



Михайлова Л.А.¹, Барановская Н.В.², Бондаревич Е.А.¹, Витковский Ю.А.¹,
Жорняк Л.В.², Эпова Е.С.³, Ерёмин О.В.³, Нимаева Б.В.¹, Агеева Е.В.²

Определение элементного гомеостаза детского населения Забайкальского края методом многоэлементного инструментального нейтронно-активационного анализа

¹ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 672000, Чита, Россия;

²ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, Томск, Россия;

³ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», 672014, Чита, Россия

Введение. Биогеохимическая среда территории Восточного Забайкалья характеризуется избытком, недостатком или неблагоприятным соотношением многих макро- и микроэлементов в почве, воде и растительности, обусловленными металлогеническими особенностями региона и деятельностью предприятий горнорудной промышленности на протяжении более трёхсот лет.

Цель исследования – изучить особенности накопления в волосах детского населения химических элементов и выявить специфику в их распределении в зависимости от природно-техногенных факторов.

Материалы и методы. Отбор проб волос был проведён у 79 детей в возрасте от 5 до 12 лет, проживающих на территориях геохимических аномалий и в административном центре региона – г. Чите. Элементный состав проб на содержание 28 химических элементов был определён методом многоэлементного инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Статистическая обработка результатов выполнена с помощью непараметрических методов, рассчитывались коэффициенты концентрации относительно регионального фона.

Результаты. В биосубстратах, полученных в населённых пунктах Вершино-Шахтаминский, Шерловая Гора, Калга, Урулюнгуи, выявлено превышающее региональный фон содержание следующих веществ: сурьмы, золота, мышьяка, европия, иттербия, серебра, сурьмы, редкоземельных элементов, кобальта, хрома, цинка и железа. Указанные населённые пункты находятся в зоне действия геохимических аномалий, формирование которых связано с наличием разнообразных и многочисленных месторождений свинцово-цинковых, золото-полиметаллических, оловянных, молибденовых руд и деятельностью предприятий горнорудной отрасли.

Ограничение исследования. Изучение элементного гомеостаза детей и подростков, проживающих в условиях природных и техногенных геохимических аномалий Забайкальского края, включало анализ содержания 28 химических элементов в волосах.

Заключение. Выявленные особенности распределения и накопления определённого спектра химических веществ в биосубстрате детей и подростков отражают как металлогенические особенности каждой территории, так и техногенное воздействие, что позволяет сформировать представление об уникальной региональной составляющей элементного гомеостаза населения.

Ключевые слова: элементный гомеостаз; волосы; инструментальный нейтронно-активационный анализ; Забайкальский край; геохимические аномалии; дети

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, протокол заседания № 95 от 25.06.2019 г., проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации 1975 г. и её пересмотра 1983 г.

Согласие пациентов. Каждый участник исследования (или его законный представитель) дал информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании и публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Гигиена и санитария».

Для цитирования: Михайлова Л.А., Барановская Н.В., Бондаревич Е.А., Витковский Ю.А., Жорняк Л.В., Эпова Е.С., Ерёмин О.В., Нимаева Б.В., Агеева Е.В. Определение элементного гомеостаза детского населения Забайкальского края методом многоэлементного инструментального нейтронно-активационного анализа. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(2): 197–205. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-197-205> <https://elibrary.ru/nsgows>

Для корреспонденции: Михайлова Лариса Альфредовна, канд. мед. наук, доцент, зав. каф. гигиены ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, 672000, Чита. E-mail: mihailova-la@mail.ru

Участие авторов: Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А. – концепция и дизайн исследования, написание текста; Барановская Н.В., Витковский Ю.А. – написание текста, редактирование; Жорняк Л.В. – обработка геохимических данных; Эпова Е.С., Ерёмин О.В., Нимаева Б.В. – сбор материала и обработка данных; Агеева Е.В. – проведение пробоподготовки биоматериала к аналитическим исследованиям. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование поддержано грантом РНФ (Грант № 20-64-47021 «Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих») при проведении анализа материала.

Поступила: 31.005.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликована: 25.03.2023

Larisa A. Mikhailova¹, Natalia V. Baranovskaya², Evgeny A. Bondarevich¹, Yuri A. Vitkovsky¹, Lina V. Zhornyak², Ekaterina S. Epova³, Oleg V. Eremin³, Balzhit V. Nimaeva¹, Elena V. Ageeva²

Determination of the elemental homeostasis in children population in Zabaikalsky Krai by multi-element instrumental neutron activation analysis

¹Chita State Medical Academy, Chita, 672000, Russian Federation;

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russian Federation;

³Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, 672014, Russian Federation

Introduction. The biogeochemical environment of the territory of the Eastern Zabaikalye is characterized by excess, deficiency or unfavourable ratio of many macro- and microelements in soil, water and vegetation. This is due to the metallogenic characteristics of the region and industrial mining activities, carried out for more than three hundred years.

The aim of the study was to investigate the accumulation of chemical elements in the hair in children and to identify specifics in their distribution depending on the naturally occurring and technogenic factors.

Materials and method. Hair samples were taken from seventy nine 5–12 years children living in the areas of geochemical anomalies and in the administrative centre of the region, Chita. The elemental composition of the samples for 28 chemical elements was determined by multi-element instrumental neutron activation analysis (INAA). Statistical processing of the results was carried out using nonparametric methods, concentration coefficients were calculated relative to the regional background.

Results. In settlements (V-Shakhtaminsky, Sherlovaya Gora, Kalga, Urulyungui) located in the zone of geochemical anomalies, which formation is associated with the presence of various and numerous deposits of lead-zinc, gold-polymetallic, tin, molybdenum ore and mining operations, the maximum amount of substances with content exceeding the regional background is observed in the biosubstrate. The values of concentration ratios above the background were established for antimony, gold, arsenic, europium, ytterbium, silver, rare-earth elements, cobalt, chromium, zinc and iron.

Limitations. In studying the elemental homeostasis of children and adolescents living in natural and anthropogenic geochemical anomalies of Zabaikalsky Krai, the content of 28 chemical elements in hair was analyzed.

Conclusion. The revealed characteristics of distribution and accumulation of certain spectrum of chemical substances in biosubstrate in children and adolescents reflect both metallogenic features of each territory and technogenic impact, which allows forming an idea of a unique regional component of the elemental homeostasis in the population.

Keywords: elemental homeostasis; hair; INAA; Zabaykalsky Krai; geochemical anomalies; children

Compliance with ethical standards. The study was approved by the local ethical committee of Chita State Academy of Medicine, minutes of meeting No. 95 of 25.06.2019. Ethical principles of research were consistent with the principles of the Helsinki Declaration of 1975 and its revision in 1983.

Patient consent. Each participant of the study (or his/her legal representative) gave informed voluntary written consent to participate in the study and publish personal medical information in an impersonal form in the journal "Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)".

For citation: Mikhailova L.A., Baranovskaya N.V., Bondarevich E.A., Vitkovsky Yu.A., Zhornyak L.V., Epova E.S., Eremin O.V., Nimaeva B.V., Ageeva E.V. Determination of the elemental homeostasis in children population in the Zabaikalsky Krai by multi-element instrumental neutron activation analysis. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(2): 197–205. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-197-205> <https://elibrary.ru/nsgows> (In Russian)

For correspondence: Larisa A. Mikhailova, MD, PhD, Head of the Department of Hygiene of the Chita State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chita, 672000, Russian Federation. E-mail: mihailova-la@mail.ru

Information about the authors:

Mikhailova L.A., <https://orcid.org/0000-0001-7470-990X>

Bondarevich E.A., <https://orcid.org/0000-0002-0032-3155>

Zhornyak L.V., <https://orcid.org/0000-0002-4170-1976>

Eremin O.V., <https://orcid.org/0000-0002-0849-4557>

Ageeva E.V., <https://orcid.org/0000-0001-9104-9325>

Baranovskaya N.V., <https://orcid.org/0000-0003-3729-800X>

Vitkovsky Yu. A., <https://orcid.org/0000-0001-9244-1038>

Epova E.S., <https://orcid.org/0000-0002-5670-6809>

Nimaeva B.V., <https://orcid.org/0000-0002-8029-6213>

Contribution: Mikhailova L.A., Bondarevich E.A. – the concept and design of the study, writing a text; Baranovskaya N.V., Vitkovsky Yu.A. – writing a text, editing; Zhornyak L.V. – biogeochemical data processing; Epova E.S., Eremin O.V., Nimaeva B.V. – collection and processing of material; Ageeva E.V. – sample preparation of biomaterial for analytical detections. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgment. The study was supported by the grant of Russian Science Foundation (Grant No. 20-64-47021 "Influence of lithological and geochemical specificity of mountainous landscapes of Siberia and the Far East on the formation of the elemental composition of the organism of mammals") in the analysis of the material.

Received: May 31, 2022 / Accepted: December 8, 2022 / Published: March 25, 2023

Введение

Биогеохимическая среда территории Восточного Забайкалья характеризуется избытком, недостатком или неблагоприятным соотношением многих макро- и микроэлементов в почве, воде и растительности, что создаёт определённую напряжённость в функционировании отдельных органов и систем организма человека и служит фактором риска развития известных нозологических форм и специфических заболеваний, то есть эндемий [1]. Формирование геохимических аномалий в регионе связано не только с геологическими особенностями местности, но и с техногенным воздействием, обусловленным деятельностью предприятий горнорудной промышленности. За длительный период эксплуатации месторождений сформировалось значительное количество объектов накопленного экологического риска, большинство из которых возникло в 1940–1980 гг. и после закрытия горнорудных предприятий в 1990-е годы не подверглось рекультивации [2, 3].

На территории края в пределах горнорудных узлов находится множество селитебных ландшафтов. Для них характерно наличие горнопромышленной инфраструктуры (горные выработки, карьеры, отвалы, хвостохранилища обогатительных фабрик) в черте населённого пункта либо в непосредственной близости от него. Очевидно, что геологические, ландшафтно-геоморфологические, гидрогеологические, геохимические и другие факторы либо их синергетическое воздействие напрямую оказывают влияние на все трофические цепи, конечным звеном которых является человек [4].

При оценке геохимических особенностей территорий широко используются биологические маркёры – концентрации химических веществ в биосубстратах человека, которые отражают нагрузку на организм, формируемую токсичными и потенциально токсичными соединениями, а также уровень обеспеченности эссенциальными элементами. За счёт способности концентрировать химические элементы, находящиеся в различных компонентах окружающей среды, волосы являются удобным биомаркёром при изучении элементного гомеостаза. Их анализ относится к наиболее перспективным методам интегральной оценки состояния среды обитания и её влияния на организм человека [5, 6]. Изучение химического состава волос позволяет неинвазивно выявлять патологические изменения в организме человека на ранних стадиях, в том числе в донозологический период, поэтому подобные исследования являются весьма актуальными для выявления экологически обусловленных заболеваний и разработки мер их профилактики.

Цель исследования – изучить особенности накопления в волосах детского населения Забайкальского края химических элементов и выявить специфику их распределения в зависимости от природно-техногенных факторов.

Материалы и методы

Отбор проб волос был проведён у 79 детей в возрасте от 5 до 12 лет, постоянно проживающих в г. Чите и юго-восточных районах Забайкальского края: Нерчинско-Заводском (сёла Уровские Ключи и Нерчинский Завод), Газимуро-Заводском (с. Тайна), Калганском (с. Калга), Борзинском (посёлок городского типа (пгт) Шерловая Гора), Кыринском (с. Хапчеранга), Шелопугинском (с. Вершино-Шахтаминский), Приаргунском (с. Урулюн-гуй), Агинском (с. Сахюрта).

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, протокол заседания № 95 от 25.06.2019 г., проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации 1975 г. и её пересмотра 1983 г. Получено информированное согласие законных представителей детей на проведение обследования.

Отбор образцов осуществлялся по следующей методике: волосы длиной не менее 3–5 см выстригали на затылочной

части головы (три – пять мест), ближе к шее, у корня волос, затем помещали в отдельные конверты с маркировкой и хранили в сухом месте при комнатной температуре. Пробоподготовка к анализу заключалась в измельчении волос и упаковке по 100 мг в конверты из фольги. Далее пробы отправляли в Томский политехнический университет для изучения на исследовательском ядерном реакторе. Элементный состав проб был определён методом многоэлементного инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т НИ ТПУ (аттестат аккредитации № RA.RU.21AB27 от 27.05.2015 г., аналитики А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Было определено содержание 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U). Нормальность распределения признака определялась с помощью метода Шапиро – Уилка. В связи с тем, что распределение концентраций загрязняющих веществ статистически значимо отличалось от нормального, определялись медиана и интерквартильный размах [$Me (Q_{25}–Q_{75})$]. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel 2007 и PAST 3.25.

Результаты

В таблице представлено содержание химических элементов в биосубстрате детей и подростков, проживающих на исследуемых территориях.

Территория изучаемых районов характеризуется специфической геохимической ситуацией, обусловленной наличием разнообразных и разномасштабных месторождений серебро-свинцово-цинковых, золото-полиметаллических, вольфрамовых, оловянных, молибденовых руд, многие из которых начали разрабатываться с начала XVIII века. В юго-восточных районах Забайкальского края, расположенных на сравнительно небольшой по площади территории уран-золотополиметаллического рудного пояса в междуречье Газимуро и Аргуни, являющегося одним из самых старых горнорудных районов России, было разведано около 500 полиметаллических месторождений. Территория Газимуро-Заводского (с. Тайна) и Нерчинско-Заводского (сёла Уровские Ключи, Нерчинский Завод) районов характеризуется своеобразной геохимической ситуацией, в связи с которой здесь впервые была выявлена и изучена болезнь Кашина – Бека (уровская болезнь). Исследования геохимических особенностей компонентов природной среды в районе проявления уровской болезни выявили сквозную региональную геохимическую ассоциацию (Zn – Pb – Ba – Sb – As – Bi – Au) с определёнными различиями в зависимости от объекта исследования [4].

В Нерчинско-Заводском районе на протяжении длительного времени велась разработка свинцово-цинковых руд Приаргунского полиметаллического пояса, в 1953–1994 гг. функционировало одно из предприятий Нерчинского полиметаллического комбината по переработке и обогащению руд Старо-Зерентуйского серебряноцинкового, Средне-Зерентуйского и Октябрьского полиметаллических месторождений, отходы производства которого общей массой 2,02 млн тонн складированы в хвостохранилище площадью 37 га в непосредственной близости от с. Горный Зерентуй. В настоящее время на территории Газимуро-Заводского района ведётся освоение и переработка руд Быстринского месторождения меди, железа, золота и Новоширокинского золотополиметаллического месторождения [7].

Анализ коэффициентов концентрации химических элементов относительно регионального фона позволил выявить особенности накопления изучаемых веществ в волосах детей и подростков в каждом из районов проживания. Установлено, что в сёлах Тайна, Уровские Ключи и Нерчинский Завод содержание хрома, железа, кобальта, цинка и мышьяка

Содержание химических элементов (мг/кг) в волосах детского населения Забайкальского края

Content of chemical elements (mg/kg) in the hair in children in the Zabaykalsky region

Элемент Element	Me	Q ₂₅ : Q ₇₅	M ± σ
Na	389	143 : 940	728 ± 1198
Ca	228	100 : 673	960 ± 2844
Sc	0.02	0.01 : 0.02	0.02 ± 0.01
Cr	4.68	0.46 : 6.11	5.23 ± 5.69
Fe	793	300 : 1018	853 ± 872
Co	0.66	0.53 : 0.90	1.05 ± 1.42
Zn	152	117 : 194	210 ± 348
As	0.24	0.16 : 0.50	0.42 ± 1.02
Br	3.96	2.07 : 7.91	8.82 ± 17.23
Rb	0.30	0.20 : 0.81	0.79 ± 1.24
Sr	5.0	2.5 : 5.0	4.53 ± 1.23
Ag	0.11	0.05 : 0.26	2.34 ± 17.67
Sb	0.06	0,03 : 0.12	0.11 ± 0,15
Cs	0.005	0.001 : 0.02	0.03 ± 0.14
Ba	2.0	1.97 : 2.43	4.07 ± 12.24
La	0.02	0.01 : 0.02	0.04 ± 0.09
Ce	0.1	0.05 : 0.1	0.39 ± 1.79
Nd	0.09	0.09 : 0.22	0.25 ± 0.46
Sm	0.003	0 : 0.003	0.006 ± 0.02
Eu	0.004	0.001 : 0.01	0.02 ± 0.07
Tb	0.005	0.005 : 0.02	0.01 ± 0.02
Yb	0.005	0 : 0.009	0.007 ± 0.009
Lu	0.001	0 : 0.003	0.003 ± 0.01
Hf	0.037	0.001 : 0.05	0.05 ± 0.12
Ta	0.008	0 : 0.008	0.02 ± 0.04
Au	0.001	0 : 0,01	0.03 ± 0.14
U	0.14	0.05 : 0.27	0.23 ± 0.29
Th	0.01	0.01 : 0.016	0.01 ± 0.01

определялось на уровне регионального фона при крайне низких значениях стронция. При этом выявлен повышенный уровень кальция в биосубстрате у детей из населённых пунктов Тайна и Нерчинский Завод, а концентрация в с. Уровские Ключи была существенно ниже фоновых значений. В волосах детей из с. Нерчинский Завод содержание золота, а в с. Уровские Ключи – серебра и сурьмы значительно превышало региональный фон, что скорее всего определено близостью рудных объектов Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции Газимуро-Приаргунской минерагенической зоны (месторождение Солонеченское и более мелкие проявления богатых сурьмяных руд в верховье р. Уров) [8]. Высоким было содержание редкоземельного элемента тербия в волосах детей с. Уровские Ключи (рис. 1–3).

В Борзинском районе находится Шерловогорский рудный район, куда входят висмут-бериллий-олово-вольфрамовое и оловополиметаллическое месторождения, в связи с разработкой которых образовались хвостохранилища обогащательной фабрики, отвалы вскрышных пород, бедных и забалансовых руд объёмом 260,4 млн тонн, расположенных вблизи пгт Шерловая Гора на площади 343 га. Содержание значительного количества токсичных элементов привело к формированию в природных, техногенных и природно-техногенных ландшафтах геохимических аномалий мышьяка, висмута, олова, свинца, цинка, вольфрама, бериллия и других элементов [9]. В волосах детей, проживающих в пгт Шерловая Гора, установлено содержание выше региональных значений натрия, цинка, мышьяка, золота, хрома, кальция, европия, лутеция и урана, концентрация остальных изучаемых элементов находилась на уровне фоновых показателей (рис. 4). Превышение содержания цинка и мышьяка в биосубстрате, возможно, вызвано присутствием сфалерита, арсенопирита в рудах оловополиметаллического месторождения, переход этих элементов в подвижную форму подтверждается наличием гипергенных минералов в зоне окисления (госларит, смитсонит, скородит, миметизит и др.). Высокое содержание урана и редкоземельных элементов может быть обусловлено широким распространением таких минералов, как флюорит и монацит, которые зачастую имеют в виде примесей весь спектр лантаноидов, в то время как монацит содержит уранил до 6,6% в виде изоморфной примеси [10].

Для Восточного Забайкалья традиционной является разработка месторождений молибдена. Одно из них, Шахтаминское, более пятидесяти лет обрабатывалось в Шелопугинском районе в непосредственной близости от с. Вер-

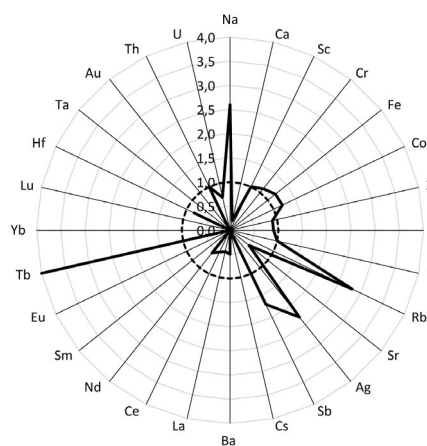


Рис. 1. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Уровские Ключи.

Fig. 1. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Urovskiy Klyuchi.

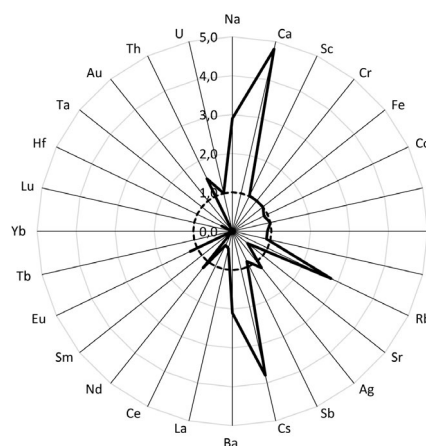


Рис. 2. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Тайна.

Fig. 2. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Taina.

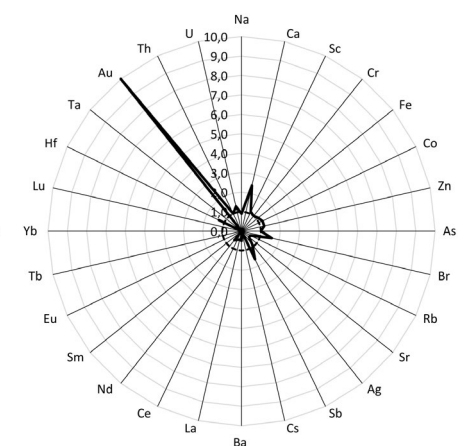


Рис. 3. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Нерчинский Завод.

Fig. 3. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Nerchinsk Zавод.

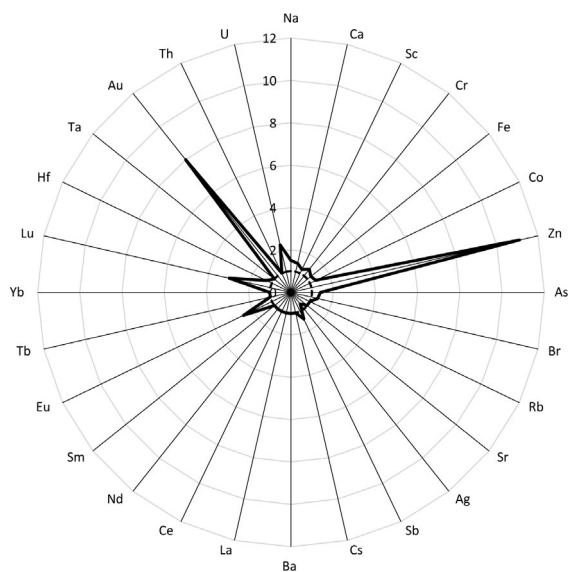


Рис. 4. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения пгт. Шерловая Гора.

Fig. 4. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the settlement of Sherlova Gora.

шино-Шахтаминский, что привело к накоплению 4,5 млн тонн отходов горного производства, складированных в хвостохранилищах площадью 16 га. В биосубстрате детей выявлено максимальное количество изучаемых веществ, содержание которых значительно превышает фоновые значения для натрия, мышьяка, сурьмы, урана, золота, цинка, кобальта, железа, хрома, тория, кальция, тантала (рис. 5). Широко представлены редкоземельные элементы в концентрациях, превышающих фон, — лантан, самарий, европий, иттербий, лютеций. Такой комплекс элементов со значениями, превышающими региональный фон, также может быть определен минералогической ассоциацией молибденового оруденения Шахтаминского месторождения, содержащего наряду с сульфидами железа, свинца и цинка такие

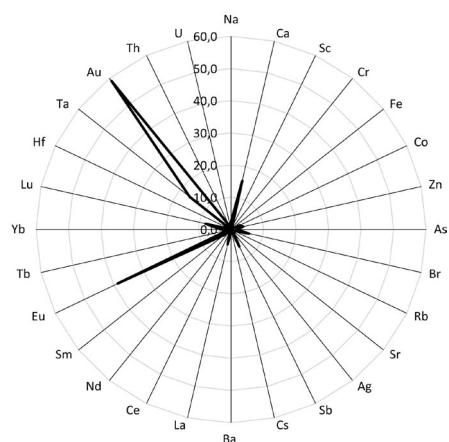


Рис. 5. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Вершино-Шахтаминский.

Fig. 5. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Vershino-Shakhtaminsky.

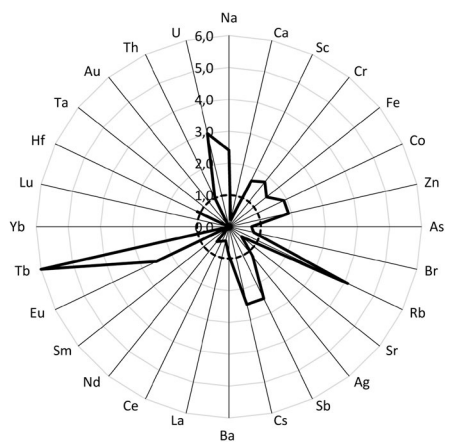


Рис. 6. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Калга.

Fig. 6. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Kalga.

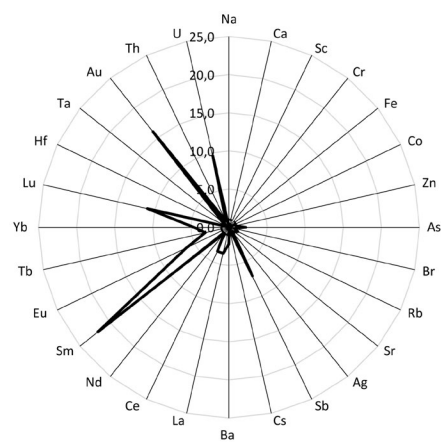


Рис. 7. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Урулюнгуи.

Fig. 7. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Uruleungui.

минералы, как блёклые руды ((Cu⁺₁₀Cu²⁺₂)₁₂S[(Sb, As)S₃]₄), джемсонит (Pb₄FeSb₆S₁₄), зелигманит (CuPbAsS₃), бурнонит (CuPbSbS₃), уранинит (UO₂) и пр. Последний в свою очередь часто содержит примеси «редких земель» и тория [11].

На территории Калганского и Приаргунского районов, расположенных в пределах Приаргунского полиметаллического пояса, складированы хвосты обогащения и шлаки рудников Нерчинского горного округа, в XVII–XIX вв. перерабатывавших многочисленные полиметаллические месторождения. В это же время в Калганском районе функционировал Кутомарский сереброплавильный завод, а в 1950–1990-х годах велась разработка и обогащение руд Кадаинского месторождения свинца и цинка. В настоящее время на этой территории осуществляется добыча золота [12]. Элементный состав волос детей из с. Калга показывает превышение фонового уровня для хрома, железа, кобальта, цинка, сурьмы, урана при относительно низком содержании мышьяка, золота, кальция, стронция. Среди редкоземельных элементов необходимо отметить высокие значения коэффициентов концентрации скандия, европия, тербия (рис. 6).

В с. Урулюнгуи (Приаргунский район), несмотря на отсутствие объектов накопленного экологического риска, в волосах детей выявлен избыточный уровень мышьяка, сурьмы, золота, урана при низких значениях кальция, хрома, железа, кобальта и серебра, концентрация цинка и стронция определялась на уровне регионального фона. Наблюдается наличие широкого спектра редкоземельных элементов, коэффициент концентрации которых превышает среднеевропейский уровень (лантан, церий, самарий, европий, тербий, иттербий, лютеций) (рис. 7). В Агинском районе в настоящее время ведётся разработка Спокойнинского месторождения вольфрамовых руд, ранее открытым способом велась добыча танталового сырья на Орловском месторождении. Для Спокойнинского месторождения характерно широкое распространение не только вольфрамита, но и таких минералов, как флюорит, арсенопирит, висмутин, а также апатитов. В то же время известно, что 70% собственных минералов «редких земель» относятся именно к фосфатам [11, 14]. В волосах детей, проживающих в с. Сахюрта (Агинский район), установлено содержание выше региональных значений кальция, мышьяка, золота, сурьмы, скандия, европия на фоне крайне низкого содержания хрома, железа, кобальта, цинка, серебра и урана (рис. 8), что может быть обусловлено близостью

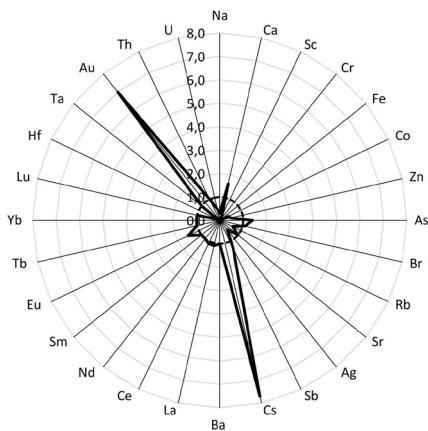


Рис. 8. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Сахюрта.

Fig. 8. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Sakh yurt.

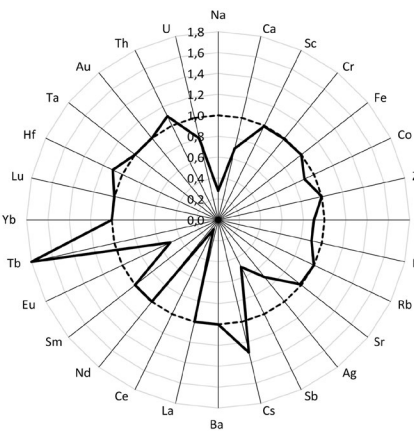


Рис. 9. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения с. Хапчеранга.

Fig. 9. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the village of Khapcheranga.

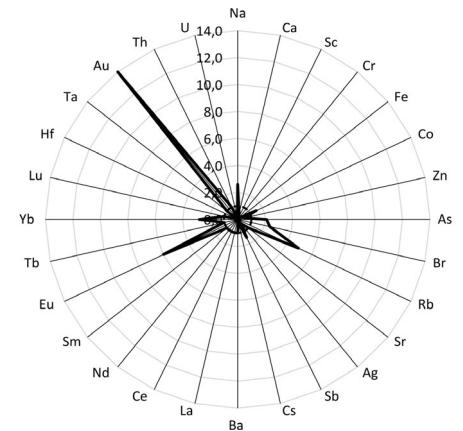


Рис. 10. Коэффициенты концентрации элементов относительно регионального фона в волосах детского населения г. Читы.

Fig. 10. Coefficients of the concentration of elements relative to the regional background in the hair in children population of the city of Chita.

Урулюнгуйского месторождения флюорита (CaF_2). Повышенные концентрации As, Au, Sb, U, вероятно, определяются влиянием Досатуйского бериллий-уран-оловянного узла, расположенного южнее [13]. На территории Кыринского района в 1940–1970-х годах обрабатывалось Хапчерангинское оловополиметаллическое месторождение, в настоящее время ведётся интенсивная добыча россыпного золота. В селитебной зоне с. Хапчеранга на площади 57 га складированы отходы производства общей массой 6,2 млн тонн, образовавшиеся в результате деятельности горнорудного предприятия по переработке и обогащению руды [12]. В биосубстрате детей не выявлено значимого превышения большинства исследуемых элементов по отношению к региональному уровню, за исключением тербия, при этом установлено низкое содержание кальция, серебра и сурьмы (рис. 9).

Административным центром Забайкальского края является Чита. Город, в котором проживает около 35% населения региона, характеризуется одним из самых высоких потенциалов загрязнения объектов окружающей среды на территории нашей страны, что обусловлено рядом причин, среди которых основными признаны климатикогеографические факторы. Более 30 лет Чита ежегодно входит в Приоритетный список городов России с наибольшим уровнем загрязнения воздуха. Веществами, определяющими высокий уровень загрязнения воздуха города, являются бенз(а)пирен, пыль (взвешенные частицы) и фенол. Превышение среднесуточных концентраций бенз(а)пирена достигает 19,1 ПДК, для максимальных концентраций установлены значения по содержанию фенола, сероводорода, взвешенных веществ на уровне 8,5; 18,75 и 27,6 ПДК соответственно. При анализе содержания металлов (железа, марганца, меди, никеля, хрома, цинка, свинца) в атмосферном воздухе значимых превышений гигиенических нормативов не выявлено [15]. Концентрация ртути, меди и никеля в почве на территории города допустимых значений не превышала, при этом уровень загрязнения свинцом был выше ПДК в 6% отобранных проб, кадмия – в 4%, мышьяка – в 51,2%, бенз(а)пирена – в 18,5%. В пробах с превышением гигиенических нормативов медианная и максимальная концентрации свинца составляли от 1,21 до 5,14 ПДК, кадмия – от 0,32 до 1,6 ПДК, бенз(а)пирена – от 2,15 до 9,05 ПДК, мышьяка – от 1,2 до 2,65 ПДК. По данным авторов, в талой

воде снегового покрова территории Читы отмечаются высокое содержание в водорастворимой форме таких токсичных элементов, как ванадий, хром, железо, марганец, цинк, медь, ртуть, кадмий (по отношению к фону), а также повышенные концентрации натрия, калия, магния и кальция в сравнении с данными по другим городам. Таким образом, на территории Читы сформирована устойчивая техногенная геохимическая провинция, характеризующаяся высоким содержанием ксенобиотиков в объектах окружающей среды [16, 17]. У детей, проживающих в Чите, зафиксировано превышение по сравнению с региональными показателями содержания в волосах натрия, кобальта, мышьяка, рубидия, брома, сурьмы, европия, иттербия и золота на фоне низких значений для кальция, хрома, железа, цинка, серебра и урана (рис. 10).

Обсуждение

В районах геохимических аномалий обычно присутствуют ассоциации большого количества химических элементов. Наиболее значимо в научном и практическом плане выяснение механизмов суммарного влияния нескольких элементов, так как возникновение их дисбаланса зачастую обусловлено нарушением взаимодействия между микро- и макроэлементами, которое развивается по типу синергизма или антагонизма, причём последний зачастую играет защитную роль и проявляется ослаблением токсического действия тяжёлых металлов эссенциальными элементами. На обмен веществ и метаболизм влияет не отдельно взятый элемент, а комплекс и соотношение макро- и микроэлементов, поэтому при анализе элементного гомеостаза необходимо учитывать их комплексное физиологическое действие, сочетанное влияние и взаимодействие друг с другом. Наиболее изучены признаны взаимоослабляющие эффекты магния и фтора, свинца и цинка, магния и кальция, селена и кадмия, железа и марганца, мышьяка и йода, меди и свинца [18]. Анализ полученных результатов по содержанию макро- и микроэлементов в волосах детей и подростков показал, что существуют особенности накопления исследуемых веществ в биосубстрате в зависимости от района проживания, обусловленные, вероятнее всего, присутствием на изучаемых территориях определённых геологических формаций, а также техногенным воздействием.

Содержание урана, значительно превышающее региональный фон, установлено в биосубстрате детей, проживающих в с. Урулюнгуи, Калга, Вершино-Шахтаминский, пгт Шерловая Гора. Вероятно, это связано с расположением данных населённых пунктов в непосредственной близости от разработанных месторождений, поскольку в них присутствуют уранинит, а также флюорит, содержащие уранил-иона в котором может достигать 6,6%. В крае добывается почти 100% урана России, функционирует единственный в стране комплекс по его добыче и обогащению [19]. Литературные данные о содержании радиоактивных элементов в волосах населения свидетельствуют о значительном диапазоне определяемых значений. Максимальные концентрации обнаружены у населения Томской области на территориях, имеющих предприятия ядерно-топливного цикла. В Северном Казахстане установлен высокий уровень концентрации радиоактивных элементов в биосубстрате, что обусловлено природно-техногенным воздействием при поступлении урана с водой [20, 21]. Доказано, что содержание урана и тория тесно коррелирует с редкоземельными элементами, поэтому закономерности их распределения в объектах окружающей среды сходны [22]. Максимальное количество редкоземельных элементов концентрируется в волосах детей, проживающих в с. Вершино-Шахтаминский (лантан, самарий, европий, иттербий, лютеций) и с. Урулюнгуи (лантан, церий, самарий, европий, тербий, иттербий, лютеций). Повышенное накопление мышьяка в волосах отмечается у детей, проживающих в сёлах Вершино-Шахтаминском, Сахюрте, Урулюнгуе, пгт. Шерловая Гора и г. Чите. Для остальных районов выявлены концентрации ксенобиотика на уровне регионального фона, то есть ни в одном из населённых пунктов содержание элемента не характеризовалось низкими значениями. По результатам многочисленных исследований выявлено избыточное содержание мышьяка в объектах окружающей среды (почве, воде поверхностных и подземных водоисточников), обусловленное как техногенным воздействием в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых и складированием содержащих токсичные вещества отходов производства (мышьяка, свинца, кадмия, сурьмы и т. д.) в хвостохранилищах, так и природными геологическими особенностями местности [23–26].

Почвы районов геохимических аномалий отличаются дисбалансом содержания элементов группы железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co), что находит своё отражение в особенностях элементного гомеостаза населения, проживающего на данных территориях [27]. Установлены высокие значения коэффициента концентрации кобальта в биосубстрате детей Чите (1,53), сёл Вершино-Шахтаминский (3,03) на фоне низких показателей в сёлах Урулюнгуи (0,68) и Сахюрта (0,40). Уровень железа и хрома характеризуется низкими значениями в волосах у детей Читы (0,21 и 0,06 соответственно), сёл Вершино-Шахтаминский (0,37 и 0,06 соответственно), Сахюрта (0,03 и 0,05 соответственно) и Урулюнгуи (0,03 и 0,04 соответственно). Необходимо отметить, что в условиях избыточного накопления мышьяка в волосах наблюдаются крайне низкие значения содержания эссенциальных элементов (кальция, хрома, железа, кобальта, цинка). Данная закономерность установлена для населённых пунктов Чита, Вершино-Шахтаминский, Сахюрта, Урулюнгуи. Сниженное по сравнению с региональным фоном содержание указанных элементов в волосах детей может быть объяснено усиленным расходом в присутствии токсикантов или антагонизмом взаимодействия, что подтверждается литературными данными о влиянии мышьяка на обмен цинка [28].

Для сурьмы установлены высокие значения коэффициента концентрации в Чите, сёлах Вершино-Шахтаминский, Урулюнгуи, Уровские Ключи и Калга, в остальных населённых пунктах (за исключением с. Хапчеранга, где

уровень токсиканта был в два раза ниже регионального) концентрация элемента соответствовала фоновым значениям. По данным литературы, в биологической среде организма (кровь) отмечается преобладание содержания сурьмы над мышьяком в 5–20 раз, обусловленное меньшей токсичностью сурьмы по сравнению с мышьяком [29]. Юго-восточные районы Забайкалья – сурьмяная провинция с многочисленными разведанными месторождениями и рудопроявлениями сурьмы, расположенными в пределах изучаемой местности, что, возможно, отражается на формировании элементного статуса населения.

Обнаруженное совпадение ореолов повышенного накопления золота, серебра и сурьмы может являться косвенным признаком наличия скрытого оруденения Au-Ag-Sb-типа, то есть быть обусловленным природными геохимическими аномалиями или техногенным воздействием. Авторами при изучении специфики накопления химических элементов в биосубстрате детей, проживающих в районах расположения хвостохранилищ ранее обрабатываемых месторождений, установлено превышение показателей относительно фонового уровня в 1,5–6,5 раза [20].

Коэффициент концентрации кальция в биосубстрате характеризовался низкими значениями у детей в Чите, сёлах Урулюнгуи, Уровские Ключи, Калга, Хапчеранга и высокими – в сёлах Вершино-Шахтаминский, Тайна и Нерчинский Завод. Для стронция установлено содержание ниже региональных показателей в сёлах Тайна, Уровские Ключи, Нерчинский Завод и Калга, при этом в других населённых пунктах содержание этого элемента не превышало фонового уровня. Высокого по отношению к региональному фону содержания стронция в волосах детского населения не было выявлено ни в одном из исследуемых населённых пунктов. Биогеохимия кальция и стронция представлена в литературе достаточно полно, однако многие вопросы, связанные с вкладом данных элементов в формировании урвской (Кашина – Бека) болезни, до конца не выяснены. Авторами установлены повышенные концентрации стронция и снижение соотношения «кальций – стронций» на эндемичных по урвской болезни территориях Восточного Забайкалья. Изменения носили ярко выраженный очаговый характер («пятнистость») [30, 31]. Значения соотношения Ca и Sr существенно различаются в исследуемых районах и составляют в населённых пунктах Вершино-Шахтаминский, Тайна, Нерчинский Завод 15,48; 9,64 и 4,82 соответственно, в то время как в Уровских Ключах, Чите, Калге, Урулюнгуе, Хапчеранге данное соотношение характеризуется достаточно низкими значениями и находится в пределах от 0,41 до 0,66.

Исследователи отмечают, что избыточное накопление тяжёлых металлов в волосах является индикатором значительной антропогенной нагрузки на среду обитания [32, 33]. Для более полного представления об элементном гомеостазе детского населения региона в исследование необходимо включить детей и подростков, проживающих в центральных и северо-восточных районах, территории которых также характеризуются наличием природных и техногенных геохимических аномалий.

Заключение

Проведённое исследование по изучению элементного состава волос детей и подростков Забайкальского края выявило особенности распределения и накопления химических веществ, при этом содержание определённого спектра элементов отражает как металлогенические особенности каждой территории, так и техногенное воздействие. Полученные данные позволяют сформировать представление об уникальной региональной составляющей элементного гомеостаза детского организма и на её основе разработать рекомендации, направленные на профилактику химического дисбаланса у населения.

Литература

(п.п. 26, 32, 33 см. References)

1. Солодухина М.А., Михайлова Л.А., Лапа С.Э., Бурлака Н.М. Геохимические особенности среды и эндемические заболевания Забайкальского края. *Забайкальский медицинский вестник*. 2015; (4): 169–74.
2. Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Геохимические особенности руд и техноземов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье. *Литосфера*. 2016; (2): 91–106.
3. Чечель Л.П., Замана Л.В. Геохимические типы вод хвостохранилищ свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019; (4): 17–25. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/189>
4. Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В., Агеева Е.В., Беляновская А.И., Дериглазова М.А. и др. Комплексные геохимические исследования компонентов природной среды в эндемичных районах Забайкалья. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021; (2): 7–25. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/2/3039>
5. Рафикова Ю.С., Семенова И.Н., Суяндукоев Я.Т., Биктимерова Г.Я., Рафиков С.Ш. Результаты биомониторинга микроэлементов у детей горнорудного региона Башкортостана. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(3): 245–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-245-250>
6. Журба О.М., Ефимова Н.В., Меринов А.В., Алексеев А.Н. Биомониторинг содержания тяжелых металлов в волосах детского населения на территории Арктической зоны России. *Экология человека*. 2018; (5): 16–21. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-5-16-21>
7. Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Войченко А.А., Войченко Т.Ю., Лескова О.А., Лесков А.П. Состояние почвенного покрова в районах техногенных биогеохимических аномалий Забайкалья. *Успехи современной естествознания*. 2020; (3): 57–64. <https://doi.org/10.17513/use.37346>
8. Павленко Ю.В., Поляков О.А. Восточно-Забайкальская сурьмяная провинция. *Вестник Читинского государственного университета*. 2010; (9): 77–84.
9. Солодухина М.А., Помазкова Н.В. Ландшафты Шерловогорского рудного района Забайкальского края. *Успехи современной естествознания*. 2014; (9): 70–8.
10. Юргенсон Г.А., Кононов О.В. Шерловая Гора. *Минералогический альманах*. 2014; 19(2): 144.
11. Сотников В.И., Березина А.П., Березина А.Н., Гимон В.О. *Шахтминское молибденовое месторождение. Месторождения Забайкалья*. М.: Геоинформмарк; 1995: 187–92.
12. Абрамов Б.Н., Еремин О.В., Филенко Р.А., Цыренов Т.Г. Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений (Восточное Забайкалье, Россия). *Геосферные исследования*. 2020; (3): 64–75. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>
13. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Серия Приаргунская. Лист М-50 XVII серия (Краснокаменск). Объяснительная записка. СПб.; 2002.
14. Михайлов В.А. *Редкоземельные руды мира: геология, ресурсы, экономика*. Киев: Киевский университет; 2010.
15. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы – приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух». *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2020; (12): 16–22. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22>
16. Нимаева Б.В. Гигиеническая оценка качества почвы г. Чита. *Смоленский медицинский альманах*. 2021; (3): 58–61.
17. Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Лескова О.А., Михайлова Л.А., Самойленко Г.Ю. Мониторинг уровня загрязнения атмосферы по накоплению химических элементов в талой воде снегового покрова. *Экология и промышленность*. 2021; (8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53>
18. Кожин А.А., Владимирский Б.М. Микроэлементозы в патологии человека экологической этиологии. *Обзор литературы. Экология человека*. 2012; (9): 56–64.
19. Жирнов А.М., Гурьянов В.А. Новый урановый потенциально крупный район России (Дальний Восток). *Литосфера*. 2021; (1): 103–15. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-1-103-115>
20. Наркович Д.В., Барановская Н.В., Коваль Е.В., Корогод Н.П. Влияние техногенеза на формирование элементного состава волос детского населения. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016; (8): 116–28.
21. Батырова Г.А., Тлегунова Ж.Ш., Умарова Г.А., Кононец В.И., Умаров Е.А., Кудабаева Х.И. и др. Микроэлементный статус взрослого населения Западного Казахстана. *Экология человека*. 2021; (11): 42–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-42-49>
22. 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): 1468–76. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17120048>
23. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А. *Мышька в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Восточное Забайкалье)*. Чита; 2018.
24. Кольдубекова Ю.В., Землянова М.А., Пустовалова О.В., Пескова Е.В. Влияние повышенного содержания мышьяка в питьевой воде на изменения биохимических показателей негативных эффектов у детей, проживающих на территории природной геохимической провинции. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(8): 834–40. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-834-840>
25. Устинова О.Ю., Шур П.З., Носов А.Е. Санитарно-гигиеническая характеристика риска и клиническая оценка причинного вреда здоровью населения геохимической провинции при длительном поступлении мышьяка с питьевой водой. *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 148–57. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.16>
26. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. *Микроэлементозы человека*. М.: Медицина; 1991.
27. Агаджанян Н.А. Скальный А.В., Детков В.Ю. Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации. *Экология человека*. 2013; (11): 3–12.
28. Турбинский В.В., Бортников С.Б. О соотношении мышьяка и сурьмы в биохимических провинциях как факторов риска здоровью. *Анализ риска здоровью*. 2018; (3): 136–43. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.15>
29. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. *Биогеохимическая индикация микроэлементозов*. М.: РАН; 2018.
30. Гуляева У.А., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Миграция стронция и кальция в почвенно-растительном комплексе ландшафтов Восточного Забайкалья. В кн.: *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Материалы VII Всероссийского симпозиума*. Чита; 2018: 133–6.

References

1. Solodukhina M.A., Mikhaylova L.A., Lapa S.E., Burlaka N.M. Geochemical features of environment and endemic diseases of Zabaykalsky Krai. *Zabaykal'skiy meditsinskiy vestnik*. 2015; (4): 169–74. (in Russian)
2. Yurgenson G.A., Smirnova O.K., Solodukhina M.A., Filenko R.A. The geochemical features of ores and technosols of tailing gold-molybdenum mine Davenda in East Transbaikalia. *Litosfera*. 2016; (2): 91–106. (in Russian)
3. Chechel' L.P., Zamana L.V. Geochemical types of waters of lead-zinc deposits tailings in the Eastern Transbaikalia. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2019; (4): 17–25. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/189> (in Russian)
4. Rikhvanov L.P., Soktoev B.R., Baranovskaya N.V., Ageeva E.V., Belyanovskaya A.I., Deriglazova M.A., et al. Comprehensive geochemical research of the environmental components in endemic areas of Transbaikalia. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2021; (2): 7–25. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/2/3039> (in Russian)
5. Rafikova Yu.S., Semenova I.N., Suyundukov Ya.T., Biktimerova G.Ya., Rafikov S.Sh. Results of biomonitoring for trace elements in children of the mining region of Bashkortostan. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(3): 245–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-245-250> (in Russian)
6. Zhuba O.M., Efimova N.V., Merinov A.V., Alekseenko A.N. Biological monitoring of content of heavy metals in hair of children in the Arctic zone of Russia. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (5): 16–21. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-5-16-21> (in Russian)
7. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voychenko A.A., Voychenko T.Yu., Leskova O.A., Leskov A.P. The state of the soil cover in the areas of technogenic biogeochemical anomalies in Transbaikal region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020; (3): 57–64. <https://doi.org/10.17513/use.37346> (in Russian)
8. Pavlenko Yu.V., Polyakov O.A. Antimonial province of East Zabaikalie. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010; (9): 77–84. (in Russian)
9. Solodukhina M.A., Pomazkova N.V. Landscapes of Sherlovogorskaya ore district of Kievskiy universitetthe Zabaikalsk region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2014; (9): 70–8. (in Russian)
10. Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlovaya Gora. *Mineralogicheskii al'manakh*. 2014; 19(2): 144. (in Russian)
11. Sotnikov V.I., Berezina A.P., Berezina A.N., Gimon V.O. *Shakhtaminskoye Molybdenum Deposit. Transbaikalia Deposits [Shakhtaminskoe molibdenovoe mestorozhdenie. Mestorozhdeniya Zabaykal'ya]*. Moscow: Geoinformmark; 1995: 187–92. (in Russian)
12. Abramov B.N., Eremin O.V., Filenko R.A., Tsyrenov T.G. Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosfernye issledovaniya*. 2020; (2): 64–75. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5> (in Russian)
13. State Geological Map of the Russian Federation 1:200 000. Priargunskaya series. Sheet M-50 XVII series (Krasnokamensk). Explanatory note. St. Petersburg; 2002. (in Russian)
14. Mikhaylov V.A. *Rare Earth Ores of the World: Geology, Resources, Economics [Redkozemel'nye rudy mira: geologiya, resursy, ekonomika]*. Kiev: Kievskiy universitet; 2010. (in Russian)

Original article

15. Kleyn S.V., Popova E.V. Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the federal clean air project. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (12): 16–22. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22> (in Russian)
16. Nimaeva B.V. Hygienic assessment of soil quality in Chita. *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh*. 2021; (3): 58–61. (in Russian)
17. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Leskova O.A., Mikhaylova L.A., Samoylenko G.Yu. Monitoring the level of the air contamination by chemical elements impoundment in the snow melt of the snow blanket. *Ekologiya i promyshlennost'*. 2021; (8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53> (in Russian)
18. Kozhin A.A., Vladimirov B.M. Microelementoses in human pathology of ecological etiology (literature review). *Ekologiya cheloveka*. 2012; (9): 56–64. (in Russian)
19. Zhirnov A.M., Gur'yanov V.A. A new potentially large uranium district in Russia (Far East). *Litosfera*. 2021; (1): 103–115. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-1-103-115> (in Russian)
20. Narkovich D.V., Baranovskaya N.V., Koval' E.V., Korogod N.P. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2016; (8): 116–28. (in Russian)
21. Batyrova G.A., Tlegenova Zh.Sh., Umarova G.A., Kononets V.I., Umarov E.A., Kudabaeva Kh.I., et al. Microelement status of the adult population in Western Kazakhstan. *Ekologiya cheloveka*. 2021; (11): 42–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-42-49> (in Russian)
22. Asylbaev I.G., Khabirov I.K., Gabbasova I.M., Rafikov B.V., Lukmanov N.A. Geochemistry of thorium and uranium in soils of the Southern Urals. *Pochvovedenie*. 2017; (12): 1468–76. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17120048> (in Russian)
23. Solodukhina M.A., Yurgenson G.A. *Arsenic in Landscapes of the Sherlovogorsk Ore District (Eastern Transbaikalia) [Mysh'yak v landshaftakh Sherlovogorskogo rudnogo rayona (Vostochnoe Zabaykal'e)]*. Chita; 2018. (in Russian)
24. Kol'dibekova Yu.V., Zemlyanova M.A., Pustovalova O.V., Peskova E.V. Negative impacts exerted by elevated arsenic concentrations in drinking water on biochemical parameters in children living in a specific geochemical province. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(8): 834–40. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-834-840> (in Russian)
25. Ustinova O.Yu., Shur P.Z., Nosov A.E. Sanitary-hygienic characteristics of health risk and clinical assessment of damage to health done to population living in a specific geochemical province under long-term exposure to arsenic introduced with drinking water. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 148–57. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.16> (in Russian)
26. Kamunda C., Mathuthu M., Madhuku M. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand gold mining basin, South Africa. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016; 13(7): 663. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070663>
27. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. *Human Microelementosis [Mikroelementozy cheloveka]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
28. Agadzhanyan N.A., Skal'nyy A.V., Detkov V.Yu. Human elemental portrait: morbidity, demography and problem of nation health management. *Ekologiya cheloveka*. 2013; (11): 3–12. (in Russian)
29. Turbinskiy V.V., Bortnikova S.B. Proportions of arsenic and antimony in biogeochemical provinces as health risk factors. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; (3): 136–43. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.15> (in Russian)
30. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safonov V.A. *Biogeochemical indication of trace elements [Biogekhimicheskaya indikatsiya mikroelementozov]*. Moscow: RAS; 2018. (in Russian)
31. Gulyaeva U.A., Tyutikov S.F., Safonov V.A. Migration of strontium and calcium in soil-vegetation complex of landscapes of Eastern Transbaikalia. In: *Mineralogy and Geochemistry of Landscapes of Mining Territories. Proceedings of the VII All-Russian symposium [Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Materialy VII Vserossiyskogo simpoziuma]*. Chita; 2018: 133–6. (in Russian)
32. Gellein K., Lierhagen S., Brevik P.S., Teigen M., Kaur P., Singh T., et al. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HR-ICP-MS. *Biol. Trace Elem. Res.* 2008; 123(1–3): 250–60. <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8104-0>
33. Pan Y., Li H. Trace elements in scalp hair from potentially exposed individuals in the vicinity of the Bayan Obo mine in Baotou, China. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2015; 40(3): 678–85. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.08.027>