

УДК 57.042:574.24:613.27]616-053.6/-071(571.61)

DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-79-85

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА БИОСРЕД ПОДРОСТКОВ ПРИАМУРЬЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОЖИВАНИЯ

А.О.Нестеренко¹, Г.П.Евсеева², Е.Д.Целых³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет», 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

²Хабаровский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный
научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт охраны
материнства и детства, 680022, г. Хабаровск, ул. Воронежская 49, корп. 1

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения», 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

РЕЗЮМЕ. Введение. Элементный статус организма отражает геохимический фон среды обитания, в том числе, дисбаланс многих микроэлементов в воде, почве данного региона. Представлены результаты содержания Fe, Cu, Mo, Zn, Co, Se, Th и U в волосах детей подросткового возраста, проживающих в различных регионах Приамурья. **Цель.** Проанализировать степень воздействия элементного состава питьевой воды и почвы на экологический портрет подростков, проживающих в разных районах Хабаровского края. **Материалы и методы.** Анализ микроэлементов в волосах, почве и питьевой воде проведен методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. **Результаты.** Достоверные корреляционные зависимости выявлены между содержанием Fe, Co, Mo, Th в волосах и воде ($r=0,48-0,89$), Fe, Cu, Zn, Se в волосах и почве ($r=0,38-0,71$). Величина корреляционных взаимосвязей у детей г. Хабаровска и Николаевского района в 1,5 раза выше, чем у подростков Охотского района. **Заключение.** Таким образом, дисбаланс микроэлементов в окружающей среде может влиять на здоровье и являться фактором риска развития экологически обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: микроэлементы, подростки, волосы, почва, вода.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF TEENAGERS' BIOSAMPLES DEPENDING ON LIVING CONDITIONS OF THE Khabarovsk Kray

A.O.Nesterenko¹, G.P.Evseeva², E.D.Tselikh³

¹Pacific National University, 136 Tihookeanskaya Str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation

²Khabarovsk Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute
of Maternity and Childhood Protection, 49/1 Voronezhskaya Str., Khabarovsk, 680022, Russian Federation

³Far Eastern State Transport University, 47 Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation

SUMMARY. Introduction. The elemental status of an organism reflects the geochemical background of the habitat, including the imbalance of trace elements in the water and soil of a given region. We presented the results of studying the concentration of Fe, Cu, Mo, Zn, Co, Se, Th and U in the hair of teenagers with different living conditions of the Khabarovsk Kray. **Aim.** To analyze the level of influence of the elemental composition of drinking water and soil on the ecological portrait of teenagers living in different regions of the Khabarovsk Kray. **Materials and methods.** The analysis of trace elements in hair, soil and drinking water was carried out by means of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. **Results.** Significant correlations were found between the concentration of Fe, Co, Mo, Th in hair and water

Контактная информация

Алена Олексовна Нестеренко, старший преподаватель кафедры биологии, экологии и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136. E-mail: alenushka_3@inbox.ru

Correspondence should be addressed to

Alena O. Nesterenko, Senior Lecturer, Department of Biology, Ecology and Chemistry, Pacific National University, 136 Tihookeanskaya Str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. E-mail: alenushka_3@inbox.ru

Для цитирования:

Нестеренко О.А., Евсеева Г.П., Целых Е.Д. Сравнительная характеристика элементного состава биосред подростков Приамурья в зависимости от условий проживания // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2023. Вып.88. С.79–85. DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-79-85

For citation:

Nesterenko A.O., Evseeva G.P., Tselikh E.D. Comparative characteristics of the elemental composition of teenagers' biosamples depending on living conditions of the Khabarovsk Kray. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2023; (88):79–85 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-79-85

($r=0.48-0.89$), Fe, Cu, Zn, Se in hair and soil ($r=0.38-0.71$). The value of correlation relationships among children of Khabarovsk and the Nikolaevsky district is 1.5 times higher than among teenagers of the Okhotsky district. **Conclusion.** Thus, an imbalance of trace elements in the environment can affect health and be a risk factor for the development of environmentally related diseases.

Key words: trace elements, teenagers, hair, soil, water.

Многочисленными исследованиями подтверждено, что элементный статус организма отражает геохимический фон среды обитания, в том числе, дисбаланс многих микроэлементов (МЭ) в воде, почве данной территории [1, 2]. Химические элементы способны активно включаться в круговорот веществ и мигрировать по пищевым цепям к человеку, что может приводить к возникновению экологозависимых заболеваний [3, 4].

Как известно, Хабаровский край характеризуется повышенным содержанием Fe, Mn, недостатком Se в окружающей среде. Загрязненность соединениями Fe, Cu и Zn характерна практически для всех водных объектов. В 2021 году по итогам гидрохимических наблюдений были выявлены 1 случай экстремально высокого загрязнения соединениями свинца и 48 случаев высокого загрязнения поверхностных вод на территории Хабаровского края соединениями марганца, меди, железа общего, цинка, алюминия, кадмия и молибдена [5].

Согласно литературным данным, в Николаевском и Охотском районах Хабаровского края распространены радиоаномалии с высоким содержанием Th и U [6], которые могут оказывать влияние на элементный гомеостаз жителей [1]. Одним из факторов, повышающих риск нарушения элементного гомеостаза, является поступление радиоактивных элементов, биологическая роль которых до настоящего времени остается открытой [7].

Одним из приоритетных направлений региональной политики Хабаровского края является сохранение здоровья коренных малочисленных народов Севера. В условиях биогеохимической провинции организм вырабатывает адаптивные механизмы, компенсирующие дисбаланс ряда МЭ в среде, в течение многих поколений. Однако в районах компактного проживания коренного населения с 2010 по 2020 гг. наблюдается рост заболеваемости подростков: нивхов (Николаевский район) и эвенов (Охотский район) в 1,8 и 1,4 раза, соответственно, что указывает на присутствие у коренных жителей признаков истощения функциональных резервов организма. В связи с этим особую актуальность приобретает оценка экологического состояния окружающей среды и анализ содержания химических элементов в волосах, отражающий длительность и характер их поступления в организм [3].

Цель исследования – проанализировать степень воздействия элементного состава питьевой воды и почвы на экологический портрет подростков, проживающих в разных районах Хабаровского края.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены с учетом требований

Хельсинкской декларации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» с поправками 2013 года и нормативными документами «Правила надлежащей клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом МЗ РФ №200 от 01.04.2016. Дизайн исследования одобрен решением Этического комитета Хабаровского филиала ДНЦ ФПД – НИИ ОМИД, получено информированное согласие родителей всех детей на участие в исследовании.

Методом случайного отбора были исследованы образцы волос у подростков ($n=121$), проживающих в различных районах Хабаровского края: нивхов ($n=25$) и этнических русских ($n=24$) Николаевского района; эвенов ($n=54$) и русских ($n=18$) Охотского района. Подростки г. Хабаровска являются группой сравнения ($n=33$). Средний возраст подростков составил $15,2 \pm 0,6$ лет.

Отбор проб питьевой воды выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТа 56237-2014 «Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах». Мониторинг элементного состава питьевой воды производился в течение года по сезонам (2019-2020 гг.). Пробы питьевой воды были взяты в п. Арка Охотского района ($n=20$), п. Лазарев Николаевского района ($n=20$) и г. Хабаровске ($n=20$) ежеквартально. Отбор проб производился в водопроводных кранах школ и частных домов.

Отбор почвенных образцов производился однократно в осенний период (2019 г.) на земельных участках п. Арка Охотского района ($n=10$), п. Лазарев Николаевского района ($n=10$) и г. Хабаровске ($n=10$). Отбор выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Определение примесей Fe, Cu, Co, Mo, Se, Zn, Th и U в питьевой воде, почве и волосах проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой в аккредитованной лаборатории на базе Хабаровского инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН.

Статистический анализ проводился с использованием стандартных методов вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок, с использованием коэффициента Стьюдента, с учетом «ошибки средней» – $M \pm m$. Степень связности параметров оценивалась с помощью веса корреляционного графа (G), рассчитывае-

мого как сумма соответствующих коэффициентов парной корреляции:

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}|$$

где r_{ij} – коэффициенты корреляции между i -м и j -м показателями, α определяется уровнем достоверности r_{ij} . Определялось количество и степень выраженности достоверных корреляционных связей в общем числе

рассмотренных коэффициентов корреляции, значения которых больше или равны α [8, 9].

Для математических расчетов использовались статистический пакет Statistica 10.0 и офисный пакет Microsoft Office Excel 2013.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты анализа проб питьевой воды в обследованных районах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание ($M \pm m$) эссенциальных и радиоактивных микроэлементов в питьевой воде Хабаровского края (мг/л)

Микроэлементы	г. Хабаровск (n=20)	п. Лазарев Николаевского района (n=20)	п. Арка Охотского района (n=20)	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21
Fe	0,452±0,05*	0,286±0,02 [#]	0,146±0,01 [^]	0,3
Cu	0,046±0,005*	0,001±0,0001 [#]	0,002±0,0003 [^]	1,0
Co	0,0038±0,0005*	0,0019±0,0002 [#]	0,0003±0,0001 [^]	0,1
Zn	0,326±0,04*	0,037±0,004 [#]	0,009±0,0001 [^]	5,0
Mo	0,002±0,0003	0,002±0,0001 [#]	0,0548±0,00005 [^]	0,07
Se	0,002±0,0002	0,002±0,0002 [#]	0,0001±0,0002 [^]	0,01
Th	0,002±0,0003	0,001±0,0005	0,001±0,0001 [^]	0,03 ¹
U	0,002±0,0002*	0,005±0,0005 [#]	0,001±0,0001 [^]	0,015 ¹

Примечание: Здесь и далее: ¹ПДК по Руководству по обеспечению качества питьевой воды ВОЗ (2017). Превышение ПДК выделено жирным шрифтом; концентрация МЭ, соответствующая верхней границе норматива, выделена курсивом. * – достоверность различий ($p < 0,001$) в группах г. Хабаровск – п. Лазарев. [^] – достоверность различий ($p < 0,001$) в группах г. Хабаровск – п. Арка. [#] – достоверность различий ($p < 0,001$) в группах п. Лазарев – п. Арка.

Проведенными исследованиями установлено, что в пробах питьевой воды Охотского и Николаевского районов, г. Хабаровска концентрация исследуемых МЭ, в основном, соответствует ПДК. Повышенное содержание Fe в 40% случаев зафиксировано в пробах питьевой воды г. Хабаровска, превышающее норматив от 1,3 до 3,4 раз ($p < 0,001$). Следует отметить достоверно низкое содержание эссенциальных элементов во всех пробах питьевой воды Хабаровского края: Cu, Co, Zn, Se ($p < 0,001$), более выраженное в северных районах. В пробах питьевой воды обнаружено содержание Th и U. Однако концентрация радиоактивных элементов не превышала установленные нормативы.

В таблице 2 представлены средние концентрации эссенциальных и радиоактивных элементов в почвах обследованных районов.

Установлено, что за анализируемый период концентрация Fe в образцах почв Охотского района соответствовала ПДК, а в Николаевском районе и г. Хабаровске превышала ПДК в 1,4-1,9 раза ($p < 0,001$). Концентрация Cu в Охотском районе соответствовала ОДК, в Николаевском районе в 1,2 раза превышала ОДК (в 80% проб содержание превышало ОДК). В поч-

вах г. Хабаровска содержание Cu было снижено в 4,2 раза.

Анализ образцов почв выявил избыточное содержание Zn во всех пробах: в Охотском районе превышение ПДК составило 7,9 раза, в Николаевском районе и в г. Хабаровске – 2,8-3,1 и 2,0-4,3 раза, соответственно, $p < 0,001$.

Установлено, что содержание Co в почве Охотского района находится в пределах ПДК. В Николаевском районе концентрация Co во всех пробах была выше в 3,4 раза по сравнению с ПДК ($p < 0,001$). В образцах почв г. Хабаровска также выявлено превышение содержания Co в 1,3 раза.

Содержание Mo и Se в анализируемых образцах дефицитно, так как биогеохимическая провинция Хабаровского края бедна представленными эссенциальными МЭ [12].

Концентрация Th в почвах Охотского района ниже фоновых значений, а в Николаевском районе и г. Хабаровске превышает в 1,95 и 1,90 раза, соответственно. Причиной высокого содержания Th в образцах почв Николаевского района является активный рудогенез на данной территории [6].

Содержание U в почвенных образцах не превышало фоновых значений по всем исследуемым районам.

Таким образом, анализ проб питьевой воды и почв показал дефицитное содержание эссенциальных элементов (Mo, Se) во всех районах Хабаровского края. В питьевой воде также определена низкая концентрация

Cu, Co и Zn.

Эссенциальные элементы поступают в организм с водой и, как показано нами ранее, с пищей [13]. Суммарное поступление МЭ из атмосферного воздуха, воды и пищевых продуктов отражается их содержанием в волосах (табл. 3).

Таблица 2

Содержание ($M \pm m$) эссенциальных и радиоактивных микроэлементов в почве Хабаровского края (мг/кг)

Микроэлементы	г. Хабаровск (n=20)	п. Лазарев Николаевского района (n=20)	п. Арка Охотского района (n=20)	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21
Fe	46712,8±822,0	44852,78±500,12[#]	11969,18±718,32 [^]	25000
Cu	15,8±1,67*	76,506±7,02[#]	40,436±4,33 [^]	66 (ОДК)
Co	6,43±0,60*	16,998±2,49[#]	3,662±0,25 [^]	5
Zn	65,99±4,78	66,848±6,27[#]	181,904±15,3[^]	23
Mo	0,83±0,07*	0,534±0,05 [#]	2,066±0,28 [^]	253 ¹
Se	0,0016±0,0001*	0,001±0,0001 [#]	0,07±0,01 [^]	0,11 ¹
Th	1,356±0,40*	5,856±0,61[#]	2,036±0,3	3 ²
U	2,85±0,31*	1,324±0,011 [#]	0,422±0,04 [^]	3 ²

Примечание: ¹ввиду отсутствия установленных ПДК и ОДК Mo и Se в почве были взяты данные по T.Crommentuijn et al. [10]; ²фоновые значения Th и U по И.Г.Асылбаеву и соавт. [11].

Таблица 3

Концентрация ($M \pm m$) микроэлементов в волосах (мкг) подростков разных этнических групп, проживающих на территории Хабаровского края

Микроэлементы	Охотский район (n=72)	Николаевский район (n=49)	г. Хабаровск (n=23)
Fe (5,0-25)	23,55±2,75	54,25±8,38***	65,699±13,30***
Co (0,02-0,11)	0,043±0,009	0,19±0,05***	0,229±0,06***
Cu (8-12)	8,32±0,51	5,23±0,70	13,046±4,53*
Zn (94-183)	136,3±10,51	246,58±29,81***	142,031±21,56
Se (0,5-1,5)	0,2218±0,003	0,011±0,001	0,281±0,03
Mo (0,02-2,0)	0,026±0,0044	0,014±0,002	0,045±0,01
Th (<0,001)	0,0017±0,0009***	0,014±0,001***	0,017±0,005***
U (0,003)	0,0026±0,0007	0,027±0,003	0,029±0,013

Примечание: В скобках указаны нормативы содержания МЭ: норматив Th и U в волосах – по Д.В.Наркович (2012), нормативы содержания в волосах показаны по Д.Оберлис, Б.Харланд, А.Скальному (2008). * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$ – статистическая достоверность различий показателей с границей физиологического норматива.

Анализ волос показал, что содержание Fe и Co в группах подростков Охотского района находилось в пределах референтных значений. В группах Николаевского района и г. Хабаровска концентрация Fe превышала норматив в 2,16 и 2,63 раза, концентрация Co – в 1,73 и 2,08 раза, соответственно.

Содержание Cu в волосах было на нижней границе

референтных значений среди подростков Охотского района и дефицитное – в Николаевском районе, в г. Хабаровске превысило норматив в 1,10 раза.

Анализ содержания Zn выявил превышение нормативных значений в волосах подростков Николаевского района, в остальных группах содержание соответствовало пределам референтных значений.

Содержание Se дефицитно в волосах подростков всех обследуемых групп ($p < 0,001$). В группе Николаевского района выявлен дефицит Mo (в 1,43 раза ниже референтных значений), в группах Охотского района и г. Хабаровска – на нижней границе.

Установлены высокие концентрации Th в волосах подростков всех групп по сравнению с референтными значениями ($p < 0,001$). Концентрация U находилась в пределах верхней границы физиологического норматива в волосах всех групп. Пограничные показатели факторов среды приводят к дисфункциональным состояниям организма (которые являются обратимыми). Однако при длительном действии стрессора возникают дизадаптации.

В результате анализа элементного состава проб питьевой воды, почвы и образцов волос подростков, проживающих в районах Хабаровского края с различными климатическими условиями, были установлены корреляционные связи. Значимые прямые зависимости

содержания элементов в воде и почве выявлены для Zn ($r = 0,86$, $p < 0,05$), Fe ($r = 0,59$; $p < 0,05$) и U ($r = 0,9$; $p < 0,05$). Отрицательные зависимости выявлены между концентрацией Se в воде и почве ($r = -0,81$; $p < 0,05$) и Cu в воде и почве ($r = 0,39$; $p < 0,05$).

Достоверные корреляционные зависимости выявлены между содержанием Fe, Co, Mo, Th в волосах и воде ($r = 0,48-0,89$; $p < 0,05$), Fe, Cu, Zn, Se в волосах и почве ($r = 0,38-0,71$; $p < 0,05$).

В ряде исследований было показано, что при неблагоприятных внешних воздействиях уровень корреляций между различными параметрами организма повышается [14].

Анализ корреляционных взаимосвязей содержания МЭ в волосах подростков с использованием метода корреляционной адаптометрии показал, что величина корреляционного графа у детей г. Хабаровска и Николаевского района в 1,5 раза выше, чем у подростков Охотского района (рис.).

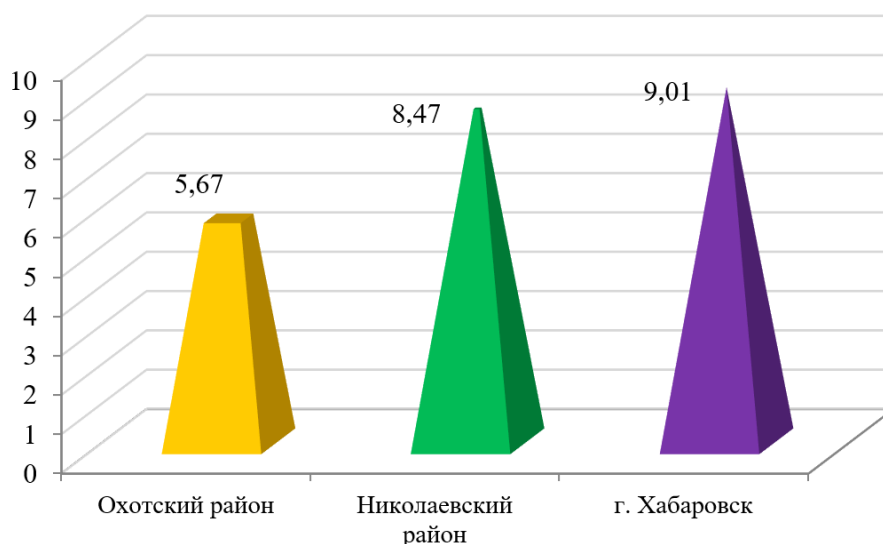


Рис. Вес корреляционного графа у подростков, проживающих в различных районах Хабаровского края.

Это может свидетельствовать об экологическом напряжении адаптационных механизмов у подростков, проживающих в данных экологических условиях. Этот метод позволяет количественно оценить степень здоровья групп людей и заблаговременно прогнозировать возможные неблагоприятные изменения здоровья.

Таким образом, проведенные исследования показали, что питьевая вода в ряде случаев имеет превышение ПДК по содержанию Fe и дефицит эссенциальных элементов (Cu, Co, Zn, Mo, Se). Во всех образцах почв установлены низкие концентрации Mo, Se, высокие – Fe. Также в Николаевском районе выявлено повышенное содержание Th в почвах. Элементный дисбаланс отражается на их концентрации в волосах подростков, проживающих на территориях геохимических аномалий, и может являться фактором риска развития экологически обусловленных заболеваний.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Источники финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на реализацию проектов в области фундаментальных и технических наук из бюджета Хабаровского края (грант №113/2018Д от 28.06.2018)

Funding Sources

The study was supported by a grant for the implementation of projects in the field of fundamental and technical sciences from the budget of the Khabarovsk Krai (grant No. 113/2018D dated June 28, 2018)

ЛИТЕРАТУРА

1. Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. Т.98, №2. С.148–152. EDN: YZNARV. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152>
2. Евсеева Г.П., Пичугина С.В., Яковлев Е.И., Пепеляева Л.Р. Экологическое воздействие качества окружающей среды Хабаровского края на уровень заболеваемости детского населения // Региональные проблемы. 2018. Т.21, №4. С.93–100. EDN: YQWXEL. <https://doi.org/10.31433/1605-220X-2018-21-4-93-100>
3. 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. EDN: RKRTQZ.
4. Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга // Микроэлементы в медицине. 2018. Т.19, №1. С.5–13. EDN: XODDRR. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13>
5. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2021 году. Хабаровск: Министерство природных ресурсов Хабаровского края. 2022. 256 с. URL: <https://mpr.khabkrai.ru/Deyatelnost/Ekologiya/Gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayuschej-sredy-Habarovskogo-kрая>
6. Коковкин А.А. Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена, металлогения Сихотэ-Алинской рудной провинции // Региональная геология и металлогения. 2013. №53. С.105–113. EDN: RFSBML.
7. Барановская Н.В., Агеева Е.В., Соктоев Б.Р., Наркович Д.В., Денисова О.А., Матковская Т.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т.331, №2. С.17–28. EDN: EMMYY. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/2/2477>
8. Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И. Модельное обоснование корреляционной адаптометрии с применением методов эволюционной оптимальности // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т.43, №2. С.308–320. EDN: OOCZPJ.
9. Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов. М.: Московский психол.-соц. ин-т. Изд-во Флинта. 2003. 336 с. ISBN: 978-5-9765-1917-6.
10. Crommentuijn T., Polder M.D., van de Plassche E.J. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account // RIVM Report 601501 001. Bilthoven, Netherlands, 1997. URL: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601501001.pdf>
11. Асылбаев И.Г. Хабиров И.К., Габбасова И.М., Рафиков Б.В., Лукманов Н.А. Геохимия урана и тория в почвах Южного Урала // Почвоведение. 2017. №12. С.1468–1476. EDN: ZWLVPP. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17120048>
12. Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А., Папазян Т.Т., Сенкевич О.А. Селеновый статус жителей Хабаровского края 2018 г. // Микроэлементы в медицине. 2019. Т.20, №3. С.45–53. EDN: MQKSKN. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2019-20-3-45-53>
13. Нестеренко А.О., Целых Е.Д., Христофорова Н.К., Бердников Н.В. Анализ элементного состава сыворотки крови и волос подростков разных этнических групп хабаровского края на фоне рациона питания и техногенного загрязнения территории // Сеченовский вестник. 2018. №2. С.26–32. EDN: UUYAYU.
14. Горбань А.Н., Манчук В.Т., Петушкова Е.В. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и экологоэволюционный принцип полифакториальности // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем (Экологический мониторинг и моделирование экосистем). 1987. Т.10. С.187–198. EDN: RFMCYJ.

REFERENCES

1. Salnikova E.V., Burtseva T.I., Skalny A.V. [Regional peculiarities of trace elements in the biosphere and the human body]. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation* 2019; 98(2):148–152 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152>
2. Evseeva G.P., Pichugina S.V., Yakovlev E.I., Pepelyaeva L.R. [Environmental impact the environmental quality of the Khabarovsk krai in the incidence of children population]. *Regionalnye problemy = Regional Problems* 2018; 21(4):93–100 (in Russian). <https://doi.org/10.31433/1605-220X-2018-21-4-93-100>
3. Agadzhanian N.A., Skalny A.V., Detkov V.Yu. [Human elemental portrait: morbidity, demography and problem of nation health management]. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology* 2013; 11:3–12 (in Russian).
4. Skalny A.V. [Evaluation and correction of elemental status of the population as a perspective direction of national healthcare and environmental monitoring]. *Mikroelementy v medicine = Trace Elements in Medicine* 2018; 19(1):5–13 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13>
5. [State report on the state and environmental protection of the Khabarovsk Territory in 2021]. Khabarovsk; 2022 (in Russian). Available at: <https://mpr.khabkrai.ru/Deyatelnost/Ekologiya/Gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayuschej-sredy-Habarovskogo-kрая>

6. Kokovkin A.A. [The newest structure of the Sikhote-Alin orogen, the meteorology of the Sikhote-Alin ore province]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya = Regional geology and metallogeny* 2013; (53):105–113 (in Russian).
7. Baranovskaya N.V., Ageeva E.V., Soktoev B.R., Narkovich D.V., Denisova O.A., Matkovskaya T.V. [Rare earth and radioactive (TH, U) elements in the components of the environment on the territory of Tomsk region]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering* 2020; 331(2):17–28 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/2/2477>
8. Razzhevaikin V.N., Shpitionkov M.I. [Substantiation of correlation adaptometry based on evolutionary optimality principles]. *Zhurnal vychislitel'noi matematiki i matematicheskoi fiziki = Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics* 2003; 43(2):308–320 (in Russian).
9. Ermolaev O.Yu. [Mathematical statistics for psychologists]. Moscow; 2003 (in Russian). ISBN: 978-5-9765-1917-6.
10. Crommentuijn T., Polder M.D., van de Plassche E.J. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. RIVM Report 601501 001. Bilthoven, Netherlands; 1997. Available at: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601501001.pdf>
11. Asylbaev I.G., Khabirov I.K., Rafikov B.V., Lukmanov N.A., Gabbasova I.M. Geochemistry of Thorium and Uranium in soils of the Southern Urals. *Eurasian Soil Science* 2017; 50(12):1406–1413. EDN: XYCMLJ. <https://doi.org/10.1134/S1064229317120031>
12. Kovalsky Yu.G., Golubkina N.A., Papazyan T.T., Senkevich O.A. [The human selenium status of Khabarovsk land in 2018]. *Mikroelementy v medicine = Trace Elements in Medicine* 2019; 20(3):45–53 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2019-20-3-45-53>
13. Nesterenko A.O., Tselykh E.D., Khristoforova N.K., Berdnikov N.V. [Analysis of the elemental composition in blood serum and hair of adolescents of different ethnic groups in Khabarovsk krai in connection with nutrition and technogenic contamination of territories]. *Sechenovskiy vestnik = Sechenov Medical Journal* 2018; (2):26–32 (in Russian).
14. Gorban A.N., Manchuk V.T., Petushkova E.V. [Dynamics correlations between physiological adaptation parameters and ecological-evolutionary polyfactorial principle]. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling* 1987; 10:187–198 (in Russian).

Информация об авторах:

Алена Олековна Нестеренко, старший преподаватель кафедры биологии, экологии и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»; e-mail: alenushka_3@inbox.ru

Галина Петровна Евсеева, д-р мед. наук, зам. директора по научной работе, главный научный сотрудник группы медико-экологических проблем здоровья матери и ребенка лаборатории комплексных методов исследования бронхолегочной и перинатальной патологии, Хабаровский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства; e-mail: evseeva@yandex.ru

Екатерина Дмитриевна Целых, д-р биол. наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»; e-mail: celixed@mail.ru

Author information:

Alena O. Nesterenko, Senior Lecturer, Department of Biology, Ecology and Chemistry, Pacific National University; e-mail: alenushka_3@inbox.ru

Galina P. Evseeva, MD, PhD, DSc (Med.), Deputy Director on Scientific Work, Main Staff Scientist of the Group of Health and Environmental Problems of Mother and Child Health, Laboratory of Integral Methods of Bronchopulmonary and Perinatal Pathology Research, Khabarovsk Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Maternity and Childhood Protection; e-mail: evseeva@yandex.ru

Ekaterina D. Tselikh, PhD, DSc (Biol.), Professor of Department of Technosphere Safety, Far Eastern State Transport University, 47 Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: celixed@mail.ru

Поступила 28.02.2023
Принята к печати 16.03.2023

Received February 28, 2023
Accepted March 16, 2023