

УДК 614.7:612.392.69(571.121)

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ВОЛОСАХ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

©2018 г. Е. В. Агбальян, *И. Н. Ильченко, Е. В. Шинкарук

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард;

*ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), г. Москва

Ртуть способна к переносу в атмосфере на большие расстояния, обладает стойкостью в окружающей среде, способностью к биоаккумуляции в экосистемах, приводит к значительным негативным последствиям для здоровья населения. *Цель работы:* изучить содержание ртути в волосах сельских жителей Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) и дать оценку риска для здоровья населения. *Методы.* Проведено одномоментное эпидемиологическое исследование с формированием репрезентативной выборки из числа жителей сельских поселений округа. Отбор образцов волос осуществлялся по стандартной методике ВОЗ с затылочной части головы. Химико-аналитические исследования проб проводились в лицензированной лаборатории методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой. Статистический анализ выполнялся с использованием программы Statistica v.8.0, при $p < 0,05$ различия оценивались как статистически значимые. *Результаты.* Концентрация ртути в волосах жителей, проживающих в поселковых поселениях, варьировала в пределах от 0,204 до 9,99 мкг/г, а у жителей, ведущих традиционный (кочевой) образ жизни, – в пределах от 0,303 до 5,21 мкг/г. Повышенный риск для здоровья населения пос. Тазовский выявлялся в 48,8 % случаев, для жителей, ведущих традиционный образ жизни в Гыданской, Антипаютинской и Находкинской тундрах, – 86,6 %, жителей пос. Харсаим – 77,3 %. Абсолютные средние значения содержания ртути в волосах у аборигенного населения в 2,6 раза выше, чем у мигрантов. *Выводы:* необходимо усилить контроль за содержанием ртути в природных средах и накоплением в пищевых цепях, провести мероприятия по снижению риска для здоровья населения.

Ключевые слова: ртуть, здоровье, сельское население, Ямало-Ненецкий автономный округ

MERCURY CONTENT LEVELS IN HAIR OF RURAL POPULATION OF THE YAMAL-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT

E. V. Agbalyan, *I. N. Ilchenko, E. V. Shinkaruk

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets autonomous district, Salekhard;

*I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Mercury is capable of atmospheric transfer by large distances, offers resistance to the environment, is able to bioaccumulation in ecosystems and leads to significant negative consequences for the public health. *Aim:* to study the mercury content in the hair of rural residents of the Yamalo-Nenets Autonomous District and assess the population health risks. *Methods:* A single-step epidemiological study was conducted with the formation of a representative selection of rural residents in the Yamal-Nenets Autonomous District. The hair samples were taken from the occipital part of the head using a standard WHO technique. Chemicoanalytical study of samples was carried out in a licensed laboratory using mass-spectrographic method with inductively coupled argon plasma. The statistical analysis was performed using the Statistica v.8.0 program. Differences were assessed as statistically significant at $p < 0.05$. *Results:* Mercury concentration in the hair of the inhabitants living in the rural settlements varied from 0.204 $\mu\text{g/g}$ to 9.99 $\mu\text{g/g}$ and those leading the traditional (nomadic) lifestyle varied from 0.303 $\mu\text{g/g}$ to 5.21 $\mu\text{g/g}$. Increased risk to public health of Tazovsky settlement was detected in 48.8 % of cases, for residents who led the traditional way of life in Gydan, Antipayutinskaya and Nakhodka tundra - 86.6 %, Harsaim settlement - 77.3 %. Absolute average values of mercury content in hair of the aboriginal population were 2.6 times higher than in the migrants. *Conclusions:* It is necessary to strengthen control over mercury content in natural environments and its accumulation in food chains and to carry out measures to reduce the population health risk.

Key words: mercury, health, rural population, Yamal-Nenets Autonomous District

Библиографическая ссылка:

Агбальян Е. В., Ильченко И. Н., Шинкарук Е. В. Уровни содержания ртути в волосах сельского населения Ямало-Ненецкого автономного округа // Экология человека. 2018. № 7. С. 11–16.

Agbalyan E. V., Ilchenko I. N., Shinkaruk E. V. Mercury Content Levels in Hair of Rural Population of the Yamal-Nenets Autonomous District. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 7, pp. 11–16.

Ртуть и её соединения отнесены к веществам первого класса опасности. Геохимические свойства ртути обуславливают особенности её концентрирования и перераспределения в компонентах окружающей среды. Ртуть характеризуется испаряемостью, вязкостью и плотностью. Легкая испаряемость ртути ведет к тому, что элемент, поступающий на поверхность

земли из природных или антропогенных источников, в значительной мере уходит в атмосферный воздух. Эмиссия ртути с поверхности суши и океана в верхние слои атмосферы составляет около 6 000 т/год, из них 2/3 — антропогенно обусловленных. Огромные количества ртути вовлекаются в глобальный атмосферный цикл [18]. Фоновое содержание ртути в атмосферном

воздухе Северного полушария составляет около 3 нг/м^3 , в Южном полушарии атмосферный фон заметно ниже — $1,3 \text{ нг/м}^3$ [14].

Ртуть способна к переносу в атмосфере на большие расстояния, обладает стойкостью в окружающей среде, способностью к биоаккумуляции в экосистемах, приводит к значительным негативным последствиям для здоровья населения [5]. Вместе с тем системные исследования с использованием методов биомониторинга по оценке последствий воздействия ртути на здоровье населения в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) не проводились. К числу рискованных групп населения, чувствительных к хроническому воздействию даже невысоких концентраций супертоксиантов, относятся коренные малочисленные народы Севера ЯНАО. В этой связи изучение аккумуляции ртути в биологических средах коренного населения автономного округа является актуальным.

Проведено научное исследование в сельских населенных пунктах ЯНАО в рамках темы НИР «Содержание поллютантов, включая тяжелые металлы, в природных средах Ямало-Ненецкого автономного округа», утверждённой Постановлением правительства ЯНАО и включённой в Научный план ЯНАО на 2016 год.

Цель исследования заключалась в изучении содержания ртути в волосах сельских жителей автономного округа и оценке риска для здоровья населения.

Методы

В ходе подготовительного этапа был разработан пакет методических документов по обследованию населения. Документация включала общую информацию об исследовании для медицинского персонала и отдельно для населения, бланк добровольного информированного согласия, анкету для заполнения, подробное описание процедуры отбора биоматериала, условия хранения и транспортировки проб.

Также на подготовительном этапе были получены разрешительные документы от департамента здравоохранения округа и проведено согласование взаимодействия со всеми участниками исследования. Для соблюдения этических принципов, принятых во всём мире, все организационно-методические материалы, включающие программу и дизайн исследования, добровольное информированное согласие, содержание вопросников и общую информацию об обследованном лице, алгоритм обследования, процедуру и порядок по отбору образцов неинвазивных проб (волосы), одобрены локальным этическим комитетом.

Пробы и данные, полученные в ходе обследования, считаются конфиденциальными личными данными. В обязательном порядке подписывалось добровольное информированное согласие с включением права узнать результаты собственного обследования. Письменное согласие — это информированное, добровольное, четкое и задокументированное согласие, которое получено от каждого участника исследования. Форма согласия включала разъяснение причины сбора данных, цель исследования, возможные риски и пре-

имущества, право не давать согласия или отозвать его в любое время, право получить доступ к данным, право не узнавать собственные результаты.

Обследование проводилось с 16 марта по 12 октября 2016 года. Сформирована репрезентативная выборка из 76 жителей сельских поселений ЯНАО — 13 мужчин (17,1 %) и 63 женщин (82,9 %) (табл. 1). Обследованы жители пос. Харсаим Приуральского района — 22 человека, пос. Тазовский Тазовского района — 39 человек и 15 человек, ведущих традиционный образ жизни на территории Гыданской, Антипаютинской и Находкинской тундр Тазовского района. Отбор проб биологических сред (волос) населения проводился на базе медицинских учреждений: Тазовской центральной районной больницы, врачебной амбулатории с. Кутюпюган и фельдшерско-акушерского пункта пос. Харсаим.

Таблица 1

Характеристика выборки				
Показатель	Всего	Пос. Тазовский	Тундра	Пос. Харсаим
Количество обследуемых	76	39	15	22
мужчин	13	6 (15,4 %)	3 (20 %)	4 (18,2 %)
женщин	63	33 (84,6 %)	12 (80,0 %)	18 (81,8 %)
Средний возраст ($M \pm SD$)	43,7 $\pm$ 11,9	45,1 $\pm$ 11,0	46,0 $\pm$ 11,7	39,6 $\pm$ 13,2

Общий уровень ртути в волосах является биомаркером экспозиции к метилртути [1, 15]. Отбор биоматериала осуществлялся по стандартной методике ВОЗ с затылочной части головы.

Химико-аналитическое исследование биологических проб осуществлялось в лаборатории ООО «Инвитро» (Лицензия на осуществление медицинской деятельности ЛО-50-01-008046 от 13.09.2016 г.; Сертификат соответствия РОССТУ.ФК 27 К00029 от 14.12.2015 г.). Количественное определение химических элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой с системой пробоподготовки, основанной на микроволновом разложении.

Подготовка и анализ проб выполнялись в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и «Скрининговыми методами для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами» (1989), МУК 4.1.1482-03 и МУК 4.1.1483-03. К пробе волос прилагалась анкета, в которой указан естественный цвет волос. При взятии образцов фиксировались пол, возраст, адрес проживания, наличие патологии и хронических заболеваний. Нижний предел обнаружения метода составлял 0,0125 мкг/г. Число проб со значениями ниже предела обнаружения было равно нулю.

Статистический анализ проведен с использованием программы Statistica v.8.0 и включал описание средних арифметических значений (M) и стандартных откло-

нений (SD), критерий Манна – Уитни. При $p < 0,05$ различия оценивались как статистически значимые.

Результаты

В результате проведенного исследования установлено, что у жителей пос. Тазовский концентрация ртути в волосах находилась в пределах 0,204–3,470 мкг/г (табл. 2). Безопасный уровень содержания вещества в волосах – менее 0,58 мкг/г – выявлялся в 25,6 % случаев. Содержание повышенных концентраций ртути в волосах установлено у 48,8 % обследованных.

Таблица 2

Оценка риска для здоровья жителей пос. Тазовский в зависимости от уровня концентрации ртути в волосах

Показатель		Всего n = 39	Абори- генные жители n = 25	Мигранты n = 14
M min – M max, мкг/г		0,204– 3,470	0,387– 3,470	0,204– 1,120
Безопасный уро- вень, < 0,58 мкг/г	абс. ч.	10	2	8
	%	25,6	8	57,2
Средний риск, более 0,58 и менее 1,0 мкг/г	абс.ч.	10	7	3
	%	25,6	28	21,4
Повышенный риск, >1,0 мкг/г	абс. ч.	19	16	3
	%	48,8	64	21,4

Содержание ртути в волосах значимо выше у аборигенного населения пос. Тазовский по сравнению с мигрантами ($p < 0,001$). Повышенный риск для здоровья населения в связи с накоплением в организме ртути выявлен у 64 % обследованных аборигенных жителей и у 21,4 % из числа мигрантов.

Концентрации ртути в волосах жителей Гыданской тундры варьировали в пределах 0,303–5,21 мкг/г (табл. 3). Повышенный уровень ртути в волосах установлен у 86,6 % обследованных.

Таблица 3

Оценка риска для здоровья жителей Гыданской, Антипаютинской и Находкинской тундр в зависимости от уровня концентрации ртути в волосах

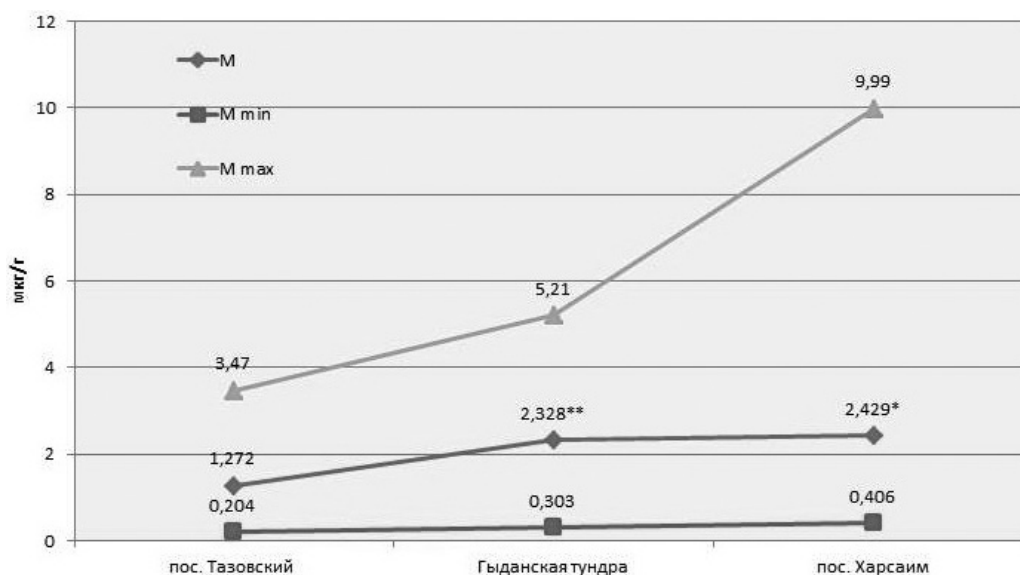
Показатель		Аборигенные жители n=15
M min – M max , мкг/г		0,303–5,210
Безопасный уровень, <0,58 мкг/г	абс.ч.	1
	%	6,7
Средний риск, более 0,58 и менее 1,0 мкг/г	абс.ч.	1
	%	6,7
Повышенный риск, > 1,0 мкг/г	абс.ч.	13
	%	86,6

Таблица 4

Оценка риска для здоровья населения пос. Харсаим в зависимости от уровня концентрации ртути в волосах

Показатель	Все обсле- дованные жители n=22	Абори- генные жители n=14	Мигранты n=8
M min – M max, мкг/г	0,406– 9,99	0,623– 9,99	0,406– 4,09
Безопасный уровень, <0,58 мкг/г	абс. ч.	1	0
	%	4,5	–
Средний риск, более 0,58 и менее 1,0 мкг/г	абс.ч.	4	1
	%	18,2	7,1
Повышенный риск, >1,0 мкг/г	абс. ч.	17	13
	%	77,3	92,9

У жителей пос. Харсаим содержание ртути в волосах варьировало в широком диапазоне от 0,406 до 9,99 мкг/г (табл. 4). Повышенные концентрации ртути выявлены у 77,3 % обследованных. Статистически значимых различий между средними концентрациями



Содержание ртути в волосах жителей Ямало-Ненецкого автономного округа

Примечания: M – средние значения; M min – минимальные значения; M max – максимальные значения;

** – $p < 0,01$.

ртути в волосах коренных и пришлых жителей не выявлено. Повышенные уровни ртути в волосах имели 92,9 % аборигенных жителей поселка.

В волосах жителей пос. Харсаим показаны максимально высокие концентрации ртути (рисунок). Харсаим — рыбацкий поселок Приуральского района, расположенный в нижнем течении р. Обь в 35 км западнее районного центра пос. Аксарка. Исследование рациона питания населения поселка показало, что существенную его часть занимают рыбопродукты и оленина. Известно, что метилртуть в организм человека поступает главным образом алиментарным путём.

Обсуждение результатов

Литературные данные о фоновых значениях концентрации ртути в биологических средах человека варьируют в значительных пределах [3, 4, 11, 12]. Фоновое содержание ртути в волосах составляет в Российской Федерации 0,5–1,0 мкг/г. Верхняя граница референсной (нормативной) величины для ртути в волосах равна 1,0 мкг/г в соответствии с рекомендациями ООО «Инвитро», что также соответствует рекомендациям Национального агентства по окружающей среде США [19].

По критериям ФАО/ВОЗ, соответствующим 2,2 мкг/г, доля лиц с повышенными концентрациями ртути в волосах сельских жителей автономного округа составила 30,3 % [16].

В Иркутской области, отнесенной к территориям с промышленным загрязнением ртутью, её среднее содержание в волосах составляет у мужчин 7,85 мкг/г, у женщин — 5,31 мкг/г. В Ханты-Мансийском автономном округе у аборигенного населения распространенность четырехкратного превышения уровня ртути в волосах относительно референсных величин составляла 96 % [8].

Согласно исследованию Bellanger et al. [13], концентрации ртути в образцах волос женщин репродуктивного возраста, превышающие 0,58 мкг/г, могут приводить к слабовыраженным изменениям в интеллектуальном развитии детей. Этот критерий, полученный на основе обследования 1 875 женщин из 17 европейских стран, используется как «мягкий». Величина менее 0,58 мкг/г отражает безопасный уровень ртути в волосах человека, при котором не наблюдается негативного воздействия на организм и не требуется никаких действий. Величина более 1,0 мкг/г — концентрация ртути в волосах, при превышении которой наблюдается риск для здоровья человека и необходимы мероприятия по снижению риска. Концентрации ртути между значениями 0,58 и 1,0 мкг/г указывают на необходимость выявления потенциальных источников ртути и проведения вмешательства по уменьшению воздействия данного вещества на организм человека [1].

Полученные результаты исследования согласуются с данными систематического обзора в отношении риска нейротоксичности и подверженности воздействию метилртути в глобальном масштабе вследствие по-

требления морепродуктов женщинами и детьми [20]. При анализе 164 исследований из 43 стран мира установлено, что поступление метилртути в несколько раз превышает уровень, рекомендуемый ФАО/ВОЗ (2,2 мкг/г) у представителей прибрежных регионов, потребляющих морепродукты и у потребителей морских млекопитающих в Арктике.

Воздействие ртути может вызывать серьёзные проблемы со здоровьем населения, оказывать токсическое действие на нервную, пищеварительную и иммунную системы, легкие, почки, кожу и глаза. Самым чувствительным к воздействию ртути является плод человека. Ртуть может оказывать неблагоприятное воздействие на развитие мозга и нервной системы ребенка. В целом представляет значительную проблему для общественного здравоохранения [6, 9].

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды автономного округа является трансграничный перенос с воздушными массами и накопление ртути в атмосфере. В зимне-весенний период над акваторией Карского моря и территорией автономного округа в 80 % случаев преобладают воздушные потоки северо-западного направления с северной части Европы. В результате эффекта AMDEs (дословно AMDEs переводится как событие, связанное с истощением ртути в атмосфере), характерного только для Арктики, происходит выпадение ртути из атмосферы на подстилающую поверхность и растительность сухим осаждением или вымыванием. Впервые был зафиксирован факт резкого уменьшения концентрации ртути в приземном слое атмосферы в 1995 году на полярной станции в Канаде «Алерт». В период с апреля до начала июня в атмосфере значительно падает концентрация ртути [17]. Связывают данный эффект с повышением интенсивности ультрафиолетового излучения в весенний период и как следствие активацией фотохимических реакций в атмосфере, в результате которых элементарная ртуть переходит в окисленную форму. Ртуть поступает в наземные и водные экосистемы и далее накапливается по трофическим цепям [2, 7, 10].

Региональными источниками ртути на территории автономного округа являются деятельность предприятий топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального сектора, обширные природные пожары, миграция ртутьсодержащих газов по зонам глубинных разломов.

Таким образом, повышенные концентрации ртути в волосах жителей автономного округа диктуют настоятельную необходимость усиления контроля за содержанием ртути в природных средах, накоплением в пищевых цепях и проведения энергичных мероприятий по снижению риска для здоровья населения. Необходимо продолжить исследования с углубленным анализом характера и особенностей рациона питания жителей.

Благодарности

Авторы статьи выражают признательность и благо-

дарность за общую поддержку исследования директору департамента по науке и инновациям Ямало-Ненецкого автономного округа Алексею Леонидовичу Титовскому, благодарность сотрудникам Научного центра изучения Арктики Шкварчук Людмиле Васильевне и Дамавичене Нине Николаевне за помощь в сборе материала.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Исследование проведено при поддержке Правительства ЯНАО.

Авторство

Агбалян Е. В. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовил первый вариант статьи. Ильченко И. Н. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ и интерпретацию данных. Шинкарук Е. В. участвовала в получении и анализе данных.

Агбалян Елена Васильевна — ORCID 0000-0002-4494-798X; SPIN 9788-4400

Ильченко Ирина Николаевна — ORCID 0000-0002-5966-7307; SPIN 9715-0099.

Шинкарук Елена Владимировна — ORCID 0000-0003-4782-6275; SPIN 5764-1897

Список литературы

1. Биомониторинг человека: факты и цифры. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015 г. URL: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and-health/health-impact-assessment/publications/2015/human-biomonitoring-facts-and-figures> (дата обращения: 27.04.17)
2. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
3. Горбачев А. Л. Ртуть как приоритетный загрязнитель окружающей среды: уровень ртути и других токсичных элементов в организме аборигенных жителей Северо-Востока России // Микроэлементы в медицине. 2016. № 17 (2). С. 3–9.
4. Ермаков В. В. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992. 50 с.
5. Ильченко И. Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека // Здравоохранение Российской Федерации. 2015. Т. 59, № 1. С. 48–53.
6. Ильченко И. Н., Ляпунов С. М., Окина О. И., Карамышева Т. В., Карташева А. Н. Использование методологии биомониторинга для оценки экспозиции к химическим загрязнителям // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94, № 7. С. 85–89.
7. Коноплев А. В., Панкратов Ф. Ф. Долговременный мониторинг ртути в атмосферном воздухе Российской Арктики // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», 7–9 сентября 2010 г. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 114–119.
8. Корчина Т. Я. Микроэлементный статус коренного и некоренного населения Северо-Запада Сибири. Деп. В ВИНТИ 13.03.2008. № 219. 2009. 24 с.
9. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
10. Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей — жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.
11. Тацый Ю. Г. О возможности использования волос в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды ртутью // Вестник ТюмГУ. 2013. № 12. С. 158–164.
12. Тупиков В. А., Наумова Н. Л., Ребезов М. Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации // Вестник ЮрГУ. 2012. № 21. С. 119–122.
13. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention // Environment Health. 2013. Vol. 12. P. 3–10.
14. Carpi A. Mercury from combustion sources: A review of the chemical species emitted and their transport in the atmosphere // Water Air Soil Pollut. 1997. Vol. 98, N 3–4. P. 241–254.
15. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. App. II. Technical reports series. N 197. Vienna: IAEA, 1980. P. 351–367.
16. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. In: Sixty-first meeting, Rome, 10–19 June 2003: summary and conclusions. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. 2003. Available at: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf> (дата обращения: 27.04.17)
17. Lindberg S. E., Brooks S., Lin C.-J. et al. Dynamic oxidation of gaseous mercury in the Arctic troposphere at Polar sunrise // Environ. Sci. Technol. 2002. Vol. 36. P. 1245–1256.
18. Mason R. P., Fitzgerald W. F., Morel F. M. Biogeochemical Cycling of Elemental Mercury: Anthropogenic Influence // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. Vol. 58, N 15. P. 3191–3198.
19. National Research Council. Toxicological effects of methylmercury. Washington, DC: National Academies Press; 2000. URL: <https://www.nap.edu/read/9899/chapter/1> (дата обращения: 27.04.17)
20. Sheehan M. C., Burke T. A., Navas-Acien A., Breyse P. N., McGready J., Fox M. A. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review // Bull World Health Organ. 2014. Vol. 92. P. 254–269 (doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.116152>)

References

1. Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen, WHO, Regional office for Europe, 2015, 88 p. Available at: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and-health/health-impact-assessment/publications/2015/human-biomonitoring-facts-and-figures> (accessed: 27.04.17)
2. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya*. 2011, 3, pp. 91–95. [In Russian]
3. Gorbachev A. L. Mercury as a priority pollutant of the environment: the level of mercury and other toxic elements in the body of the aboriginal inhabitants of the North-East of Russia. *Mikroelementy v meditsine* [Trace elements in medicine]. 2016, 17 (2), pp. 3–9. [In Russian]
4. Ermakov V. V. *Kriterii otsenki ekologicheskoi obstanovki territorii dlya vyavleniya zon chrezvychainoi*

ekologicheskoi situatsii i zon ekologicheskogo bedstviia [Criteria of evaluation of ecological situation of the territory to identify zones of extraordinary ecological situation and zones of ecological disaster]. Moscow, 1992. 50 p.

5. Ilchenko I. N. The review of studies concerning evaluation of effect of mercury on population in post-Soviet countries using data of human bio-monitoring. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Health of the Russian Federation]. 2015, 59 (1), pp. 48-53. [In Russian]

6. Ilchenko I. N., Lyapunov S. M., Okina O. I., Karamysheva T. V., Kartasheva A. N. Application of biomonitoring methodology for the assessment of exposure to environmental pollutants. *Gigiena i Sanitariya*. 2015, 94 (7), pp. 85-89. [In Russian]

7. Konoplev A. V., Pankratov F. F. Dolgovremennyy monitoring rtuti v atmosfernom vozduhe Rossiiskoi Arktiki [Long-term monitoring of mercury in ambient air of the Russian Arctic]. In: *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty», 7-9 sentyabrya 2010* [Proceedings of the International Symposium "Mercury in the Biosphere: Ecology-geochemical aspects", 7-9 September 2010 r.]. Moscow, 2010, pp. 114-119.

8. Korchina T. Ya. *Mikroelementnyi status korennoy i nekorennoy naseleniya Severo-Zapada Sibiri* [Trace element status of indigenous and non-indigenous population of North-West Siberia]. Dep. v VINITI 13.03.2008, N 219, 2009, 24 p.

9. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Ungurjanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]

10. Nikanov A. N., Krivosheev U. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink «Algapekt» on blood mineral composition in children - residents of Monchegorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [In Russian]

11. Tatsiy Yu. G. Applicability of human hair as a bioindicator for environmental mercury pollution. *Vestnik TyumGU* [Tyumen State University Herald]. 2013, 12, pp. 158-164. [In Russian]

12. Tupikov V. A., Naumova N. L., Rebezov M. B. Elemental composition of the hair as a reflection of environmental situation. *Vestnik YuUrGU* [Bulletin of the South Ural State University]. 2012, 21, pp. 119-122. [In Russian]

13. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. *Environment Health*. 2013, 12, pp. 3-10.

14. Carpi A. Mercury from combustion sources: A review of the chemical species emitted and their transport in the atmosphere. *Water Air Soil Pollut.* 1997, 98 (3-4), pp. 241-254.

15. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. *App. II. Technical reports series*. N 197. Vienna, IAEA, 1980, pp. 351-367.

16. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. In: Sixty-first meeting, Rome, 10–19 June 2003: summary and conclusions. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization; 2003. Available at: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf> (accessed: 27.04.17)

17. Lindberg S. E., Brooks S., Lin C.-J. et al. Dynamic oxidation of gaseous mercury in the Arctic troposphere at Polar sunrise. *Environ. Sci. Technol.* 2002, 36, pp. 1245-1256.

18. Mason R. P., Fitzgerald W. F., Morel F. M. Biogeochemical Cycling of Elemental Mercury: Anthropogenic Influence. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1994, 58 (15), pp. 3191-3198.

19. National Research Council. Toxicological effects of methylmercury. Washington, DC, National Academies Press, 2000.

20. Sheehan M. C., Burke T. A., Navas-Acien A., Breyse P. N., McGready J., Fox M. A. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. *Bull World Health Organ*. 2014, 92, pp. 254-269 (doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.116152>)

Контактная информация:

Агбалян Елена Васильевна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, зав. сектором эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»

Адрес: 629736, ЯНАО, г. Надым, 8-й проезд

E-mail: agbelena@yandex.ru