

АККУМУЛЯЦИЯ СВИНЦА В ВОЛОСАХ НАСЕЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

© 2021 г. Е. А. Чанчаева, М. Г. Сухова, Т. К. Куриленко

ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет», г. Горно-Алтайск

Введение: универсальным источником поступления свинца (Pb) в окружающую среду для регионов независимо от промышленной нагрузки является жидкое и твердое топливо, присутствие Pb в предметах быта также не утрачивает своей актуальности, поэтому определение абсорбции данного микроэлемента различными звеньями биоценоза необходимо проводить не только в мегаполисах, но и средних и малых городах.

Цель исследования: выявить уровень аккумуляции Pb в волосах населения административного центра Республики Алтай. Задачи исследования: 1) определить референтные концентрации Pb в волосах жителей Горно-Алтайска с учетом возраста, пола и района проживания; 2) определить долю населения с концентрацией Pb, превышающей биологически допустимый уровень.

Методы: У постоянно проживающих в г. Горно-Алтайске практически здоровых людей без хронических заболеваний, на момент обследования без признаков болезни в острой форме, не принимающих витаминно-минеральные комплексы и лекарственные средства, с натуральным состоянием волос и отсутствием вредной привычки табакокурения были собраны образцы волос. Возраст обследованных 4–50 лет: 4–17 лет – 35 человек, 18–21 год – 40, 22–50 лет – 47; проживающих в центральной части города – 64 человека, окраинной – 58. Проанализировано 122 образца волос (62 мужских, 60 женских). Концентрацию микроэлементов в растворах с образцами волос определяли атомно-абсорбционным методом («Квант-2», Россия). Значимость различий анализировали с применением критерия Манна – Уитни, связь между переменными – с помощью коэффициента корреляции Спирмена

Результаты: Референтное значения концентрации Pb (3,18 мг/кг) в волосах жителей Горно-Алтайска соответствует общероссийским значениям (0,5–3,0 мг/кг). Количество жителей с концентрацией Pb, превышающей биологически допустимый уровень (5,0 мг/кг), составляет 26,2 %. Показатели концентрации Pb в волосах населения коррелируют с их возрастом ($r = 0,54$) и не зависят от пола ($r = -0,007$) и района проживания ($r = 0,045$). У детей и подростков концентрация Pb (1,12 мг/кг) значимо ниже, чем у населения юношеского (3,56 мг/кг) и зрелого возраста (4,38 мг/кг).

Выводы: референтные значения концентрации Pb в волосах населения Горно-Алтайска не превышают биологически допустимого уровня, однако значимое увеличение данного показателя с возрастом, а также существенный прирост количества жителей с высокой концентрацией Pb к 22–50 годам свидетельствуют о пролонгированных процессах аккумуляции токсиканта.

Ключевые слова: свинец, волосы, аккумуляция, человек, Горно-Алтайск

LEAD CONCENTRATION IN HUMAN HAIR IN THE ADMINISTRATIVE CENTER OF THE ALTAI REPUBLIC

E. A. Chanchaeva, M. G. Sukhova, T. K. Kurilenko

Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia

Background: Liquid and solid fuels are the main source of lead (Pb) in urban settings. Some household items have also been identified as sources of lead. Thus, monitoring of this trace element in humans remains an important public health issue.

Aim: To assess concentration of lead in hair of residents of Gorno-Altai city – the administrative center of the Altai Republic and to estimate the proportion of the population with high hair concentration of lead.

Methods: Hair samples were collected from 122 (50.8 % men) neither smoking nor taking mineral supplements healthy permanent residents of Gorno-Altai aged 4–50 years. Fifty-three percent of them lived in the central part of the city. Concentration of lead in the hair samples was estimated by atomic absorption method. Differences in average concentrations across genders, age-groups and locations were studied using Mann – Whitney tests. Associations between continuous variables were studied by non-parametric correlation analysis.

Results: The average lead hair concentration in Gorno-Altai was 3.18 mg/kg which exceeds the values previously reported from other Russian settings (0.5–3.0 mg/kg). Twenty-six percent of residents had hair concentration of lead above the maximum allowed level of 5.0 mg/kg. Hair lead concentration positively correlated with age ($r = 0.54$), but was not associated with either gender or place of residence.

Conclusions: Average concentration of lead in human hair in Gorno-Altai is high, but it does not exceed the maximum allowed level. More than every fourth resident of the city has hair lead concentration exceeding biologically acceptable level. We found significant associations between hair lead concentrations and age, but not with gender or place of residence.

Key words: lead, hair, accumulation, human, Gorno-Altai

Библиографическая ссылка:

Чанчаева Е. А., Сухова М. Г., Куриленко Т. К. Аккумуляция свинца в волосах населения административного центра Республики Алтай // Экология человека. 2021. № 6. С. 4–11.

For citing:

Chanchaeva E. A., Sukhova M. G., Kurilenko T. K. Lead Concentration in Human Hair in the Administrative Center of the Altai Republic *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 6, pp. 4–11.

Одним из наиболее опасных для организма человека микроэлементов, поступающих во внутреннюю среду и аккумулирующихся в тканях, является свинец (Pb). Основные пути поступления Pb в организм — ингаляционный и алиментарный, а в виде металлоорганических соединений — и через неповрежденную кожу [5, 12]. К источникам загрязнения окружающей среды соединениями Pb относятся плавильная, металлургическая, машиностроительная промышленность [20, 28]. Как и для промышленных областей, для регионов с низкой промышленной нагрузкой универсальными источниками загрязнения окружающей среды являются жидкое и твердое ископаемое топливо, присутствие Pb в предметах быта также не утрачивает своей актуальности [23]. Ежегодно в мире сжигается свыше 10 млрд т условного топлива, что приводит к выбросу в атмосферу около 1 014 м³ продуктов сгорания, при этом от сжигания угля на поверхность Земли выпадает около 3 600 т/год Pb. Значительное количество Pb в атмосферный воздух ежегодно поступает и при сжигании разных видов жидкого топлива: при сжигании мазута — 1 т/год; дизельного топлива — 46,3 т/год; бензина — 174 т/год. Мероприятия по снижению круговорота Pb в биосфере реализуются во многих странах, прогнозируется значительное снижение присутствия данного элемента в окружающей среде, поэтому системный мониторинг абсорбции Pb различными звеньями биогеоценоза необходим для оценки эффективности программных мероприятий [21, 23].

Известно, что нарушения механизмов гомеостаза могут возникать в результате не только острого воздействия тяжёлых металлов, но и хронического их поступления в организм в допороговых количествах [20]. Свинцовое отравление в большей степени (99 %) обусловлено поступлением элемента в организм в составе пищи и воды, риск накопления Pb в результате вдыхания с твердыми частицами (ТЧ) составляет только 1 % от общего возможного его поступления [27]. В то же время ТЧ атмосферного воздуха от выхлопов двигателей внутреннего сгорания и отопительных систем в настоящее время рассматривают как один из универсальных источников поступления Pb в организм человека. Твердые частицы диаметром менее 2,5 микрон адсорбируют токсичные вещества, преодолевают аэрогематический барьер в легких и переносят их в кровеносную систему. Биодоступность многих элементов увеличивается с уменьшением размера ТЧ [25, 26].

Для оценки опасности накопления Pb в организме человека недостаточно анализа локальных проб воды, воздуха и почвы, так как они могут значительно варьировать в зависимости от зон обследования [22]. Более информативным является определение референтных значений концентрации Pb в тканях организма населения различных регионов. Референтные значения определяются как средние показатели, полученные путем статистического расчета данных

здоровой части населения. Многие исследователи признают преимущество волос в качестве биоматериала для оценки аккумуляции микроэлементов. В литературе широко освещаются данные о количественном накоплении Pb в волосах человека в различных регионах мира, эти данные позволяют сравнить референтные значения данного элемента и оценить степень превышения нормированного показателя среди населения. Так, для регионов России референтное значение составляет 0–3,0 мг/кг [12], для стран Востока (Китай, Япония) — 1,55–4,80 мг/кг [22, 24], Европы (Польша) — 2,01 мг/кг [24], Азии (Бангладеш) — 10,6 мг/кг [18]. Для интерпретации результатов референтные и индивидуальные значения сравнивают со значением биологически допустимого уровня (БДУ), который основан на данных о предельной физиологической адаптации к верхней границе концентрации микроэлемента, за пределами которой проявляются процессы нарушения гомеостаза. В литературе представлены показатели БДУ концентрации Pb (3–5 мг/кг) для рабочих, контактирующих с тяжелыми металлами [8].

Экологическое состояние административного центра Республики Алтай по результатам анализа проб воды, почвы, расчетным показателям валовых выбросов в атмосферу признается благоприятным. Вместе с тем широкое использование твердого топлива, возрастающая транспортная нагрузка в условиях слабого самоочищения атмосферного воздуха из-за особенностей горного рельефа оставляют открытым вопрос о процессах аккумуляции токсичных элементов в звеньях биоценоза. Изучение вопросов накопления Pb в организме жителей Горно-Алтайска не проводилось. Цель исследования: выявить уровень аккумуляции Pb в волосах населения административного центра Республики Алтай. Задачи исследования: 1) определить референтные концентрации Pb в волосах жителей Горно-Алтайска с учетом возраста, пола и района проживания; 2) определить долю населения с концентрацией Pb, превышающей биологически допустимый уровень.

Методы

Город Горно-Алтайск (95,5 м²) расположен в северной части Алтайской горной области, в котловиннообразном расширении долины р. Маймы. Рельеф местности варьирует в пределах 250–820 м, при этом средняя высота местности составляет 400–450 м. В Горно-Алтайске крупные промышленные предприятия отсутствуют, а загрязнение атмосферного воздуха происходит главным образом за счет выбросов автомобильного транспорта, твердотопливных отопительных систем [18]. По результатам расчета, объем валовых выбросов загрязняющих веществ от различных источников в атмосферный воздух за год в городе составляет около 9 тыс. т/год, из них за счет автомобильного транспорта — 49 %, за счет топливно-энергетических предприятий — 51 %. Объем пылевой нагрузки составляет 129 кг/км²/сут,

максимальное содержание ТЧ в атмосферном воздухе — 5,7 мг/м³, что значительно превышает допустимые значения (ПДК = 0,5 мг/м³). Из-за неуклонного роста количества транспортных средств объем эмиссий от двигателей внутреннего сгорания увеличивается за каждые 3 года на 45–50 % (на 15–18 % в год). Объем демографической нагрузки составляет 63 214 человек [3]. В долине р. 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 повторяемости антициклональной погоды [18].

Применен одномоментный тип исследования с использованием метода поперечных срезов. Возрастной диапазон респондентов определялся с учетом необходимого минимального срока постнатального проживания 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, давшие письменное согласие на участие в эксперименте, получившие обязательство от организаторов исследования на предоставление информации о целях исследования и получение результата по индивидуальному образцу, неразглашении информации о персональных данных и индивидуальных результатах исследования. В работе использован нетравматичный, неинвазивный метод, не требующий одобрения Этического комитета. При отборе проб соблюдали следующие критерии: постоянное проживание в Горно-Алтайске (не менее 4 лет), 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 условиях химико-экологической лаборатории у испытуемых с теменной и затылочной частей головы чистыми ножницами состригали прядь волос от корня длиной 3–5 см (во время процедуры исключали попадание в образцы волос талька от резиновых перчаток) объемом 0,3–0,5 г. Образцы волос помещали в конверт с надписью фамилии, имени, отчества, даты рождения, адреса постоянного проживания, адреса места работы или обучения.

Всего проанализировано 122 образца волос (62 мужских, 60 женских) практически здоровых людей без хронических заболеваний, на момент обследования без признаков болезни в острой форме, не принимающих витаминно-минеральные комплексы и лекарственные средства. Среди обследованных в возрасте 4–17 лет — 35 человек,

18–21 года — 40, 22–50 лет — 47; проживающих в центральной части города — 64 человека, окраинной — 58.

Центральная часть города включает инфраструктурные объекты, сконцентрированные вдоль двух главных дорог протяженностью около 10 км, в пределах ее расположено 30 центральных котельных, среди которых 10 твердотопливных. Отдаленность окраинной части города от центральной составляет 3–4 км, эти районы города включают преимущественно жилые застройки частного сектора, использующего в основном в качестве топлива каменный уголь.

Пробоподготовку образцов волос проводили методом мокрого озоления с использованием комплекса ТЭМОС-ЭКСПРЕСС (Россия). Пряди волос обрабатывали ацетоном, промывали дистиллированной водой, высушивали на воздухе, после чего измельчали. Масса навески составляла 0,3–0,5 г. Каждый образец озолляли в следующей последовательности: 1) в тигли с образцами волос добавляли 2 мл HNO₃ (конц.) и выпаривали до 0,5 мл при температуре (t) 135 °С; 2) добавляли по 0,5 мл HNO₃ (конц.) и H₂O₂ (30 %), выпаривали при t = 135 °С несколько раз до однородной золы серого цвета; 3) озолляли пробы при t = 450 °С в течение 30 мин; 4) золу растворяли в 50 мл HNO₃ (5 %). Непосредственно перед анализом исследуемых образцов путем разбавления в 10 раз стандартного концентрированного раствора (СОВ-3 1759-80) готовили эталонный раствор. Концентрацию микроэлементов в исследуемых растворах с образцами волос определяли атомно-абсорбционным методом («Квант-2», Россия). Индивидуальные показатели сравнивали с референтным значением концентрации Pb в волосах населения Горно-Алтайска с показателями БДУ (3–5 мг/кг) [8]. Относительно данных значений индивидуальные показатели оценивали как сравнительно низкие или высокие. Далее определяли долю населения с показателями, превышающими указанные показатели допустимого уровня.

Данные химического анализа представлены как среднее значение, показатели медианы и моды, в качестве мер рассеивания проводили вычисление перцентилей 25–75 % (Q₁–Q₃). Значимость различий определяли с помощью критерия Манна – Уитни, при этом пороговое значение уровня значимости принимали равным 0,049. Корреляционно-регрессионную зависимость содержания свинца в волосах от возраста населения определяли с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). Значимость различий в распределении оценивали с помощью критерия χ^2 . Статистический анализ проводили с помощью пакета программ STATISTICA 10.

Результаты

Из данных табл. 1 видно, что среднее значение концентрации Pb в волосах всех обследованных жителей

Горно-Алтайска, включающей все возрастные группы, соответствует уровню 3,18 мг/кг, жителей 4–17 лет – 1,12 мг/кг, 18–21 года – 3,56 мг/кг. Выявили статистически значимые различия концентрации Pb у населения 4–17 лет и 18–21 года ($U = 27$; $p = 0,000$), а также у жителей 4–17 и 22–50 лет ($U = 335,5$; $p < 0,001$).

Таблица 1
Концентрация железа в волосах населения
Горно-Алтайска

Группа сравнения жителей Горно-Алтайска		Среднее	Медиана	Мода	Min-Max	Q ₁	Q ₃
Район	Центр	3,50	1,66	0,0076 (14)	0–21,6	0,01	6,18
	Окраина	2,83	2,26	0 (8)	0–8,7	1,16	4,10
Пол	М	3,32	2,27	0 (8)	0–17,72	0,46	5,70
	Ж	3,01	1,53	0,0076 (7)	0–21,6	0,82	4,40
Возраст, лет	4–17	1,12	0,68	0 (9)	0–6,86	0,00	1,51
	18–21	3,56	3,63	3,8 (3)	0–21,6	1,37	4,25
	22–50	4,38	4,43	0,0076 (8)	0,01–17,72	0,95	6,67
Всего		3,18	2,04	0,0076 (14)	0,00–21,60	0,82	5,20

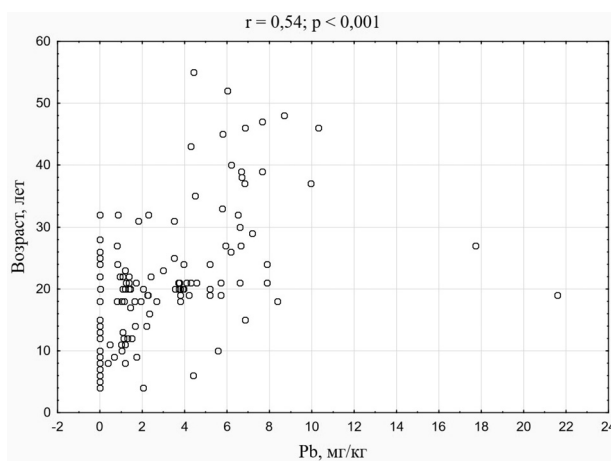
Статистически значимых различий по содержанию Pb в волосах в зависимости от района проживания ($U = 1\ 841$; $p = 0,930$) и пола обследуемых ($U = 1\ 739$; $p = 0,577$) не выявлено. Показатели концентрации Pb не коррелировали с полом ($R = -0,007$) и районом проживания ($R = 0,045$) жителей Горно-Алтайска.

На основании анализа данных литературы о содержании Pb в волосах населения разных регионов мира было установлено, что референтное значение концентрации Pb в волосах жителей Горно-Алтайска (3,18 мг/кг) в приведенном вариационном диапазоне приближено к общероссийским значениям (0,5–3,0 мг/кг) (табл. 2). В то же время в ранжированном ряду показатели концентрации Pb в пределах квартиля Q₃ соответствовали уровню, превышающему БДУ (5 мг/кг). В пределах Q₃ значения составили: 6,18 мг/кг у населения, проживающего в центральной части города; 5,7 мг/кг – у мужчин; 6,67 мг/кг – у старшей возрастной группы 22–50 лет (см. табл. 1). Максимальные показатели (Max) концентрации Pb среди обследованных (6,86–21,60 мг/кг) также указывают на присутствие токсиканта в организме населения в высоких концентрациях, особенно в группе 22–50 лет. Высокие концентрации Pb в волосах населения Горно-Алтайска из представленного в табл. 2 ряда сопоставимы с референтными значениями регионов Бразилии (6,55 мг/кг) и Бангладеш (10,6 мг/кг) (табл. 2).

Таблица 2
Референтные значения концентрации свинца в волосах жителей различных регионов мира

Регион обследования	Референтные значения, мг/кг	Источник
г. Горно-Алтайск	1,00	
г. Баку	0,48	[6]
Регионы России	0,5–3,0	[12]
Башкортостан	0,5–2,5	[11]
Татарстан	0,2–2,02	[1]
Россия (рабочие, контактирующие с тяжёлыми металлами)	0,1–5,0	[8]
г. Пекин (Китай)	1,55	[22]
Вроцлаве (Юго-западная Польша)	2,01	[23]
Румбек (Южный Судан)	2,8	[28]
Япония	4,8	[24]
г. Альтамира (Бразилия)	6,55	[19]
Бангладеш	10,6	[18]

Таким образом, проявляется тенденция увеличения содержания микроэлемента в волосах с возрастом. Действительно, при оценке корреляционно-регрессионной зависимости содержания Pb в волосах от возраста населения выявили достоверную положительную корреляцию ($r = 0,541$ $p < 0,001$) (рисунок).



Связь между содержанием свинца в волосах и возрастом населения Горно-Алтайска

На следующем этапе определяли долю населения с концентрацией Pb в волосах, превышающей значения БДУ (табл. 3). В качестве верхнего порога БДУ были взяты значения, разработанные для населения России и используемые Центром биотической медицины в качестве нормативов (3,0 мг/кг) [12], а также для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами (5,0 мг/кг) [8].

Установили, что общее количество жителей Горно-Алтайска с превышением уровня 3,0 мг/кг составило 43,4 %, с превышением 5,0 мг/кг – 26,2 %. В зрелом возрасте выявлено наибольшее количество жителей с превышением поровых уровней: из 43,4 % на возраст 22–50 лет приходилось 23,7 %; из 26,2 % – 18,0 %

Таблица 3
Доля жителей Горно-Алтайска с превышением содержания свинца в волосах

Группа сравнения жителей Горно-Алтайска		Превышение относительно биологически допустимого уровня	
		3,0 мг/кг [12]	5,0 мг/кг [8]
Район	Центр	20,5	12,3
	Окраина	22,1	13,9
Пол	Мужской	23,8	14,8
	Женский	19,7	11,5
Возраст, лет	4–17	2,5	1,6
	18–21	17,2	6,5
	22–50	23,7	18,0
Всего		43,4	26,2

соответственно (см. табл. 3). Значимых различий в распределении жителей в зависимости от района проживания, пола и возраста не выявлено ($\chi^2 = 41,3$; $df = 4$; $p > 0,05$).

Обсуждение результатов

Существенное увеличение с возрастом количества жителей с высоким содержанием Рb в волосах свидетельствует о пролонгированных процессах аккумуляции микроэлемента, о наличии источников поступления Рb в организм жителей Горно-Алтайска в дозах, не вызывающих острого отравления, но при длительном воздействии способствующих накоплению в тканях.

Значение Рb для биохимических процессов в организме человека изучено не в полной мере, известно его участие в процессе роста тканей, обмене калия и железа, синтезе гормонов щитовидной железы. Количественное содержание Рb в различных органах в норме составляет: в крови — 0,21 мг/л, в костной ткани — $(3,6–30) \times 10^{-4} \%$, в мышечной ткани — $(0,23–3,3) \times 10^{-4} \%$. Результаты исследований доказывают условную эссенциальную значимость Рb для организма человека, его токсическое воздействие на нервную, иммунную и нейроэндокринную системы [12]. Основным токсическим эффектом Рb признается его нейротоксичность, которая проявляется в нарушениях синтеза белка на уровне синапсов, синаптической передачи импульса. В силу своего антагонистического эффекта Рb в высоких концентрациях снижает содержание необходимых иммунологических элементов (кальций, цинк, селен). В физиологических концентрациях катионы Рb могут модулировать активность иммунокомпетентных клеток, в токсических — подавлять иммунорегуляторную активность лимфоцитов. Воздействие повышенных концентраций Рb на гипоталамо-гипофизарную регуляторную ось проявляется в гиперсекреции тропных гормонов (ТТГ, ЛГ) [5].

Ингаляционное проникновение Рb признается наиболее опасным, так как абсорбция микроэлемента в кровь происходит на всем протяжении дыхательных путей, при этом основными органами-мишенями становятся легкие и печень. Пролонгированная кумуляция токсиканта приводит к наибольшему его

накоплению в костной ткани (около 90 % всего Рb в организме), наименьшему — в тканях головного мозга, селезенке и лимфоузлах. Далее на выведение Рb из организма требуется длительное время через систему: мягкие ткани или костная ткань — кровь — почки. Так, на выведение Рb из костной ткани необходимо более 25 лет, из мягких тканей — 40 дней, из крови — 25 дней. В этой сложной системе кумуляции Рb в тканях и его выведения из организма кровь является промежуточным звеном, а содержание Рb в этом звене статично архивируется в волосах и отражает общий фон содержания микроэлемента в организме [5, 12].

Причинами загрязнения окружающей среды соединениями Рb являются добыча, переработка свинецсодержащей руды, машино- и приборостроение, использование свинецсодержащих припоев в радиоэлектронике, аккумуляторное, кабельное, типографское производство, плавка цветных металлов, черная металлургия, изготовление красок и эмалей для фарфорофаянцевое производство, а также использование в качестве источников энергии твердого и жидкого топлива. Серьезную озабоченность вызывает экологическое состояние атмосферного воздуха в развивающихся странах. Так, на территории Казахстана на 2019 год из 14 городов в 8 отмечается «высокий» уровень экологического неблагополучия по Индексу загрязнения. Возникает острая необходимость принятия строгих стандартов выбросов для угольных электростанций и предприятий тяжелой промышленности [16]. Казахстан и Республика Алтай являются приграничными регионами, что объясняет трансграничный перенос загрязнителей на территорию Горного Алтая с соседнего региона. Для Республики Алтай географическая близость данного промышленного региона — один из источников загрязнения атмосферного воздуха.

По данным литературы, в результате программных мероприятий за последние годы отмечается тенденция снижения эмиссий Рb в атмосферный воздух [13]. В Республике Алтай отсутствуют крупные промышленные предприятия, поэтому на фоне низкой промышленной и демографической нагрузки у населения Горно-Алтайска предполагалось незначительное аккумулярование Рb в ткани волос. Действительно, референтное значение концентрации Рb в общей группе без учета сравниваемых критериев (возраст, пол, район проживания) примерно соответствовало общероссийским референтным значениям. Вместе с тем отчетливо прослеживалось значимое увеличение данного показателя с возрастом, доля жителей, в волосах которых содержание Рb существенно превышало БДУ, увеличивалась от 0 % в детском и подростковом возрасте до 44,6 % в зрелом возрасте.

По оценке Всемирной организации здравоохранения, среди детерминант, определяющих состояние здоровья населения, значимость экологического фактора составляет от 25 до 50 %. Около 58 % случаев преждевременной смерти, связанной с загрязнением атмосферного воздуха, происходит в результате

ишемической болезни сердца и инсульта, 6 % – в результате рака легких [13, 21, 23]. Республика Алтай, по данным экологических служб, признается как экологически благоприятный регион. В то же время низкая продолжительность жизни, высокий удельный вес болезней системы кровообращения среди жителей республики оставляют открытым вопрос о причинах, провоцирующих неблагоприятную демографическую обстановку. Так, средняя продолжительность жизни по России на 2017 год составила 71,39 года, по Республике Алтай 68,44 года, что соответствует 73-й строке из 83 регионов. Среди заболеваний у жителей Республики Алтай по частоте встречаемости лидируют болезни системы кровообращения [17].

В табл. 4 представлен перечень возможных источников поступления Pb в окружающую среду и в организм населения Горно-Алтайска. Из данных таблицы видно, что вероятность поступления Pb в концентрациях, превышающих допустимые значения, с продуктами питания низкая. Мониторинг качества питьевой воды, проводимый санитарными и экологическими службами Республики Алтай, позволяет исключить вероятность поступления Pb в организм населения при употреблении воды.

Таблица 4

Содержание свинца в продуктах питания, твердом и жидком топливе

Вероятное поступление Pb в организм	Содержание Pb	Источник
Продукты		
Мёд (*1,0 мг/кг)	0,01–0,07	[10]
Мясомолочные продукты		
молоко (*0,05 мг/кг)	< 0,02	
субпродукты (овца) (*0,6–1,0 мг/кг)	0,03–0,48	
мясо (крупный рогатый скот) (*0,5 мг/кг)	0,13	
мясо (сарлык) (*0,5 мг/кг)	0,12	
Зерновые		
зерно пшеницы (*0,5 мг/кг)	0,1–0,25	[2]
зерно пшеницы (*0,5 мг/кг)	0,13–0,16	[14]
овёс (*0,5 мг/кг)	0,16–0,33	[15]
ячмень (*0,1 мг/кг)	0,09–0,36	[17]
Рыба		
минтай (*1,0 мг/кг)	0,51–0,69	[7]
пелядь (*1,0 мг/кг)	0,04–0,4	[9]
сибирский хариус (*1,0 мг/кг)	0,08–0,19	[9]
сельдь (*1,0 мг/кг)	0,104	[4]
скумбрия (*1,0 мг/кг)	0,07	[4]
Топливо		
Твердое топливо		
каменный уголь	1500 т/год	[13]
содержание в золе	150 т/год	
Сжигание жидкого топлива (на примере Австрии):		
мазут	1 т/год	[13]
дизельное топливо	46,3 т/год	
бензин (с содержанием Pb)	174 т/год	

Примечание. * – ПДК (СанПиН 2.3.2.1078-01. 2002 г.).

Значительный вклад в процесс поступления Pb в окружающую среду вносит использование в качестве топлива каменного угля и жидкого топлива с содержанием Pb [13, 21, 23]. По результатам расчета,

объем валовых выбросов загрязняющих веществ от различных источников в атмосферный воздух за один год на территории Горно-Алтайска составляет около 8,3 тыс. т/год, из них за счет автомобильного транспорта – 49 %, за счет топливно-энергетических предприятий – 51 %. По данным статистики МВД по Республике Алтай, количество легковых автомобилей в Горно-Алтайске на 2020 год составляет свыше 500 единиц на 1 000 населения. В долине р. Маймы, где расположен город, метеорологический показатель самоочищения атмосферы свидетельствует о преобладании процессов, способствующих накоплению примесей. Это обусловлено особенностями горного рельефа и котловинообразным расширением долины, в которой находится город. Использование ископаемого твердого и жидкого топлива в настоящее время является универсальным источником поступления Pb в окружающую среду и организм человека [13, 21, 23].

Для снижения токсикологической нагрузки Pb необходимо заменить использование в качестве источника энергии твердого топлива на альтернативные, доступные для данного региона виды – солнечные батареи и природный газ. Среди альтернативных видов транспорта рассматривают электромобили, работающие на солнечных батареях, биодизеле, водородном топливе и сжатом природном газе.

Таким образом, референтные значения концентрации Pb в волосах населения Горно-Алтайска не превышают БДУ, однако значимое увеличение данного показателя с возрастом, а также существенный прирост количества жителей с высокой концентрацией Pb к 22–50 годам свидетельствуют о пролонгированных процессах аккумуляции токсиканта.

Выводы

1. Референтное значение концентрации Pb (3,18 мг/кг) в волосах жителей административного центра Республики Алтай соответствует общероссийским референтным значениям (0,5–3,0 мг/кг). Количество жителей с концентрацией Pb, превышающей БДУ (5,0 мг/кг), составляет 26,2 %

2. Показатели концентрации Pb в волосах населения Горно-Алтайска коррелируют с возрастом ($r = 0,54$) и не зависят от пола ($r = -0,007$) и района проживания ($r = 0,045$). У детей и подростков концентрация Pb (1,12 мг/кг) значимо выше, чем у населения юношеского (3,56 мг/кг) и зрелого возраста (4,38 мг/кг).

Авторство

Чанчаева Е. А. подготовила первый вариант статьи; Сухова М. Г. внесла вклад в концепцию, приняла участие в редактировании статьи; Куриленко Т. К. провела редакцию и правку окончательного варианта статьи.

Чанчаева Елена Анатольевна – ORCID 0000-0001-5281-1145; SPIN 1295-9908
Сухова Мария Геннадьевна – ORCID 0000-0001-8648-2482; SPIN 4200-7808
Куриленко Татьяна Калауиденовна – ORCID 0000-0002-7527-8686; SPIN 6761-7129

Список литературы / References

1. Афтanas Л. И., Березкина Е. С., Бонитенко Е. Ю., Вареник В. И., Горбачев А. Л., Грабеклис А. Р., Демидов В. А., Киселев М. Ф., Николаев В. А., Скальный А. В., Скальная М. Г., Юрасов В. В. Элементный статус населения России. СПб.: Медкнига ЭЛБИ, 2014. 544 с.
Aftanas L. I., Berezkina E. S., Bonitenko E. Yu., Varenik V. I., Gorbachev A. L., Grabeklis A. R., Demidov V. A., Kiselev M. F., Nikolaev V. A., Skalnyi A. V., Skalnaia M. G., Yurasov V. V. *Elemental status of the Russian population*. Saint Petersburg, Medkniga ELBI Publ., 2014, 544 p. [In Russian]
2. Берсенева Л. М. Содержание некоторых тяжелых металлов в зерне пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 266–271.
Berseneva L. M. Content of some heavy metals in wheat grain. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU]. 2018, 2, pp. 266-271. [In Russian]
3. Доклад Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии» о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай. URL: http://altai-republic.ru/society/doklad_nature (дата обращения: 26.04.2021)
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 Russian]
4. Ефимова И. О., Григорьева В. В., Тихонова Г. П. Определение доброкачественности морской рыбы и содержания в ней тяжелых металлов // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (7). С. 47–52.
Efimova I. O., Grigorieva V. V., Tikhonova G. P. Determination of sea fish quality and content of heavy metals in it. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii* [Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy]. 2018, 4 (7), pp. 47-52. DOI: 10.17022/fhss-js35 [In Russian]
5. Зайцева Н. В., Ланин Д. В., Черешнев В. А. Иммунная и нейроэндокринная регуляция в условиях воздействия химических факторов различного генеза. Пермь: ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2016. 236 с.
Zaitseva N. V., Lanin D. V., Chereshnev V. A. *Immune and neuroendocrine regulation under the influence of chemical factors of various genesis*. Perm, Federal Research Center for Medical and Preventive Technologies of Public Health Risk Management, 216, 236 p. [In Russian]
6. Казимов М. А., Алиева Н. В. Изучение и гигиеническая оценка риска для здоровья от присутствия тяжелых металлов в продуктах питания // Казанский медицинский журнал. 2014. № 5 (95). С. 706–709.
Kazimov M. A., Alieva N. V. Study and hygienic assessment of health risk from the presence of heavy metals in food products. *Kazanskii meditsinskii zhurnal* [Kazan medical journal]. 2014, 5 (95), pp. 706-709. [In Russian]
7. Купина Н. М., Баштовой А. Н., Павел К. Г. Исследование химического состава, биологической ценности минтая Theragra chalcogramma залива Петра Великого // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2015. № 180. С. 310–319.
Kupina N. M., Bashtovoi A. N., Pavel K. G. Investigation of the chemical composition and biological Value of Pollock Theragra chalcogramma in Peter the Great Bay. *Izvestiia TINRO Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhoziaistvennogo tsentra* [Bulletin PFRC (Pacific fisheries research center)]. 2015, 180, pp. 310-319. [In Russian]
8. Любченко П. Н., Ревич Б. А., Левченко И. И. Скрининговые методы для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами: методические рекомендации (МЗ СССР 28.11.1988). М., 1989. 24 с.
Lyubchenko P. N., Revich B. A., Levchenko I. I. *Screening methods for identifying high-risk groups among workers in contact with toxic chemical elements: guidelines* (МН of the USSR 28.11.1988). Moscow, 1989. 24 p. [In Russian]
9. Попов П. А., Андросова Н. В. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани рыб из водоемов бассейна реки Оби // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 4 (28). С. 108–122.
Popov P. A., Androsova N. V. Content of heavy metals in the muscle tissue of fish from reservoirs of the Ob river basin. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Biologiia* [Bulletin of Tomsk State University. Biology]. 2014, 4 (28), pp. 108-122. DOI: 10.17223/19988591/28/7 [In Russian]
10. Рождественская Т. А., Ельчинова О. А., Пузанов А. В. Тяжелые металлы в продуктах животноводства Горного Алтая // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 5 (17). С. 14–116.
Rozhdestvenskaya T. A., Elchinina O. A., Puzanov A. V. Heavy metals in livestock products in the Mountain Altai. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniia* [The World of science, culture and education]. 2009, 5 (17), pp. 14-116. [In Russian]
11. Семенова И. Н., Рафикова Ю. С., Суюндуков Я. Т., Рафиков С. Ш., Биктимерова Г. Я. Содержание токсичных микроэлементов в волосах взрослого населения Башкирского Зауралья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 17–24.
Semenova I. N., Rafikova Y. S., Suyundukov Ya. T., Rafikov S. S., Biktimerova G. Y. Content of toxic trace elements in hair adult population Trans-Urals of Bashkortostan. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2016, 6, pp. 17-24. [In Russian]
12. Скальный А. В., Грабеклис А. Р., Скальная М. Г., Тармаева И. Ю., Киричук А. А. Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды. М: РУДН, 2019. 339 с.
Skalny A. V., Grabeklis A. R., Skal'naya M. G., Tarmaeva I. Yu., Kirichuk A. A. *Chemical elements in environmental hygiene and medicine*. Moscow, Russian Peoples' Friendship University, 2019, 339 p. [In Russian]
13. Снежко С. И., Шевченко О. Г. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 35–37.
Snezhko S. I., Shevchenko O. G. Sources of heavy metals entering the atmosphere. *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]. 2011, 18, pp. 35-37. [In Russian]
14. Трошкова И. А., Пузанов А. В., Рождественская Т. А. Геохимия почв и микроэлементы в зерновой продукции Северо-Западного Алтая и его предгорий // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2019. № 4 (55). С. 142–146.

Troshkova I. A., Puzanov A. V., Rozhdestvenskaya T. A. Soil geochemistry and trace elements in grain products of the North-Western Altai and its foothills. *Izvestiia Altaiskogo otdeleniia Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Proceedings of the Altai branch of the Russian geographical society]. 2019, 4 (55), pp. 142-146. DOI: 10.24411/2410-1192-2019-15517 [In Russian]

15. Феценко В. П. Содержание тяжелых металлов в кормовых культурах Новосибирской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 10 (120). С. 33–36.

Feshchenko V. P. Content of heavy metals in forage crops of the Novosibirsk region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. 2014, 10 (120), pp. 33-36. [In Russian]

16. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. *Atmosphere*. 2021, 12, p. 314. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12030314>

17. Danilova I. A. Interregional inequality in life expectancy in Russia and its age cause of death components Social aspects of public health. *Social Aspects of Population Health*. 2017, 57, p. 3. DOI: 10.21045/2071-5021-2017-57-5-3

18. Chanchaeva E. A., Sukhova M. G., Sidorov S. S. Problems of the health status of children and atmospheric air of Gorno-Altai under the conditions of increasing transport load. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2019, 395, pp. 1-5. DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012004

19. 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, 2 (7), pp. 163-173.

20. Jaccob A. A. 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. *Brazilian J. Pharm. Sci.* 2020, 56. DOI: 10.1590/s2175-97902019000318061

21. Li Y., Zhang B., Li H., Yang L., Ye B., Wang W., Rosenberg M. Biomarkers of lead exposure among a population under environmental stress. *Biol Trace Elem Res.* 2013, 153 (1-3). DOI: 10.1007/s12011-013-9648-1

22. Liang G., Pan L., Liu X. Assessment of Typical Heavy Metals in Human Hair of Different Age Groups and Foodstuffs in Beijing, China. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2017, 14 (8), p. 914. DOI: 10.3390/ijerph14080914

23. Michalak I. Wołowiec P., Chojnacka K. Determination of exposure to lead of subjects from southwestern Poland by human hair analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014, 186 (4), pp. 2259-2267. DOI: 10.1007/s10661-013-3534-3

24. Murao S., Kirdmanee C., Sera S., Goto S. Detection of lead in human hair: A contribution of PIXE to the lead-elimination issue. *Int. J. PIXE*. 2014, 23 (01n02), pp. 31-37. DOI: 10.1142/S0129083513400044

25. Olumayede E. G., Ediagbonya T. F. Sequential Extractions and Toxicity Potential of Trace Metals Absorbed into Airborne Particles in an Urban Atmosphere of South-western Nigeria. *The Scientific World Journal*. 2018, p. 9. DOI: 10.1155/2018/6852165

26. Phi T. Ha., Chinh P. M., Cuong D. D. Elemental Concentrations in Roadside Dust Along Two National Highways in Northern Vietnam and the Health-Risk Implication. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2017, 74, pp. 46-55. DOI: 10.1007/s00244-017-0477-7

27. Pizzol M., Thomsen M., Andersen M. S. Long-term human exposure to lead from different media and intake pathways. *Sci. Total Environ.* 2010, 22 (408), pp. 5478-5488.

28. Pragst F., Stieglitz K., Runge H., Runow K-D. High concentrations of lead and barium in hair of the rural population caused by water pollution in the Thar Jath Oilfields in South Sudan. *Forensic Sci. Int.* 2017, 274, pp. 99-106. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.12.022

Контактная информация:

Чанчаева Елена Анатольевна — доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры физического воспитания и спорта, физиологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет»

Адрес: 640000, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1
E-mail: chan.73@mail.ru