

## Соотношение эссенциальных элементов в волосах у детей, проживающих на разных территориях Кольского Севера

Белишева Н.К.<sup>1</sup>, Козлова С.В.<sup>2</sup>, Терещенко П.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИЦ МБП КНЦ РАН, Апатиты, natalybelisheva@mail.ru

<sup>2</sup> ФИЦ КН РАН, Апатиты, 89113342641@yandex.ru

**Аннотация.** Представлен анализ соотношения эссенциальных элементов в волосах у детей дошкольного возраста на Кольском Севере, проживающих на территориях с различным характером контаминации среды и преобладающей заболеваемостью: в п. Ловозеро, в г. Апатитах и в пгт. Умбе. Определение содержания элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Для оценки территориальных различий в соотношении элементов в пробах волос использовали коэффициенты: Ca/P, Ca/K, Na/K, Na/Mg, Fe/Cu, Fe/Co. Выявлены территориальные особенности минерального обмена у детей. На основании значений коэффициента Fe/Cu предполагается, что свободно-радикальные процессы в организме детей наиболее выражены в Ловозерском районе, наибольшие отклонения от оптимальных значений коэффициентов выявлены в волосах у детей из с. Ловозеро и из г. Апатитов, а наибольшее отклонение от оптимума Fe/Co обнаружено в пробах волос детей из пгт. Умбы. Предполагается, что отклонения в соотношении элементов в организме детей, возможно, обусловленные внешними факторами, могли бы вносить вклад в территориальную детскую заболеваемость.

**Ключевые слова:** соотношение элементов, пробы волос, дошкольники, Кольский Север.

## The ratio of the essential elements in the hair in children living in different territories of the Kola North

Belisheva N.K.<sup>1</sup>, Kozlova S.V.<sup>2</sup>, Tereshchenko P.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RCHAA KSC RAS, Apatity, natalybelisheva@mail.ru

<sup>2</sup> FRC KSC RAS, Apatity, 89113342641@yandex.ru

**Abstract.** The analysis of the essential element ratio in the hair of preschool children in the Kola North, living in territories with different nature of environmental contamination and prevailing incidence, i.e., in the village of Lovozero, in the town of Apatity and in the urban settlement of Umba, is presented. The content of elements was analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The following coefficients were used: Ca / P, Ca / K, Na / K, Na / Mg, Fe / Cu, Fe / Co for assessment of the territorial differences in the element ratio in hair samples. The territorial features of mineral metabolism in children are revealed. It is assumed that free radical processes, where Fe/Cu is an indicator, are most pronounced in the body of children in the Lovozero district. The largest deviations from the optimal values of the coefficients are found in the hair in children from v. Lovozero and from Apatity; the greatest deviation from the Fe/Co optimum was found in hair samples of children from Umba. It is assumed that deviations in the element ratio in the children's bodies possible due to exposition to external factors, could contribute to the territorial, incidence of children.

**Key words:** ratio of elements, hair samples, preschoolers, Kola North.

### Введение

Исследования, выполненные с использованием многоэлементного анализа волос (Ибрагимова и др., 2011; Суханов, Горбачев, 2017) показали, что заболеваемость различными группами болезней напрямую зависит от изменения концентрации в волосах химических элементов. Причем, как токсичных, так и эссенциальных (Скальный и др., 2012; Детков, 2017).

Экспериментальными и клиническими исследованиями подтверждено, что дефицит одних и избыток других микроэлементов способствует росту частоты злокачественных новообразований, лимфопролиферативных заболеваний, инфекционной патологии, аутоиммунных и дегенеративных заболеваний, врожденных аномалий (Наумова, Ребезов, 2012). Особое значение отводится эссенциальным микроэлементам (Авцын, Жаворонков, 1986; Скальный, Рудаков, 2004).

Работы, выполненные по оценке территориальной заболеваемости детей на Кольском Севере, показали, что особенности территориальной контаминации среды отражаются в структуре преобладающих заболеваний (Белишева, Мартынова, 2019; Belisheva, 2020) и в элементном содержании в волосах у детей (Belisheva, 2020).

Целью данного исследования являлся сравнительный анализ соотношения эссенциальных элементов в волосах у детей, проживающих на территориях, различающихся характером контаминации окружающей среды и преобладающими заболеваниями, на примере п. Ловозеро, г. Апатиты и пгт Умба, что позволяет расширить знание о роли соотношения элементов в патогенных процессах у детей.

### **Материалы и методы**

Для оценки территориальных различий в метаболической активности химических элементов у детей дошкольного возраста, были использованы наиболее информативные коэффициенты соотношений эссенциальных макро- и микро- элементов: Ca/P, Ca/K, Na/K, Na/Mg, Fe/Cu, Fe/Co (Горбачев и др. 2003; Цирихова и др., 2016), содержащихся в пробах волос у детей на территориях сравнения. Образцы волос были собраны у дошкольников, проживающих в п. Ловозеро, г. Апатитах и пгт. Умбе (по 37 образцов на каждую группу сравнения). Методика отбора проб волос и их предварительная подготовка соответствовали рекомендациям МАГАТЭ (Report of IAEA, 1993). Количественное определение содержания химических элементов в волосах у детей проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) (Belisheva, 2020). Статистическая обработка данных проводилась с применением пакета программ STATISTICA 10, значимость различий ( $p < 0.05$ ) выявлялась на основе непараметрических критериев Манна-Уитни и Колмогорова-Смирнова.

### **Результаты и обсуждение**

В таблице 1 представлены результаты анализа проб волос у детей дошкольного возраста из с. Ловозеро, г. Апатитов, п.г.т. Умбы для оценки содержания эссенциальных микро- и макроэлементов и сравнения концентрации элементов с референсными значениями.

Таблица 1. Сравнение содержания элементов в пробах волос у детей из с. Ловозеро (Lovozero (1)), г. Апатитов (Apatity (2)), пгт Умбы (UMBA (3)) с референсными значениями (Referance (Ref)).

Table 1. Comparison of the elemental content in hair samples of children from v. Lovozero (Lovozero (1)), from the town of Apatity (Apatity (2)), from the urban settlement of Uмба (UMBA (3)) with reference values (Referance (Ref)).

| Элементы<br>мкг/г | Referance (Ref) | LOVOZRO (1)                      | Ref/1 | APATITY(2)                      | Ref/2 | UMBA(3)                               | Ref/3 |
|-------------------|-----------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|
| Cu                | 5.7-15.0        | <b>9.8±2.5</b> <sup>2</sup>      | N     | <b>12.8±3.5</b> <sup>1</sup>    | N     | 13.0±8.0                              | N     |
| Fe                | 10.0-50.0       | <b>35.2±12.2</b> <sup>3</sup>    | N     | <b>35.6±13.3</b> <sup>3</sup>   | N     | <b>26.0±12.4</b> <sup>1,2</sup>       | N     |
| Mg                | 15.0-30.0       | <b>25.3±7.8</b> <sup>3</sup>     | N     | <b>55.3±86.2</b> <sup>3</sup>   | >1.8  | <b>49.9±72.6</b> <sup>1,2</sup>       | >1.7  |
| Na                | 200.0-1000.0    | <b>1572±1390</b> <sup>3</sup>    | >1,6  | <b>1425±1188</b> <sup>3</sup>   | >1.4  | <b>475±552</b> <sup>1,2</sup>         | N     |
| K                 | 200.0-1600.0    | <b>1612±1589</b> <sup>3</sup>    | >N    | <b>1553±1262</b> <sup>3</sup>   | N     | <b>484±354</b> <sup>1,2</sup>         | N     |
| P                 | 50.00-200.0     | <b>160.8±30.0</b> <sup>1,3</sup> | N     | <b>174.23±26.3</b> <sup>3</sup> | N     | <b>150.0±18.0</b> <sup>1,2</sup>      | N     |
| Ca                | 250.00-500.0    | <b>359.2±170.8</b> <sup>3</sup>  | N     | <b>593.0±837.8</b> <sup>3</sup> | >1.2  | <b>257.9±164.1</b> <sup>1,2,1,2</sup> | N     |
| Co                | 0.050-0.50      | <b>0.05±0.08</b> <sup>2</sup>    | <N    | <b>0.05±0.03</b> <sup>1,3</sup> | <N    | <b>0.02±0.02</b> <sup>2</sup>         | <2.5  |

Примечание. Содержание элементов, значимо ( $p < 0.05$ ) различающихся, маркировано жирным курсивом. В верхнем регистре указаны номера населенных пунктов, для которых выявлены значимые различия: 1 – с. Ловозеро; 2 – г. Апатиты; 3 – пгт. Умба; N – норма; < N – меньше и > N – больше нормы.

Note. The content of elements that are significantly ( $p < 0.05$ ) differing is marked in bold italics. In the upper register, there are numbers of settlements, are indicated for which significant differences are revealed: 1 – p. Lovozero; 2 – the town of Apatity; 3 – town. Uмба; N – is the norm; < N – less and > N – more than normal.

В таблице 1 можно видеть, что содержание эссенциальных элементов в пробах волос у дошкольников, в основном, на всех территориях сравнения соответствует референсным значениям (N). Однако содержание Na в волосах у детей из п. Ловозеро и г. Апатиты превышает возрастные нор-

мы, также, как и содержание магния (Mg) в волосах у детей в г. Апатитах и в пгт. Умбе. Наиболее выраженные территориальные различия состоят в содержании Na и K в волосах у детей из п. Ловозеро и г. Апатиты, которые почти в 3 раза превышают содержание этих элементов в волосах у детей п.г.т. Умбы.

Наряду с оценкой содержания эссенциальных элементов в волосах, важно также принимать во внимание коэффициенты соотношений эссенциальных макро- и микро-элементов (МЭ): Ca/P, Ca/K, Na/K, Na/Mg, Fe/Cu, Fe/Co (Горбачев и др., 2003; Цирихова и др., 2016), которые могут свидетельствовать о возможных механизмах возникновения территориальной специфики в заболеваемости детей.

### Коэффициент Ca/P

Коэффициент Ca/P отражает, с одной стороны, обмен кальция в организме, с другой – роль фосфора как носителя энергии для реализации энергетического обмена (Гресь и др., 2009). Кальций и фосфор взаимно дополняют друг друга в минерализации новообразуемой костной ткани (Гапонова и др., 2014). Избыток кальция в сочетании с относительной недостаточностью фосфора в рационе питания детей, как известно, приводит к образованию нерастворимого и неусваиваемого фосфорно-кальциевого комплекса (Гресь и др., 2009). В таблице 2 приведены коэффициенты соотношения эссенциальных макро- и микро-элементов в пробах волос у детей, проживающих на территориях сравнения. Можно видеть, что коэффициенты Ca/P на всех территориях превышают оптимальные значения. Причем, наибольшее отклонение от оптимальных значений характерно для детей из г. Апатиты, а наименьшее – из пгт. Умбы.

Таблица 2. Сравнение коэффициентов соотношения (Ratio) эссенциальных элементов в пробах волос у детей из с. Ловозеро (Lovozero (1)), г. Апатиты (Apatity (2)), п.г.т. Умбы (UMBA (3)) с оптимальными (optimum (OP)) значениями.

Table 2. Comparison of coefficient ratios (Ratio) of essential elements in hair samples of children from the v. Lovozero (Lovozero (1)), from the town of Apatity (Apatity (2)), from the urban settlement Umba (UMBA (3)) with optimal (OP) values.

| Ratio          | Optimum (OP) | LOVOZERO(1) (M±δ)              | OP/1         | APATITY (2) (M±δ)             | OP/2         | UMBA (3) (M±δ)                  | OP/3         |
|----------------|--------------|--------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| Na/K           | 2.4          | 1.1±0.6                        | <2.2         | 1.0±0.4                       | <2.4         | 0.8±0.4                         | <2.9         |
| Ca/K           | 2.0-5.0      | <b>0.3±0.2</b> <sup>3</sup>    | <5.9         | <b>0.7±1.3</b> <sup>3</sup>   | <2.9         | <b>0.7±0.7</b> <sup>1,2</sup>   | < <b>2.8</b> |
| Na/Mg          | 4            | <b>60.1±46.1</b> <sup>3</sup>  | >15.0        | <b>50.2±41.3</b> <sup>3</sup> | >12.6        | <b>17.7±23.8</b> <sup>1,2</sup> | > <b>4.4</b> |
| <b>Fe/Cu</b> * | 0.9          | <b>3.7±1.5</b> <sup>3</sup>    | >4.2         | 2.8±1.0 <sup>1,3</sup>        | >3.2         | <b>2.3±1.0</b> <sup>1,2</sup>   | > <b>2.6</b> |
| Fe/Co          | 440          | <b>1185±471</b> <sup>1,2</sup> | > <b>2.7</b> | <b>889±529</b> <sup>1,3</sup> | > <b>2.0</b> | <b>1280±657</b> <sup>2</sup>    | > <b>2.9</b> |
| Ca/P           | 1.0-1.5      | 2.3±1.0                        | >1.5         | 3.3±4.4                       | >2.2         | <b>1.7±1.1</b> <sup>1</sup>     | >1.2         |
| Ca/Mg          | 2            | 14.0±5.1                       | >7.0         | 12.9±4.0                      | >6.4         | <b>8.2±5.3</b> <sup>1,2</sup>   | > <b>4.1</b> |

Примечание. Коэффициенты значимо ( $p < 0.05$ ) различающихся между группами детей маркированы жирным курсивом. В верхнем регистре указаны номера населенных пунктов, для которых выявлены значимые различия: 1 – с. Ловозеро; 2 – г. Апатиты; 3 – пгт. Умба. **Fe/Cu** \* – различия значимы в соответствии с критерием Манна-Уитни между с. Ловозеро и г. Апатиты.

Note. Coefficients of significant ( $p < 0.05$ ) differences between groups of children are marked in bold italics. In the upper register, there are numbers of settlements, are indicated for which significant differences are revealed: 1 – v. Lovozero; 2 – the town of Apatity; 3 – s. Umba. **Fe/Cu** \* – the differences are significant in accordance with the Mann-Whitney criterion between v. Lovozero and the town of Apatity after the Mann-Whitney criterion.

Поскольку избыток кальция в сочетании с относительной недостаточностью фосфора приводит к образованию нерастворимого и не усваиваемого фосфорно-кальциевого комплекса, возможно, заболевания детей болезнями костно-мышечной системы, особенно в г. Апатиты, в какой-то мере, могут быть обусловлены высоким содержанием кальция, при пониженном содержании фосфора.

### Коэффициент Ca/K

Известно, что калий является важнейшим внутриклеточным макроэлементом и относится к «биоэлементам остеотропного действия», роль которого заключается в опосредованном участии в

процессах метаболизма костной ткани, главным образом, в обмене кальция (Гресь и др., 2009; Гапонова и др., 2014). В таблице 2 можно видеть, что на всех территориях в пробах волос у детей коэффициенты Са/К ниже оптимальных значений, причем самые низкие значения выявлены в пробах волос у детей из п. Ловозеро.

### ***Коэффициент Na/K***

По данным авторов (Цирихова и др., 2016), гомеостаз натрия и калия в организме связан с работой коры надпочечников. Оптимальное значение коэффициента Na/K соответствует 2.4. В таблице 2 видно, что у детей из с. Ловозеро, г. Апатиты, п. Умба коэффициенты Na/K существенно снижены относительно оптимальных значений в 2.2, 2.4, 2.9 раз, соответственно. Поскольку снижение этого показателя свидетельствует об угнетении функции коры надпочечников и увеличении активности катаболических процессов в организме, то можно заключить, что у детей на территориях сравнения возможны нарушения, связанные с усиленным выведением Na.

### ***Коэффициент Na/Mg***

В таблице 2 видно, что коэффициенты Na/Mg у детей из с. Ловозеро, г. Апатиты, пгт. Умба превышают оптимальные соотношения в 15, 12.6 и 4.4 раз, соответственно. Предполагается, что чрезмерно высокий уровень Na нарушает оптимальное соотношение его с калием и магнием (Цирихова и др., 2016). Такие высокие значения коэффициента соотношения могут свидетельствовать о возможном риске развития остеопороза (Цирихова и др., 2016; Горн, Хейтц, 1999).

### ***Коэффициент Fe/Cu***

Известно, что многие физиологические и метаболические процессы, протекающие в организме как детей, так и взрослых, связаны со свободнорадикальным окислением липидов, белков, углеводов, где железу отводится существенная роль. Предполагается (Гресь и др., 2006), что соотношения Fe/Cu, превышающие оптимальное значение (0.9), свидетельствуют об увеличении свободных радикалов в организме человека. В соответствии с этим критерием, в организме детей из с. Ловозеро, г. Апатиты, а также в из пгт. Умбы предполагается значительный уровень свободных радикалов, поскольку соотношение Fe/Cu превышает оптимальные значения у дошкольников в 4.2, 3.2, 2.6 раз, соответственно. Следуя указанному критерию нормы, можно заключить, что свободно радикальные процессы в организме детей наиболее выражены в с. Ловозеро, далее – в г. Апатиты и на третьем месте в пгт. Умба.

### ***Коэффициент Fe/Co***

Низкие значения коэффициента Fe/Co (< 440), как известно, свидетельствуют о предрасположенности к нарушению функции щитовидной железы. При снижении содержания железа преобладает влияние кобальта на метаболизм гормонов щитовидной железы, что может привести к нарушению обмена йода и к возникновению диффузного зоба (Гресь и др., 2006). У детей из с. Ловозеро, г. Апатиты и из пгт. Умба коэффициент Fe/Co превышает оптимальные значения в 2.7, 2.0 и 2.0 раз, соответственно. Более высокие значения коэффициента Fe/Co, чем оптимальные может свидетельствовать о выраженном нарушении функции щитовидной железы. Высокое содержание железа в организме детей на фоне превышения допустимых значений кобальта не обеспечивает должного функционирования щитовидной железы. Однако в данных исследованиях выявлено пониженное содержание кобальта в биопробах волос у детей на всех территориях сравнения. Значит превышение коэффициента Fe/Co обусловлено низким содержанием кобальта. А поскольку кобальт входит в состав витамина B<sub>12</sub>, то его дефицит может влиять на различные системы организма, включая нервную систему, костную ткань, слизистую оболочку желудка, печень.

Выяснение вклада нарушения оптимальных соотношений эссенциальных элементов в территориальную заболеваемость представляет собой нетривиальную фундаментальную проблему, решение которой предполагает расширение научно-исследовательской базы с привлечением физико-химических и молекулярных методов исследования.



Таким образом, проведенное исследование по сравнительному анализу соотношения эссенциальных элементов в пробах волос у детей на территориях сравнения, позволило выявить территориальные особенности минерального обмена у детей дошкольного возраста, проживающих в с. Ловозеро, г. Апатитах и пгт. Умбе. Эти особенности показывают, что свободно-радикальные процессы в организме детей наиболее выражены в Ловозерском районе, наибольшие отклонения в оптимальном соотношении элементов характерны для Ловозерского района и для г. Апатитов, а наибольшее отклонение от оптимального соотношения эссенциальных элементов Fe/Co выявлено в пробах волос у детей из пгт Умбы. Можно полагать, что изменение оптимальных соотношений между элементами, могли бы вносить вклад в заболеваемость детского населения болезнями, ассоциированными с патогенным минеральным обменом, возможно, обусловленным природным и техногенным воздействием.

Работа выполнена по теме 0226-2016-0007, № гос. Регистрации АААА-А17-117020110070-6.

## Литература

1. Авцын А.П. Микроэлементозы Севера // Вопросы медицинской географии Севера. Мурманск: Кн. изд-во. 1986. С. 9–17.
2. Белишева Н.К., Мартынова А.А. Комплексный подход для выявления причин заболеваемости детского населения Кольского Севера. Вестник уральской медицинской академической науки. 2019. Т. 16. № 2. С. 78–85. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-78-85.
3. Гапонова Н.И., Абдрахманов В.Р., Кадышев В.А., Соколов А.Ю. Нарушения калий-магниевого гомеостаза в клинической практике: коррекция сбалансированным раствором калия и магния аспарагината // Лечащий врач. 2014. № 2. С. 27–30.
4. Горбачев А.Л. и др. Особенности элементного статуса жителей различных природно-географических территорий Магаданского региона // Экология человека. 2003. № 6. С. 12–16.
5. Горн М.М., Хейтц У.И. Водно-электролитный и кислотно-основной баланс (краткое руководство). Пер. с англ. СПб.: Невский Диалект; М.: БИНОМ. 1999. 320 с.
6. Гресь Н.А. Микроэлементные маркеры патологических клинических синдромов у жителей г. Минска // Биоэлементы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург. Изд-во: ИПК ГОУ «ОГУ». 2006. С. 49–57.
7. Гресь Н.А., Тарасюк И.В., Руденко Е.В. и др. Микроэлементозы человека: влияние возрастно-половых факторов на баланс остеотропных биоэлементов // Медицина. 2009. № 2. С. 83–87.
8. Детков В.Ю. Микроэлементозы и металлотороксикозы у детского населения Санкт-Петербурга и пути их снижения. Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Оренбург. 2017.
9. Ибрагимова М.Я., Сабирова Л.Я., Березкина Е.С., Скальная М.Г., Жданов З.И., Скальный А.В. Взаимосвязь дисбаланса макро- и микроэлементов и здоровье населения (обзор литературы) // Казанский медицинский журнал. 2011. Т. 92. № 4. С. 606–609.
10. Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания // Фундаментальные исследования. 2012. № 4-1. С. 196–200.
11. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Издательский дом «Оникс 21 век»; Мир, 2004. 272 с.
12. Скальный А.Р., Грабеклис В.А., Демидов и др. Связь элементного статуса населения Центрального федерального округа с заболеваемостью. Ч. 2. Эссенциальные и условно эссенциальные химические элементы // Микроэлементы в медицине. 2012. № 2 (13). С. 1–7.
13. Суханов С.Г., Горбачев А.Л. Региональные особенности микроэлементного состава биосубстратов у жителей Северо-Западного региона России // Микроэлементы в медицине. 2017. № 18 (2). С. 10–16. DOI: 10.19112/2413-6174-2017-18-2-10-16.
14. Цирихова А.С., Минаев Б.Д., Бутаев Т.М. Оценка метаболических связей макро- и микроэлементов с использованием коэффициентов их соотношений у дошкольников с учетом разных технологий приготовления пищи в дошкольных образовательных учреждениях // Современные проблемы науки и образования. 2016. №3. <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24481>.
15. Belisheva N.K. Chapter 43. Comparative Analysis of Morbidity and Elemental Composition of Hair Among Children Living on Different Territories of the Kola North. O.V. Frank-Kamenetskaya et al (eds.), Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature, Lecture Notes in Earth System Sciences, © Springer Nature Switzerland AG 2020, 2019. P. 803–827. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_43).