

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco90984>

# Оценка элементного состава волос жителей города Симферополя

Е.В. Евстафьева<sup>1</sup>, А.М. Богданова<sup>1</sup>, С.Л. Тымченко<sup>1</sup>, Н.В. Барановская<sup>2</sup>,  
Д.В. Юсупов<sup>3</sup>, И.А. Евстафьева<sup>1</sup>, А.С. Макарова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Российская Федерация;

<sup>3</sup> Амурский государственный университет, Благовещенск, Российская Федерация;

<sup>4</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время возрастает актуальность определения изменений элементного статуса человека в условиях химического загрязнения окружающей среды.

**Цель.** Определить особенности элементного статуса жителей г. Симферополя Республики Крым.

**Материал и методы.** Исследовали особенности элементного статуса взрослых жителей г. Симферополя. Содержание 28 элементов в волосах 34 юношей и 46 девушек 17–20 лет определяли инструментальным нейтронно-активационным методом, содержание ртути — методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Расчёт коэффициентов концентрации элементов и построение геохимических рядов осуществляли путём сравнения с литературными данными по другим регионам.

**Результаты.** Установлен элементный профиль волос 80 жителей г. Симферополя, характеризующийся содержанием медиан в пределах референсных значений 25 из 29 химических элементов. Превышение со стороны Вг и Ва, характерное для большинства членов обследованной популяции, обусловлено естественными (геохимическими) условиями, в то время как значимые половые различия в содержании Na, Ca, Sb могут быть связаны с различиями в рационе питания, образе жизни и другими ассоциированными с полом факторами. Сравнение геохимических рядов элементов симферопольцев и жителей других территорий Крыма и Краснодарского края позволяет констатировать, что специфической особенностью элементного состава волос жителей столицы Крыма является большее поступление в организм Co, Na, Fe и As, а в сравнении с другими территориями полуострова — Hg, Ag, Zn.

**Заключение.** Несмотря на в целом позитивную оценку элементного статуса жителей г. Симферополя, установленные нами ранее в этих условиях физиологические эффекты токсичных металлов и прогрессивный рост антропогенной нагрузки на территории города указывают на необходимость дальнейшего мониторинга ситуации.

**Ключевые слова:** химические элементы; волосы человека; элементный статус; Республика Крым.

## Как цитировать:

Евстафьева Е.В., Богданова А.М., Тымченко С.Л., Барановская Н.В., Юсупов Д.В., Евстафьева И.А., Макарова А.С. Оценка элементного состава волос жителей города Симферополя // Экология человека. 2022. Т. 29, № 6. С. 391–402. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco90984>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco90984>

## Element content in human hair of residents from Simferopol city

Elena V. Evstafeva<sup>1</sup>, Anna M. Bogdanova<sup>1</sup>, Svetlana L. Tymchenko<sup>1</sup>, Natalia V. Baranovskaya<sup>2</sup>, Dmitry V. Yusupov<sup>3</sup>, Irina A. Evstafeva<sup>1</sup>, Anna S. Makarova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation;

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation;

<sup>3</sup> Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation;

<sup>4</sup> Mendelev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** Environmental pollution is increasingly becoming a problem and will continue to be a serious risk for human health. Therefore, it is important to monitor the element status of the population.

**AIM:** To determine the elements in residents' hairs of Simferopol city, Republic of Crimea.

**MATERIAL AND METHODS:** Twenty-eight elements were determined using the instrumental neutron activation method. The mercury content was estimated by atomic absorption spectrometry in 80 hair samples of healthy 17–20-year-old Simferopol residents (34 males and 46 females). The concentration coefficients were calculated, and the geochemical rows were plotted based on comparison with the published data from other regions..

**RESULTS:** The median values of the hair element content were found to be within the reference ranges for 25 out of 29 chemical elements. Excess Br and Ba were found in most residents, which could be due to the geochemical conditions. Significant sex differences in the content of Na, Ca, and Sb could be associated with differences in diet, lifestyle, and other gender-associated factors. Comparison of the geochemical elemental rows for Simferopol residents with other territories of Crimea and Krasnodar suggests a greater intake of Co, Na, Fe, and As in urban residents (Crimea) compared to Krasnodar, and in comparison with other territories of a peninsula — Hg, Ag, and Zn.

**CONCLUSION:** Although most of the elements were within reference ranges in Simferopol residents, the anthropogenic load has increased recently, along with our previously established physiological effects of toxic metals, demonstrating the need for further biomonitoring studies.

**Keywords:** chemical elements; human hair; element status; Republic of Crimea.

### To cite this article:

Evstafeva EV, Bogdanova AM, Tymchenko SL, Baranovskaya NV, Yusupov DV, Evstafeva IA, Makarova AS. Element content in human hair of residents from Simferopol city. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(4):391–402. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco90984>

Received: 24.12.2021

Accepted: 10.06.2022

Published online: 09.07.2022

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным химическим загрязнением окружающей среды (ОС) определение содержания химических элементов (ХЭ) в биологических субстратах и в целом элементного статуса населения в геохимических условиях региона проживания рассматривается в настоящее время как эффективный инструмент управления здоровьем и качеством жизни [1, 2]. Анализ содержания ХЭ позволяет выявить типичные для территории элементы [3, 4], определить источники поступления токсичных ХЭ в организм, разработать меры по минимизации негативного воздействия техногенного загрязнения ОС.

В настоящее время не установлены российские национальные и тем более региональные нормативы содержания ХЭ в биологических субстратах человека, за исключением тех, которые определены в научных работах [5, 6]. В результате таких биомониторинговых исследований накапливаются данные об особенностях геохимического статуса регионов, обуславливающих его факторах, что в перспективе позволит сформировать единую базу для прогнозирования рисков здоровью населения с учётом биогеохимических характеристик и экологической ситуации на конкретных территориях.

Наряду с другими регионами России Крымский полуостров представляет особый интерес для изучения элементного статуса жителей в связи с природным, в том числе биогеохимическим, разнообразием территорий и интенсификацией техногенных процессов, подлежащих мониторингу. К таким территориям относится городской округ Симферополь, самый крупный город Республики Крым (площадь — 107 км<sup>2</sup>; население — 336 тыс. человек). Он расположен в центральной части полуострова (44°57'25.9", 34°6'38.9") на стыке горного и равнинного Крыма между грядками предгорья, образованными карстующимися известняками и мергелями. Климат Симферополя — предгорный, сухостепной, с мягкой зимой и жарким летом. В городе находятся около 70 крупных предприятий пищевой, лёгкой, химической, обрабатывающей промышленности, являющихся наряду с автотранспортом основными локальными источниками атмосферного загрязнения. В округе разрабатываются месторождения твёрдых полезных ископаемых (диабаз, порфирит, глина, известняк, гравийно-галечный материал, песок, ртуть) [7]. Экологическая ситуация усугубляется скоплением загрязнителей в нижних слоях атмосферы из-за расположения города в котловине и преобладания ветров с малыми скоростями, а нахождение санитарно-защитных зон вблизи рек и Симферопольского водохранилища ведёт к загрязнению поверхностных и подземных водных ресурсов.

В последние годы в г. Симферополе отмечены превышения допустимых концентраций тяжёлых металлов в различных компонентах ОС [7, 8] и организме человека [9, 10], что увеличивает комплексное негативное воздействие на здоровье жителей, связанное с локальными

геохимическими особенностями, техногенным загрязнением, атмосферным переносом загрязнителей. При этом в городе растёт заболеваемость экологически зависимыми патологиями (болезни органов пищеварения, дыхания, новообразования) [8]. Кроме вероятного избыточного поступления токсичных ХЭ в организм, существует риск формирования дефицита эссенциальных макро- и микроэлементов и сопряжённых с этим заболеваний. Так, город находится в бедной I биогеохимической провинции [3], что подтверждается выявленной недостаточной обеспеченностью его жителей I [11] и Se [12]. Известно, что на прибрежных территориях содержание I и Se в компонентах ОС высоко, что связано с их атмосферным переносом с поверхности моря, однако в силу специфики геологических, гидрологических и микроклиматических характеристик Крыма и в связи с низким содержанием этих ХЭ в воде и пищевых продуктах в организме жителей полуострова отмечен дефицит I и Se. Иными словами, определение ХЭ в компонентах ОС не всегда даёт объективное представление об их поступлении в организм человека.

Учитывая вышеизложенное и принимая во внимание недостаточную биогеохимическую изученность территории Крыма и элементного статуса населения полуострова, в особенности урбанизированных территорий, авторы определили необходимость настоящей работы.

**Цель исследования.** Изучение особенностей элементного статуса жителей г. Симферополя.

Необходимо было решить следующие задачи: 1) определить содержание 29 элементов в волосах юношей и девушек в возрасте 17–20 лет, характеризующемся как граница повышенной чувствительности формирующегося организма к воздействию токсичных веществ [13]; 2) оценить содержание элементов путём сравнения с существующими референсными значениями; 3) оценить гендерные различия в содержании элементов; 4) проанализировать особенности элементного профиля жителей г. Симферополя в сравнении с другими территориями Крыма и городами Краснодарского края.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В осенний период 2016–2018 гг. проведено одномоментное открытое неконтролируемое нерандомизированное обсервационное аналитическое исследование элементного состава волос когорты из 80 практически здоровых юношей ( $n=34$ ) и девушек ( $n=46$ ), средний возраст —  $18,7 \pm 0,9$  года. Работа соответствует требованиям Хельсинкской декларации 1975 г. (в пересмотре 1983 г., позднейшие редакции 1996–2013 гг.). Участники были проинформированы о целях и методологии исследования и добровольно предоставили письменное согласие на своё участие.

Критерии включения в группу:

- возраст — 17–20 лет;
- место рождения и проживания — г. Симферополь;

- не состояли на диспансерном учёте на момент обследования;
- натуральное состояние волос;
- отсутствие приёма витаминно-минеральных комплексов и лекарственных средств.

В качестве объекта исследования использовали пробы прикорневых участков волос длиной 2–3 см [1], которые отражают поступление в организм элементов в течение последних нескольких месяцев жизни [14, 15]. Определяли 29 ХЭ:

- относящихся к эссенциальным и условно эссенциальным (Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, Ag, Au);
- относящихся к токсичным и условно токсичным (As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Ta, Hg, Th, U);
- с неустановленной физиологической ролью (Sc, Lu).

Содержание Hg определяли в Национально-исследовательском Томском политехническом университете на ртутном анализаторе «РА-915М» («ЛЮМЭКС», Россия) с приставкой «ПИРО-915+» (атомно-абсорбционный анализ, метод пиролиза). Достоверность результатов анализа обеспечена удовлетворительным внутренним лабораторным контролем в количестве 5% от общего числа проб. Определение содержания остальных 28 ХЭ выполняли инструментальным нейтронно-активационным методом анализа [14, 15] по аттестованной методике НСАМ ВИМС № 410-ЯФ) в ядерно-геохимической лаборатории (аттестат аккредитации № RA.RU.21A527) на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в Национально-исследовательском Томском политехническом университете (Россия). Методика заключается в облучении исследуемых проб потоком тепловых нейтронов в реакторе и измерении наведённой активности на гамма-спектрометре (анализатор импульсов ф. Canberra) с полупроводниковыми детекторами (GX3518). Продолжительность облучения проб — 20 ч с плотностью потока тепловых нейтронов  $1 \times 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>·с. Среднеквадратичная погрешность определения составила не более 30%.

При оценке полученных величин содержания ХЭ ввиду отсутствия принятых референсных значений использовали:

- для Ba, Co, Fe, Rb, Zn, Ag, Au, Sr — величины содержания микроэлементов в волосах [16];
- для Na, Ca, Cr, As — значения 25-го и 75-го процентилей содержания в волосах взрослых жителей различных регионов России, Украины, Литвы, Хорватии и Македонии 18–65 лет ( $n=2838$ ) [17], которые рассматриваются авторами как диапазон средних значений содержания ХЭ в популяции и могут быть использованы в качестве границ физиологической нормы;
- для Hg — значение, установленное Агентством по охране ОС США [18];
- для Br — значение, установленное ВОЗ [19];
- для U — справочные данные [20].

При анализе концентраций остальных ХЭ ввиду отсутствия установленных референсных значений ограничили описанием количественных характеристик их содержания.

Для оценки особенностей элементного профиля жителей г. Симферополя в связи с отсутствием в настоящее время установленных фоновых уровней ХЭ рассчитывали коэффициенты концентрации ( $K_k$ ) элементов [21] как отношение медианного содержания ХЭ в волосах исследуемой выборки к медианному значению его содержания в волосах взрослых жителей наиболее близких территориально и по климатическим условиям городов Краснодарского края ( $n=1064$ ) [22], а также жителей г. Армянска ( $n=44$ ) [9] как группы сравнения, проживающей на территории Крымского полуострова в городе с высокой степенью промышленной нагрузки. Результаты расчёта  $K_k$  представляли в виде геохимических рядов.

**Статистическую обработку** результатов выполняли с использованием StatTech v. 1.2.0. Поскольку характер распределения большинства ХЭ согласно критерию Колмогорова–Смирнова отличался от нормального, сравнение величин проводили с использованием U-критерия Манна–Уитни, статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ . Для оценки связи между количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ), для описания данных — значения медианы (Me), межквартильного интервала (25-й и 75-й процентиля), доверительного интервала (95% CI).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение 29 ХЭ показало, что в подавляющем большинстве случаев медианные значения содержания в волосах выборочной группы жителей г. Симферополя находились в диапазоне сравнения для лиц соответствующего возраста (за исключением Cr, Rb, Br, Ba). Содержание Cr и Rb находилось за пределами нижней границы диапазона сравнения, в то время как в отношении Br и Ba отмечено превышение показателей сравнения, причём для Br — тотальное.

Установлены также статистически значимые различия по полу в отношении 5 элементов: более высокое содержание Na, Br и Sb у юношей и Ca и Au — у девушек (табл. 1). При отсутствии статистически значимых различий у девушек содержание Ag было выше верхней границы диапазона сравнения.

Несмотря на то, что для обследованной когорты в целом было характерно соответствие медианных значений используемым референсным значениям содержания элементов, у значительной части обследуемых наблюдали отклонения в ту или иную сторону, встречаемость этих отклонений отображена на рис. 1 и в табл. 2. При этом большей частью были отмечены однонаправленные отклонения от границ диапазона сравнения лиц разного пола, за исключением Na и Ca: избыток Na в основном

**Таблица 1.** Содержание химических элементов в волосах юношей и девушек, проживающих в г. Симферополе Республики Крым, мг/кг**Table 1.** The content of chemical elements in the hair of the Simferopol residents, the Republic of Crimea, mg/kg

Элемент Element	Юноши Adolescent boys (n=34)		Девушки Adolescent girls (n=46)		p	Границы диапазона сравнения Comparison range limits
	Me [25%; 75%]	95% CI	Me [25%; 75%]	95% CI		
Натрий (Na) Sodium	347,19 [176,71; 804,21]	368,07–984,90	177,23 [91,11; 377,04]	226,34–466,65	0,012*	73,0–331,0 [17]
Кальций (Ca) Calcium	536,51 [411,76; 774,02]	488,72–832,19	1710,40 [1053,85; 2574,96]	1568,36–2692,99	<0,001*	494,0–1619,0 [17]
Скандий (Sc) Scandium	0,0029 [0,0014; 0,0061]	0,0022–0,0082	0,0030 [0,0015; 0,0049]	0,0027–0,0041	0,79	—
Хром (Cr) Chromium	0,218 [0,057; 0,612]	0,165–0,869	0,066 [0,050; 0,273]	0,109–1,017	0,24	0,32–0,96 [15]
Железо (Fe) Iron	21,42 [14,01; 29,37]	13,20–44,74	23,02 [14,47; 28,34]	0–264,69	0,71	5–25 [16]
Кобальт (Co) Cobalt	0,277 [0,086; 0,423]	0,222–0,376	0,156 [0,100; 0,286]	0,147–0,445	0,17	0,050–0,500 [16]
Цинк (Zn) Zinc	144,70 [118,34; 167,30]	139,95–213,41	135,93 [108,84; 160,55]	140,25–204,02	0,43	100,0–250,0 [16]
Мышьяк (As) Arsenic	0,027 [0,09; 0,059]	0,026–0,083	0,042 [0,010; 0,069]	0,032–0,119	0,44	0–0,056 [17]
Бром (Br) Bromine	4,44 [2,66; 12,49]	5,40–10,61	3,21 [1,67; 5,83]	2,64–7,48	0,013*	1,000–1,500 [19]
Рубидий (Rb) Rubidium	0,172 [0,043; 0,394]	0,154–0,440	0,198 [0,031; 0,374]	0,168–0,419	0,91	0,500–1,500 [16]
Стронций (Sr) Strontium	5,0 [5,00; 5,00]	4,55–5,33	5,0 [5,0; 5,0]	4,29–7,32	0,25	0,50–5,0 [16]
Серебро (Ag) Silver	0,120 [0,050; 0,337]	0,116–0,751	0,210 [0,066; 0,327]	0–4,239	0,24	0,0005–0,2000 [16]
Сурьма (Sb) Stibium	0,024 [0,015; 0,059]	0,028–0,064	0,014 [0,003; 0,032]	0,014–0,054	0,024*	—
Цезий (Cs) Cesium	0,007 [0,001; 0,017]	0,004–0,029	0,004 [0,001; 0,008]	0,125–0,266	0,26	—
Барий (Ba) Barium	1,28 [0,65; 2,53]	1,02–2,46	1,76 [1,23; 2,63]	0–10,13	0,18	0,20–1,0 [16]
Лантан (La) Lanthanum	0,010 [0,005; 0,064]	0,006–0,158	0,012 [0,008; 0,055]	0,022–0,073	0,57	—
Церий (Ce) Cerium	0,099 [0,048; 0,228]	0,094–0,386	0,129 [0,055; 0,265]	0,125–0,266	0,82	—
Неодим (Nd) Neodymium	0,090 [0,090; 0,191]	0,107–0,270	0,090 [0,090; 0,090]	0,078–0,233	0,06	—
Самарий (Sm) Samarium	0,0008 [0,0008; 0,0011]	0,0007–0,0027	0,0008 [0,0008; 0,0019]	0,0009–0,0022	0,51	—
Европий (Eu) Europium	0,0034 [0,0012; 0,0079]	0,0032–0,0081	0,0019 [0,0010; 0,0042]	0,0023–0,0045	0,18	—
Тербий (Tb) Terbium	0,006 [0,005; 0,009]	0,006–0,012	0,006 [0,005; 0,006]	0,005–0,008	0,28	—

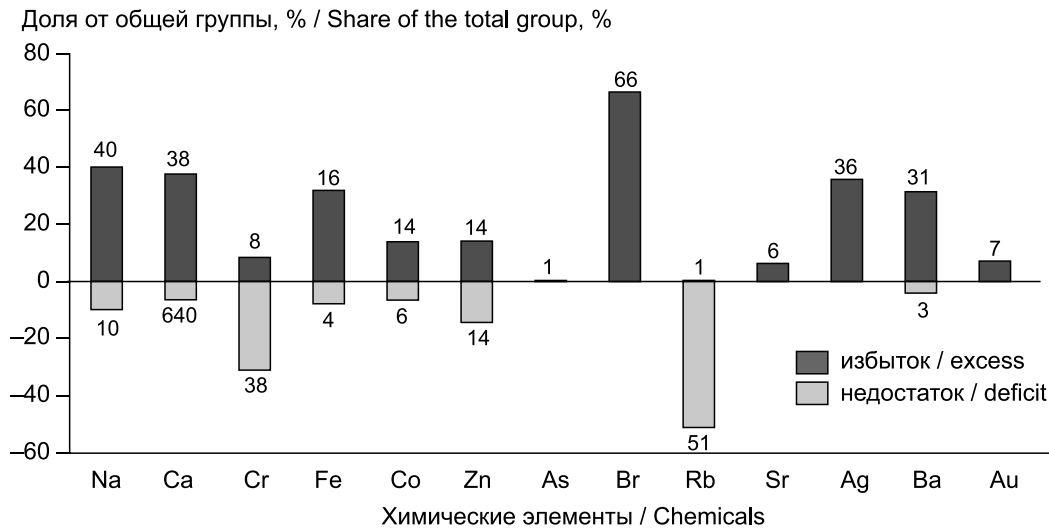
Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Элемент Element	Юноши Adolescent boys (n=34)		Девушки Adolescent girls (n=46)		p	Границы диапазона сравнения Comparison range limits
	Me [25%; 75%]	95% CI	Me [25%; 75%]	95% CI		
Иттербий (Yb) Ytterbium	0,003 [0,003; 0,006]	0,001–0,015	0,003 [0,003; 0,004]	0,003–0,005	0,81	—
Лютеций (Lu) Lutetium	0,0031 [0,0008; 0,0047]	0,0009–0,0072	0,0018 [0,0011; 0,0047]	0,0020–0,0087	0,80	—
Гафний (Hf) Hafnium	0,0092 [0,0050; 0,0317]	0,0135–0,0459	0,0050 [0,0050; 0,0174]	0,0073–0,0352	0,14	—
Тантал (Ta) Tantalum	0,0030 [0,0027; 0,0045]	0,0028–0,0053	0,0030 [0,0027; 0,0034]	0,0018–0,0074	0,85	—
Золото (Au) Aurum	0,0082 [0,0045; 0,0154]	0,0082–0,0287	0,0199 [0,0069; 0,0743]	0,0249–0,2048	0,016*	<0,0005; 0,2000 [16]
Ртуть (Hg) Mercury	0,121 [0,085; 0,203]	0,118–0,236	0,161 [0,076; 0,221]	0,133–0,246	0,569	0; 1 [18]
Торий (Th) Thorium	0,009 [0,009; 0,009]	0,006–0,015	0,009 [0,006; 0,009]	0,006–0,008	0,22	—
Уран (U) Uranium	0,046 [0,031; 0,062]	0,035–0,087	0,043 [0,024; 0,067]	0,039–0,072	0,59	0–0,010 [20]

\* — различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), U-критерий Манна–Уитни; «—» — границы диапазона сравнения отсутствуют.  
\* — statistically significant differences in indicators ( $p < 0.05$ ), Mann–Whitney U-test; “—” — no limits of the comparison range.

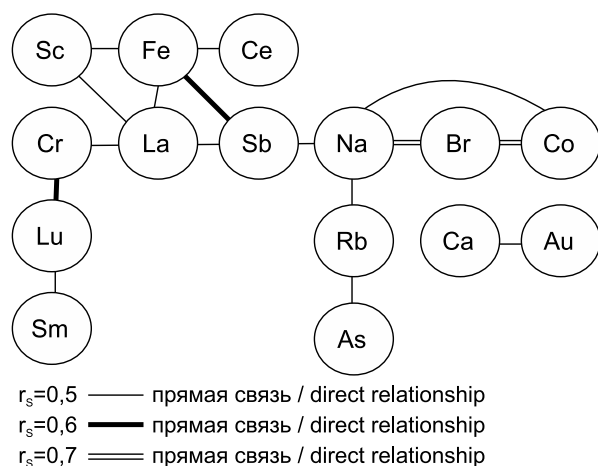
наблюдали у юношей, в то время как избыток Са был характерен для большей части обследованных девушек. Поскольку уровень ХЗ в организме зависит не только от их количества при поступлении в организм, но и от ассоциаций и сочетаний с другими элементами, были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции  $r_s$ , которые продемонстрировали наличие значимых ( $0,0001 < p < 0,0500$ )

прямых корреляционных связей между рядом ХЗ (рис. 2). Интересно отметить наличие корреляции при  $0,5 < r_s < 0,6$  для Na с Br, содержание которых было значимо выше у юношей, а также взаимосвязь Na с Br и Rb. Однако, если содержание Br было выше у всех членов группы, а Na — у юношей, то в отношении Rb отмечен дефицит у всей выборки и в гендерных подгруппах.



**Рис. 1.** Встречаемость отклонений от границ диапазона сравнения по результатам элементного анализа волос в группе обследованных жителей г. Симферополя ( $n=80$ ); цифры над и под столбцами — абсолютное количество наблюдений.  
**Fig. 1.** The occurrence of deviations from the references based on the results of the hair element analysis in residents of Simferopol ( $n=80$ ); numbers above and under the columns — the absolute number of cases.





**Рис. 2.** Корреляционные взаимосвязи содержания химических элементов в волосах жителей г. Симферополя ( $n=80$ ) ( $r_s$  — коэффициент ранговой корреляции Спирмена; взаимосвязи показателей статистически значимы,  $p < 0,05$ ; критическое значение  $r_s=0,22$ ).

**Fig. 2.** Correlations between the hair chemical elements content in the Simferopol residents ( $n=80$ ) ( $r_s$  — Spearman's rank correlation coefficient,  $p < 0.05$ ; critical value  $r_s=0.22$ ).

Выявлены также более слабые, но статистически значимые ( $p \leq 0,01$ ) связи между следующими элементами: Ag/Sc ( $r_s=0,36$ ), Sb/Co ( $r_s=0,37$ ), Na/Sc ( $r_s=0,40$ ), La/Ag ( $r_s=0,41$ ), Sc/Sb ( $r_s=0,42$ ), Br/Sb ( $r_s=0,44$ ), но, поскольку значимых количественных отклонений со стороны этих ХЭ, кроме Br, не наблюдали, они не представляют значимого интереса.

При обобщённой количественной характеристике элементного статуса путем расчёта Кк при сравнении с данными по их содержанию в волосах практически здоровых городских жителей Краснодарского края [22] установлены следующие соотношения:

- для всей группы:  $Co_{8,9} > Fe = As_{1,5} > Na_{1,3} > Zn_{0,8} > Ca_{0,7} > Cr_{0,5} > Hg_{0,3}$ ;
- для юношей:  $Co_{12,3} > Na_{1,8} > Fe_{1,4} > As_{1,1} > Zn_{0,8} > Cr_{0,7} > Ca = Hg_{0,3}$ ;
- для девушек:  $Co_{7,1} > As_{7,1} > Fe_{1,5} > Ca_{1,1} > Na_{0,9} > Zn_{0,8} > Hg_{0,4} > Cr_{0,2}$ .

Представлялось также интересным сравнить эти данные с содержанием ХЭ в волосах жителей других регионов Крымского полуострова, в частности проживающих на территории промышленного севера в г. Армянске [9]. В этом случае получены следующие геохимические ряды:

- для всей группы:  $Hg_{8,8} > Co_{7,5} > Ag_{2,0} > As_{1,5} > Fe_{1,4} > Zn_{1,1} > Na_{1,1} > Cr_{0,8} > Ca_{0,5} > Sr_{0,4}$ ;
- для юношей:  $Co_{10,7} > Hg_{7,6} > Ag_{1,7} > Fe_{1,4} > Na_{1,3} > Zn = As = Cr_{1,1} > Sr_{0,4} > Ca_{0,2}$ ;
- для девушек:  $Hg_{10,0} > Co_{6,0} > Ag_{2,9} > As_{1,7} > Fe_{1,5} > Zn_{1,1} > Ca_{0,8} > Na_{0,7} > Sr_{0,4} > Cr_{0,3}$ .

Таким образом, полученные результаты определения 29 ХЭ в волосах жителей г. Симферополя обоего пола

позволяют говорить о в целом благоприятной картине элементного статуса жителей самого крупного города полуострова. Однако обнаружены и некоторые особенности, в том числе при сравнении с другими территориями.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Определение содержания ХЭ в группе жителей г. Симферополя не выявило отклонений от границ диапазона сравнения для 25 из 29 элементов. Для четырёх из них медианные значения отклонялись как в сторону превышения (Br, Ba), так и в сторону дефицита (Cr, Rb), но при этом обнаружены значимые гендерные различия содержания некоторых других элементов, а сравнение геохимических рядов Кк элементов у жителей г. Симферополя и жителей других территорий позволило выявить характерные особенности их поступления и накопления в организме человека.

Полученные данные позволяют составить представление об элементном профиле жителей города и его особенностях. Разумеется, однородная когорта численностью 80 человек не даёт возможности экстраполировать полученные результаты на всё население города, однако позволяет констатировать установленное наиболее точными на сегодняшний день аналитическими методами количественное распределение ХЭ в организме членов данной возрастной группы.

Относительно вероятных причин выявленных особенностей можно полагать следующее. Дефицит ХЭ, в особенности условно токсичного Rb, не представляет важного для обсуждения предмета, в то время как ХЭ, значительно превышающие норму (Br) и особенно токсичные (Ba), представляют интерес. Однако следует отметить, что дефицит Rb и Cr связывают с фактором петрофонда — их пониженным содержанием в осадочных, карбонатных породах относительно кларка [23].

Так, содержание Br находилось в пределах диапазона сравнения лишь у 12% юношей и 22% девушек, в то время как у остальных оно было выше 1,5 мг/кг и достигало значений, превосходящих верхнюю границу диапазона в 37 раз. Известно, что природным источником Br являются соляные озёра, которыми богат Крым, а также морская вода. Его повышенное содержание наблюдается в атмосферных осадках прибрежных морских территорий [24]. Однако в организм человека Br поступает главным образом с растительной пищей (зерновые) и рыбой. Поскольку большую часть указанных продуктов питания для жителей составляет привозная продукция, можно полагать, что наблюдаемый избыток Br, вероятнее всего, обусловлен природными геохимическими особенностями территории, в частности самого города, так как области накопления Br приурочены к семиаридным климатическим зонам, каковой и является Симферополь. Можно говорить и о естественном происхождении избытка Ba, поскольку крупных промышленных источников его

**Таблица 2.** Встречаемость отклонений от границ диапазона сравнения по результатам элементного анализа волос у юношей и девушек, проживающих в г. Симферополе, абс. число/%

**Table 2.** The deviations from the references based on the results of the hair element analysis in male and female residents of Simferopol, abs./%

Элемент Element	Юноши   Adolescent boys (n=34)		Девушки   Adolescent girls (n=46)	
	Понижено   Decreased	Повышено   Increased	Понижено   Decreased	Повышено   Increased
Натрий (Na) Sodium	2/6	18/53	8/17	12/26
Кальций (Ca) Calcium	14/41	2/6	4/9	24/52
Хром (Cr) Chromium	14/61	3/13	24/75	5/16
Железо (Fe) Iron	2/11	6/33	2/8	10/42
Кобальт (Co) Cobalt	—	7/21	6/13	7/15
Цинк (Zn) Zinc	6/18	6/18	8/17	8/17
Мышьяк (As) Arsenic	—	—	—	1/3
Бром (Br) Bromine	—	30/88	—	36/78
Рубидий (Rb) Rubidium	20/74	—	31/82	1/3
Стронций (Sr) Strontium	—	1/3	—	5/11
Серебро (Ag) Silver	—	13/38	—	23/50
Барий (Ba) Barium	3/15	13/65	—	18/78
Золото (Au) Gold	—	—	—	7/15

*Примечание.* «—» — отклонения от границ диапазона сравнения отсутствуют.

*Note.* «—» — no deviations from the boundaries of the comparison range.

избыточного поступления в организм человека в Крыму нет, но имеются минералы Ba в Марьинском месторождении глин.

В то же время дифференцированный анализ по половой принадлежности позволил дополнительно выявить как различия в содержании элементов в пределах нормы, так и отклонения для одного из полов. Так, выявлено значимо большее содержание Na, Br, Sb и меньшее — Ca, Au в волосах юношей по сравнению с девушками ( $0,001 \leq p \leq 0,024$ ). В работах других авторов также выявлено более высокое содержание Ca и Na в волосах женщин и мужчин соответственно [25, 26]. Учитывая, что в литературе не отмечены явные половые различия в отношении гормональной регуляции баланса Ca, можно полагать, что эти различия обусловлены особенностями рациона питания и образа жизни, тем более что в последние годы в городе показатели невыполнения натуральных норм

питания, в особенности по молоку и творогу, значительно превышали среднереспубликанские [8].

С особенностями рациона питания, по-видимому, может быть связано и более высокое содержание Na у юношей. Но наряду с этим фактором поступление Na и Ca в организм в определённой степени зависит от качества питьевой воды в централизованных источниках водоснабжения. В воде городского водопровода отмечали заниженное содержание Na и хлоридов [27], в то же время уровень общей минерализации и жёсткости воды повышен [8]. Последнее относится и к питьевой воде подземных источников, основной причиной чего, по всей видимости, является закарстование территории города [28]. Однако в этом случае гендерные различия не имели бы места, поэтому можно предположить наличие конфаундинг-эффекта, причём не со стороны средовых факторов, а со стороны факторов, ассоциированных с полом.



Установленные корреляционные связи количественного содержания разных ХЭ в волосах в виде ассоциаций Ca–Au, Na–Rb–As, Na–Br–Co–Sb, Sb–Fe–Ce–La–Sc–Ag, Sm–Lu–Cr–La представляют определённый интерес, поскольку характеризуют взаимодействие ХЭ при поступлении в организм в условиях фоновой экспозиции в городской среде. Однако в связи с отсутствием значимых отклонений от границ диапазона сравнения и, по всей видимости, антропогенных источников, эти ассоциации, вероятно, обусловлены схожими химическими свойствами ХЭ. В пользу этого свидетельствуют их взаимосвязи в составе рудных минералов (в Крыму среди таких минералов установлено присутствие самородных Fe, Ag, Sb) [29] и согласование с наблюдениями других авторов [22, 25].

Построение геохимических рядов позволяет говорить о специфике элементного статуса жителей г. Симферополя в сравнении с другими территориями Крыма и Краснодарского края. Эта специфика заключается в более высокой аккумуляции главным образом Co, Na, Fe и As по сравнению с жителями Краснодарского края [22] и Hg, Co, Ag, As, Fe, Na — относительно других территорий полуострова [9, 10]. Обращает внимание накопление Hg у симферопольцев, до 10 раз превышающее уровни этого токсичного металла у жителей г. Армянска, но существенно более низкое, чем у жителей Краснодарского края. Наблюдаемая тенденция к накоплению Hg в волосах населения крупных городов согласуется с подобной закономерностью увеличения содержания этого металла в листьях тополя с ростом численности населения [30].

Наиболее спорным вопросом при анализе полученных данных является обоснованность их оценки при отсутствии официальных нормативных значений как таковых. Более того, для этого необходимы натурные исследования их физиологической значимости, поскольку имеются наблюдения, свидетельствующие о наличии негативного эффекта на системы организма при низком эндогенном содержании токсичных ХЭ [31]. Настоящее и подобные исследования как раз и позволяют накопить данные, которые создадут возможность сориентироваться в отношении не только физиологически обоснованных величин содержания ХЭ в организме человека, но и установить их региональные нормы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате определения содержания 29 химических элементов установлен элементный профиль состава волос 80 жителей г. Симферополя, который характеризовался содержанием медиан в пределах референсных значений 25 из 29 элементов. Превышение со стороны Br и Ba, характерное для большинства членов обследованной популяции, по всей видимости, обусловлено естественными (геохимическими) условиями, в то время как значимые половые различия в содержании Na, Ca, Sb могут быть связаны с различиями в рационе питания, образе

жизни и с другими ассоциированными с полом факторами. Сравнение геохимических рядов элементов жителей Симферополя и других территорий Крыма и Краснодарского края позволяет констатировать, что специфической особенностью элементного состава волос городских жителей в Крыму является более высокое содержание Co, Na, Fe и As, а в сравнении с другими территориями полуострова — Hg, Ag, Zn, что может свидетельствовать о большем поступлении этих элементов в организм. Несмотря на в целом позитивную оценку элементного статуса жителей г. Симферополя, установленные нами ранее в этих условиях физиологические эффекты токсичных металлов и прогрессивный рост антропогенной нагрузки на территории города указывают на необходимость дальнейшего мониторинга ситуации.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Е.В. Евстафьева — концепция и дизайн исследования, интерпретация данных, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи; А.М. Богданова — получение, анализ и интерпретация данных, их графическое представление, подготовка первого варианта статьи; С.Л. Тымченко, Н.В. Барановская — получение, анализ и интерпретация данных, участие в подготовке первого варианта статьи; Д.В. Юсупов — интерпретация данных, участие в подготовке первого варианта статьи; И.А. Евстафьева — первичная интерпретация полученных результатов, подготовка первого варианта статьи; А.С. Макарова — интерпретация и описание данных по ртути, редакция текста статьи.

**Author contribution.** All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The greatest contribution is distributed as follows: E.V. Evstafeva — study concept and design, interpretation of data, final approval of the manuscript; A.M. Bogdanova — acquisition, analysis, interpretation and visualization of data, preparation of the first version of the article; S.L. Tymchenko, N.V. Baranovskaya — acquisition, analysis and interpretation of data, preparation of the first version of the article; D.V. Yusupov, I.A. Evstafeva — interpretation of data, preparation of the first version of the article; A.S. Makarova — analysis and interpretation of mercury data, correction of the text.

**Финансирование исследования.** Определение ртути в биосубстратах выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-29-24212), определение 28 элементов — при поддержке гранта Государственного Совета Республики Крым молодым учёным Республики Крым в 2020 г.

**Funding source.** Mercury analysis was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-29-24212; elemental

analysis was supported by the grant of the State Council of the Republic of Crimea for young scientists of the Republic of Crimea, 2020.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kist A.A., Zhuk L.I. Human hair composition and the problems of global ecology. Tashkent : Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991. 60 p.
2. Louro H., Heinälä M., Bessems J., et al. Human biomonitoring in health risk assessment in Europe: current practices and recommendations for the future // *Int J Hyg Environ Health*. 2019. Vol. 222, № 5. P. 727–737. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.05.009
3. Ковальский В.В., Ковальский Ю.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии. Москва : Россельхозакадемия, 2009.
4. Лисецкая Л.Г. Элементный профиль волос детей сельских районов Иркутской области // *Экология человека*. 2021. Т. 28, № 2. С. 13–19. doi: 10.33396/1728-0869-2021-2-13-19
5. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., et al. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population // *Environ Monit Assess*. 2015. Vol. 187, N 11. P. 677. doi: 10.1007/s10661-015-4903-x
6. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., et al. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population // *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015. Vol. 40, N 1. P. 18–21. doi: 10.1016/j.etap.2015.05.004
7. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2020 году. Симферополь : Совет министров Республики Крым, Министерство экологии и природных ресурсов, 2021.
8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2020 году: государственный доклад. Симферополь, 2021.
9. Радилов А.С. Комбарова М.Ю., Павлова А.А., и др. Содержание химических элементов в волосах населения, проживающего в г. Армянск (Республика Крым) в период чрезвычайной экологической ситуации // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2020. Т. 22, № 1. С. 49–60.
10. Evstafeva E., Baranovskaya N., Bogdanova A., et al. Elemental composition of human hair in different territories of the Crimean peninsula // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2019. Vol. 98. P. 02001. doi: 10.1051/e3sconf/20199802001
11. Трошина Е.А., Сеньюшкина Е.С., Маколина Н.П., и др. Йододефицитные заболевания: текущее состояние проблемы в Республике Крым // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2020. Т. 16, № 4. С. 19–27. doi: 10.14341/ket12700
12. Евстафьева Е.В., Голубкина Н.А., Бояринцева Ю.А., Богданова А.М., Тымченко С.Л. Обеспеченность селеном городских жителей на территории Крымского полуострова // *Гигиена и санитария*. 2021. Т. 100, № 2. С. 147–153. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153
13. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А. Очерки возрастной токсикологии / под ред. И.М. Трахтенберга. Киев : Авиценна, 2006. 316 с.
14. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Appendix II. In: Technical reports series. № 197. Vienna : IAEA, 1980. P. 351–367.
15. Ryabukhin Y.S. Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants. Vienna : IAEA, 1978.
16. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. Москва : ОНИКС 21 век. 2004.
17. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученных методом ИСП-АЭС (АНО ЦБМ) // *Микроэлементы в медицине*. 2003. Т. 4, № 1. С. 55–56.
18. National research council (US) committee on the toxicological effects of methylmercury. Toxicological effects of methylmercury. Washington (DC) : National Academy of Sciences, 2000. 344 p.
19. Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2008.
20. Новиков Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияния на организм / под ред. Короткова Ф.Г. Москва : Медицина, 1974.
21. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., и др. Геохимия окружающей среды. Москва : Недра, 1990.
22. Афтас Л.И., Березкина Е.С., Бонитенко Е.Ю. Элементный статус населения России. Ч. 3. Элементный статус населения Северо-Западного, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов / под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселева. Санкт-Петербург : Медкнига «Элби-СПб», 2012. 448 с.
23. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. Москва : Недра, 1977. 184 с.
24. Vainikka P., Hupa M. Review on bromine in solid fuels. Part 1: Natural occurrence // *Fuel*. 2012. Vol. 95. P. 1–14. doi: 10.1016/j.fuel.2011.11.068
25. Chojnacka K., Górecka H., Górecki H. The effect of age, sex, smoking habit and hair color on the composition of hair // *Environ Toxicol Pharmacol*. 2006. Vol. 22, N 1. P. 52–57. doi: 10.1016/j.etap.2005.11.006
26. Długaszek M., Skrzeczanowski W. Relationships between element contents in polish children's and adolescents' hair // *Biol Trace Elem Res*. 2017. Vol. 180, N 1. P. 6–14. doi: 10.1007/s12011-017-0987-1
27. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Оценка используемых для питьевого водоснабжения населения Крыма вод с точки зрения их физиологической полноценности // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2017. № 3 (67). С. 22–30.
28. Новикова Л.Н., Новиков Ю.А. Геохимическая классификация ландшафтов Крыма и их техногенное загрязнение // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2008. Т. 21 (60), № 3. С. 231–237.

29. Шнюков Е.Ф., Лукин А.Е. О самородных элементах в различных геотермах Крыма и сопредельных регионов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2011. № 2 (24). С. 5–30.
30. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Робертус Ю.В., и др. Ртуть в листьях тополя на урбанизированных территориях Юга Сибири

и Дальнего Востока // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 12. С. 56–62.

doi: 10.18412/1816-0395-2018-12-56-62

31. Бояринцева Ю.А., Евстафьева Е.В. Функциональное состояние нервной и сердечно-сосудистой систем в зависимости от уровня мышьяка в организме человека // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2014. Т. 4, № 3 (15). С. 4–6.

## REFERENCES

1. Kist AA, Zhuk LI. *Human hair composition and the problems of global ecology*. Tashkent: Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991.
2. Louro H, Heinälä M, Bessems J, et al. Human biomonitoring in health risk assessment in Europe: current practices and recommendations for the future. *Int J Hyg Environ Health*. 2019;222(5):727–737. doi:10.1016/j.ijheh.2019.05.009
3. Koval'skii VV, Koval'skii YuV. *Problems of biogeochemistry of microelements and geochemical ecology*. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2009. (In Russ).
4. Lisetskaya LG. Concentrations of trace elements in children's hair in rural areas of the Irkutsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021. Vol. 28, N 2. P. 13–19. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-2-13-19
5. Skalny AV, Skalnaya MG, Tinkov AA, et al. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environ Monit Assess*. 2015;187(11):677. doi: 10.1007/s10661-015-4903-x
6. Skalny AV, Skalnaya MG, Tinkov AA, et al. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015;40(1):18–21. doi: 10.1016/j.etap.2015.05.004
7. *The report about the state and protection of the environment on the territory of the Republic of Crimea in 2020*. Simferopol': Council of Ministers of the Republic of Crimea, Ministry of Ecology and Natural Resources, 2021. (In Russ).
8. *On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Republic of Crimea and the federal city of Sevastopol in 2020: state report*. Simferopol', 2021. (In Russ).
9. Radilov AS, Kombarova MYu, Pavlova AA, et al. Element content in hair of population living in the city of Armyansk (Crimea Republic) during the environmental emergency. *Medicine of extreme situations*. 2020;22(1):49–60. (In Russ).
10. Evstafeva E, Baranovskaya N, Bogdanova A, et al. Elemental composition of human hair in different territories of the Crimean peninsula. *E3S Web of Conferences*. 2019;98:02001. doi: 10.1051/e3sconf/20199802001
11. Troshina EA, Senyushkina ES, Makolina NP, et al. Iodine deficiency disorders: current state of the problem in the Republic of Crimea. *Clinical and experimental thyroidology*. 2020;16(4):19–27. (In Russ). doi: 10.14341/ket12700
12. Evstafeva EV, Golubkina NA, Boyarinceva YuA, Bogdanova AM, Tymchenko SL. Selenium status of urban residents on the territory of the Crimean peninsula. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(2):147–153. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153
13. Krasowski GN, Rakchmanin YuA. *Essay on developmental toxicology*. Trachtenberg IM, editor. Kiev: Avicenna; 2006. 316 p. (In Russ).
14. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Appendix II. In: *Technical reports series N 197*. Vienna, IAEA; 1980. P. 351–367.
15. Ryabukhin YS. *Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants*. Vienna, IAEA; 1978.
16. Skalny AV, Rudakov IA. *Bioelements in medicine*. Moscow: ONIKS 21 vek; 2004. (In Russ).
17. Skalny AV. Referent significance concentration of chemical elements carried out with AES-ISP methods. *Trace Elements in Medicine*. 2003;4(1):55–56. (In Russ).
18. National research council (US) committee on the toxicological effects of methylmercury. *Toxicological effects of methylmercury*. Washington (DC): National Academy of Sciences; 2000. 344 p.
19. Rebrov VG, Gromova OA. *Vitamins, macro- and microelements*. Moscow: GEOTAR-Media; 2008. (In Russ).
20. Novikov YuV. *Hygienic issues of studying the uranium content in the external environment and its effect on the organism*. Korotkov FG, editor. Moscow: Meditsina; 1974. (In Russ).
21. Saet YuE, Revich BA, Yanin EP, et al. *Geochemistry of the environment*. Moscow: Nedra; 1990. (In Russ).
22. Aftanas LI, Berezkina ES, Bonitenko EYu, et al. *Element status of Russian population. Part 3. Element status of population of the North-West, South and North-Caucasian Federal Districts*. Skalny AV, Kisel'ov MF, editors. Saint Petersburg: Medkniga «Jelbi-Spb»; 2012. 448 p. (In Russ).
23. Voytkovich GV, Miroshnikov AE, Povarennykh AS, Prokhorov VG. *Geochemistry Quick Guide*. Moscow: Nedra, 1977. 184 p. (In Russ).
24. Vainikka P, Hupa M. Review on bromine in solid fuels. Part 1: Natural occurrence. *Fuel*. 2012;95:1–14. doi: 10.1016/j.fuel.2011.11.068
25. Chojnacka K, Górecka H, Górecki H. The effect of age, sex, smoking habit and hair color on the composition of hair. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2006;22(1):52–57. doi: 10.1016/j.etap.2005.11.006
26. Długaszek M, Skrzeczanowski W. Relationships between element contents in polish children's and adolescents' hair. *Biol Trace Elem Res*. 2017;180(1):6–14. doi: 10.1007/s12011-017-0987-1
27. Ivanyutin NM, Podovalova SV. Assessment of water used for drinking water supply for population of the Crimea from the viewpoint of its physiological usefulness. *Puti povysheniia effektivnosti oroshaemogo zemledeliia*. 2017;(3(67)):22–30. (In Russ).

28. Novikova LN, Novikov YuA. Geochemical classification of Crimean landscapes and their technogenic pollution. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2008;21(60)(3):231–237. (In Russ).
29. Shnyukov EF, Lukin AE. On native elements in various geofor-mations of the Crimea and neighboring regions. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. 2011;(2(24):5–30. (In Russ).
30. Yusupov D, Rikhvanov L, Robertus Yu, et al. Mercury in pop-lar leaves in the urbanized areas of Southern Siberia and the Far East. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(12):56–62. (In Russ). doi: 10.18412/1816-0395-2018-12-56-62
31. Boyarinceva YA, Evstafyeva EV. Functional state of central ner-vous and cardio-vascular system related to the arsenic content in the human organism. *Crimea Journal of Experimental and Clinical Medicine*. 2014;4(3(15)):4–6. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

**\*Елена Владимировна Евстафьева**, д.б.н., профессор;  
адрес: Россия, 295007, Симферополь,  
пр. Академика Вернадского, 4;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8331-4149>;  
eLibrary SPIN: 2768-1760;  
e-mail: e.evstafeva@mail.ru

**Анна Михайловна Богданова**, младший научный сотрудник;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3041-6328>;  
eLibrary SPIN: 9152-1812;  
e-mail: nata@tpu.ru

**Светлана Леонидовна Тымченко**, к.м.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3298-6743>;  
eLibrary SPIN: 9334-8238;  
e-mail: rybqa@yahoo.com

**Наталья Владимировна Барановская**, д.б.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3729-800X>;  
eLibrary SPIN: 6256-8865;  
e-mail: nata@tpu.ru

**Дмитрий Валерьевич Юсупов**, к.г.-м.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6837-3538>;  
eLibrary SPIN: 5816-8648;  
e-mail: yusupovd@mail.ru

**Ирина Андреевна Евстафьева**, к.б.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-8241>;  
eLibrary SPIN: 4726-9015;  
e-mail: irinaevst76@mail.ru

**Анна Сергеевна Макарова**, д.т.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-4515>;  
eLibrary SPIN: 2089-5221;  
e-mail: annmakarova@mail.ru

## AUTHORS INFO

**\*Elena V. Evstafeva**, Dr. Sci. (Biol.), professor;  
address: 4 avenue Akademika Vernadskogo, 295007,  
Simferopol', Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8331-4149>;  
eLibrary SPIN: 2768-1760;  
e-mail: e.evstafeva@mail.ru

**Anna M. Bogdanova**, junior researcher;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3041-6328>;  
eLibrary SPIN: 9152-1812;  
e-mail: nata@tpu.ru

**Svetlana L. Tymchenko**, Cand. Sci. (Med.), associate Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3298-6743>;  
eLibrary SPIN: 9334-8238;  
e-mail: rybqa@yahoo.com

**Natalia V. Baranovskaya**, Dr. Sci. (Biol.), professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3729-800X>;  
eLibrary SPIN: 6256-8865;  
e-mail: nata@tpu.ru

**Dmitry V. Yusupov**, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.),  
associate professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6837-3538>;  
eLibrary SPIN: 5816-8648; e-mail: yusupovd@mail.ru

**Irina A. Evstafeva**, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-8241>;  
eLibrary SPIN: 4726-9015;  
e-mail: irinaevst76@mail.ru

**Anna S. Makarova**, Dr. Sci. (Tech.), professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-4515>;  
eLibrary SPIN: 2089-5221;  
e-mail: annmakarova@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author