trace elements in the hair of the examined individuals were carried out using mass spectrometry with inductively coupled argon plasma. When considering the results of the study, certain groups of the population of the city of Krasnoyarsk were recorded in elemental status between the sexes. In men, there was an increase in potassium content by 1.7 times, phosphorus by 1.2 times relative to the 75th centile. The content of cobalt and calcium corresponded to the 25th centile of normal content in bio substrates. For women living in the city of Krasnoyarsk, an increased excretion of calcium and zinc from the body by 1.2 times relative to the 75th centile was noted. In this gender group, normal average and median values for the content of iron and chromium in bio substrates (hair) have been established and are 21 and 0.46 µg/g, respectively.

The level of toxic elements such as nickel, mercury, cadmium and lead were normal and the range of maximum values did not exceed the 75th centile interval in both study groups.

**Keywords:** elemental status, trace elements, heavy metals

**Authors' contributions.** All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 10.01.2024; revised 21.02.2024; accepted 28.02.2024.

**For citation:** Pobilat AE, Kirichuk AA, Baranova OV. Features of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):163–171. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171>

## Введение

Из многочисленных литературных источников известно, что волосы являются наиболее качественным и информативным биологическим объектом, несущим в себе информацию об экологической обстановке, качестве питания, наличии заболеваний или отклонений в здоровье человека [1–3]. В медицинской элементологии ведутся дебаты о том, что волосы не являются индикатором уровня для всех микроэлементов. Однако они не затрагивают такие химические элементы, как свинец, селен, ртуть, кадмий и др. Поэтому волосы могут быть использованы для определения элементного статуса человека и населения [4; 5].

Выбор волос в качестве предмета анализа обусловлен многочисленными исследованиями, подтверждающими их пригодность как объекта в исследованиях элементного статуса популяции [6; 7]. Волосы – это легкодоступный биологический материал, сбор их прост и безболезнен. Хранение волос практически не ограничено длительно и не требует каких-либо особых условий. В связи с малой скоростью роста волос результаты анализа показывают не сиюминутное содержание макро- и микроэлементов в образце, а усредненный уровень за несколько месяцев [8]. Химический состав волос отражает как внутреннее состояние организма, так и следствие воздействия различных экзогенных факторов [9; 10].

В этой связи мы использовали именно волосы в качестве биосубстратов для оценки содержания химических элементов у жителей города Красноярска, что и стало целью нашей работы. В качестве объектов исследования были отобраны образцы волос у взрослых людей (18–25 лет), долгое время проживающих в Красноярске (82 мужчины и 247 женщин). Исследования по содержанию микроэлементов в биосубстратах (волосы) проведено в КДЛ АНО «Центр Биотической Медицины» (г. Москва): аккредитация (аттестат № ГСЭН.RU.ЦОА.311); медицинская лицензия (МДКЗ №13665/5124); лицензия на лабораторную деятельность (МДКЗ №14690/6149); регистрационный номер в государственном реестре РОСС.RU.0001.513118 от 29.05.2003.

Лабораторные исследования по определению концентрации микроэлементов в волосах обследованных лиц выполнены методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной аргоновой плазмой (МС – ИСП).

## Результаты и обсуждение

В ходе работы нами были исследованы волосы для оценки возможного влияния экологической среды проживания и питания на содержание химических элементов в биосубстратах жителей города Красноярска. Результаты проведенного нами исследования элементного состава волос жителей города Красноярска представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Содержание (мкг/г) макро- и микроэлементов в волосах мужчин Красноярска ( $n = 82$ )

Показатель	Среднее значение ( $M \pm m$ )	Доверительный интервал $P = 0,95(\pm)$	Медиана (Me)	Min	Max	25–75 Центиль*
Натрий	318±50	99	139	3,4	2755	73–331
Магний	61±7	14	40	7	393	39–137
Калий	282±42 ↑	83	120	12	1764	29–159
Фосфор	197±9 ↑	17	183	9	634	83–165
Кальций	548±49 ↓	97	416	37	2496	494–1619
Марганец	0,46±0,69	0,135	0,26	0,0024	4,58	0,32–1,13
Кобальт	0,04±0,01 ↓	0,03	0,006	0,0	0,855	0,04–0,16
Медь	11±1,3	2,6	9,85	0,8	113	9–14
Хром	0,46±0,06	0,13	0,309	0,0	4,8	0,32–0,96
Железо	19±3	6	13	0,9	239	11–24
Цинк	191±10 ↑	19	178	0,9	699	155–206
Йод	0,51±0,13	0,26	0,232	0,0	10,8	0,27–4,2
Селен	0,70±0,12	0,24	0,489	0,0	8,41	0,2–1,8
<i>Токсичные</i>						
Никель	0,248±0,036	0,07	0,15	0,0	2,53	0,0021–0,53
Ртуть	0,283±0,03	0,06	0,212	0,016	1,79	0,05–2,0
Кадмий	0,042±0,018	0,04	0,009	0,0	1,09	0,05–0,12
Свинец	0,815±0,12	0,25	0,34	0,04	4,7	0,38–1,4

Примечание: \* – [11].

Таблица 2. Содержание (мкг/г) макро- и микроэлементов в волосах женщин Красноярска ( $n = 247$ )

Показатель	Среднее значение ( $M \pm m$ )	Доверительный интервал $P = 0,95(\pm)$	Медиана (Me)	Min	Max	25–75 Центиль*
Натрий	149±18	33	71	6	2248	73–331
Магний	131±9 ↑	19	83	13	986	39–137
Калий	115±18	35	35	139	10204	29–159
Фосфор	170±4 ↑	8	162	25	534	83–165
Кальций	1813±113 ↑	222	1247	139	10204	494–1619
Марганец	1,1±0,09 ↑	0,18	0,64	0,102	12	0,32–1,13
Кобальт	0,06±0,009	0,018	0,0147	0,0007	1,29	0,04–0,16
Медь	14±0,9 ↑	1,8	11,5	1,86	139	9–14
Хром	0,46±0,03	0,058	0,336	0,01	3,14	0,32–0,96
Железо	21±1,3	2,5	15	4,5	154	11–24
Цинк	247±11 ↑	22	195	37	1135	155–206
Йод	0,62±0,08	0,16	0,276	0,0	11,9	0,27–4,2
Селен	0,66±0,11	0,215	0,405	0,0	13,8	0,2–1,8
<i>Токсичные</i>						
Никель	0,28±0,02	0,04	0,192	0,02	1,96	0,0021–0,53
Ртуть	0,328±0,02	0,04	0,232	0,0	1,97	0,05–2,0
Кадмий	0,018±0,006	0,011	0,007	0,0	1,18	0,05–0,12
Свинец	0,389±0,03	0,06	0,183	0,03	4,16	0,38–1,4

Примечание: \* – [11].

При рассмотрении результатов исследования отдельных групп населения города Красноярска можно отметить значительные гендерные отличия в элементном статусе. Так, отмечено повышенное выведение из организма мужчин таких элементов, как калий в 1,7 раза, фосфор в 1,2 раза относительно 75 центиля, при этом содержание цинка в биосубстратах соответствует верхней границе допустимого выведения. Наряду с этим отмечено, что содержание кобальта и кальция соответствует 25 центиллю нормального содержания в исследуемых биосубстратах. Показано, что содержание натрия составляет 318 мкг/г, что соответствует верхней границе нормального содержания, тогда как медиана выборки составляет лишь 139 мкг/г, это обусловлено большим разбросом данных. Так, минимальное значение составляет всего 3,4 мкг/г, а максимальное значение 2755 мкг/г. Это же явление мы наблюдаем и по магнию, марганцу и йоду. Так, содержание этих элементов в волосах составляет в среднем 61; 0,46 и 0,51 мкг/г соответственно, тогда как медиана выборки в разы ниже средних значений и составляет лишь 40, 0,26 и 0,23 мкг/г соответственно.

Что касается женщин, проживающих в городе Красноярске, то для них характерно повышенное выведения из организма кальция и цинка в 1,2 раза относительно 75 центиля. Кроме того, содержание в исследуемых волосах фосфора, магния, марганца и меди соответствует верхней границе нормального содержания. Следует отметить, что и значения медианы в вышеперечисленных элементах стремятся к крайним значениям нормы.

Оценивая содержания в биосубстратах таких элементов, как натрий, калий, кобальт и йод, было установлено их среднее содержание на уровне нормы, тогда как их медианы выборки: натрий, калий, кобальт и йод – составляют 71, 35, 0,0147 и 0,27 мкг/г, соответственно, данные показатели стремятся к значениям 25 центиля. Установлено, что в данной гендерной группе выявлены нормальные как средние, так и медианные значения по содержанию железа и хрома в волосах и составляют 21 и 0,46 мкг/г соответственно.

Что касается токсичных элементов, таких как никель, ртуть, кадмий и свинец, то их значения были в норме и, несмотря на значительный разброс максимальных значений, не превышали 75-центильный интервал в обеих исследуемых группах.

На рис. 1 приведен элементный профиль жителей города Красноярска в зависимости от гендерных групп. При рассмотрении рисунка отмечаются значительные достоверные отличия ( $p < 0,05$ ). Так, данные различия характерны для натрия, магния и кальция, совпадение повышенного выведения из организма обследованных жителей отмечено только для цинка. Элементный портрет мужчин выглядит следующим образом:  $\uparrow$  P, K, Zn /  $\downarrow$  Co, женщин –  $\uparrow$  Mg, Ca, Zn, Mn, Cu.

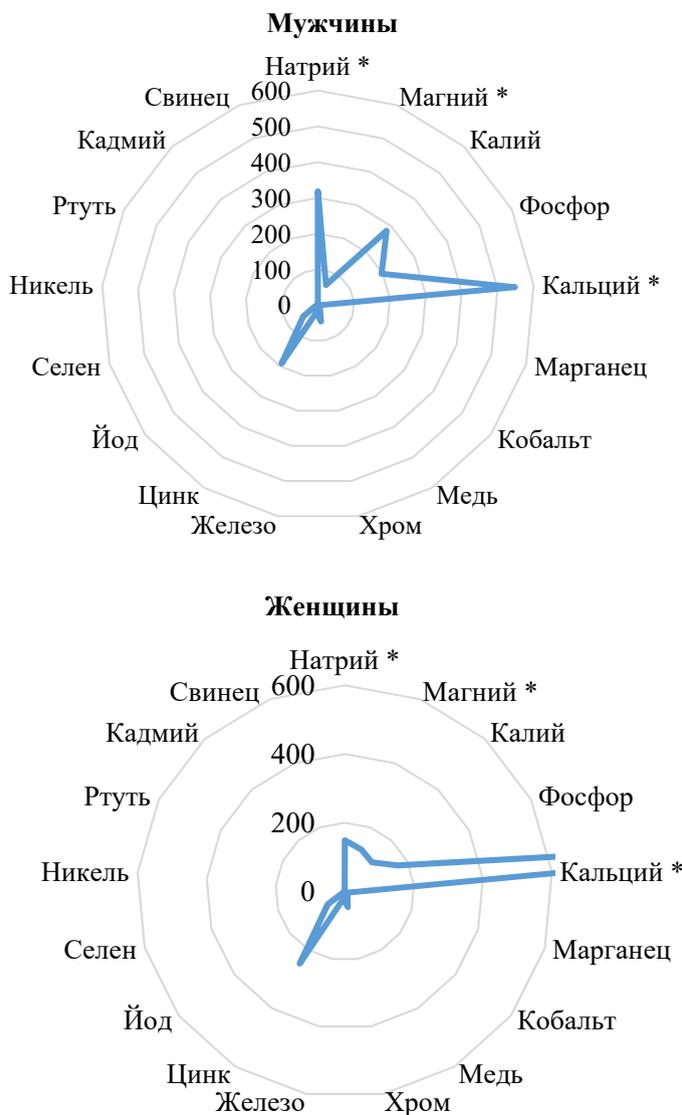


Рис. 1. Элементный профиль жителей Красноярска в разрезе гендерных групп  
Примечание: \* – отличие достоверно ( $p < 0,05$ ).

В настоящий момент население всей планеты испытывает стресс антропогенного загрязнения всех сред жизни – гидросферы, атмосферы и литосферы. Зачастую антропогенное воздействие сопряжено с выбросами в окружающую среду различных веществ, в том числе и тяжелых металлов, что неблагоприятно воздействует на организм человека. Поэтому возникает необходимость в изучении элементного статуса организма человека с целью выявления и коррекции различных элементозов. Актуальность проведенного исследования состоит в том, что, по мнению ряда авторов, существует связь между основными демографическими показателями населения, а также

состоянием здоровья лиц, проживающих на различных территориях, и обеспеченностью некоторыми эссенциальными макро- и микроэлементами [12–14]. При этом не только абсолютные популяционные показатели содержания химических элементов в волосах, но и относительные (частота отклонений от нормы) являются важным биомаркером демографического состояния.

В статье показана взаимосвязь обмена макро- и микроэлементов и ряда демографических показателей. Например, увеличение распространенности в популяции избыточного накопления Fe, Al, K у мужчин, дефицита Cu, Co у женщин на фоне дисбаланса Mn можно считать негативным прогностическим признаком в демографическом отношении. Кроме того, кальций-фосфорный обмен, а также обмен кобальта коррелирует с уровнем рождаемости [15]. В частности, авторами показано, что у мужчин продолжительность жизни отрицательно коррелирует с увеличением содержания в волосах Fe, Mn, Al ( $r = -0,69$ ;  $r = -0,61$ ;  $r = -0,79$ , 2005 г.; и  $r = -0,78$ ,  $r = -0,60$ ;  $r = -0,58$ , 2006 г.), то есть тех промышленных экотоксикантов, накопление которых в волосах, как показано выше, коррелирует с ростом показателя смертности. Повышение уровня в волосах K, как было зарегистрировано в нашем исследовании, по мнению исследователей [15], также отрицательно и достоверно значимо коррелирует с продолжительностью жизни мужчин ( $r = -0,54$ ;  $r = -0,51$ ). Известно, что нарушение обмена K, которое отражается в виде изменения его содержания в волосах [16], отмечается у лиц с перенапряжением симпатoadренальной системы, находящихся в состоянии хронического стресса, страдающих гипертонической болезнью и сахарным диабетом, а также у больных шизофренией [17]. Причем, как показано в исследовании А.Р. Грабеклиса с соавт. [18], повышенный уровень K в волосах коррелирует с понижением его концентрации в цельной крови, то есть гипокалиемией, соответственно, может рассматриваться в качестве индикатора риска сердечно-сосудистых заболеваний и смертности. В обстоятельных исследованиях было показано, что повышенное содержание Fe, Mn в волосах обычно положительно коррелирует с повышенным накоплением этих, с одной стороны, эссенциальных химических элементов, а с другой – промышленных экотоксикантов в организме [18].

Элементный статус населения, вероятно, оказывает существенное влияние на клинико-демографические показатели, такие как рождаемость, продолжительность жизни и смертность, развитие различных заболеваний. Важно отметить, что ведущую роль в этих влияниях следует отводить избыточному накоплению условно-эссенциальных и токсичных химических элементов. Разработка и внедрение научно обоснованных региональных программ по коррекции элементного статуса населения может явиться одной из действенных мер по улучшению демографической ситуации и здоровья населения определенных территорий, в том числе и Красноярском крае.

## Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования мы установили гендерные различия микроэлементного профиля жителей города Красноярска, которые заключаются в следующих формулах:

$$\text{мужчины} = \frac{\uparrow\text{K,P,Zn}}{\downarrow\text{Co}}; \text{женщины} = \uparrow\text{Mg, P, K, Ca, Mn, Cu, Zn}.$$

Таким образом, элементный состав волос человека является своеобразным индикатором, который можно использовать для оценки уровня здоровья человека. При этом в научной литературе большое внимание уделяется дефициту и избыточному накоплению как токсичных, так и эссенциальных металлов-микроэлементов, что может сопровождаться различными поведенческими нарушениями и значительным снижением уровня интеллекта [16].

## Список литературы

- [1] Скальный А.В., Сальникова Е.В., Кудрявцева Е.А., Кустова А.С. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области // Микроэлементы в медицине. 2012. Т. 13, № 4. С. 42–45.
- [2] Харисчаришвили И.З., Горгошидзе Б.Е. Анализ микроэлементного состава волос рентгено-флуоресцентным методом и его значение в деле диагностики заболеваний человека // Экспериментальная и клиническая медицина. 2006. № 7 (32). С. 65–67.
- [3] Umarova G., Batyrova G., Tlegenova Z., Kononets V., Balmagambetova S., Umarov Y. et al. Essential Trace Elements in Scalp Hair of Residents across the Caspian Oil and Gas Region of Kazakhstan // Toxics. 2022. Vol. 10, no. 7. P. 364.
- [4] Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. № 2. С. 148–152. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152>
- [5] Shilin M., Abramov V., Mandryka, O., Ershova A., Chusov A. Environment survey of northwest Russia population health // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 2019. Vol. 19, no. 5.2. P. 347–354. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.2/S20.043>
- [6] Maduray K., Moodley J., Soobramoney C., Moodley R., Naicker T. Elemental analysis of serum and hair from pre-eclamptic South African women // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2017. Vol. 43. P. 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.03.004>
- [7] Kempson I. M., Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status // Chemical Society Reviews. 2011. Vol. 40, no. 7. P. 3915–3940. DOI: 10.1039/c1cs15021a
- [8] Semenova Y., Zhunussov Y., Pivina L., Abisheva A., Tinkov A., Belikhina T. et al. Trace element biomonitoring in hair and blood of occupationally unexposed population residing in polluted areas of East Kazakhstan and Pavlodar regions // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2019. Vol. 56. P. 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.07.006>
- [9] Kousa A., Loukola-Ruskeeniemi K., Hatakka T., Kantola M. High manganese and nickel concentrations in human hair and well water and low calcium concentration in blood serum in a pristine area with sulphide-rich bedrock // Environmental Geochemistry and Health. 2022. Vol. 44, no. 11. P. 3799–3819. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01131-6>

- [10] *Alshammari, E. M.* Simultaneous Detection of Toxic and Heavy Metals in the Scalp Hair Samples of Smokers // *Journal of Biochemical Technology*. 2022. Vol. 13, no. 1. P. 50–56. <https://doi.org/10.51847/doQEpDddDt>
- [11] *Элементный статус населения России*. Ч. 5: Элементный статус населения Сибирского и Дальневосточного федеральных округов / [Афтанас Л. И. и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. СПб: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2014. 543 с. ISBN 978-5-91322-082-0.
- [12] *Кураמיшина Д.Б., Новикова Л.Б., Гришина Т.Р., Торшин И.Ю., Громова О.А.* Анализ нарушений микроэлементного баланса у пациентов с ишемическим инсультом // *Земский врач*. 2011. № 7. С. 17–20.
- [13] *Skalny A.V., Grabekis A.R.* Trace element status of population and demography in Russia: possible linkage // *Abst, 15th Inter, Symp, on Trace Elements in Man and Animals «ТЕМА-15»*. June 22–26, 2014, Orlando, Florida.
- [14] *Юсупбеков А.А., Худайкулов А.Т., Данилова Е.А.* Анализ содержания микроэлементов в волосах у больных раком молочной железы // *Вопросы онкологии*, 2019. Т. 65, № 1. С. 110–113.
- [15] *Агаджанян Н. А., Скальный А. В., Детков В. Ю.* Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации // *Экология человека*. 2013. № 11. С. 3–12.
- [16] *Скальный А. В.* Цинк и здоровье человека (книга для современных думающих врачей и любознательных пациентов). Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 80 с.
- [17] *Скальный А.В., Рудаков И.А.* Биоэлементы в медицине. М.: Оникс 21 в.: Мир, 2004. 271 с.
- [18] *Грабеклис А.Р., Нечипоренко С.П., Лакарова Е.В., Скальный А.В.* Изменения в элементном составе волос при производственном контакте с токсичными металлами // *Актуальные вопросы транспортной медицины*. 2010. № 4. С. 124–131.
- [19] *Киричук А. А.* Содержание токсичных металлов в волосах студентов из различных регионов мира // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. № 3. С. 289-297. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-3-289-297>

### Сведения об авторах:

*Побилат Анна Евгеньевна*, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник кафедры медицинской элементологии, медицинский институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: apobilat@mail.ru

*Киричук Анатолий Александрович*, доктор биологических наук, доцент, руководитель департамента экологии человека и биоэлементологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-5125-5116. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

*Баранова Оксана Васильевна*, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией нутрициологии, Институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, Российская Федерация, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13. ORCID: 0000-0002-2780-6499. E-mail: baranovaov@yandex.ru