

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco87416>

Количественное содержание меди в мелкодисперсных и твёрдых частицах снега и волосах населения Горно-Алтайска

Е.А. Чанчаева¹, В.С. Лапин¹, К.М. Ыжикова²¹ Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Российская Федерация;² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Значимость меди для организма человека и её токсикологическое воздействие в повышенных концентрациях в настоящее время изучены в полной мере, тогда как присутствие меди в окружающей среде и организме населения разных регионов требует дополнительных исследований.

Цель. Выявить уровень накопления меди в мелкодисперсной и твёрдой фазах снега, а также в волосах населения Горно-Алтайска.

Материал и методы. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии определяли концентрацию меди в снеговой воде, твёрдой фазе снега и волосах населения Горно-Алтайска. Забор образцов снега производили в районах 10 угольных котельных, образцы волос исследовали у 122 человек в возрасте 4–50 лет.

Результаты. Содержание меди в талой воде от всех заборов снега в районах угольных котельных (0,019–0,049 мг/л) не превышало предельно допустимой концентрации (ПДК) — 0,1 мг/л. В твёрдой фазе снега из 10 образцов (19,37–67,42 мг/кг) в трёх (56,40–67,20 мг/кг) обнаружено превышение ПДК (55,0 мг/кг). Содержание меди в волосах обследованных не зависело от пола ($U=1741$; $p=0,580$), у населения 4–21 лет концентрация меди с возрастом уменьшалась ($U=29$; $p=0,05$).

Установлено, что концентрация меди в волосах жителей Горно-Алтайска по сравнению с другими регионами мира соответствует низким значениям (10,0 мг/кг), среди населения чаще встречались низкие (<7,5 мг/кг) концентрации — в 31,9% случаев, чем высокие (>25,0 мг/кг) — в 5,7% случаев. Корреляционной связи между содержанием меди в волосах населения и содержанием металла в снеговой воде и твёрдой фазе снега не выявлено.

Заключение. Содержание меди в мелкодисперсных фазах снега, отобранного в районах угольных котельных, не представляет опасности для человека, тогда как в твёрдых фазах встречаются повышенные концентрации. В волосах населения чаще отмечается низкое содержание микроэлемента, чем высокое.

Ключевые слова: медь; волосы; аккумуляция; человек; угольные котельные; снег; Горно-Алтайск.

Как цитировать:

Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Ыжикова К.М. Количественное содержание меди в твёрдых частицах снега и волосах населения Горно-Алтайска // Экология человека. Т. 29, № 7. С. 501–511. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco87416>

Получена: 09.11.2021

Одобрена: 29.07.2022

Опубликована online: 26.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco87416>

Quantitative analyses of copper in fine and solid particles of snow and hair in the population of Gorno-Altaysk

Elena A. Chanchaeva¹, Vitalii S. Lapin¹, Karina M. Yzhikova²

¹ Gorno-Altaysk State University, Gorno-Altaysk, Russian Federation;

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The significance of copper (Cu) in the human body and its toxicological effects in elevated concentrations have now been fully established, although the presence of Cu in the environment and in the body of different populations across different regions warrants further research.

AIM: To identify the level of Cu accumulation in the fine and solid phases of snow and hair of the population of Gorno-Altaysk.

MATERIAL AND METHODS: The concentration of Cu in snow water, the solid phase of snow, and hair in the population of Gorno-Altaysk was determined by atomic absorption spectrometry. Snow samples were collected from the areas of 10 coal-fired boiler houses, and hair samples were collected from 122 people aged 4–50 years.

RESULTS: The Cu content in melted water from all snow intakes in the areas of coal-fired boilers (0.019–0.049 mg/L) did not exceed the maximum permissible concentration (MPC 0.1 mg/L). In 3 (56.40–67.20 mg/kg) of the 10 samples in the solid phase of snow (19.37–67.42 mg/kg), an excess of MPC (55.0 mg/kg) was detected. The Cu content in the hair of the subjects did not depend on gender ($U=1741$; $p=0.580$); in a population aged 4–21 years, the concentration of Cu decreased with age ($U=29$; $p=0.05$). The concentration of Cu in the hair of the residents of Gorno-Altaysk, when compared with other regions of the world, corresponded to low values (10.0 mg/kg), low concentrations (7.5 mg/kg, 31.9%) were more common among the population than high concentrations (25.0 mg/kg, 5.7%). No correlation was noted between the concentration of Cu in the hair of the population and that in snow water and the solid phase of snow.

CONCLUSION: The Cu content in the fine-dispersed phases of snow collected from across areas of coal-fired boilers did not pose any danger to the people, whereas, in the solid phases, increased concentrations were recorded. The hair of the population more often contained a low content of Cu (31.9%) than a high content (5.7%).

Keywords: copper; hair; accumulation; human; coal boilers; snow; Gorno-Altaysk.

To cite this article:

Chanchaeva EA, Lapin VS, Yzhikova KM. Quantitative analyses of copper in solid particles of snow and hair in the population of Gorno-Altaysk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(7):501–511. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco87416>

Received: 09.11.2021

Accepted: 29.07.2022

Published online: 26.08.2022

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние исследования метаболизма меди позволили сформировать полное представление об эссенциальной значимости микроэлемента для организма человека, в то же время вопросы о присутствии данного элемента в окружающей среде и организме населения разных регионов требуют дополнительных исследований. В тканях здорового организма за счёт регулируемых механизмов абсорбции и секреции поддерживается гомеостаз концентрации меди. В организме человека содержится 70–100 мг меди, при этом головной мозг и печень, составляющие только 5% массы тела, содержат 25% от общего количества меди [1–4]. Поступление меди в организм человека возможно алиментарным (с пищей и питьевой водой) и ингаляционным (с вдыхаемым воздухом) путём, а также через неповреждённую кожу. При поступлении меди в организм алиментарным путём транспортом микроэлемента в эритроцит содействует транспортёр меди и транспортёр двухвалентных металлов [5]. Основной процесс всасывания меди осуществляется в дуоденальной части кишечника и в меньшей степени — в желудке, тощей и подвздошной кишке. Однако детальный механизм всасывания микроэлемента остаётся на стадии изучения [5]. Известно, что от концентрации меди в пищевом содержимом кишечника зависит механизм транспорта. Так, при низкой концентрации микроэлемента всасывание осуществляется активным транспортом, при высокой — посредством пассивной диффузии [5]. В норме печень экскретирует с желчью избыток меди, нарушение этого процесса наблюдается при генетическом заболевании Вильсона [6].

Ингаляционный путь меди в организм человека возможен при вдыхании аэрозолей и твёрдых частиц (ТЧ) воздуха [7–9]. Опасность представляют частицы диаметром менее 2,5 микрон, которые способны достигать ткани лёгких и попадать во внутреннюю среду организма [7, 10]. Если всасывание меди через кишечник и её секреция из организма являются регулируемыми процессами, обеспечивающими гомеостаз меди, то длительное ингаляционное поступление микроэлемента во внутреннюю среду может стать причиной гиперэлементоза меди [5], при котором могут проявляться неврологические и нейродегенеративные изменения, поражения печени, почек, костно-мышечной системы [6].

Универсальным источником выбросов ТЧ в воздушный бассейн для регионов, независимо от промышленной нагрузки, является сжигание ископаемого твёрдого и жидкого топлива [11]. Теплоэнергетические объекты, использующие уголь, находятся на первом месте по объёмам выбросов различных загрязнителей. В Российской Федерации ежегодное использование угля составляет около 198 млн т. В одной тонне угля содержится около 3,7 кг меди, от сжигания угля на поверхность Земли выпадает около 2000 т/год меди [11].

Ранее проводили анализ концентрации Си в шерсти домашних собак, содержащихся на придомовых территориях г. Горно-Алтайска [12]. Референсное значение меди составило 7,37 мг/кг; при сравнении с данными литературы по содержанию меди в шерсти животных, обитающих в различных по степени загрязнения районах, установили, что данные по Горно-Алтайску соответствуют среднему уровню.

Анализ содержания микроэлементов в волосах населения разных регионов мира [8, 13–15] позволяет обосновать зависимость микроэлементного состава волос от экологического состояния территориальных зон. Интерпретация результатов микроэлементного состава при индивидуальной оценке каждого образца волос требует определения территориальных референсных значений. Эти значения определяются как средние показатели, полученные путём статистического расчёта данных здоровой части населения. Верхний уровень этих показателей может отличаться в зависимости от района обследования. Так, для регионов России референсное значение меди составляет 10,0–25,0 мг/кг [1], для стран ближнего зарубежья России (Азербайджан, Белоруссия) — 9,63–14,20 мг/кг [16, 17], Европы (Польша, Италия, Испания) — 13,15–28,60 мг/кг [18–20], Азии (Бангладеш) — 15,1 мг/кг [21].

Присутствие меди в окружающей среде в результате антропогенной деятельности увеличивается [2], поэтому определение абсорбции этого микроэлемента в организме человека необходимо проводить не только в промышленных мегаполисах, но и в средних и малых городах. Мониторинг содержания химических элементов в питьевой воде, пищевых продуктах является обязательной частью работы экологических и санитарно-эпидемиологических служб, что позволяет снизить риск алиментарного поступления металлов в организм населения в повышенных концентрациях. Профилактика ингаляционного поступления металлов из окружающей среды в составе ТЧ в настоящее время является одной из актуальных экологических задач.

Как в Республике Алтай в целом, так и в её административном центре крупные промышленные предприятия отсутствуют, по результатам анализа проб воды, почвы, расчётным показателям валовых выбросов в атмосферу экологическое состояние города признаётся благоприятным [22]. Однако для Горно-Алтайска сохраняется проблема широкого использования твёрдого топлива, а в последние годы обостряется вопрос возрастающей транспортной нагрузки. Необходимость определения экологической опасности от существующих источников загрязнения объясняется низким уровнем самоочищения атмосферного воздуха из-за особенностей горного рельефа и погодных условий [12, 23, 24]. Одним из природных адсорбентов, отражающих степень загрязнения окружающей среды различными фазами ТЧ, может выступать снеговой покров [25, 26].

Цель. Выявить уровень накопления меди в мелкодисперсной и твёрдой фазах снега, а также в волосах населения Горно-Алтайска.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для оценки содержания меди в окружающей среде и организме населения Горно-Алтайска определяли концентрацию меди в снеговом покрове и волосах населения, применяли одномоментный метод поперечных срезов.

Этапы работы

Работу выполняли согласно следующей линейке исследовательских процедур:

1. Забор снега в районах всех действующих угольных котельных города. Лабораторный анализ содержания меди в мелкодисперсной и твёрдой фазах снеговой воды.

2. Сбор волос населения Горно-Алтайска, пробоподготовка (озоление волос) и анализ концентрации меди в исследуемых образцах.

3. Статистический анализ и интерпретация результатов.

На каждом этапе работы использовали стандартную методику. Образцы снега отбирали в районах 10 угольных котельных (рис. 1) методом шурфа на всю глубину снегового покрова за исключением 5 см слоя над почвой; пробы снега (10–15 кг) помещали в полиэтиленовые пакеты (30 л) для доставки в лабораторию. В лаборатории пробы снега в течение суток растапливали в пластиковых контейнерах, часть чистой отстоянной воды (5–6 л) сливали, другую часть отфильтровывали через беззольные фильтры («синяя лента»). Снеготалую воду консервировали из расчёта на 1 л воды 3 мл концентрированной азотной кислоты марки «ос.ч.». Твёрдые фазы снега просушивали на фильтре, просеивали через сито (диаметр ячейки — 1 мм) и взвешивали. ТЧ разлагали методом автоклавной минерализации. Концентрацию меди в ТЧ и снеготалой воде определяли атомно-абсорбционным методом («Квант-2», Россия). Результаты анализа сравнивали с предельно допустимой концентрацией (ПДК) [27]: содержание меди в мелкодисперсной фазе — с ПДК в природной воде (0,1 мг/л); содержание меди в ТЧ снега — с ПДК в почве (55,0 мг/кг).

При отборе проб волос у населения соблюдали критерии: постоянное (не менее 4 лет) проживание в г. Горно-Алтайске, натуральное состояние волос без воздействия химическими средствами (окрашивание, обесцвечивание, химическая завивка и др.), отсутствие вредной привычки табакокурения. Перед процедурой сбора волос для анализа респонденты самостоятельно в домашних условиях промывали и высушивали волосы, не используя укладочные средства (гели, спреи, лаки и др.). В химико-экологической лаборатории Горно-Алтайского государственного университета у испытуемых с теменной и затылочной части головы чистыми ножницами состригали прядь волос

от корня длиной 3–5 см, объёмом 0,3–0,5 г. Образцы волос помещали в конверт, на котором надписывали фамилию, имя, отчество, дату рождения, адрес постоянного проживания, адрес места работы или обучения. Пробоподготовку образцов волос проводили методом мокрого озоления [12, 23, 24]. Непосредственно перед анализом исследуемых образцов путём разбавления в 10 раз стандартного концентрированного раствора готовили эталонный раствор. Концентрацию микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом («Квант-2», Россия).

Стратификация респондентов

Возрастной диапазон обследуемого населения определяли с учётом необходимого минимального срока постнатального проживания (4 года) в условиях исследуемой территории для аккумуляции токсиканта, а также возрастных особенностей регуляторных систем в зрелом возрасте. В исследовании приняли участие добровольцы в возрасте 4–50 лет (35 человек 4–17 лет, 40 человек от 18 лет до 21 года, 47 лиц 22–50 лет). Информированное согласие получено от всех пациентов в возрасте свыше 15 лет и от родителей пациентов, не достигших 15-летнего возраста, согласно Федеральному закону «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» (2011).

Всего проанализировано 122 образца волос (62 мужских, 60 женских) практически здоровых людей

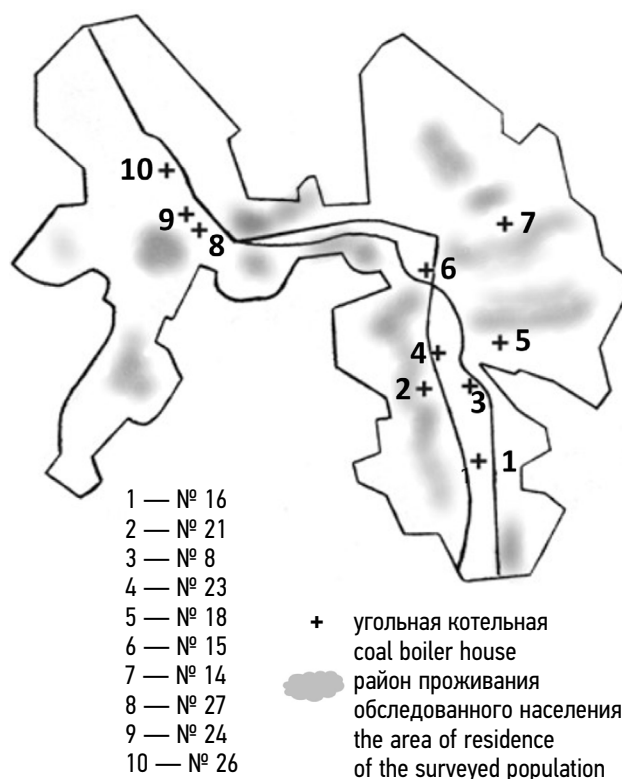


Рис. 1. Расположение угольных котельных и проживание обследованного населения в черте г. Горно-Алтайска.

Fig. 1. Location of coal-fired boiler houses and residences of the surveyed population within the city of Gorno-Altaysk.

без признаков болезни в острой форме, не принимающих витаминно-минеральные комплексы и лекарственные средства. Районы проживания всех респондентов отмечены на карте (см. рис. 1).

Индивидуальные показатели сравнивали с общероссийскими (10–25 мг/кг) [1]. Относительно данных значений индивидуальные показатели оценивали как сравнительно низкие или высокие, далее определяли долю населения с низкой и высокой концентрацией меди в волосах.

В работе использован нетравматичный неинвазивный метод. В связи с этим протокол исследования не проходил процедуру одобрения в этическом комитете.

Далее оценивали содержание меди в волосах обследованных в зависимости от района их проживания, работы или обучения на территории города относительно угольных котельных. Степень взаимосвязи определяли методом ранговой корреляции Спирмена. Данные химического анализа представлены как среднее арифметическое значение, минимальное и максимальное значения, показатели медианы, в качестве мер рассеивания проводили вычисление процентилей (Q1–Q3). Статистическую значимость различий значений определяли с помощью критерия Манна–Уитни, при этом пороговое значение уровня значимости $p=0,05$.

Характеристика экспериментальной площадки

Рельеф территории Горно-Алтайска варьирует от 250 м до 850 м над уровнем моря. По численности населения (64,5 тыс.) и общей площади (95,5 км²) Горно-Алтайск приближен к малым городам России. Источниками загрязнения окружающей среды являются выбросы автотранспорта, отопительные системы на твёрдом угле и бытовые отходы, крупные промышленные предприятия на территории города отсутствуют. Суммарный объём выбросов от всех источников составляет в среднем 9 тыс. тонн в год, при этом как на долю автотранспорта, так и на выбросы от отопительных систем приходится примерно по 50% [22]. Объём пылевой нагрузки — 129 кг/км² в сутки, максимальное содержание ТЧ в атмосферном воздухе — 5,7 мг/м³ [22]. Из-за неуклонного роста количества транспортных средств объём эмиссий от двигателей внутреннего сгорания увеличивается за каждые 3 года на 45–50% (на 15–18% в год) [22].

В долине реки Маймы, где расположен Горно-Алтайск, метеорологический показатель самоочищения атмосферы свидетельствует о процессах, способствующих накоплению примесей в атмосфере. Это обусловлено особенностями рельефа, котловинообразным расширением долины и незначительными перепадами высот при существенной

Таблица 1. Содержание меди в снеготалой воде и твёрдой фазе снега Горно-Алтайска

Table 1. The copper content in snow-melted water and the solid phase of snow of Gorno-Altaysk

№ котельной Boiler facility number	Место взятия пробы Sampling site	Твёрдые частицы снега (ПДК в почве — 55,0 мг/кг) [27] Solid particles of snow (MPC in soil 55.0 mg/kg) [27]	Снеготалая вода (ПДК в природных водах — 0,1 мг/л) [27] Snowmelt water (MPC in natural waters 0.1 g/L) [27]
16	Ул. Ленина, 239 Ul. Lenina, 239	56,404	0,0353
8	Ул. Барнаульская, 8 Ul. Barnaulskaya, 8	35,521	0,0246
21	Ул. Толстого, 72 Ul. Tolstogo, 72	67,242	0,0276
23	Ул. Олонского, 8/1 Ul. Olonskogo, 8/1	19,373	0,0282
18	Пер. Лисавенко 1 Per. Lisavenko 1	50,043	0,0491
14	Ул. Островского, 30 Ul. Ostrovskogo, 30	35,419	0,0199
15	Ул. Социалистическая, 21/1 Ul. Socialisticheskaya, 21/1	21,671	0,0233
27	Проспект Коммунистический, 87 Prospekt Communisticheskij, 87	35,141	0,0387
24	Ул. Маресьева, 6/1 Ul. Mareseva, 6/1	30,602	0,0332
26	Проспект Коммунистический, 109 Prospekt Communisticheskij, 109	56,490	0,0499
Среднее значение Mean value		40,790	0,0330

Примечание: ПДК — предельно допустимая концентрация.

Note: MPC — maximum permissible concentration.

Таблица 2. Концентрация меди в волосах населения Горно-Алтайска, %

Table 2. The concentration of copper in the hair of the residents of Gorno-Altaysk, %

Группы сравнения Comparison groups	Среднее Mean	Медиана Median	Min–Max	Q ₁	Q ₃
Пол Gender:					
мужской male	10,9	8,7	0,07–43,20	5,3	10,8
женский female	8,9	8,4	0,08–26,30	4,7	10,4
Возраст, лет Age, years:					
4–17	11,3*	9,8	0,07–32,60	3,5	12,9
18–21	8,4*	7,5	5,28–12,0	6,5	9,6
22–50	10,2	8,6	5,43–43,20	6,0	11,1
Всего Total	10,0	8,6	0,07–43,20	5,1	10,7

* $p < 0,05$.

повторяемости антициклональной погоды. Центральная часть города включает инфраструктурные объекты, сконцентрированные вдоль двух главных дорог протяжённостью около 10 км, в пределах этой части города расположено 30 центральных котельных, среди которых 10 твёрдотопливных (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки содержания меди в окружающей среде Горно-Алтайска определяли содержание металла в двух фазах снега: в ТЧ и дисперсном состоянии в составе снеготалой воды. Образцы снега взяты в районах всех действующих на территории города угольных котельных (табл. 1). Результаты сравнивали с ПДК меди в почве (55,0 мг/кг) и природной воде (0,1 мг/л) [1]. Из представленных в табл. 1 данных видно, что концентрация меди в снеготалой воде не превышает ПДК. Содержание меди в твёрдой фазе снега также в основном не превышает ПДК, однако в трёх образцах, взятых в районе угольных котельных №№ 16, 26, 27, выявлено превышение ПДК в 1,03–1,22 раза.

Статистически значимой корреляции между концентрацией меди в волосах населения, её содержанием в твёрдых фазах снега и снеговой воде не выявлено ($r=0,33$; $p=0,051$).

На следующем этапе исследования оценивали содержание меди в волосах населения Горно-Алтайска. Среднее значение микроэлемента составило 10,0 мг/кг (табл. 2), что не выходило за границы показателей других регионов России (10–25 мг/кг) (табл. 3), при этом у женской (8,9 мг/кг) и мужской (10,9 мг/кг) части населения различия статистически значимо не различались ($U=1741$; $p=0,580$). Во всех трёх возрастных группах (4–17 лет, 18–21 года, 22–50 лет) средние значения также не превышали показатели биологически допустимого уровня (7,5–25,0 мг/кг), отмечалась тенденция снижения концентрации меди в волосах в возрасте 4–21 года ($U=29$; $p=0,05$). Минимальные

(0,07 мг/кг) и максимальные значения (43,2 мг/кг) указывают на присутствие микроэлемента в организме населения в недостаточных и избыточных количествах.

Доля жителей Горно-Алтайска, в волосах которых содержание меди ниже уровня 7,5 мг/кг, составляет 31,9%, при этом доля мужчин и женщин — в пределах 30,1–33,7% соответственно. В возрасте 18–50 лет доля населения со сравнительно низкими значениями меди статистически значимо — на 14,1% — снижается ($p=0,049$) (табл. 4). Доля жителей с содержанием меди в волосах выше уровня 25,0 мг/кг составляет 5,7%.

Таблица 3. Референсные значения концентрации меди в волосах жителей различных регионов мира

Table 3. Reference values of the concentration of copper in the hair of residents of different regions of the world

Регион обследования Survey region	Референсные значения Reference values
г. Горно-Алтайск Gorno-Altaysk	10,0
Регионы России [14] Regions of Russia [14]	10,0–25,0
Татарстан [1] Tatarstan [1]	9,8–15,3
Санкт-Петербург [3] Saint Petersburg [3]	8,92–12,81
г. Баку [6] Baku [6]	14,2
г. Минск [8] Minsk [8]	9,63
Южный Ирак [25] Southern Iraq [25]	36,8
Испания [19] Spain [19]	28,6
Судан [28] Sudan [28]	25,22
Китай [24] China [24]	23,9
Бангладеш [20] Bangladesh [20]	15,1
Польша [21] Poland [21]	13,15
Пакистан [26] Pakistan [26]	12,8

Таблица 4. Процент жителей Горно-Алтайска с низкой и высокой концентрацией меди в волосах**Table 4.** The percentage of residents of Gorno-Altaysk with low and high concentrations of copper in their hair

Группы сравнения Comparison groups	Концентрация меди, мг/кг Copper concentration, mg/kg	
	<7,5 [14]	>25,0 [14]
Пол Gender:		
мужской male	33,7	5,9
женский female	30,1	4,3
Возраст, лет Age, years:		
4–17	34,3	6,3
18–21	37,5*	5,8
22–50	23,4*	4,2
Всего Total	31,9	5,7

* $p < 0,05$.

При анализе средних значений концентрации меди в волосах населения других регионов установлено, что данные по Горно-Алтайску соответствуют сравнительно низким показателям (см. табл. 3). Среди представленных данных самые высокие значения приходятся на Южный Ирак [4], Испанию [19] и Судан [28].

ОБСУЖДЕНИЕ

Улавливание и осаждение ТЧ с целью контроля загрязнения и очищения воздуха — сложный процесс. С потоками воздуха частицы могут разноситься на значительные расстояния, создавая общий фон загрязнения селитебных территорий [29]. Одним из природных адсорбентов, накапливающим оседающие из воздуха загрязнители, является снег. По концентрации металлов в различных фазах снега можно судить о загрязнении окружающей среды.

В настоящем исследовании установлено, что концентрация меди в снеговой воде г. Горно-Алтайска не представляет опасности для человека, а в 3 образцах твёрдой фазы снега обнаружено превышение ПДК. Необходимо отметить, что угольные котельные города расположены в непосредственной близости от инфраструктурных объектов (образовательные учреждения, торговые центры) и могут представлять опасность для населения как источники токсичных загрязнителей воздуха (см. рис. 1).

В то же время при сравнении результатов данного исследования (19,4–67,2 мг/кг) со значениями, полученными другими авторами в 2016 году (101 мг/кг) [30], выявили тенденцию снижения концентрации меди в ТЧ снега на территории Горно-Алтайска за 5 лет. В Республике Алтай с 2017 года проводятся мероприятия по снижению использования в качестве топлива каменного угля и переходу на природный газ, в настоящее время из 30

действующих на территории города центральных котельных только 10 функционируют на твёрдом топливе (см. рис. 1). Тем не менее востребованность каменного угля по-прежнему сохраняется для ТЭЦ города и отопительных систем частного сектора.

Как избыток, так и недостаток меди в организме человека приводит к нарушению многих функций. Необходимость меди для организма человека обусловлена её кофакторной функцией. Около 95% меди в организме присутствует в составе церулоплазмينا (гликопротеин крови); 8 атомов меди, входящих в состав этого активного вещества, обеспечивают антирадикальные свойства. Медь в составе цитохромоксидазы выполняет роль конечного звена электронтранспортной цепи, посредством которого осуществляются биологическое окисление и окислительное фосфорилирование, генерация аденозинтрифосфата. В составе моноаминоксидазы медь катализирует дезаминирование ряда гормонов (катехоламины, серотонин); в составе лизилоксидазы — ускоряет превращение из лизина альдегидов, имеющих значение для синтеза коллагена и эластина при развитии дыхательной системы и кожи [1, 4, 5, 19, 21]. Кроме этого, медь участвует в синтезе тирозиназы — фермента, необходимого для синтеза меланина из тирозина. Известно, что дефицит тирозиназы является причиной альбинизма, напротив, избыточная активность фермента лежит в основе развития меланомы [5, 19]. Определение концентрации данного элемента в организме необходимо для профилактики развития гипо- и гиперэлементоза.

Недостаточное содержание меди в организме детей отражается на их физическом развитии, приводит к задержке роста, независимо от возраста дефицит меди может стать причиной анемии, дерматозов, снижения массы тела, потери аппетита, атрофии клеток миокарда [1, 5, 19]. Доля жителей Горно-Алтайска, в волосах которых содержание меди ниже уровня 7,5 мг/кг, составляет 31,9%, в вариационном диапазоне минимальные значения соответствуют уровню 0,07 мг/кг, а нижний квартиль — 5,1 мг/кг. На основании полученных результатов можно предположить, что для примерно 1/3 населения Горно-Алтайска существует проблема недостаточного поступления меди с пищей и водой. Для восполнения дефицита микроэлемента рекомендуют включать в рацион говяжье мясо, печень, зерновые, бобовые культуры, морепродукты [1, 5, 19].

В результате исследования выявлено закономерное снижение концентрации меди в волосах населения Горно-Алтайска в возрасте 4–21 года, в возрасте 18–50 лет доля населения со сравнительно низкими значениями меди статистически значимо сокращается.

Для интерпретации результатов референсные и индивидуальные значения концентрации микроэлемента в волосах сравнивают со значением биологически допустимого уровня. По данным литературы [1, 19], в норме концентрация меди в волосах человека составляет 7,5–25,0 мг/кг. У 5,7% обследованного населения

Горно-Алтайска концентрация меди в волосах превышает уровень 25,0 мг/кг. Вероятно, у данной категории населения существует риск повышенной кумуляции меди и в других тканях организма. Известно, что при избыточном содержании меди в тканях у человека проявляются гемолиз, анемия, дегенерация ткани печени, почек, мозга. Токсичность меди обусловлена способностью ионов блокировать SH группы белков, в том числе и ферментов [1, 5].

Таким образом, концентрация меди в природном адсорбенте (снег) представляет опасность для организма человека только в составе твёрдой фазы. У третьей части населения Горно-Алтайска выявляется низкое содержание меди в волосах, а превышение общероссийских значений обнаружено примерно у 6%.

В целом преимуществом данного исследования является детальный анализ присутствия меди в организме населения малого города, попытка сопоставить концентрацию меди в волосах и разных фазах снега. Недостаток исследования — отсутствие экспериментальных данных о содержании меди в атмосферном воздухе в составе ТЧ и аэрозолей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание меди в мелкодисперсных фазах снега, отобранного в районах угольных котельных, не представляет опасности для человека, тогда как в твёрдых фазах встречаются повышенные концентрации. В волосах населения чаще отмечается низкое содержание микроэлемента (31,9%), чем высокое (5,7%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г., и др. Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды / под ред. Ракитского В.Н., Рахманина Ю.А. Москва : РУДН, 2019. 339 с.
2. Dabi S.B. Effect and necessity of anthropogenic copper on fresh water aquaculture organisms: a review // J Fish Res. 2020. Vol. 4, N 1. 36–40.
3. He M.J., Wei S.Q., Sun Y.X., et al. Levels of five metals in male hair from urban and rural areas of Chongqing, Chinam // Environ Sci Pollut Res Int. 2016. Vol. 23, N 21. P. 22163–22171. doi: 10.1007/s11356-016-7448-9
4. Carvalho A.S.C., Santos A.S., Pereira S.F.P., Alves C.N. Levels of As, Cd, Pb and Hg found in the hair from people living in Altamira, Pará, Brazil: environmental implications in the Belo Monte area // J Braz Chem Soc. 2009. Vol. 20, N 60. P. 1153–1163. doi: 10.1590/S0103-50532009000600022
5. Ruiz L.M., Libedinsky A., Elorza A.A. Role of copper on mitochondrial function and metabolism // Front Mol Biosci. 2021. Vol. 8. P. 711227. doi: 10.3389/fmolb.2021.711227
6. Gromadzka G., Tarnacka B., Flaga A., Adamczyk A. Copper dyshomeostasis in neurodegenerative diseases-therapeutic implications // Int J Mol Sci. 2020. Vol. 21, N 23. P. 9259. doi: 10.3390/ijms21239259
7. Olumayede E.G., Ediagbonya T.F. Sequential extractions and toxicity potential of trace metals absorbed into airborne particles in an urban atmosphere of Southwestern Nigeria // ScientificWorldJournal. 2018. Vol. 2018. P. 852165. doi: 10.1155/2018/6852165
8. Phi T.H., Chinh P.M., Cuong D.D., et al. Elemental concentrations in roadside dust along two national highways in Northern Vietnam and the health-risk implication // Arch Environ Contam Toxicol. 2018. Vol. 74, N 1. P. 46–55. doi: 10.1007/s00244-017-0477-7
9. Seriani R., Junqueira Mde S., de Toledo A.C., et al. Diesel exhaust particulates affect cell signaling, mucin profiles, and apoptosis in trachea explants of Balb/C mice // Environ Toxicol. 2015. Vol. 30, N 11. P. 1297–1308. doi: 10.1002/tox.22000
10. Иваненко А.В., Судакова Е.В., Скворцова С.А., Бестужева Е.В. Оценка риска здоровью населения от воздействия атмосферных загрязнений на отдельных территориях Москвы // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 3. С. 206–211. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-206-211

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Е.А. Чанчаева — концепция и дизайн исследования, метаанализ, интерпретация результатов, подготовка материала статьи; В.С. Лапин — сбор образцов снега и волос, пробоподготовка, лабораторный анализ; К.М. Ыжикова — сбор образцов снега и волос, анализ литературных данных.

Author contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). The major contributions are described as follows: E.A. Chanchaeva — research concept and design, meta-analysis, interpretation of results, preparation of the article material; V.S. Lapin — collection and preparation of snow and hair samples for analysis; K.M. Yzhikova — a collection of snow and hair samples and analysis of literary data.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding sources. This study was not supported by any external sources of funding.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

11. Finkelman R.B., Wolfe A., Hendryx M.S. The future environmental and health impacts of coal // *Energy Geoscience*. 2020. Vol. 2, N 2. P. 99–112. doi: 10.1016/j.engeos.2020.11.001
12. Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Кузнецова О.В., и др. Анализ содержания тяжелых металлов в шерсти животных городской среды Республики Алтай // *Экология человека*. 2020. Т. 27, № 12. С. 11–17. doi: 10.33396/1728-0869-2020-12-11-17
13. Корчина Т.Я., Миняйло Л.А., Сафарова О.А., Корчин В.И. Сравнительные показатели содержания железа и марганца в волосах женщин Северного региона с различной очисткой питьевой воды // *Экология человека*. 2018. Т. 25, № 4. С. 4–9. doi: 10.33396/1728-0869-2018-4-4-9
14. Рафикова Ю.С., Семенова И.Н., Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т. Уровни содержания кадмия и свинца в волосах населения Зауральской зоны Республики Башкортостан // *Экология человека*. 2020. Т. 27, № 1. С. 17–24. doi: 10.33396/1728-0869-2020-1-17-24
15. Rafati Rahimzadeh M., Rafati Rahimzadeh M., Kazemi S., Moghadamnia A.A. Cadmium toxicity and treatment: an update // *Caspian J Intern Med*. 2017. Vol. 8, N 3. P. 135–145. doi: 10.22088/cjim.8.3.135
16. Казимов М.А., Алиева Н.В. Изучение и гигиеническая оценка риска для здоровья от присутствия тяжёлых металлов в продуктах питания // *Казанский медицинский журнал*. 2014. Т. 95, № 5. С. 706–709.
17. Матвейко Н.П., Протасов С.К., Садовский В.В. Определение тяжелых металлов в волосах человека // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2013. № 2 (25). С. 95–98.
18. Czerny B., Krupka K., Ożarowski M., Seremak-Mrozikiewicz A. Screening of trace elements in hair of the female population with different types of cancers in Wielkopolska region of Poland // *ScientificWorldJournal*. 2014. Vol. 2014. P. 953181. doi: 10.1155/2014/953181
19. Llorente Ballesteros M.T., Navarro Serrano I., Izquierdo Álvarez S. Reference levels of trace elements in hair samples from children and adolescents in Madrid, Spain // *J Trace Elem Med Biol*. 2017. Vol. 43. P. 113–120. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.12.010
20. Rezza C., Stefano Albanese S., Ayusob R., et al. Geochemical and Pb isotopic characterization of soil, groundwater, human hair, and corn samples from the Domizio Flegreo and Agro Aversano area (Campania region, Italy) // *J Geochem Explor*. 2018. Vol. 184(Part B). P. 318–332. doi: 10.1016/j.gexplo.2017.01.007
21. Choudhury T.R., Ali M., Rahin A.S., Ali M.P. Trace elements in the hair of normal and chronic arsenism people // *Global advanced research journal of environmental science and toxicology*. 2013. Vol. 2 (7). P. 163–173. Режим доступа: <http://garj.org/garjest/index.htm>
22. Доклад Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии» о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай. Режим доступа: http://altai-republic.ru/society/doklad_nature Дата обращения: 26.04.2021.
23. Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Сухова М.Г., и др. Референтные значения концентрации кадмия в волосах жителей Горного Алтая // *Гигиена и санитария*. 2021. Т. 100, № 4. С. 307–312. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312
24. Чанчаева Е.А., Сухова М.Г., Куриленко Т.К. Аккумуляция свинца в волосах населения административного центра Республики Алтай // *Экология человека*. 2021. Т. 28, № 6. С. 4–11. doi: 10.33396/1728-0869-2021-6-4-11
25. Темиржанова А.Е., Дюсембаева М.Т., Лукашенко С.Н., и др. Элементный состав твердой фазы снегового покрова малых населенных пунктов (на примере села Долонь Восточно-Казахстанской области, республика Казахстан) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020. Т. 331, № 12. С. 41–50.
26. Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л., и др. Исследование содержания тяжелых металлов в снеговом покрове г. Архангельска и оценка их влияния на здоровье населения // *Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия: естественные науки*. 2016. №4. С. 57–68. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.57
27. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий», утверждённые Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3. Режим доступа: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf.
28. Abdelbagi A.M., Gilani Mustafa M.A., Sharf Eldeen A.E.S. Concentrations of trace elements in human hair as a biomarker expose to environmental contamination // *International journal of scientific research and innovative technology*. 2017. Vol. 4, P. 2.
29. Kantová N.C., Holubcik M., Jnadacka J., Čaja A. Comparison of particulate matters properties from combustion of wood biomass and brown coal // *Procedia Engineering*. 2017;192:416–420. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.072
30. Робертус Ю.В., Удачин В.Н., Рихванов Л.П., и др. Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию Горного Алтая // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327, № 9. С. 39–48.

REFERENCES

1. Skalny AV, Grabeklis AR, Skalnaya MG, et al. *Chemical elements in environmental hygiene and medicine*. Rakitskij VN, Rahmannin JuA, editors. Moscow: Russian peoples' friendship university; 2019, 339 p. (In Russ).
2. Dabi SB. Effect and necessity of anthropogenic copper on fresh water aquaculture organisms: a review. *J Fish Res*. 2020;4(1):36–40.
3. He MJ, Wei SQ, Sun YX, et al. Levels of five metals in male hair from urban and rural areas of Chongqing, China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016;23(21):22163–22171. doi: 10.1007/s11356-016-7448-9
4. Carvalho ASC, Santos AS, Pereira SFP, Alves CN. Levels of As, Cd, Pb and Hg found in the hair from people living in Altamira,

- Pará, Brazil: environmental implications in the Belo Monte area. *J Braz Chem Soc.* 2009;20(60):1153–1163. doi: 10.1590/S0103-50532009000600022
5. Ruiz LM, Libedinsky A, Elorza AA. Role of copper on mitochondrial function and metabolism. *Front Mol Biosci.* 2021;8:711227. doi: 10.3389/fmolb.2021.711227
 6. Gromadzka G, Tarnacka B, Flaga A, Adamczyk A. Copper dyshomeostasis in neurodegenerative diseases—therapeutic implications. *Int J Mol Sci.* 2020;21(23):9259. doi: 10.3390/ijms21239259
 7. Olumayede EG, Ediagbonya TF. Sequential extractions and toxicity potential of trace metals absorbed into airborne particles in an urban atmosphere of Southwestern Nigeria. *ScientificWorldJournal.* 2018;2018:6852165. doi: 10.1155/2018/6852165
 8. Phi TH, Chinh PM, Cuong DD, et al. Elemental concentrations in roadside dust along two national highways in Northern Vietnam and the health-risk implication. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2018;74(1):46–55. doi: 10.1007/s00244-017-0477-7
 9. Seriani R, Junqueira Mde S, de Toledo AC, et al. Diesel exhaust particulates affect cell signaling, mucin profiles, and apoptosis in trachea explants of Balb/C mice. *Environ Toxicol.* 2015;30(11):1297–1308. doi: 10.1002/tox.22000
 10. Ivanenko AV, Sudakova EV, Skvortsova SA, Bestuzheva EV. Assessment of risks to the health of the population from air borne contaminants in certain areas of Moscow (based on the findings of on-going socio-hygienic monitoring). *Hygiene and sanitation.* 2017;96(3):206–211. (In Russ). doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-206-211
 11. Finkelman RB, Wolfe A, Hendryx MS. The future environmental and health impacts of coal. *Energy Geoscience.* 2020;2(2):99–112. doi: 10.1016/j.engeos.2020.11.001
 12. Chanchaeva EA, Lapin VS, Kuznetsova OV, et al. Concentration of heavy metals in animal hair in an urban setting in the Altai Republic. *Ekologiya cheloveka (Human ecology).* 2020;27(12):11–17. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2020-12-11-17
 13. Korchina TYa, Minyailo LA, Safarova OA, Korchin VI. Comparative indicators of iron and manganese content in the hair of women living in the Northern region with different treatment of drinking water. *Ekologiya cheloveka (Human ecology).* 2018;25(4):4–9. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2018-4-4-9
 14. Rafikova YuS, Semenova IN, Khasanova RF, Suyundukov YaT. Cadmium and concentration in human hair in the trans-Urals region of Bashkortostan Republic. *Ekologiya cheloveka (Human ecology).* 2020;27(1):17–24. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2020-1-17-24
 15. Rafati Rahimzadeh M, Rafati Rahimzadeh M, Kazemi S, Moghadamnia AA. Cadmium toxicity and treatment: an update. *Caspian J Intern Med.* 2017;8(3):135–145. doi: 10.22088/cjim.8.3.135
 16. Kazimov MA, Alieva NV. Examination and hygienic assessment of health risk depending on heavy metals content in foods. *Kazan medical journal.* 2014; 95(5):706–709. (In Russ).
 17. Matvejko NP, Protasov SK, Sadovskij VV. Determination of heavy metals in human hair. *Vestnik of Vitebsk State Technological University.* 2013;2(25):95–98. (In Russ).
 18. Czerny B, Krupka K, Ożarowski M, Seremak-Mrozikiewicz A. Screening of trace elements in hair of the female population with different types of cancers in Wielkopolska region of Poland. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:953181. doi: 10.1155/2014/953181
 19. Llorente Ballesteros MT, Navarro Serrano I, Izquierdo Álvarez S. Reference levels of trace elements in hair samples from children and adolescents in Madrid, Spain. *J Trace Elem Med Biol.* 2017;43:113–120. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.12.010
 20. Rezza C, Stefano Albanese S, Ayusob R, et al. Geochemical and Pb isotopic characterization of soil, groundwater, human hair, and corn samples from the Domizio Flegreo and Agro Aversano area (Campania region, Italy). *J Geochem Explor.* 2018;184(Part B):318–332. doi: 10.1016/j.gexplo.2017.01.007
 21. Choudhury TR, Ali M, Rahin AS, Ali MP. Trace elements in the hair of normal and chronic arsenism people. *Global advanced research journal of environmental science and toxicology.* 2013;2(7):163–173. Available from: <http://garj.org/garjest/index.htm>
 22. Report of the Autonomous institution of the Altai Republic “Altai regional Institute of ecology” on the state and environmental protection of the Altai Republic in 2016. Available from: http://altai-republic.ru/society/doklad_nature_2020.pdf Accessed: 26.04.2021. (In Russ).
 23. Chanchaeva EA, Lapin VS, Sukhova MG, et al. Reference values of cadmium concentration in the hair of residents of the Gornyi Altai. *Hygiene and sanitation.* 2021;100(4):307–312. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312
 24. Chanchaeva EA, Sukhova MG, Kurilenko TK. Lead concentration in human hair in the administrative center of the Altai Republic. *Ekologiya cheloveka (Human ecology).* 2021;28(6):4–11. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-6-4-11
 25. Temirzhanova AE, Dyusembaeva MT, Lukashenko SN, et al. The elemental composition of the solid phase of the snow cover of small settlements (on the example of the village of Dolon, East Kazakhstan region, Republic of Kazakhstan). *Bulletin of the Tomsk polytechnic university.* 2020;331(12):41–50. (In Russ).
 26. Chagina NB, Ajvazova EA, Ivanchenko NL, et al. Investigation of the content of heavy metals in the snow cover of Arkhangelsk and assessment of their impact on public health. *Vestnik of Northern (Arctic) federal university. Series: natural sciences.* 2016;4:57–68. (In Russ). doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.57
 27. SanPiN 2.1.3684-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures”, approved by Resolution No. 3 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021. Available from: https://www.rosпотреbnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf (In Russ).
 28. Abdelbagi AM, Gilani Mustafa MA, Sharf Eldeen AES. Concentrations of trace elements in human hair as a biomarker expose to environmental contamination. *International journal of scientific research and innovative technology.* 2017;4:2.
 29. Kantová NC, Holubcik M, Jnadacka J, Čaja A. Comparison of particulate matters properties from combustion of wood biomass and brown coal. *Procedia Engineering.* 192:416–420. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.072

30. Robertus YuV, Udachin VN, Rikhvanov LP, et al. Indication of the environmental components of the transboundary transfer of pol-

luting substances on the territory of Gorny Altai. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university*. 2016;9:39–48. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Елена Анатольевна Чанчаева**, д.б.н.;

адрес: Россия, Республика Алтай, 649000, Горно-Алтайск, ул. Ленкина, 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-1145>;

eLibrary SPIN: 1295-9908;

e-mail: chan.73@mail.ru

Виталий Сергеевич Лапин;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-2056>;

eLibrary SPIN: 5625-9760;

e-mail: wit.lapin@mail.ru

Карина Маратовна Ыжикова;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0780-1735>;

eLibrary SPIN: 2420-1279;

e-mail: k.yzhikova@g.nsu.ru

AUTHORS' INFO

***Elena A. Chanchaeva**, Dr. Sci. (Biol.);

address: 1 Lenkina street, 649000, Gorno-Altaysk, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-1145>;

eLibrary SPIN: 1295-9908;

e-mail: chan.73@mail.ru

Vitalii S. Lapin;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-2056>;

eLibrary SPIN: 5625-9760;

e-mail: wit.lapin@mail.ru

Karina M. Yzhikova;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0780-1735>;

eLibrary SPIN: 2420-1279;

e-mail: k.yzhikova@g.nsu.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author