

Элементный состав волос детей как индикатор техногенно изменённых территорий Восточного Забайкалья

Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич, Н.Н. Коцюржинская, Н.В. Соловьёва, Г.Ю. Самойленко,
О.А. Лескова, Б.В. Нимаева
Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для Забайкальского края характерны избыток, недостаток и (или) неблагоприятное соотношение многих макро- и микроэлементов в объектах окружающей среды, обусловленные геохимическими особенностями региона, что оказывает непосредственное влияние на элементный статус организма человека и приводит к развитию патологических состояний.

Цель исследования. Изучение особенностей элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

Методы. Проведено одномоментное исследование. Критерии включения: дети и подростки 6–14 лет, постоянно проживающие на исследуемой территории с момента рождения; отсутствие приёма витаминно-минеральных комплексов и лекарственных препаратов; натуральное состояние волос. В зависимости от наличия объектов накопленного вреда окружающей среде вблизи населённых пунктов выделены две группы: 1-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах без таких объектов; 2-я группа — дети и подростки, проживающие рядом с хвостохранилищами и отвалами забалансовых руд. С целью оценки особенностей элементного статуса проведён анализ химического состава волос методом рентгено-флуоресцентного полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox.

Результаты. В исследовании приняли участие 148 детей и подростков, проживающих на территории Забайкальского края. В биосубстрате детей 1-й группы ($n=97$), проживающих в населённых пунктах, для которых характерно наличие значительного количества объектов теплоэнергетики, железнодорожной инфраструктуры, промышленных предприятий, автотранспорта, выявлена статистически значимо высокая концентрация большинства эссенциальных, условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в сравнении с биосубстратом детей 2-й группы ($n=51$), проживающих в населённых пунктах, характеризующихся близким расположением хвостохранилищ ($p < 0,001$). Установлено статистически значимое повышенное содержание цинка и свинца и низкое — эссенциальных элементов (селена, йода, кобальта) в волосах детей 2-й группы в сравнении с 1-й группой. Проведённый анализ корреляционной зависимости между количественным содержанием различных химических элементов в биосубстрате выявил наличие обширных взаимосвязей, отражающих влияние как геологических формаций, так и техногенного прессинга на территориях проживания участников исследования.

Заключение. Изучение содержания и соотношения макро- и микроэлементов в волосах позволяет оценить геохимические особенности территорий с различной природно-техногенной обстановкой и разработать мероприятия по профилактике нарушений элементного статуса населения.

Ключевые слова: элементный статус; горнорудная промышленность; геохимические аномалии.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Соловьёва Н.В., Самойленко Г.Ю., Лескова О.А., Нимаева Б.В. Элементный состав волос детей как индикатор техногенно изменённых территорий Восточного Забайкалья // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. XXX–XXX. DOI: 10.17816/humeco688310 EDN: JJZYHV

Рукопись получена: 28.07.2025

Рукопись одобрена: 14.08.2025

Опубликована online: 27.08.2025

Экология человека | Ekologiya cheloveka (Human Ecology)

Оригинальное исследование | Original study article

DOI:

EDN: XXXXXX

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International

© Эко-Вектор, 2025

Accepted for publication

Elemental Composition of Children's Hair as an Indicator of Technogenically Altered Areas in Eastern Transbaikalia

Larisa A. Mikhailova, Evgeny A. Bondarevich, Natalia N. Kotsurzhinskaya, Natalia V. Solovjeva, Galina Yu. Samoilenko, Olga A. Leskova, Baljit V. Nimaeva
Chita State Medical Academy, Chita, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The Trans-Baikal Ridge is characterized by an excess, deficiency and/or unfavorable ratio of many macro- and microelements in environmental objects due to the geochemical features of the region, which has a direct impact on the elemental status of the human body and leads to the development of pathological conditions.

AIM: The study of the features of the elemental status of children and adolescents of the Trans-Baikal Territory.

METHODS: A cross-sectional study of 148 children and adolescents was conducted. The subjects were divided into two groups: the main group - children living in settlements, which are characterized by the proximity of tailing dumps and dumps of off-balance ores, and the control group - children living in settlements, near which there are no objects of accumulated environmental damage. The elemental status was assessed using the X-ray fluorescence method of total external reflection, and the content of 35 chemical elements was determined.

RESULTS: In the biosubstrate of children living in settlements characterized by the presence of a significant number of thermal power facilities, railway infrastructure, industrial enterprises, and motor vehicles, a statistically significantly high concentration of most essential, conditionally essential, and toxic chemical elements was found in comparison with the biosubstrate of children living in settlements characterized by the proximity of tailings dumps ($p < 0.001$). A statistically significant increased content of zinc and lead and a low level of essential elements (selenium, iodine, cobalt) were found in the hair of children living in settlements located near the storage sites of lead-zinc ore processing waste. The analysis of the correlation between the quantitative content of various chemical elements in the biosubstrate revealed the existence of extensive relationships between them due to the influence of certain geological formations and anthropogenic pressure in the studied territories.

CONCLUSION: Studying the content and ratio of macro- and microelements in hair makes it possible to assess the geochemical features of territories with different natural and man-made conditions and develop measures to prevent violations of the elemental status of the population.

Keywords: elemental status; mining industry; geochemical anomalies.

TO CITE THIS ARTICLE:

Mikhailova LA, Bondarevich EA, Kotsurzhinskaya NN, Solovjeva NV, Samoilenko GYu, Leskova OA, Nimaeva BV. Elemental composition of children's hair as an indicator of technogenically altered areas in eastern Transbaikalia. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2025;32(8):XXX-XXX. DOI: 10.17816/humeco688310 EDN: JJZYHV

Submitted: 28.07.2025

Accepted: 14.08.2025

Published online: 27.08.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Изучение закономерностей распределения химических элементов в биосфере, условий и особенностей формирования биогеохимических провинций природного или техногенного происхождения и их влияния на состояние здоровья является актуальной и фундаментальной задачей, решение которой позволит разработать эффективные медико-профилактические мероприятия по минимизации рисков здоровью населения. Оптимальное сбалансированное содержание химических элементов в живом организме обуславливает нормальное его функционирование, при этом отклонение концентраций химических веществ от физиологических норм приводит к формированию патологических состояний у человека [1, 2]. В пределах Забайкальского края сосредоточено большое количество месторождений полезных ископаемых, интенсивная добыча которых на протяжении более чем трёхсот лет привела к образованию значительных объёмов токсичных твёрдых отходов, сформированных отвалами бедных и некондиционных руд, хвостами флотационного и гравитационного обогащения, продуктами химической переработки руд цветных металлов. На территории региона располагается более 80 хвостохранилищ обогатительных фабрик, большая часть которых находится вблизи населённых пунктов. Хвосты обогащения представляют мелкоизмельчённый и тонкодисперсный материал, который содержит в значительных количествах химические элементы 1-го и 2-го классов опасности (мышьяк, кадмий, свинец, цинк, никель, молибден, медь и др.), что определяет высокий техногенный прессинг на окружающую среду, характеризующийся загрязнением поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха и почвы [3, 4].

В юго-восточных районах Забайкальского края, расположенных на сравнительно небольшой по площади территории уран-золотополиметаллического рудного пояса в междуречье Газимура и Аргуни, являющегося одним из самых старых горнорудных районов России, разведано около 500 полиметаллических месторождений, отработку которых проводили подземным способом на протяжении более трёхсот лет.

В Приаргунском районе добычу свинцово-цинковых руд начали в XVIII–XIX вв., за данный период добыли 66 416 тыс. т руды. Промышленную добычу возобновили в 1955 году и продолжили до 1994 года, что привело к формированию хвостохранилища отходов переработки руд общей площадью около 50 га и массой 4,4 млн т, расположенного на расстоянии 3-х км к юго-западу от п. Кличка. В Нерчинско-Заводском районе на протяжении длительного времени вели разработку месторождений свинцово-цинковых руд. В 1953–1994 гг. функционировала Благодатская обогатительная фабрика, перерабатывавшая руды Старо-Зерентуйского серебросвинцового, Средне-Зерентуйского и Октябрьского полиметаллических месторождений, отходы производства которых общей массой 2,02 млн т складированы в хвостохранилище площадью 37 га, расположенном вблизи пгт. Нерчинский Завод. В Калганском районе к освоению полиметаллических месторождений приступили в 1757 году, промышленную разработку начали в послевоенные годы, Кадаинский рудник функционировал на протяжении более сорока лет (1951–1993 гг.). Хвостохранилище Кадаинской обогатительной фабрики расположено на расстоянии более 3-х км от населённого пункта, его площадь составляет 61,0 га, общая масса загрязнений 2,27 млн т. На территории Борзинского района находится Шерловогорский горнопромышленный узел, который включает олово-вольфрам-висмут-бериллиевое и оловополиметаллическое месторождения. Производственная деятельность привела к формированию хвостохранилища объёмом 24,3 млн т отходов флотационного процесса обогащения руд, отвалов бедных руд и вскрышных пород — 10,2 и 191,7 млн т соответственно, площадь хвостохранилища составляет 80,0 га, отвалов вскрышных пород и бедных руд — 210,0 и 53,0 га соответственно. Горнорудные предприятия закрыли в связи с отработкой запасов месторождений. Таким образом, выбранные территории сходны по геологическим особенностям, обусловленным наличием месторождений полиметаллических руд и объектов накопленного экологического вреда окружающей среде. Высвобождение и миграция химических элементов из хвостохранилищ приводит к их широкому распространению и последующему накоплению в объектах окружающей среды, при этом они могут быстро изменять свою химическую форму при переходе из одной среды в другую, вмешиваться в метаболические циклы и накапливаться в организме человека [5–7].

В исследование также включены населённые пункты (Чита, Нерчинск, Хилок, Шилка), вблизи которых не проводили добычу и переработку полиметаллических руд. Данная группа характеризуется наличием значительного количества объектов теплоэнергетики, железнодорожной

инфраструктуры, промышленных предприятий, зарегистрирован высокий удельный вес автотранспорта.

Элементный состав волос человека зависит от большого числа факторов: возраста, пола, характера питания, массы тела, цвета волос, наличия профессиональных вредностей, состояния здоровья, синергизма и антагонизма элементов в организме, места проживания и эколого-геохимической обстановки территорий. Преимуществами волос как биосубстрата для исследований являются неинвазивность, простота подготовки для анализа и отсутствие специальных условий для хранения [8–10].

Волосы благодаря способности концентрировать химические элементы, находящиеся в различных компонентах среды обитания, являются удобным биомаркёром при изучении элементного гомеостаза населения в условиях воздействия неблагоприятных экологических факторов, что позволяет выявлять патологические изменения в организме на ранних стадиях, включая донозологический период [11–13].

Учитывая вышесказанное и исходя из актуальности изучения элементного статуса населения горнопромышленных территорий для разработки эффективных профилактических мероприятий и управленческих решений, мы определили необходимость настоящей работы.

ЦЕЛЬ

Изучение особенностей элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

МЕТОДЫ

ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено одномоментное исследование.

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в период с 2018 по 2022 год на базе Читинской государственной медицинской академии.

КРИТЕРИИ СООТВЕТСТВИЯ (ОТБОРА)

Критерии включения:

- возраст от 6 до 14 лет;
- постоянное проживание на исследуемой территории с момента рождения;
- отсутствие приёма витаминно-минеральных комплексов и лекарственных препаратов;
- натуральное состояние волос.

Критерии исключения:

- возраст младше 6 и старше 14 лет;
- проживание в других регионах.

ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной показатель исследования

Элементный статус детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

Дополнительные показатели исследования

Определение корреляционных взаимосвязей между химическими элементами биосубстрата детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

АНАЛИЗ В ГРУППАХ

В зависимости от наличия объектов накопленного вреда окружающей среде вблизи населённых пунктов сформировано две группы:

- 1-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах, где отсутствуют данные объекты;
- 2-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах, для которых характерно близкое расположение хвостохранилищ и отвалов забалансовых руд.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для оценки элементного гомеостаза детей и подростков проанализировали химический состав волос методом рентгено-флуоресцентного полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox® (Bruker Nano GmbH, Германия) в соответствии с методическими рекомендациями. Для проведения анализа волосы состригали в 4–5 местах на затылке, ближе к шее в количестве 0,1–0,5 г, далее проводили обработку ацетоном и промывали деионизированной водой. Затем волосы сушили в течение 15 мин при комнатной температуре, пробы волос хранили в отдельных бумажных конвертах в сухом месте. Их отбор и хранение проводили в соответствии с действующими нормативными документами. Пробы волос взвешивали на аналитических весах и навески массой 50,0–100,0 мг подвергали мокрому озолению. Для озоления проб их переносили в кварцевые стаканчики, приливали по 1000,0 мкл концентрированной азотной кислоты и добавляли по 100,0 мкл 30% раствора пероксида водорода, после пробы выдерживали до полного испарения жидкости в сушильном шкафу и прокачивали в муфельной печи при 500 °С в течение 2–х ч. Полученные сухие осадки растворяли в сверхчистой воде и к аликвоте¹ добавляли внутренний стандарт (соль германия с концентрацией 2,50 мг/дм³). Наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, а после высушивали. Определяли содержание 35 химических элементов (Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, W, Pb, Th, U). После снятия спектров содержания элементов в пробе они подвергались обработке в программе Spectra ver. 7.8.2.0.

ЭТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Этические принципы исследования соответствовали принципам Хельсинской декларации 1975 года (в пересмотре 1983 года, позднейшие редакции 1996–2013 гг.). Для проведения исследования получено разрешение локального этического комитета при ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России (выписка из протокола заседания № 95 от 25.06.2019). Все законные представители участников исследования подписали форму информированного добровольно согласия до включения в исследование.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕДУРЫ

Запланированный размер выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Статистические методы

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics® Version 25.0 (International Business Machines Corporation, Соединённые Штаты Америки). Учитывая значения критерия Шапиро–Уилка, количественные данные представлены в виде $Me [Q1; Q3]$, где Me — медиана, а $Q1$ и $Q3$ — 1-й и 3-й квартиль соответственно. Для их сравнения между группами исследования применяли критерий Краскела–Уоллиса, статистически значимыми считали различия при $p < 0,001$. Для оценки связи между количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s).

РЕЗУЛЬТАТЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ

В исследовании приняли участие 148 детей и подростков, проживающих на территории Забайкальского края. В 1-ю группу включены дети и подростки, проживающие в Нерчинске, Чите и Шилке, а также в пгт. Хилок, где отсутствуют объекты накопленного вреда окружающей среды ($n=97$). Во 2-ю группу вошли дети и подростки, проживающие в пгт. Кличка, Нерчинский Завод и Калга, а также Борзе, для которых характерно близкое расположение хвостохранилищ и отвалов забалансовых руд ($n=51$).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При анализе полученных результатов содержания химических элементов в биосубстрате у детей и подростков, проживающих на исследуемых территориях, установлены определённые статистически значимые различия элементного состава волос.

В табл. 1 приведены данные о содержании эссенциальных химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на изучаемых территориях.

¹ Аликвота — точно измеренная доляная часть образца (объёма раствора), взятая для анализа, которая сохраняет свойства основного образца.

Выявлено, что в 1-й группе в волосах детей отмечена статистически значимо высокая концентрация большинства эссенциальных химических элементов в сравнении со 2-й группой. Содержание натрия выше значений 2-й группы в 2,4 раза, магния — в 4,5 раза, хлора — в 15,6 раза, кобальта — в 4,3 раза, селена — в 7,5 раза и йода — в 3,4 раза ($p < 0,001$). Обращает на себя внимание статистически значимое повышенное содержание цинка, фосфора, кальция, железа в волосах детей 2-й группы. Концентрация железа в 2,9 раза выше значений 1-й группы, фосфора — в 2,3 раза, кальция — в 2,8 раза, цинка — в 6,7 раза ($p < 0,001$). При этом не выявлено статистически значимых различий между группами по содержанию в волосах таких элементов как сера, калий, хром, марганец, медь.

В табл. 2 приведены данные о содержании условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на исследуемых территориях.

В волосах детей 1-й группы установлена статистически значимо высокая концентрация большинства условно-эссенциальных и токсичных макро- и микроэлементов (алюминий, скандий, ванадий, галлий, бром, рубидий, олово, сурьма, цезий, барий, лантан, церий, вольфрам, торий, уран) в сравнении с биосубстратом детей 2-й группы. Выявлено статистически значимое повышенное содержание свинца, никеля и стронция в волосах детей 2-й группы. Концентрация стронция в 2,5 раза выше аналогичных значений 1-й группы, свинца — в 5 раз, никеля — в 2,2 раза ($p < 0,001$). По содержанию в волосах таких элементов как титан и мышьяк статистически значимых различий между двумя группами не обнаружено.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с тем, что концентрация макро- и микроэлементов в организме зависит не только от их количества при поступлении, но и от ассоциаций и сочетаний с другими элементами, мы провели корреляционный анализ, который показал наличие значимых прямых корреляционных связей между некоторыми химическими элементами. На рис. 1 представлены корреляции содержаний химических элементов в волосах детей и подростков 1-й и 2-й группы (см. рис. 1, *a* и *b* соответственно).

Определено наличие кластеров химических элементов с весьма высокой и высокой силой положительной связи. Для цинка в 1-й группе установлена высокая сила статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи со следующими элементами: серой ($r_s=0,71$), железом ($r_s=0,70$), кальцием ($r_s=0,72$), во 2-й группе подобной закономерности не выявлено. Анализ корреляционных связей свинца показал наличие весьма высокой и высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с кальцием ($r_s=0,83$), калием ($r_s=0,76$), титаном ($r_s=0,93$), хромом ($r_s=0,78$), марганцем ($r_s=0,81$), железом ($r_s=0,82$), никелем ($r_s=0,88$), мышьяком ($r_s=0,79$), бромом ($r_s=0,79$), рубидием ($r_s=0,74$). Во 2-й группе такого взаимодействия не отмечено. При анализе корреляционных связей между мышьяком и другими химическими элементами в 1-й группе установлено наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с некоторыми эссенциальными элементами: натрием ($r_s=0,79$), магнием ($r_s=0,79$), кобальтом ($r_s=0,80$), йодом ($r_s=0,81$), фосфором ($r_s=0,73$). Для остальных эссенциальных элементов характерно наличие заметной силы с хлором ($r_s=0,62$), калием ($r_s=0,59$), кальцием ($r_s=0,65$), марганцем ($r_s=0,69$), железом ($r_s=0,63$), медью ($r_s=0,54$), селеном ($r_s=0,66$), умеренной силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с серой ($r_s=0,31$) и цинком ($r_s=0,45$). Обращает на себя внимание существование высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с большинством токсичных и условно-эссенциальных элементов: алюминием ($r_s=0,75$), скандием ($r_s=0,79$), титаном ($r_s=0,78$), ванадием ($r_s=0,79$), хромом ($r_s=0,73$), никелем ($r_s=0,70$), гафнием ($r_s=0,71$), бромом ($r_s=0,89$), рубидием ($r_s=0,85$), оловом ($r_s=0,82$), цезием ($r_s=0,78$), барием ($r_s=0,80$), церием ($r_s=0,79$), вольфрамом ($r_s=0,77$), свинцом ($r_s=0,79$), торием ($r_s=0,80$), ураном ($r_s=0,76$). Заметная связь установлена с лантаном ($r_s=0,68$) и сурьмой ($r_s=0,67$).

Во 2-й группе характерно преобладание слабой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи концентрации мышьяка с некоторыми эссенциальными элементами: хлором ($r_s=0,24$), калием ($r_s=0,12$), марганцем ($r_s=0,19$), железом ($r_s=0,13$), кобальтом ($r_s=0,23$), медью ($r_s=0,09$), за исключением цинка, для которого установлена высокая сила положительной связи ($r_s=0,92$). Для условно-эссенциальных и токсичных элементов характерно наличие умеренной и слабой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи: алюминием ($r_s=0,44$), скандием ($r_s=0,31$), ванадием ($r_s=0,24$), хромом ($r_s=0,16$), никелем ($r_s=0,38$), оловом ($r_s=0,42$), церием ($r_s=0,79$), свинцом ($r_s=0,39$), торием ($r_s=0,43$), ураном ($r_s=0,43$).

При анализе корреляционных связей группы химических элементов железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co) в 1-й группе установлено наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$)

положительной связи между железом и марганцем ($r_s=0,76$), хромом ($r_s=0,71$), никелем ($r_s=0,81$); никелем и хромом ($r_s=0,78$), марганцем ($r_s=0,84$); хромом и марганцем ($r_s=0,73$); заметной — между кобальтом и хромом ($r_s=0,63$), марганцем ($r_s=0,57$), никелем ($r_s=0,57$); умеренной — между железом и кобальтом ($r_s=0,45$). Во 2-й группе наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи выявлено между железом и марганцем ($r_s=0,84$), кобальтом ($r_s=0,82$); кобальтом и марганцем ($r_s=0,80$); никелем и хромом ($r_s=0,85$); заметной — между железом и хромом ($r_s=0,55$), никелем ($r_s=0,62$); кобальтом и никелем ($r_s=0,55$); умеренной — между кобальтом и хромом ($r_s=0,47$); никелем и марганцем ($r_s=0,49$); хромом и марганцем ($r_s=0,41$).

ОБСУЖДЕНИЕ

РЕЗЮМЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки, выявило существенные различия в содержании химических элементов в биосубстрате.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведённая сравнительная характеристика накопления химических элементов в волосах детей показала, что для 1-й группы характерно повышенное содержание большинства условно-эссенциальных и токсичных элементов, таких как алюминий, ванадий, сурьма, олово, цезий, торий, уран, в то же время отмечено накопление эссенциальных элементов — натрия, магния, хлора, кобальта, селена и йода по сравнению со 2-й группой. Для волос характерен комбинированный путь поступления элементов в их состав, в том числе обусловленный пылеарозольными включениями. Среди техногенных источников поступления вышеперечисленных элементов у детей 1-й группы наибольшее значение имеют промышленные предприятия, а также теплоэлектроцентрали и государственные районные электростанции, работающие на угле, расположенные в населённых пунктах их проживания. При сжигании угля в атмосферный воздух поступает значительное количество химических элементов, которые в виде пыли попадают в организм человека, что и обуславливает их присутствие в волосах. Для Забайкальского края присущ высокий риск загрязнения объектов окружающей среды, обусловленный определёнными причинами, среди которых ведущими являются климатогеографические факторы. Существующий антициклональный характер перемещения воздушных масс, формирование температурных инверсий в холодное время года, низкая самоочищающая способность биосферы, орографические особенности местности способствуют созданию неблагоприятных условий для рассеивания выбросов предприятий теплоэнергетики, промышленных объектов и автотранспорта, что приводит к загрязнению атмосферного воздуха, почвы, поверхностных водисточников, снежного покрова токсичными химическими элементами. Полученные данные об элементном составе волос детей свидетельствуют о воздействии техногенных факторов [14–16].

У детей 2-й группы отмечено высокое содержание по сравнению с 1-й группой некоторых условно-эссенциальных и токсичных элементов — никеля, стронция и свинца, при этом наблюдают избыточное содержание таких эссенциальных элементов, как фосфор, кальций, железо и цинк. Избыточное накопление свинца и цинка в биосубстрате детей отражает экологическую ситуацию на данных территориях, обусловленную наличием месторождений свинцово-цинковых руд и хвостохранилищ, сформировавшихся в результате их переработки и обогащения. Обращает на себя внимание низкое содержание по сравнению с 1-й группой таких эссенциальных элементов, как селен, йод, кобальт, что связано с повышенной концентрацией свинца, являющегося антагонистом данных веществ. Таким образом, волосы детей, проживающих в населённых пунктах, которые расположены вблизи хвостохранилищ, имеют специфический биогеохимический портрет [10, 11].

Для некоторых эссенциальных (сера, хром, марганец, медь, калий) и условно-эссенциальных и токсичных (мышьяк, титан) элементов не выявлено статистически значимых различий в содержании в биосубстрате между двумя группами. Мышьяк — один из самых часто встречающихся элементов в составе золото-полиметаллических и олово-полиметаллических руд, добываемых на территории края. Разведано более 1000 месторождений и проявлений коренного и россыпного золота, по объёмам его добычи регион входит в десятку золотодобывающих субъектов России. Элемент является индикатором золота, сопутствующим золотоносным образованиям, поскольку существенная масса золота представлена ведущим рудным минералом арсенопиритом. Проведённые исследования выявили накопление мышьяка

в почве, воде поверхностных и подземных водоисточников, обусловленное как техногенным воздействием, связанным с разработкой месторождений полезных ископаемых и складированием отходов производства, содержащих токсичные вещества (мышьяк, свинец, кадмий, сурьму и т. д.) в хвостохранилищах, так и природными геологическими особенностями местности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что одинаковое содержание мышьяка в биосубстрате в обеих исследуемых группах, вероятно, обусловлено геохимическими природными особенностями региона [7, 15, 17].

На территории юго-восточных районов (Нерчинско-Заводский, Газимуро-Заводский, Калганский, Александрово-Заводский) впервые выявили и описали урвскую (Кашина–Бека) болезнь, этиологию которой до настоящего времени не выяснили. Тем не менее существует несколько гипотез возникновения данной патологии, одна из которых — биогеохимическая теория, впервые выдвинутая А.П. Виноградовым. Согласно ей, в окружающей среде наблюдаются дисбаланс кальция, фосфора и стронция. В дальнейшем это направление развито в работах В.В. Ковальского, В.В. Ермакова, И.А. Самариной, В.Г. Хоботьева и В.С. Бутко, которые выявили повышенные концентрации стронция и снижение соотношения кальция к стронцию (Ca/Sr). В связи с этим рекомендовано использовать отношение Ca/Sr в качестве индикаторного показателя. Признаком неблагополучия при данной патологии является значение данного соотношения менее 100. Согласно фосфатно-марганцевой гипотезе, разработанной В.И. Ивановым, А.В. Вощенко, Н.Н. Дружковой, Л.В. Зайко, а также Л.П. Никитиной, избыточное поступление фосфатов приводит к дефициту кальция в организме и усиленной выработке паратгормона, тогда как избыток марганца активизирует деятельность остеокластов, что вызывает преждевременное обызвествление зоны роста, замедление роста кости и развитие артропатий. В Китае основной является теория, в соответствии с которой главным фактором развития болезни Кашина–Бека является недостаток селена в окружающей среде, в исследованиях Л.В. Аникиной и Л.П. Никитиной также отмечена значительная роль дефицита селена в возникновении заболевания [18, 19].

Анализ полученных результатов выявил статистически значимое высокое содержание кальция, фосфора, стронция и максимальные значения отношений кальция к фосфору (Ca/P: 5,1) и Ca/Sr (217,4) в биосубстрате детей 2-й группы ($p < 0,001$), которые проживали в эндемичных населённых пунктах в отношении урвской болезни, в то время как у детей 1-й группы выявлены более низкие концентрации данных элементов и значений отношений Ca/P (4,2) и Ca/Sr (190,4). При анализе концентрации марганца в биосубстрате выявлено, что максимальные значения отношений фосфора к марганцу (P/Mn: 94,8) и кальция к марганцу (Ca/Mn: 481,4) установлены у детей 2-й группы, тогда как в 1-й группе они составили 43,7 и 183,1 соответственно. Таким образом, определены различия в содержании изучаемых элементов у детей и подростков, проживающих на эндемичной и контрольной территориях, что может подтверждать некоторые ранее высказанные геохимические гипотезы возникновения урвской болезни. Основным источником поступления марганца являются растительные продукты, поэтому выявленная закономерность может быть обусловлена изменением характера питания населения, использующего в основном привозные пищевые продукты, а также связана с уменьшением доли сельских жителей, употреблявших местную продукцию, в общей структуре численности населения края. Обнаруженное статистически значимое низкое содержание селена (0,02 мг/кг) в биосубстрате детей 2-й группы по сравнению с 1-й (0,15 мг/кг) можно рассматривать в качестве индикатора биогеохимической природы заболевания ($p < 0,001$).

Край является ураноносной провинцией, в регионе добывают почти 100% урана, а также в нём находится единственный в стране комплекс по его обогащению. Выявленные различия в содержании радиоактивных элементов урана и тория в биосубстрате исследуемых групп свидетельствуют о комплексном техногенно-природном влиянии, обусловленным наличием месторождений урановых руд, промышленных предприятий и предприятий топливно-энергетического сектора [18–20].

Оценка корреляционной зависимости между количественным содержанием различных химических элементов в биосубстрате выявила наличие обширных взаимосвязей между ними. На формирование ассоциаций химических элементов влияет существование на исследуемых территориях определённых геологических формаций и техногенного прессинга. Сравнение характера корреляционных взаимодействий элементов в волосах детей 1-й группы показало, что для токсичных элементов установлена статистически значимая ($p < 0,01$) положительная связь весьма высокой и высокой силы. В то же время для большинства эссенциальных элементов связь между ними и токсичными элементами носила слабый, умеренный или заметный характер силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи. Основным фактором

формирования химического состава волос является техногенная составляющая, обусловленная интенсивным загрязнением атмосферного воздуха в населённых пунктах, в которых проживают дети и подростки, участвующие в исследовании [14–16].

Для волос детей, проживающих в населённых пунктах вблизи расположения хвостохранилищ горнорудного производства характерна связь между элементами, определяющими геохимический фон местности. Для большинства токсичных элементов установлена статистически значимая ($p < 0,01$) положительная весьма высокая и высокая связь. При этом наличие положительной корреляции слабой, умеренной и заметной силы между свинцом, цинком и другими токсичными, а также эссенциальными элементами свидетельствует о влиянии минералогеохимического состава складированных отходов горнорудного производства на территориях проживания участников исследования. В зоне геохимических аномалий объекты окружающей среды характеризуются дисбалансом содержания элементов группы железа, что находит своё отражение в особенностях элементного гомеостаза организма человека. Выявленные обширные корреляционные взаимосвязи между элементами данной группы обусловлены, вероятно, природными условиями местности [18–20].

Закономерности распределения в объектах окружающей среды радиоактивных элементов сходны с редкоземельными, в связи с этим между содержанием данных элементов существует прямая корреляционная зависимость. Подобная последовательность выявлена для детей 1-й группы, в биосубстрате которых выявлены высокие концентрации радиоактивных (урана, тория) и редкоземельных (лантана, церия) элементов. При сравнении характера корреляционных взаимодействий между мышьяком и другими элементами у детей и подростков 1-й группы установлена положительная корреляция высокой и заметной силы, тогда как 2-й группы — слабой силы, что свидетельствует о наличии геохимической аномалии, формирование которой обусловлено геологическими особенностями региона [7, 17, 21].

ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении содержания химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на техногенно изменённых территориях Забайкальского края, ограничение исследования заключается в малом количестве обследуемых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование выявило неравномерное распределение химических элементов в биосубстрате детей, проживающих в различных условиях техногенной нагрузки. Элементный состав волос детского населения горнорудных территорий отражает специфику добываемого и перерабатываемого сырья и характеризуется избыточным концентрированием свинца и цинка, низким содержанием селена, йода и кобальта. В населённых пунктах, где ведущими источниками загрязнения окружающей среды являются объекты теплоэнергетики, железнодорожной инфраструктуры, промышленные предприятия и автотранспорт, элементный статус детей отличается высокими концентрациями более широкого спектра токсичных и условно-эссенциальных элементов. Обнаруженные взаимосвязи между содержанием различных химических веществ в биоматериале представляют определённый интерес, поскольку они дают представление о взаимодействии эссенциальных, условно-эссенциальных и токсичных элементов в организме человека. Изучение содержания и соотношения макро- и микроэлементов в волосах позволяет оценить геохимические особенности территорий с различной природно-техногенной обстановкой и разработать мероприятия по профилактике нарушений элементного статуса населения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста рукописи, интерпретация данных; Н.Н. Коцюржинская, Н.В. Соловьёва, Г.Ю. Самойленко, О.А. Лескова, Б.В. Нимаева — сбор биологического материала, описание материалов и методов, анализ результатов исследования, статистический анализ данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России (выписка из протокола заседания № 95 от 25.06.2019). Все законные представители участников

исследования добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика журнала по вопросам доступа к данным к настоящей работе неприменима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей рукописи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал по приглашению редакции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Avtsyn AV, Zhavoronkov AA, Rish MA, Strochkova LS. *Human Microelementosis*. Moscow: Publishing house "Meditsina"; 1991. (In Russ.)
2. Ermakov VV, Tyutikov SF, Safonov VA. *Biogeochemical Indication of Trace Elements*. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2018. EDN: [YNHZUT](#)
3. Abramov BN, Eremin OV, Filenko RA, et al. Assessment of Potential Environmental Hazards of Natural and Man-Made Complexes of Ore Deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosphere Research*. 2020;(2):64–75. doi: [10.17223/25421379/15/5](#) EDN: [QVXPAG](#)
4. Yurgenson GA, Smirnova OK, Solodukhina MA, Filenko RA. The Geochemical Features of Ores and Technosols of Tailing Gold-Molybdenum Mine Davenda in Eastern Transbaikalia. *Litosphere*. 2016;(2):91–106. EDN: [VXDXAJ](#)
5. Mikhailova LA, Solodukhina MA, Alekseeva OG, et al. Hygienic Assessment of the Content of Chemicals in the Soil of Mining Areas of the Trans-Baikal Region. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(4):400–410. doi: [10.18821/0016-9900-2019-98-4-400-410](#) EDN: [XZCAKW](#)
6. Chechel LP, Zamana LV. Geochemical Types of Waters of Lead-Zinc Deposits Tailings in the Eastern Transbaikalia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(4):17–25. doi: [10.18799/24131830/2019/4/189](#) EDN: [YWUANL](#)
7. Bondarevich EA, Kotsyurzhinskaya NN, Voychenko AA, et al. The State of the Soil Cover in the Areas of Technogenic Biogeochemical Anomalies in Transbaikalia Region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020;(3):57–64. doi: [10.17513/use.37346](#) EDN: [QDIHNF](#)
8. Batyrova GA, Tlegenova ZS, Umarova GA, et al. Microelement Status of the Adult Population in Western Kazakhstan. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(11):42–49. doi: [10.33396/1728-0869-2021-11-42-49](#) EDN: [ERBOWW](#)
9. Lisetskaya LG. Concentrations of Trace Elements in Children's Hair in Rural Areas of the Irkutsk Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(2):13–19. doi: [10.33396/1728-0869-2021-2-13-19](#) EDN: [ZVLXMN](#)
10. Evstafeva EV, Bogdanova AM, Tymchenko SL, et al. Element Content in Human Hair of Residents from Simferopol city. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(6):391–402. doi: [10.17816/humeco90984](#) EDN: [OQBJAL](#)
11. Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhislamova ER, et al. Elemental Imbalance in Children With Cerebral Palsy (Spastic Diplegia). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):829–837. doi: [10.17816/humeco643109](#) EDN: [ECFAPG](#)
12. Rafikova YS, Semenova IN, Suyundukov YT, et al. Results of Biomonitoring for Trace Elements in Children of the Mining Region of Bashkortostan. *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(3):245–250. doi: [10.18821/0016-9900-2018-97-3-245-250](#) EDN: [URPVBU](#)
13. Semenova IN, Rafikova YS, Drovosekova IV, et al. Elemental Status of Population in a Mining Region (on the Example of Transural Region of the Republic of Bashkortostan). *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2015;16(2):47–51. doi: [10.19112/2413-6174-2015-16-2-47-51](#) EDN: [TWCZL](#)
14. Kleyn SV, Popova EV. Hygienic Assessment of Ambient Air Quality in Chita, a Priority Area of the Federal Clean Air Project. *Public Health and Life Environment - PH&LE*. 2020;333(12):16–22. doi: [10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22](#) EDN: [TGYEAR](#)

15. Nimaeva BV. Hygienic Assessment of Soil Quality in Chita. *Smolensk Medical Almanac*. 2021;(3):58–61. EDN: [NFAZPT](#)

16. Bondarevich EA, Kotsurzhinskaya NN, Leskova OA, et al. Monitoring the Level of the Air Contamination by Chemical Elements Impoundment in the Snow Melt of the Snow Blanket. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(8):47–53. doi: [10.18412/1816-0395-2021-8-47-53](#) EDN: [TKWKXF](#)

17. Solodukhina MA, Yurgenson GA. *Arsenic in Landscapes of the Sherlovogorsk Ore District (Eastern Transbaikalia)*. Chita: ZabGU; 2018. (In Russ.) ISBN: 978-5-9293-2137-5 Available from: <https://inrec-sbras.ru/wp-content/uploads/2021/05/>

18. Zamana LV, Rikhvanov LP, Soktoev BR, et al. New Data on Chemical Composition of Natural Waters in the Area of Distribution of Urov (Kaschin–Beck) Disease (Transbaikal Region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(1):121–133. doi: [10.18799/24131830/2019/1/56](#) EDN: [VUSIWK](#)

19. Mikhno VA, Baranova TI. Kashin–Beck Disease. *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2020;(4):57–58. EDN: [XDRQRA](#)

20. Rikhvanov LP, Soktoev BR, Baranovskaya NV, et al. Comprehensive Geochemical Research of the Environmental Components in Endemic Areas of Transbaikalia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(2):7–25. doi: [10.18799/24131830/2021/2/3039](#) EDN: [GWCIFY](#)

21. Solodukhina NA, Mikhailova LA, Lapa SE, Burlaka NM. Geochemical Features of the Environment and Endemic Disease Trans-Baikal territory. *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2015;(4):169–174. EDN: [UZHBAV](#)

ОБ АВТОРАХ/ AUTHORS' INFO

Автор, ответственный за переписку:	
* Михайлова Лариса Альфредасовна , канд. мед. наук, доцент; адрес: Россия, 672000, Чита, ул. Горького, д. 39а; ORCID: 0000-0001-7470-990X; eLibrary SPIN: 3125-3516; e-mail: mihailova-la@mail.ru	* Larisa A. Mikhailova , MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; address: 39a Gorky st, Chita, Russia, 672000; ORCID: 0000-0001-7470-990X; eLibrary SPIN: 3125-3516; e-mail: mihailova-la@mail.ru
Соавторы:	
Бондаревич Евгений Александрович , канд. биол. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-0032-3155; eLibrary SPIN: 2664-0626; e-mail: bondarevich84@mail.ru	Evgeny A. Bondarevich , Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; ORCID: 0000-0002-0032-3155; eLibrary SPIN: 2664-0626; e-mail: bondarevich84@mail.ru
Коцюржинская Наталья Николаевна , канд. биол. наук, доцент; ORCID: 0000-0003-0061-8014; eLibrary SPIN: 9009-1380; e-mail: nata_nik_k@mail.ru	Natalia N. Kotsurzhinskaya , Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; ORCID: 0000-0003-0061-8014; eLibrary SPIN: 9009-1380; e-mail: nata_nik_k@mail.ru
Соловьёва Наталья Владимировна , канд. мед. наук, доцент; ORCID: 0009-0005-2245-1931; eLibrary SPIN: 1238-9206; e-mail: solovjevaNV@yandex.ru	Natalia V. Solovjeva , MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; ORCID: 0009-0005-2245-1931; eLibrary SPIN: 1238-9206; e-mail: solovjevaNV@yandex.ru
Самойленко Галина Юрьевна , канд. биол. наук; ORCID: 0009-0006-0671-3388; eLibrary SPIN: 2967-1729; e-mail: g.s.311278@mail.ru	Galina Yu. Samoilenko , Cand. Sci. (Biology); ORCID: 0009-0006-0671-3388; eLibrary SPIN: 2967-1729; e-mail: g.s.311278@mail.ru
Лескова Ольга Александровна , канд. биол. наук, доцент; ORCID: 0000-0001-9565-3546; eLibrary SPIN: 5811-9793; e-mail: leskova-olga@inbox.ru	Olga A. Leskova , Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; ORCID: 0000-0001-9565-3546; eLibrary SPIN: 5811-9793; e-mail: leskova-olga@inbox.ru

Нимаева Балжит Владимировна; ORCID: 0000-0002-8029-6213; eLibrary SPIN: 5574-5763; e-mail: s407060@yandex.ru	Baljit V. Nimaeva; ORCID: 0000-0002-8029-6213; eLibrary SPIN: 5574-5763; e-mail: s407060@yandex.ru
--	--

Accepted for publication

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Содержание эссенциальных химических элементов в волосах детей и подростков

Table 1. The content of essential chemical elements in the hair of children and adolescents

Химический элемент	1-я группа, n=97	2-я группа, n=51	Тестовая статистика
Натрий (Na), мг/кг	4023,7 [2647,7; 10 211,2]	1673,7 [1002,8; 2812,1]	U=984,0; $p < 0,001$
Магний (Mg), мг/кг	323,6 [231,4; 1305,6]	71,7 [51,8; 158,5]	U=553; $p < 0,001$
Фосфор (P), мг/кг	56,8 [31,2; 141,9]	132,7 [80,1; 218,7]	U=1478; $p < 0,001$
Сера (S), мг/кг	2860,1 [1960,4; 3987,4]	2727,9 [1533,8; 11 311,7]	U=2180; $p = 0,236$
Хлор (Cl), мг/кг	39,6 [14,9; 93,4]	2,5 [1,3; 4,4]	U=436,5; $p < 0,001$
Калий (K), мг/кг	46,3 [21,7; 115,7]	67,0 [42,2; 174,4]	U=1728; $p = 0,003$
Кальций (Ca), мг/кг	238,0 [98,3; 602,3]	674,1 [436,0; 1105,0]	U=1090; $p < 0,001$
Хром (Cr), мг/кг	1,5 [0,6; 3,4]	1,5 [0,9; 2,4]	U=2345; $p = 0,604$
Марганец (Mn), мг/кг	1,3 [0,5; 2,7]	1,4 [1,0; 2,2]	U=1986; $p = 0,049$
Железо (Fe), мг/кг	17,5 [8,6; 44,7]	50,5 [38,2; 95,9]	U=1004; $p < 0,001$
Кобальт (Co), мг/кг	0,3 [0,2; 0,8]	0,07 [0,05; 0,13]	U=576; $p < 0,001$
Медь (Cu), мг/кг	1,9 [1,1; 4,6]	2,2 [0,9; 4,0]	U=2468; $p = 0,982$
Цинк (Zn), мг/кг	16,5 [11,2; 30,0]	111,2 [83,9; 188,7]	U=304; $p < 0,001$
Селен (Se), мг/кг	0,15 [0,07; 0,46]	0,02 [0,02; 0,05]	U=481; $p < 0,001$
Йод (I), мг/кг	3,1 [2,2; 10,1]	0,9 [0,7; 1,7]	U=664; $p < 0,001$

Примечание. Данные представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

Таблица 2. Содержание условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в волосах детей и подростков

Table 2. The content of conditionally essential and toxic chemical elements in the hair of children and adolescents

Химический элемент	1-я группа, n=97	2-я группа, n=51	Тестовая статистика
Алюминий (Al), мг/кг	719,3 [420,1; 2266,6]	51,1 [26,3; 71,0]	U=356; $p < 0,001$
Скандий (Sc), мг/кг	1,2 [0,8; 3,8]	0,26 [0,21; 0,54]	U=546,5; $p < 0,001$
Титан (Ti), мг/кг	1,4 [0,7; 4,5]	1,7 [0,9; 3,2]	U=2210; $p = 0,288$
Ванадий (V), мг/кг	0,7 [0,5; 2,3]	0,15 [0,11; 0,32]	U=531; $p < 0,001$
Никель (Ni), мг/кг	0,3 [0,2; 0,9]	0,67 [0,46; 1,02]	U=1522,5; $p < 0,001$
Галлий (Ga), мг/кг	0,15 [0,1; 0,42]	0,03 [0,03; 0,07]	U=593; $p < 0,001$
Мышьяк (As), мг/кг	0,20 [0,09; 0,42]	0,22 [0,1; 0,32]	U=2369,5; $p = 0,675$
Бром (Br), мг/кг	0,14 [0,08; 0,31]	0,03 [0,02; 0,05]	U=681; $p < 0,001$
Рубидий (Rb), мг/кг	0,15 [0,10; 0,45]	0,03 [0,02; 0,07]	U=771; $p < 0,001$
Стронций (Sr), мг/кг	1,25 [0,43; 4,02]	3,1 [2,0; 0,4]	U=1369; $p < 0,001$
Олово (Sn), мг/кг	5,2 [3,8; 16,6]	1,7 [1,3; 3,1]	U=747,5; $p < 0,001$
Сурьма (Sb), мг/кг	8,8 [4,6; 26,4]	0,8 [0,6; 1,5]	U=372,5; $p < 0,001$
Цезий (Cs), мг/кг	3,7 [2,6; 12,2]	0,5 [0,4; 0,9]	U=413,5; $p < 0,001$
Барий (Ba), мг/кг	2,4 [1,7; 7,7]	0,5 [0,4; 0,9]	U=674,5; $p < 0,001$
Лантан (La), мг/кг	2,3 [1,6; 3,3]	0,3 [0,25; 0,71]	U=424,5; $p < 0,001$
Церий (Ce), мг/кг	1,6 [1,1; 5,1]	0,28 [0,21; 0,59]	U=462; $p < 0,001$
Вольфрам (W), мг/кг	1,3 [0,9; 4,6]	0,05 [0,04; 0,11]	U=270; $p < 0,001$
Свинец (Pb), мг/кг	0,3 [0,16; 0,85]	1,5 [0,9; 2,3]	U=685,5; $p < 0,001$
Торий (Th), мг/кг	0,16 [0,11; 0,5]	0,04 [0,03; 0,09]	U=696; $p < 0,001$
Уран (U), мг/кг	0,24 [0,13; 0,63]	0,06 [0,04; 0,13]	U=1015,5; $p < 0,001$

Примечание. Данные представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

РИСУНКИ

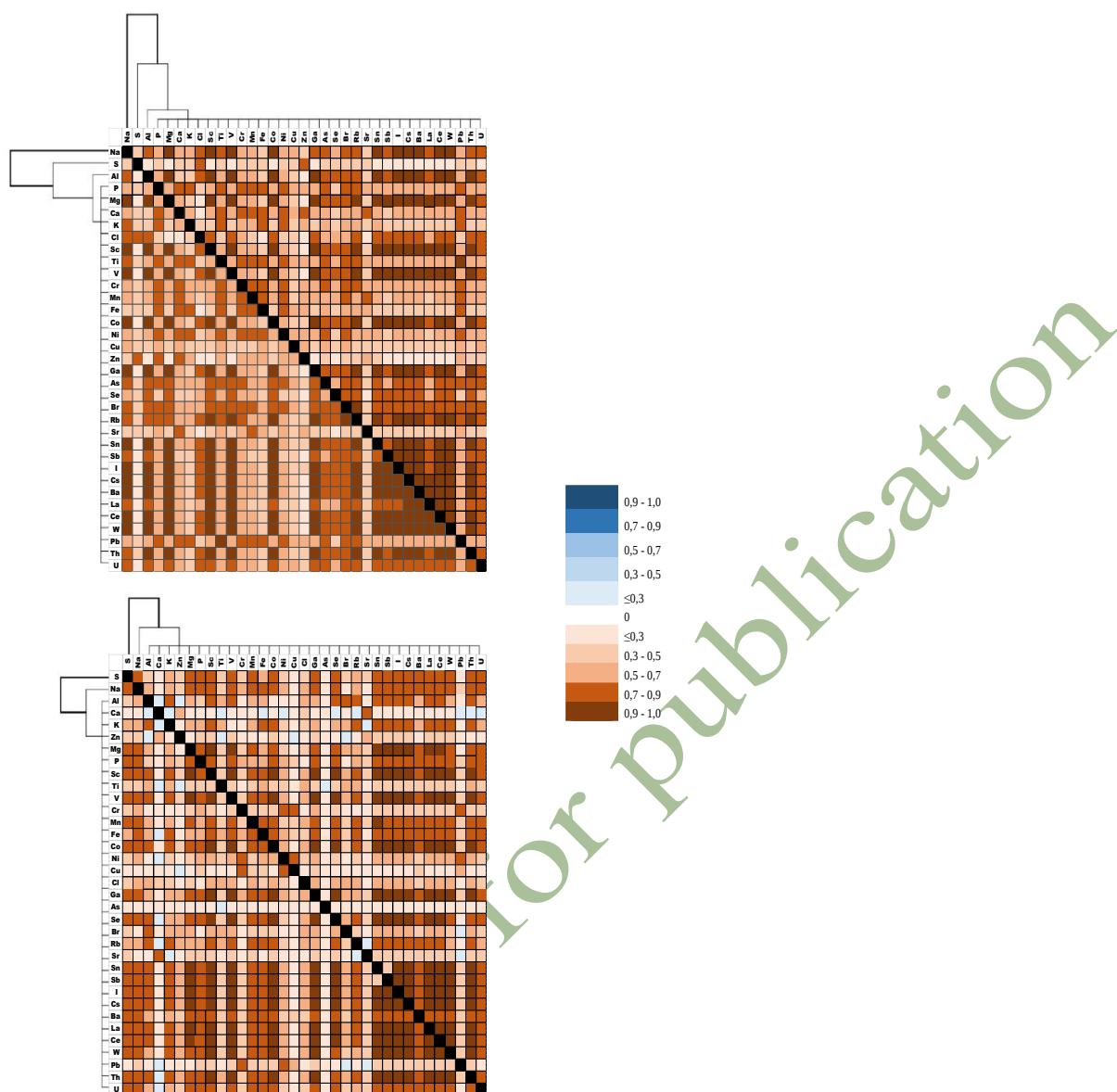


Рис 1. Корреляции содержания химических элементов в волосах детей и подростков: *a* — 1-я группа; *b* — 2-я группа. Цветами обозначен характер связи: оттенки синего цвета — отрицательная корреляция; оттенки коричневого цвета — положительная корреляция. Интенсивность цвета отражает силу связи между параметрами.

Fig. 1. Correlations of levels of chemical elements in the hair of children and adolescents of group 1 (*a*) and group 2 (*b*) settlements. The colors indicate the nature of the relationship: shades of blue – negative correlation; shades of brown – positive correlation. The color intensity reflects the strength of the relationship between the parameters.