

Минералограммы детей с расстройствами аутистического спектра

Е.А. Луговая, А.Л. Горбачев

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Расстройства аутистического спектра часто сопровождаются коморбидными соматическими патологиями, что требует разработки надёжных методов предиктивной диагностики. Анализ элементного состава волос, отражающий долгосрочный метаболический статус, позволяет выявить индивидуальный дисбаланс микроэлементов и создать персонализированные схемы коррекции для профилактики сопутствующих нарушений.

Цель. Провести оценку потенциала минералограмм волос в качестве предиктивного биомаркера рисков развития коморбидных соматических нарушений у детей с расстройствами аутистического спектра для разработки персонализированных схем коррекции.

Методы. У 36 детей с диагнозами, соответствующими группе болезней «Общие расстройства психологического развития» (1-я группа), и 64 детей контрольной группы (2-я группа), проживающих в Магадане, спектрометрическими методами определено содержание в волосах 25 макро- и микроэлементов. Провели пошаговый анализ абсолютного содержания биоэлементов, межгрупповое сравнение частот отклонений от референсных значений, корреляционный анализ и построили формулу элементного дисбаланса для 1-й группы.

Результаты. В 1-й группе содержание калия и кобальта статистически значимо выше, чем во 2-й, а концентрация железа, селена, марганца, хрома, кремния, мышьяка ниже ($p < 0,05$). При анализе частот отклонений обнаружены дефицит марганца (44% в 1-й группе и 23% во 2-й), цинка (25 и 50% соответственно в 1-й и 2-й группах), фосфора (86 и 42% соответственно в 1-й и 2-й группах), натрия (39 и 17 соответственно в 1-й и 2-й группах). Впервые обнаружен дефицит кремния в 1-й группе (42%), который не характерен в целом для жителей Магадана. В центре корреляционной плеяды 1-й группы находится марганец, который образует сильные статистически значимые корреляционные связи с железом и цинком ($r > 0,7$; $p < 0,05$).

Заключение. В формулу элементного дисбаланса при расстройствах аутистического спектра включён избыток ванадия и дефицит натрия, кремния, марганца и фосфора, что выявляется на фоне «северного» дефицита кальция, магния, кобальта, йода у этих же детей. Дефицит железа и селена в волосах детей с расстройствами аутистического спектра не обнаружен и может свидетельствовать о его достаточном поступлении в организм, но невозможности всасываться в «дырявом кишечнике» и обеспечивать необходимый метаболизм. Полученные результаты приоткрывают фундаментальные основы организации биоэлементной системы при расстройствах аутистического спектра, допуская их варианты в зависимости от биогеохимии региона, пола, возраста и особенностей диагноза.

Ключевые слова: аутизм; дети; химические элементы; волосы; дисбаланс; биомаркеры.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Луговая Е.А., Горбачев А.Л. Минералограммы детей с расстройствами аутистического спектра // Экология человека. 2025. Т. 32, № 11. С. XX-XX. DOI: 10.17816/humeco691942 EDN: GMIGDK

Рукопись поступила: 04.10.2025

Рукопись одобрена: 14.11.2025

Опубликована online: 24.11.2025

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

© Эко-Вектор, 2025

Mineralograms of Children With Autism Spectrum Disorder as a Marker of Health Risk

Elena A. Lugovaya, Anatoly L. Gorbachev

Research Center "Arctic" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Autism spectrum disorder is frequently accompanied by comorbid somatic pathologies, necessitating the development of reliable predictive diagnostic methods. Hair mineral analysis, which reflects long-term metabolic status, enables the identification of individual trace element imbalances and the creation of personalized correction plans to prevent associated health impairments.

AIM: To assess the potential of hair mineralograms as a predictive biomarker for the risk of developing comorbid somatic disorders in children with autism spectrum disorder (ASD), with the aim of developing personalized correction schemes.

METHODS: We determined the content of 25 macro- and microelements in hair samples from 36 children diagnosed with Pervasive Developmental Disorders (PDD) and 64 control children, all residing in Magadan City, using spectrometric methods. The study included a stepwise analysis of the absolute bioelement content, an intergroup comparison of the frequency of deviations from reference ranges, a correlation analysis, and the development of an elemental imbalance formula for the PDD group.

RESULTS: The analysis showed that the ASD group had significantly higher levels of potassium and cobalt, but significantly lower concentrations of iron, selenium, manganese, chromium, silicon, and arsenic compared to the controls ($p < 0.05$). Furthermore, the frequency of deficiencies was higher in the ASD group for manganese (44% vs. 23%), phosphorus (86% vs. 42%), and sodium (39% vs. 17%), while zinc deficiency was more prevalent in the control group (25% vs. 50%). Notably, a silicon deficiency was identified for the first time in the ASD cohort (42%), a finding not characteristic of Magadan's general population. Correlation analysis placed manganese at the center of a correlation cluster in the ASD group, where it demonstrated strong significant relationships with iron and zinc ($r > 0.7$; $p < 0.05$).

CONCLUSION: The developed formula for elemental disbalance in ASD includes an excess of vanadium combined with deficiencies of sodium, silicon, manganese and phosphorus. This distinct pattern is superimposed on a baseline "Northern" deficiency of calcium, magnesium, cobalt, and iodine common among children in this region. Interestingly, no iron or selenium deficiency was detected in the hair of children with ASD, suggesting adequate intake but potential malabsorption issues, possibly linked to impaired intestinal permeability ("leaky gut"), preventing these elements from supporting essential metabolic processes. These findings provide initial insights into the fundamental structure of the bioelemental system in ASD, although its specific expression may vary based on regional biogeochemistry, sex, age, and individual diagnostic characteristics.

Keywords: autism spectrum disorder; children; hair mineral analysis; trace elements; imbalance; biomarkers.

TO CITE THIS ARTICLE:

Lugovaya EA, Gorbachev AL. Mineralograms of Children With Autism Spectrum Disorder as a Marker of Health Risk. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2025;32(11):XX-XX. DOI: 10.17816/humeco691942 EDN: GMIGDK

Received: 04.10.2025

Accepted: 14.11.2025

Published online: 24.11.2025

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

© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Высокая распространённость расстройств аутистического спектра (РАС) и их коморбидность с соматическими патологиями диктуют необходимость поиска надёжных биомаркеров для предиктивной диагностики и профилактики сопутствующих нарушений здоровья [1]. Одним из перспективных направлений является элементный анализ (составление минералограмм).

Дисбаланс эссенциальных (цинк, магний, селен, медь) и токсичных (свинец, ртуть, алюминий, кадмий) элементов напрямую влияет на ключевые патогенетические механизмы аутизма: окислительный стресс, нарушение синаптической передачи, иммунной регуляции и детоксикации. Анализ волос или ногтей отражает кумулятивное воздействие элементов и долгосрочный метаболический статус организма, что позволяет выявить субклинический дефицит или интоксикацию, не всегда очевидные при анализе крови. Выявление специфического дисбаланса у конкретного ребёнка позволяет не только оценить риски развития коморбидных состояний, например, неврологических расстройств, иммунодефицитов, патологий желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), но и разработать таргетную хелаторную терапию или индивидуальную схему нутритивной поддержки для коррекции выявленных нарушений и улучшения общего состояния.

Цель исследования. Оценка потенциала минералограммы волос в качестве предиктивного биомаркера рисков развития коморбидных соматических нарушений у детей с РАС для разработки персонализированных схем коррекции.

МЕТОДЫ

ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено перекрёстное неконтролируемое исследование минералограмм волос 36 детей 7–15 лет (1-я группа): 9 девочек и 27 мальчиков с «Общими расстройствами психологического развития» (РАС). В контрольную группу вошли 64 здоровых ребёнка 8–15 лет (2-я группа): 38 девочек и 26 мальчиков.

ЭТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом НИЦ «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (протокол № 09/2025).

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследуемые представляли собой социально организованную группу детей (режим дня, питание), обучающихся по адаптированным образовательным программам в Магаданском областном центре образования № 1.

КРИТЕРИИ СООТВЕТСТВИЯ (ОТБОРА)

Критерием включения в 1-ю группу был диагноз в соответствии с МКБ-10 — F84: детский аутизм, атипичный аутизм, синдром Аспергера. Критерием исключения являлся более младший или более старший возраст, наличие основного диагноза, не соответствующего F84, обострение заболевания, тяжёлые стадии РАС. Дети 1-й группы не принимали противосудорожные препараты.

ТЕСТИРУЕМЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Исследуемый диагностический метод

Спектрометрическими методами определено содержание в волосах 25 макро- и микроэлементов (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) на приборах Optima 2000 DV и ELAN 9000 согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргонной плазмой и масс-спектрометрии» в АНО «Центр биотической медицины» (Москва).

Референсный (контрольный) диагностический метод (если применимо)

В качестве референсных величин содержания химических элементов в волосах детей использовали центильные значения концентраций (мкг/г) из методических рекомендаций А.В. Скального и соавт. [2].

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕДУРЫ

Запланированный размер выборки

Чтобы оценить влияние пола и возраста на структуру минералограмм у детей с РАС и в группе контроля, рассчитали коэффициент ковариации, который в обеих группах и при всех «мешающих» факторах стремился к нулю, демонстрируя статистически значимую независимость изменений концентраций элементов от пола и возраста при решении поставленной задачи исследования, хотя, несомненно, существуют половозрастные нормативы концентраций химических элементов в волосах [2]. Однако в отдельных случаях в стартовых исследованиях для выявления базовых закономерностей или тенденций подход к анализу малых групп с объединением подгрупп в одну,

без учёта некоторых признаков, в биологических исследованиях допустим. Именно поэтому в настоящей статье представлен общий анализ элементного статуса детей, без учёта пола и возраста.

Статистические методы

Статистическую обработку результатов исследования проводили программным продуктом SPSS Statistics 21.0 с использованием критерия Манна–Уитни. Рассчитывали медианы (Me), центильные показатели (P25; P75). Межгрупповые различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для изучения межэлементных связей выполнили корреляционный анализ с построением матриц ковариаций в 01-й и 2-й группах. Учитывали только статистическую значимость коэффициентов корреляций ($p < 0,05$). Для отображения доли вариации одной переменной от другой применяли коэффициент детерминации (R^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При значении медиан концентраций химических элементов, которые находились в диапазоне нормы в обеих группах, можно вычленировать некоторый компенсаторный механизм: в группе детей с РАС уровень калия и кобальта был выше, чем в контрольной, концентрации железа, селена, марганца, хрома, кремния, мышьяка — статистически значимо ниже (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Разберём три подхода к анализу минералограмм у пациентов с РАС.

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ (КОНЦЕНТРАЦИЙ) ЭЛЕМЕНТОВ

Данный анализ имеет чёткий смысл и важен прежде всего в индивидуальной оценке дисбаланса каждого испытуемого.

Статистически значимо пониженное, но в диапазоне нормальных значений, содержание **мышьяка** в волосах у детей с РАС может дополнительно свидетельствовать, что при таких диагнозах нарушается функция кишечника (всасывающая способность), часть элементов проходит транзитом, что особенно важно для тех элементов, всасывание которых происходит преимущественно в кишечнике, для мышьяка это 80%. Именно поэтому у пациентов с РАС ухудшается усвоение азота и фосфора из пищи, снижается удержание фосфора в организме (подтверждается медианным дефицитом **фосфора** в 1-й группе), снижается синтез гемоглобина, ослабевают окислительные и ферментативные процессы, а также угнетающий эффект на безвредные бактерии. В исследованиях отмечают повышенное содержание мышьяка в сыворотке крови у детей [3], но одновременное определение содержания мышьяка в волосах не проводили, поэтому мы можем предположить наличие эффекта перераспределения токсичного элемента в организме за счёт нарушения его гомеодинамики. Тот же эффект может оказывать и пониженное по сравнению с контролем содержание **олова, кадмия, алюминия и никеля**. У детей с РАС зафиксировано понижение содержания кадмия и свинца в моче по сравнению с детьми группы контроля [4], понижение олова и ртути в плазме крови [5], концентрация кадмия в цельной крови у детей с РАС была значительно ниже ($p < 0,001$) по сравнению с показателями здоровых детей [6]. Пониженное содержание в моче детей Куала-Лумпура кадмия, свинца и мышьяка интерпретируется авторами как нарушение механизма их выведения из организма, а значит может приводить к накоплению в других депо [7]. Избыток токсичных элементов, очевидно, оказывает губительный эффект для организма, но для каждого элемента предусмотрена его обязательная роль [8].

Примечательно, что в обеих группах медианный уровень йода, лития и ванадия был в пределах нормальных значений, хотя эксперты выделяют важную роль этих элементов в реализации РАС [9–11]. Даже субклинический дефицит **йода** у матери во время беременности является установленным фактором риска нарушений нейрокognитивного развития у детей, что может повышать вероятность РАС и других неврологических отклонений [12, 13]. У детей с РАС часто отмечают нарушения функционирования щитовидной железы, потенциально связанные с дисрегуляцией йодного обмена [14]. Изучается роль **лития** в снижении нейровоспаления и окислительного стресса — ключевых патологических процессов при РАС [15, 16]. J.B. Adams и соавт. [17] отметили понижение лития у детей с РАС в цельной крови на 52% по сравнению с группой контроля, но в пределах референсного диапазона, что может свидетельствовать о недостаточном обеспечении аутостабилизирующих механизмов. Отдельные исследования указывают на возможное положительное влияние низких доз лития на снижение агрессии, импульсивности и аффективной неустойчивости у некоторых детей с аутизмом [18]. Основная гипотеза связывает **ванадий** с РАС как фактор антропогенного риска (сжигание ископаемого

топлива, промышленные выбросы). Избыток ванадия генерирует окислительный стресс, повреждает митохондрии и нарушает нейроразвитие, что потенциально может способствовать возникновению РАС при воздействии в критические пренатальные периоды [19].

Дефицитные медианные значения **магния** и **кальция** в обеих группах свидетельствуют о типичности данных отклонений в регионе, что подтверждается результатами наших многолетних исследований [20] и результатами иностранных учёных, показывающих, что в цельной крови, сыворотке и во фракции форменных элементов нет статистических отличий по содержанию магния и кальция между группой с РАС и контролем, но магний в цельной крови и сыворотке крови находился ниже нижней границы референсного диапазона, что также указывает на дисбаланс на популяционном уровне [17]. Известно, что биогеохимия региона во многом определяет элементный статус населения и может влиять на течение тех или иных заболеваний или эффективность терапии [21, 22].

АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ДЕФИЦИТА ИЛИ ИЗБЫТКА ЭЛЕМЕНТОВ

Частота встречаемости дефицита биоэлементов у пациентов представлена на **рис. 1**:

При рассмотрении диаграммы видно, что большинство элементов, демонстрирующих дефицит, по частоте встречаемости в группах сопоставимы. Это кобальт, йод, медь, магний, кальций и калий. Согласно данным литературы [23–26] и собственным многолетним исследованиям, дефицит этих элементов характерен для северян любого пола и возраста.

В случае с РАС необходимо обратить внимание на те элементы, частота встречаемости дефицита которых в два раза отличается от группы контроля (см. рис. 1). Это марганец (44% в группе РАС и 23% в группе контроля, $p < 0,05$), цинк (25 и 50% соответственно; $p < 0,05$), фосфор (86 и 42% соответственно), натрий (39 и 17%, соответственно; $p < 0,05$). Обнаружен дефицит кремния в группе РАС (42%), что не характерно в целом для жителей Магадана.

Прямых и устоявшихся научных данных о специфической роли дефицита **кремния** (Si) в патогенезе РАС на сегодняшний день не существует. Исследования его связи с аутизмом носят единичный и гипотетический характер [27–29]. Однако, основываясь на известных функциях кремния в организме, можно предположить опосредованное влияние его дефицита на процессы, значимые при РАС, прежде всего это нарушение барьерной функции. Кремний важен для синтеза коллагена и соединительной ткани. Существует гипотеза, что его дефицит может способствовать нарушению целостности слизистых оболочек, в том числе кишечника. Это потенциально усугубляет состояние «дырявого кишечника» (leaky gut), которое часто ассоциировано с РАС и способствует системному воспалению и поступлению нейротоксинов в кровоток. Аналогично дефицит кремния теоретически может влиять на поддержание целостности гематоэнцефалического барьера, повышая его проницаемость для вредных соединений. Также кремний, по некоторым данным, может способствовать выведению из организма алюминия, образуя с ним алюмосиликаты. Алюминий — это элемент, обладающий нейротоксичным действием, который часто рассматривается как один из потенциальных факторов риска РАС, но в нашем исследовании содержание алюминия в волосах детей с РАС находилось в диапазоне нормальных значений (см. табл. 1). Причинами дефицита кремния могут являться особенности биогеохимического окружения, в том числе недостаток этого элемента в питьевой воде региона [30]. Кремний играет роль в метаболизме костной ткани и формировании суставов. Хотя это не является прямым симптомом аутизма, многие дети с РАС имеют сопутствующие проблемы с ЖКТ, ведущие к мальабсорбции, и, как следствие, возможные нарушения минерального обмена. Дефицит кремния может усугублять эти состояния.

В нашем исследовании в группе РАС обнаружено 39% детей с дефицитом натрия (см. рис. 1). Существуют косвенные механизмы и особенности, которые могут связывать дисрегуляцию натрия и его обмена с патофизиологией РАС. У лиц с нарушениями развития нервной системы фиксируют гипонатриемию [31, 32]. Многие дети с РАС привередливы в еде и могут отдавать предпочтение продуктам с крайним вкусовым профилем, отказываясь от солёной пищи [33]. Отмечается предпочтение употребления чистой воды, что может привести к «разведению» натрия в крови и вызвать гипонатриемию (состояние, когда уровень натрия в крови падает ниже нормы). Сопутствующие нарушения работы ЖКТ (диарея, рвота) — очень частые спутники РАС. Эти состояния приводят к потере жидкости и электролитов, включая натрий. Таким образом, дефицит натрия может возникать эпизодически.

Более глубокий уровень дефицита натрия — неврологические и метаболические механизмы. Некоторые гипотезы и исследования связывают РАС с нарушениями в функционировании натрий-калиевых насосов (Na^+/K^+ -ATPase) и других ионных каналов в нейронах [34]. Эти насосы критически важны для поддержания мембранного потенциала и генерации нервных импульсов. Их дисфункция может нарушать передачу сигналов в мозге, что является одним из ключевых

механизмов при РАС. Это не «дефицит натрия» в организме, а нарушение его использования на клеточном уровне.

Также хроническое воспаление и нарушение проницаемости кишечного барьера могут косвенно влиять на многие метаболические процессы, включая электролитный баланс, через системное воспаление и выброс цитокинов [35, 36]. То есть мы снова упоминаем частую проблему РАС — «дырявый кишечник». В том числе у детей с РАС повышен риск эпилепсии [37]. Некоторые противосудорожные препараты могут влиять на уровень электролитов, включая натрий [38]. У некоторых детей с РАС может быть нарушена регуляция чувства жажды или механизмов, контролирующих водно-солевой баланс (осморегуляция), что может приводить к неадекватному потреблению жидкости и, как следствие, к электролитному дисбалансу.

Важно не путать причину и следствие: утверждение «дефицит натрия вызывает аутизм» — неверно. Скорее, особенности аутизма (ограниченное питание, проблемы с ЖКТ, возможные метаболические нарушения) могут в отдельных случаях приводить к дисбалансу натрия как к вторичному симптому.

Отсутствие дисбаланса по **железу и селену** в группе с РАС по сравнению с контролем, где частота встречаемости дефицитов составила 21 и 24% соответственно, может ещё раз свидетельствовать о включении механизмов стабилизации от потери этих элементов для выполнения жизненно важных функций.

Отмеченная ранее возможная роль **ванадия** в процессах РАС позволяет уточнить, что, несмотря на нормальный медианный уровень ванадия в волосах, мы обнаружили у 25% детей с РАС избыток ванадия в волосах лёгкой степени (отклонения 1-й степени и верхняя граница нормы). В работе X. Zhou и соавт. [39] показано повышение уровня ванадия в волосах детей с тяжелой формой аутизма.

АНАЛИЗ МЕЖЭЛЕМЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Третьим не менее информативным вариантом анализа данных является анализ межэлементных отношений. На **рис. 2 и 3** представлены корреляционные плеяды биоэлементов, полученные в группе РАС и в группе контроля. Поскольку механизм дисбаланса микроэлементов при РАС неясен, учёные стараются применять корреляционный анализ для выявления последовательностей, закономерностей содержания одних и тех же элементов в биосредах, а также установления связей с критериями и тяжестью РАС [17, 40].

В **табл. 2** приведены значения коэффициентов корреляций между элементами в волосах детей исследуемых групп и рассчитан коэффициент детерминации для демонстрации стохастичности выявленных взаимосвязей. В результате можно отметить, что представленные на рис. 2 и 3 модели не являются абсолютными, при изменении любых условий могут динамично меняться.

Как показывают исследования, система стремится увеличить количество связей в ответ на напряжение и дисбаланс [41]. А.Н. Горбань и соавт. [42] отмечают, что при значительном адаптационном напряжении корреляции между физиологическими параметрами растут, а в ходе успешной адаптации уменьшаются.

При корреляционном анализе мы обнаружили 52 статистически значимые связи ($p < 0,05$) между содержанием изученных химических элементов в волосах детей с РАС. Наибольшее число связей оказалось у Mn (8), далее по убывающей у Al, Cr (по 7), K, Ca, I, As (по 6), Cu, Na, Li (по 5), P, Ni (по 4), Hg, Pb, Fe, Zn (по 3) и т.д. Ядро корреляционной плеяды элементов показано на рис. 2.

Из данных табл. 2 видно, что обнаруживается высокая корреляция (тесная взаимосвязь) между марганцем и кальцием, марганцем и магнием, а также магнием и кальцием, а у больных детей корреляция уменьшается (марганец/кальций) до 0,57, а в остальных парах вообще не обнаруживается. Данные взаимосвязи в биоэлементной системе здорового организма типичны, но при наличии РАС они исчезают, тем самым свидетельствуя о дестабилизации минерального обмена.

В группе с РАС мы отмечаем ассоциацию ряда элементов с марганцем. Обнаруженный дисбаланс в системе Mn/Zn/Fe нарушает синаптическую пластичность и работу нейромедиаторов, что является одним из потенциальных патофизиологических механизмов при РАС. Эти элементы тесно взаимосвязаны, их дефицит или избыток оказывает системное влияние на мозг [43].

Рассматривая роль каждого элемента в нейропластичности, отметим, что железо критически важно для синтеза нейромедиаторов (дофамина, серотонина, ГАМК), миелинизации нервных волокон и энергетического метаболизма в нейронах (входит в состав цитохромов). Дефицит железа в критические периоды развития мозга приводит к необратимым нарушениям когнитивных функций, памяти и обучения. Описаны патофизиологические изменения, связанные с ферроптозом и ферритинофагией при неврологических заболеваниях [44].

Цинк является ключевым регулятором синаптической пластичности. Концентрируется в синаптических везикулах глутаматергических нейронов и модулирует работу NMDA-рецепторов,

которые критичны для обучения и памяти. Он выступает как внутриклеточный вторичный мессенджер и необходим для метаболизма нейромедиаторов и защиты от окислительного стресса. У многих детей с РАС наблюдается дефицит цинка. В нашем исследовании он составил 25% в группе. Дефицит Zn усиливает нейротоксичность тяжёлых металлов (включая избыточный Mn) из-за нарушения работы металлотионеинов — белков, отвечающих за детоксикацию. Низкий уровень цинка напрямую нарушает работу NMDA-рецепторов, что ведёт к дисфункции синаптической пластичности, лежащей в основе симптомов аутизма [45].

Марганец важен как кофактор антиоксидантного фермента (супероксиддисмутаза 2) и метаболизма нейромедиаторов (глутамата). Избыток марганца нейротоксичен (в дозе выше 10 мкг/л в крови). Он накапливается в базальных ганглиях и нарушает дофаминергический и глутаматергический транспорт, приводя к окислительному стрессу и митохондриальной дисфункции. Кроме того, отметим, что дефицит марганца установлен нами у 44% детей с РАС и у 23% детей контрольной группы (см. рис. 1). Низкие уровни марганца связаны с более высокими баллами как по ADOS-2 (Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition), так и по SRS-2 (Social Responsiveness Scale — Second Edition), то есть со степенью тяжести РАС [46]. Дефицит марганца в головном мозге мышей был связан с двигательной дисфункцией [47], что также часто сопутствует симптомам РАС.

Связь между этими элементами и РАС часто заключается не в абсолютном дефиците/избытке, а в их соотношении и доступности в мозге. Например, Mn и Fe конкурируют за одни и те же транспортные системы в организме (ZIP8, трансферрин и DMT-1) [48, 49]. Избыток Mn может вытеснять железо из его депо и нарушать его метаболизм [50], приводя к функциональному дефициту железа в мозге даже при нормальном уровне в крови. Это нарушает миелинизацию, синтез нейромедиаторов и энергообеспечение нейронов. Глиальные клетки, обеспечивающие передачу нервного импульса, являются самыми богатыми железом клетками головного мозга. Нарушения гомеостаза железа, приводящие к нейродегенерации, могут возникать не только в нейронах, но и в глиальных клетках [51].

В целом дисбаланс Fe/Mn/Zn провоцирует мощный окислительный стресс в мозге. Нейродегенерация происходит из-за связывания металлов с белками и последующего образования агрегатов, что создаёт порочный круг, нарушая функцию митохондрий, которые вырабатывают аденозинтрифосфат и вызывают гибель клеток путём апоптоза и/или некроза [52]. Формируется патологический цикл: дисбаланс в системе транспортеров металлов → дефицит Zn, Mn и функциональный дефицит Fe → нарушение регуляции NMDA-рецепторов и синтеза нейромедиаторов → окислительный стресс и митохондриальная дисфункция → повреждение нейронов и нарушение нейропластичности → проявление симптомов РАС.

В группе здоровых детей обнаружено 42 связи и наблюдается другая картина корреляций между элементами, часть из них традиционны, такие как взаимодействие калия и натрия, кальция и магния, марганца и магния (см. рис. 3).

В большинстве же своем во 2-й группе связи между собой и другими элементами образуют тяжёлые или токсичные элементы, что может указывать на формирование адаптивных механизмов связывания этих элементов в менее активные комплексы при хроническом дефиците эссенциальных элементов. Примечательно, что в группе с РАС мы отмечаем ассоциацию ряда элементов с марганцем, тогда как в корреляционной плеяде у здоровых детей он образует лишь одну связь.

В линейном приближении получается уменьшение корреляций в ходе адаптации: чем выше адаптированность, тем меньше корреляции, и, напротив, чем больше напряжение, тем они выше. Следовательно, мы можем предполагать, что здоровые дети, проживающие в условиях севера, более адаптированы, а дети с РАС живут в состоянии сильного напряжения метаболической системы.

Разрозненность некоторых сведений и иногда простая констатация факта (обнаружен избыток токсичного элемента, дефицит кальция или магния) делает неясной картину их использования в практических целях. Наша дальнейшая задача состоит в том, чтобы на основе персональных данных каждого отдельного пациента с РАС строить понятные цифровые решения для корректной интеграции минеральных добавок в традиционную терапию РАС.

Комплексный и разносторонний подход к трактовке полученных результатов позволил нам выделить рабочую формулу элементного дисбаланса у детей при РАС:

$$\frac{V}{Na, Si, Mn, P'}$$

где в числителе элемент, часто встречающийся в избытке, в знаменателе — элементы в недостатке. Такая картина выявляется на фоне «северного» дефицита кальция, магния, кобальта, йода у этих

же детей. Не обнаруженный нами дефицит железа и селена в волосах детей с РАС, так часто описанный в литературе, может свидетельствовать о его достаточном поступлении в организм. Для уточнения статуса железа и селена необходим параллельный волосам элементный анализ крови, совмещенный с исследованием рациона питания [53].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты приоткрывают фундаментальные основы организации биоэлементной системы при РАС, что не исключает их вариантов в зависимости от геохимии региона, пола и возраста детей, а также особенностей их диагноза.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.А. Луговая — сбор и анализ данных, подготовка протокола исследования, статистический анализ, обзор литературы, интерпретация результатов; А.Л. Горбачев — концепция и дизайн исследования, окончательная редакция статьи. 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. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом НИЦ «Арктика» ДВО РАН (протокол № 09/2025).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Исследование выполнено в рамках реализации темы государственного задания «Комплексная оценка состояния здоровья населения Дальневосточного федерального округа и Арктических территорий для разработки адаптационных программ трудоспособного контингента к экстремальным условиям жизнедеятельности» (рег. номер 124111200092-3).

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 в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

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

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.A. Lugovaya: data collection and analysis, preparation of the research protocol, statistical analysis, literature review, interpretation of the results; A.L. Gorbachev: research concept and design, final revision of the article. All authors approved the manuscript (the version for publication), and also agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring proper consideration and resolution of questions related to the accuracy and integrity of any part of it.

Ethics approval: The study was approved by the local Ethics committee of the Arctic Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 09/2025).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was carried out as part of the implementation of the state task topic "Comprehensive assessment of the health status of the population of the Far Eastern Federal District and the Arctic territories for the development of adaptation programs for the able-bodied population to extreme living conditions" (reg. number 124111200092-3).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Gorbachev AL. Autism. Medical and biological markers. *Herald of North-Eastern State University*. 2019;(32):6–12. EDN: UUZVRT
2. Skalny AV, Grabeklis AR, Korobeynikova TV, et al. *Reference values of the content of chemical elements in human indicator biological samples*. Moscow; 2023. 58 p. (In Russ.)
3. Hegde R, Hegde S, Kulkarni S, et al. Total reflection X-ray fluorescence analysis of plasma elements in autistic children from India. *Biol Trace Elem Res*. 2023;201(2):644–654. doi: 10.1007/s12011-022-03199-2
4. Awadh SM, Yaseen ZM, Al-Suwaiyan MS. The role of environmental trace element toxicants on autism: a medical biogeochemistry perspective. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023;251:114561. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114561
5. Zhang J, Lin J, Zhao X, et al. Trace element changes in the plasma of autism spectrum disorder children and the positive correlation between chromium and vanadium. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(12):4924–4935. doi: 10.1007/s12011-021-03082-6
6. Li H, Li H, Li Y, et al. Blood mercury, arsenic, cadmium, and lead in children with autism spectrum disorder. *Biol Trace Elem Res*. 2018;181(1):31–37. doi: 10.1007/s12011-017-1002-6
7. Rafi'i MR, Ja'afar MH, Abd Wahil MS, Md Hanif SA. Urine manganese, cadmium, lead, arsenic, and selenium among autism spectrum disorder children in Kuala Lumpur. *PeerJ*. 2024;12:e17660. doi: 10.7717/peerj.17660
8. Zaichick VE, Kolotov VP. Nuclear physics medical elementology as a section of medical radiology. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2024;69(2):53–64. doi: 10.33266/1024-6177-2024-69-2-53-64 EDN: UHMMRI
9. Hu W, Zhao M, Lian J, et al. Lithium cholesterol sulfate: a novel and potential drug for treating Alzheimer's disease and autism spectrum disorder. *CNS Neurol Disord Drug Targets*. 2023;22(8):1250–1258. doi: 10.2174/1871527321666220825114236
10. Mlinarič M, Jekovec Vrhovšek M, Neubauer D, et al. Association between autism spectrum disorder, trace elements, and intracranial fluid spaces. *Int J Mol Sci*. 2024;25(15):8050. doi: 10.3390/ijms25158050
11. Daniel KS, Jiang Q, Wood MS. The increasing prevalence of autism spectrum disorder in the U.S. and its implications for pediatric micronutrient status: a narrative review of case reports and series. *Nutrients*. 2025;17(6):990. doi: 10.3390/nu17060990
12. Getahun D, Jacobsen SJ, Fassett MJ, et al. Association between maternal hypothyroidism and autism spectrum disorders in children. *Pediatr Res*. 2018;83(3):580–588. doi: 10.1038/pr.2017.308
13. Ge GM, Leung MTY, Man KKC, et al. Maternal thyroid dysfunction during pregnancy and the risk of adverse outcomes in the offspring: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab*. 2020;105(12):dgaa555. doi: 10.1210/clinem/dgaa555
14. Lin HY, Liang CS, Tsai SJ, et al. Congenital hypothyroidism and risk of subsequent autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder in Taiwan. *Psychiatry Clin Neurosci*. 2024;78(11):721–725. doi: 10.1111/pcn.13733
15. Khan MS, Ali T, Abid MN, et al. Lithium ameliorates lipopolysaccharide-induced neurotoxicity in the cortex and hippocampus of the adult rat brain. *Neurochem Int*. 2017;108:343–354. doi: 10.1016/j.neuint.2017.05.008
16. Damri O, Agam G. Lithium, inflammation and neuroinflammation with emphasis on bipolar disorder — a narrative review. *Int J Mol Sci*. 2024;25(24):13277. doi: 10.3390/ijms252413277
17. Adams JB, Audhya T, McDonough-Means S, et al. Nutritional and metabolic status of children with autism vs. neurotypical children, and the association with autism severity. *Nutr Metab (Lond)*. 2011;8(1):34. doi: 10.1186/1743-7075-8-34
18. Manchia M, Paribello P, Pinna M et al. Lithium and its effects: does dose matter? *Int J Bipolar Disord*. 2024;12(1):23. doi: 10.1186/s40345-024-00345-8

19. Xiong Z, Mahai G, Zheng D, et al. Effects of prenatal vanadium exposure on neurodevelopment in early childhood and identification of critical window. *Environ Res.* 2025;276:121506. doi: 10.1016/j.envres.2025.121506
20. Lugovaya EA, Stepanova EM. Imbalance of chemical elements in the circumpolar region residents as a result of environmental geochemical influence. *Herald of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities.* 2024;3(1):153–159. doi: 10.37614/2949-1185.2024.3.1.018 EDN: ALXXIK
21. Lugovaya EA, Stepanova EM. Features of the content of drinking water in the city of Magadan and population health. *Hygiene and Sanitation.* 2016;95(3):241–246. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-3-241-246 EDN: VTNP DN
22. Gorbachev AL. Trace element status and health of northern populations: a scientific review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(4):225–238. doi: 10.17816/humeco646046 EDN: ILROFE
23. Lugovaya EA, Maximov AL. The element profile observed in Russia's Northeast residents. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2012;(6):17–21. EDN: SFUBQJ
24. Lugovaya EA, Stepanova EM. Structure of elemental disbalance observed in organism of residents of Magadan town. *Public Health and Life Environment — PH&LE.* 2015;(2):4–6. EDN: TQMIL
25. Lugovaya EA, Stepanova EM. *Regional indicators of the content of macro- and microelements in the body of residents of Magadan.* Magadan: Ekspress-poligrafiya; 2019. 27 p. (In Russ.)
26. Gorbachev AL. Problem issues of mineral metabolism in residents of the Arctic territories. *THE Scientific and Practical Journal of Medicine.* 2022;31(1): 52–61. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-52-61 EDN: WZKHCL
27. Skalnaya AA, Berdalin AB, Kabki BH, Zhegalova IV. The relationship of clinical parameters and elemental status of children with autism before and after treatment. *Trace elements in medicine.* 2017;18(4):41–48. doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-4-41-48 EDN: YPDTHR
28. Gorbachev AL, Lugovaya EA. Features of the elemental status of children with autism spectrum disorder. *Trace Elements in Medicine.* 2019;20(3):20–30. doi: 10.19112/2413-6174-2019-20-3-20-30 EDN: GYOMVI
29. Chernova LN, Skalny AV. Interrelation of hair elements' content with co-occurring somatic conditions in children with autism spectrum disorder. *Vrach.* 2021;32(11):61–65. doi: 10.29296/25877305-2021-11-12 EDN: VQLRXN
30. Gorbachev AL. Some indicators of the chemical composition of drinking water and their impact on the health of the population of Magadan. *Trace Elements in Medicine.* 2021;22(2):17–24. doi: 10.19112/2413-6174-2021-22-2-17-24 EDN: BRKQHZ
31. Pappas J, Rabin R. SETD2 Neurodevelopmental Disorders. 2021 Dec 30 [updated 2022 Sep 22]. In: Adam MP, Feldman J, Mirzaa GM, et al., editors. *GeneReviews.* Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK575927/>
32. Ren M, Zheng H, Lu X, Lian W, Feng B. Expanding the genotypic and phenotypic spectrum associated with TBL1XR1 de novo variants. *Gene.* 2023;886:147777. doi: 10.1016/j.gene.2023.147777
33. Breiner CE, McQuaid GA, Wallace GL, Zickgraf HF. Screening for avoidant/restrictive food intake disorder symptoms among autistic adults: measurement invariance with a comparison general sample. *Autism Res.* 2025;18(7):1381–1388. doi: 10.1002/aur.70039
34. Sanders SJ, Campbell AJ, Cottrell JR, et al. Progress in understanding and treating SCN2A-mediated disorders. *Trends Neurosci.* 2018;41(7):442–456. doi: 10.1016/j.tins.2018.03.011
35. Valenzuela-Zamora AF, Ramírez-Valenzuela DG, Ramos-Jiménez A. Food selectivity and its implications associated with gastrointestinal disorders in children with autism spectrum disorders. *Nutrients.* 2022;14(13):2660. doi: 10.3390/nu14132660
36. Dargenio VN, Dargenio C, Castellaneta S, et al. Intestinal barrier dysfunction and microbiota-gut-brain axis: possible implications in the pathogenesis and treatment of autism spectrum disorder. *Nutrients.* 2023;15(7):1620. doi: 10.3390/nu15071620
37. Glukhova LYu. Autistic epileptiform regression (a review). *Russian Journal of Child Neurology.* 2012;7(1):39–45. doi: 10.17650/2073-8803-2012-7-1-39-46 EDN: OZLVWV
38. Tateishi Y, Ishikawa N, Kobayashi Y, et al. Effect of Lacosamide therapy on blood cells and IgA levels in children and adolescents with epilepsy in a clinical setting. *Epilepsy Res.* 2022;187:107030. doi: 10.1016/j.epilepsyres.2022.107030

39. Zhou X, Xia X, Li L, et al. Evaluation of heavy metals and essential minerals in the hair of children with autism spectrum disorder and their association with symptom severity. *Biol Trace Elem Res*. 2025;203(11):5589–5602. doi: 10.1007/s12011-025-04588-z
40. Zhao G, Liu SJ, Gan XY, et al. Analysis of whole blood and urine trace elements in children with autism spectrum disorders and autistic behaviors. *Biol Trace Elem Res*. 2023;201(2):627–635. doi: 10.1007/s12011-022-03197-4
41. Lugovaya EA, Stepanova EM, Gorbachev AL. Approaches to the body element status assessment. *Trace Elements in Medicine*. 2015;16(2):10–17. EDN: TWCAXD
42. Gorban AN, Smirnova EV, Cheusova EP. *Group stress: dynamics correlations in adaptation and the organization of systems of environmental factors*. Krasnoyarsk; 1997. 54 p. (In Russ.) URL: <https://adaptometry.narod.ru/Index.htm>
43. Jopowicz A, Wiśniowska J, Tarnacka B. Cognitive and physical intervention in metals' dysfunction and neurodegeneration. *Brain Sci*. 2022;12(3):345. doi: 10.3390/brainsci12030345
44. Li S, Huang P, Lai F, et al. Mechanisms of ferritinophagy and ferroptosis in diseases. *Mol Neurobiol*. 2024;61(3):1605–1626. doi: 10.1007/s12035-023-03640-0
45. Lee K, Mills Z, Cheung P, et al. The role of zinc and NMDA receptors in autism spectrum disorders. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2022;16(1):1. doi: 10.3390/ph16010001
46. Arora M, Reichenberg A, Willfors C, et al. Fetal and postnatal metal dysregulation in autism. *Nat Commun*. 2017;8:15493. doi: 10.1038/ncomms15493
47. Choi EK, Aring L, Peng Y, et al. Neuronal SLC39A8 deficiency impairs cerebellar development by altering manganese homeostasis. *JCI Insight*. 2024;9(20):e168440. doi: 10.1172/jci.insight.168440
48. Gunshin H, Mackenzie B, Berger U, et al. Cloning and characterization of a mammalian proton-coupled metal-ion transporter. *Nature*. 1997;388(6641):482–488. doi: 10.1038/41343
49. Powers M, Minchella D, Gonzalez-Acevedo M, et al. Loss of hepatic manganese transporter ZIP8 disrupts serum transferrin glycosylation and the glutamate-glutamine cycle. *J Trace Elem Med Biol*. 2023;78:127184. doi: 10.1016/j.jtemb.2023.127184
50. Maares M, Einhorn V, Behrendt J, et al. Investigation of competitive binding of the essential trace elements zinc, iron, copper, and manganese by gastrointestinal mucins and the effect on their absorption in vitro. *J Nutr Biochem*. 2025;144:109983. doi: 10.1016/j.jnutbio.2025.109983
51. Reinert A, Morawski M, Seeger J, et al. Iron concentrations in neurons and glial cells with estimates on ferritin concentrations. *BMC Neurosci*. 2019;20(1):25. doi: 10.1186/s12868-019-0507-7
52. Mezzaroba L, Alfieri DF, Colado Simão AN, Vissoci Reiche EM. The role of zinc, copper, manganese and iron in neurodegenerative diseases. *Neurotoxicology*. 2019;74:230–241. doi: 10.1016/j.neuro.2019.07.007
53. Lugovaya EA, Averyanova IV. Optimizing the diet of children with disabilities. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2022;67(1):94–100. doi: 10.21508/1027-4065-2022-67-1-94-100. EDN: NERPGR

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
* Луговая Елена Александровна , канд. биол. наук, доцент; адрес: Россия, Магадан, пр-кт Карла Маркса, д. 24; ORCID: 0000-0002-6583-4175; eLibrary SPIN: 5825-7122; e-mail: elena_plant@mail.ru	* Elena A. Lugovaya , Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor; 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000; ORCID: 0000-0002-6583-4175; eLibrary SPIN: 5825-7122; e-mail: elena_plant@mail.ru
Горбачев Анатолий Леонидович , д-р биол. наук; ORCID: 0000-0002-2432-3408; eLibrary SPIN: 7050-3412; e-mail: gor000@mail.ru	Anatoly L. Gorbachev , Dr. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0002-2432-3408; eLibrary SPIN: 7050-3412; e-mail: gor000@mail.ru

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Содержание элементов в волосах детей 1-й и 2-й групп, мкг/г

Table. 1. Content of elements in the hair of children with autism spectrum disorders (ASD) and the control group (µg/g)

Микроэлементы	1-я группа (n=36)	2-я группа (n=64)
	Me (P25; P75)	Me (P25; P75)
K	233,5 (66,17; 1104,5)	72,2 (32,5; 292,2)*
Na	134,0 (58,4; 865,3)	133,7 (70,5; 535,0)
Ca	193,5 (137,3; 260,0)	284,6 (220,4; 433,4)*
Mg	15,0 (11,8; 18,23)	17,3 (12,9; 25,3)
P	108,0 (99,8; 119,3)	151,9 (132,1; 163,8)*
Fe	14,4 (12,7; 16,9)	19,7 (13,5; 27,5)*
Zn	150,5 (108,5; 175,5)	161,8 (139,9; 181,4)
Cu	9,26 (8,14; 10,82)	8,69 (7,37; 10,33)
Se	0,48 (0,45; 0,52)	0,63 (0,43; 1,22)*
Mn	0,22 (0,18; 0,36)	0,52 (0,34; 0,85)*
Co	0,005 (0,004; 0,008)	0,004 (0,01; 0,15)*
Cr	0,18 (0,12; 0,23)	0,58 (0,36; 1,02)*
As	0,04 (0,02; 0,06)	0,07 (0,04; 0,26)*
Sn	0,15 (0,07; 0,25)	0,30 (0,12; 1,20)*
Li	0,01 (0,006; 0,016)	0,01 (0,01; 0,03)
Ni	0,12 (0,09; 0,17)	0,45 (0,16; 1,01)*
V	0,07 (0,03; 0,12)	0,09 (0,04; 0,14)
Si	14,3 (8,06; 19,5)	21,8 (14,7; 37,4)*
Pb	0,46 (0,24; 0,86)	0,69 (0,17; 1,26)
Cd	0,024 (0,01; 0,048)	0,06 (0,02; 0,21)*
Al	4,68 (3,94; 6,49)	14,0 (10,6; 18,3)*
I	0,27 (0,16; 0,52)	0,631 (0,41; 1,06)
Hg	0,105 (0,04; 0,20)	0,146 (0,11; 0,27)

Примечание. * Статистически значимые различия между группами (U-критерий Манна-Уитни, $p < 0,05$); Me — медиана; P25 и P75 — центильные показатели.

Таблица 2. Значения коэффициентов корреляций и коэффициент детерминации в системе «элемент–элемент» в волосах лиц в группах сравнения**Table. 2.** Values of correlation coefficients and coefficient of determination in the «element-element» system in the hair of individuals in the comparison groups

1-я группа (n=36)			2-я группа (n=64)		
Пары химических элементов	$ r > 0,325$ при $n=36(-2)$	Коэффициент детерминации (R^2)	Пары химических элементов	$ r > 0,250$ при $n=64(-2)$	Коэффициент детерминации (R^2)
Mn/Ca	0,57	0,32	K/Zn	0,40	0,16
Mn/Cu	0,35	0,12	K/Na	0,50	0,25
Mn/Cr	0,34	0,12	K/Cu	0,41	0,17
Mn/Fe	0,40	0,16	K/Pb	0,73	0,53
Mn/Al	0,72	0,52	Mn/Ca	0,93	0,86
Mn/Zn	0,4	0,16	Mn/Fe	0,67	0,45
Al/Cu	0,72	0,52	Mn/Mg	0,94	0,88
Al/Cr	0,57	0,32	Cr/Al	0,50	0,25
Al/I	0,4	0,16	Cr/Ni	0,35	0,12
Al/Fe	0,38	0,14	Cr/Sn	0,47	0,22
Ca/Cu	0,60	0,36	Cd/Co	0,38	0,14
Ca/Co	0,47	0,22	Cd/Pb	0,54	0,29
Cr/Cu	0,73	0,53	Ca/Fe	0,66	0,44
Cr/I	0,4	0,16	Fe/Ni	0,34	0,12
Fe/I	0,38	0,14	Mg/Ca	0,87	0,76
Mg/Zn	0,36	0,13	Ni/Sn	0,34	0,12

Примечание. Применён t-критерий Стьюдента; $p < 0,05$.

РИСУНКИ



Fig. 1. Incidence of bioelement deficiency in patients with ASD (blue line) and in the control group (orange line), %.

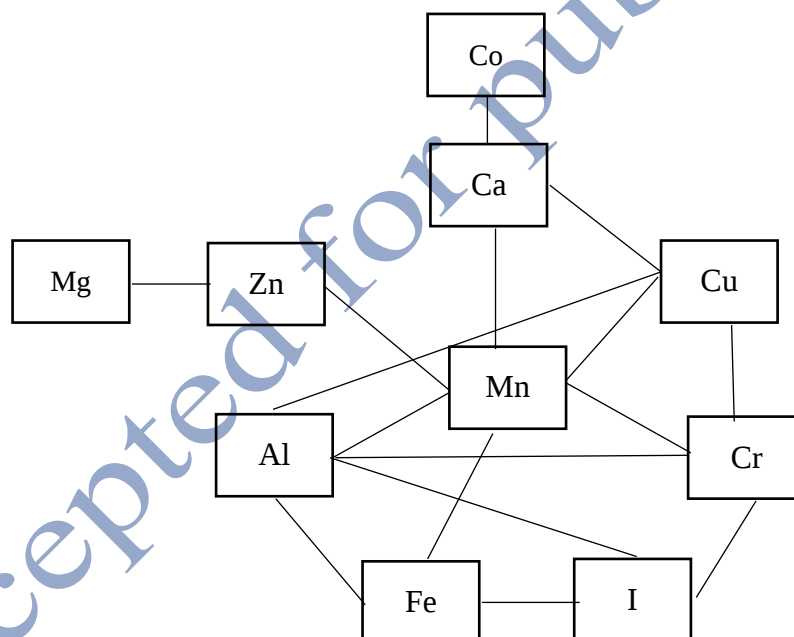


Fig. 2. Interelement interactions in the hair of children Group 1.

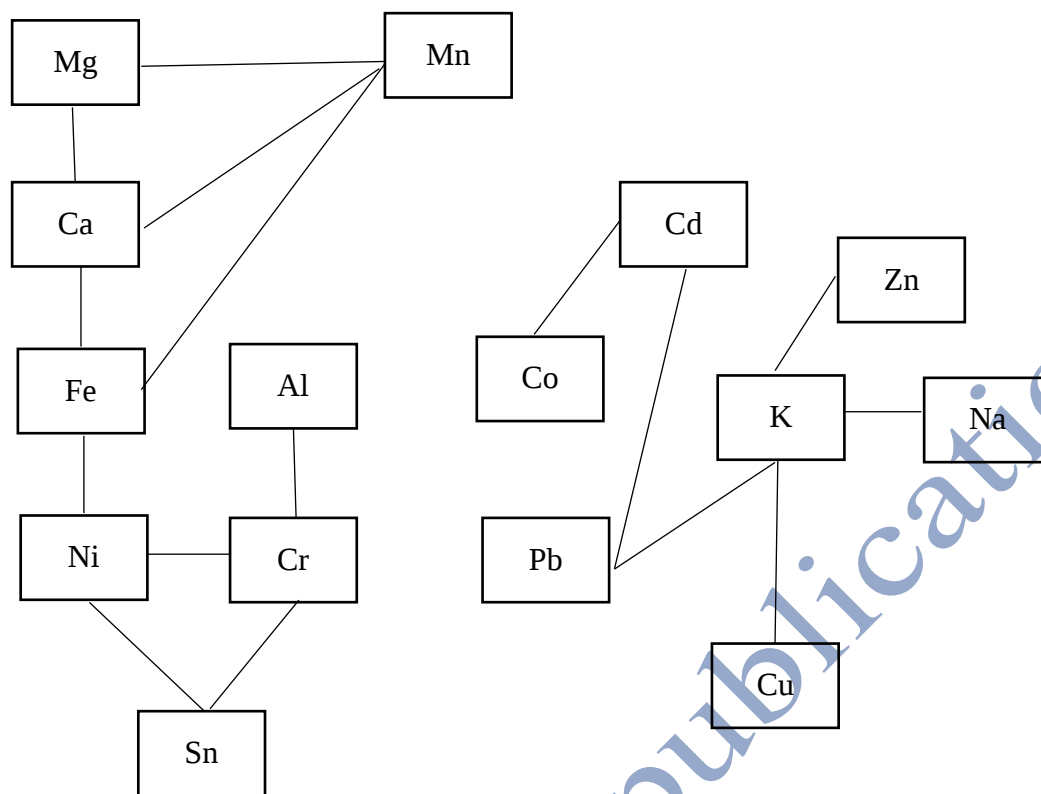


Рис. 3. Межэлементные взаимодействия в волосах детей 2-й группы.

Fig. 3. Interelement interactions in the hair of children Group 2.