

УДК 613.2/.3:546.49

## ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ РТУТИ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С ПРОДУКТАМИ ПИТАНИЯ

© 2017 г. А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, О. И. Окина, В. С. Шешуков

Геологический институт РАН, г. Москва

Целью настоящей работы была оценка содержания ртути в продуктах питания и поступления ее в организм человека на территории России. Отбор образцов производился без привязки к фирме-производителю в соответствии с принципом случайной выборки. Анализировалась концентрация ртути в широком круге продуктов питания и сельскохозяйственной продукции методом атомной абсорбции с «холодным паром». Выявлены продукты питания с наибольшей и наименьшей концентрацией ртути. По литературным данным оценено количество потребляемых человеком продуктов питания при различных уровнях дохода и в среднем по регионам России. Рассчитано суточное поступление ртути в организм человека с этими рационами питания. Проведено сравнение реального поступления ртути в организм человека с безопасной суточной дозой по версии Food and Agriculture Organization UN (FAO) и Всемирной организации здравоохранения. Рассчитана доза ртути, поступающая в организм человека при потреблении рыбы и рыбопродуктов. Показано, что поступление ртути в организм человека с продуктами питания на территории России находится в физиологически допустимых пределах. Вместе с тем существует низкодозовое поступление ртути, характерное для всего населения страны.

**Ключевые слова:** ртуть, продукты питания, рационы питания, организм человека, поступление

## INTAKE ASSESSMENT OF SMALL DOSES OF MERCURY IN THE HUMAN BODY WITH FOOD

A. V. Gorbunov, S. M. Lyapunov, O. I. Okina, V. S. Sheshukov

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The aim of this work was to assess mercury content in food products and intake in the human body in Russia. Sampling was carried out on the territory of Russia without reference to the manufacturer in accordance with the principle of random sampling. The analysis of mercury concentrations in a wide range of food and agricultural products was carried out by atomic absorption with "cold vapor". On the basis of this analysis we identified foods with the highest and lowest concentrations of mercury. According to the literature data a number of food products consumable by people with different income levels and at an average for the regions of Russia has been estimated. Daily intake of mercury in the human body according to this regiment has been calculated. A comparison of the actual mercury intake in the human body with safety daily dose has been made according to the FAO and WHO. Mercury dose intaking in the human body with fish and fish products has been also calculated. It is shown that the mercury intake in the human body with food products ranges within acceptance limits in Russia. However, there is a low-dose mercury intake typical for the entire population of Russia.

**Keywords:** mercury, food products, regiment, the human body, intake

### Библиографическая ссылка:

Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Окина О. И., Шешуков В. С. Оценка поступления малых доз ртути в организм человека с продуктами питания // Экология человека. 2017. № 10. С. 16–20.

Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Sheshukov V. S. Intake Assessment of Small Doses of Mercury in the Human Body with Food. *Ecologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 10, pp. 16-20.

Ртуть относится к числу элементов, постоянно присутствующих в окружающей среде и живых организмах [5, 7, 8, 10]. Это высокотоксичный кумулятивный яд, который поражает кроветворную, ферментативную, нервную системы и почки [6, 12, 14, 15]. Токсическое действие ртути сильно зависит от ее химической формы [1, 15, 17]. Неорганические соли двухвалентной ртути вызывают нарушение деятельности почек, в то время как метилртуть — в основном деятельности периферийной и центральной нервной систем. Выведение ртути из организма осуществляется различными путями, но очень медленно: через желудочно-кишечный тракт (18–20 %), почками (40 %), слюнными железами (20–25 %). В организме человека, по разным оценкам [14,16], содержится 10–15 мг ртути. FAO

и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена недельная безопасная доза поступления общей ртути — 5 мкг на каждый килограмм массы человеческого тела, токсическое действие возникает при поступлении 0,4 мг/сутки. Токсическое действие метилртути возникает при поступлении ее 3,3 мкг на 1 кг массы тела.

Уровень поступления ртути в организм человека зависит от многих факторов: наличия ртутного месторождения или химического производства, теплоэлектроцентралей, полигонов твердых бытовых отходов или мест захоронения ртутных отходов на территории проживания. В настоящее время достаточно подробно исследовано воздействие ртути на рабочий персонал и население в случае производственных выбросов. Это, как правило, интенсивное

воздействие, локализованное в пространстве, времени и относящееся к ограниченному кругу людей. В тоже время существует канал поступления ртути в организм человека, который не менее важен, чем промышленное воздействие, — с продуктами питания. Ежедневно человек потребляет в среднем 1,2–1,8 кг различных продуктов питания. Каждый из них содержит определенное количество ртути, поэтому поступление в организм человека ее низких доз носит повсеместный характер и касается абсолютно всего населения России. Сведения об уровне и объеме этого поступления практически полностью отсутствуют, отсутствует также мониторинг концентрации ртути в продуктах питания. Учитывая тот факт, что ртуть чрезвычайно медленно выводится из организма, возможно ее накопление в различных органах за счет простого потребления продуктов питания. Поэтому целью настоящей работы было определить концентрацию ртути в наиболее типичных для России продуктах питания и оценить уровень ее поступления в организм человека за счет потребления этих продуктов.

### Методы

**Отбор образцов.** Образцы отбирали из розничной торговой сети без привязки к фирме-производителю в соответствии с принципом случайной выборки (точно так же, как в большинстве случаев происходит приобретение продуктов населением) в городах европейской и азиатской частей России: Москве, Подольске, Калуге, Гусь-Хрустальном, Архангельске, Сочи, Ханты-Мансийске, Хабаровске и Владивостоке. Речная рыба частично отбиралась из розничной торговой сети, частично вылавливалась в реках европейской части России — Оке, Москве, Осетре, Волге и Ахтубе. Каждого из видов продуктов питания было 5–20 проб. Всего около 1 000 индивидуальных проб. Образцы помещали в полиэтиленовые пакеты типа зип-лок, в случае длительной транспортировки проводилась их глубокая заморозка при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Анализ образцов.** Анализ отобранных образцов осуществлялся в лаборатории Геологического института РАН (Москва) с помощью анализатора ртути «Юлия-5К» (НПО «Метрология», Россия). Для этого их минерализовали смесью азотной (осч) и хлорной (хч) кислот при нагревании в колбах с обратным холодильником. Измеряли поглощение излучения с длиной волны 253,7 нм после восстановления ртути хлористым оловом ( $\text{SnCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , чда). Калибровку прибора проводили с помощью серии градуировочных растворов ртути. Качество результатов анализа проверяли путем анализа «холостых» проб, стандартных и контрольных образцов биологических материалов, аттестованных на содержание ртути. Международные стандартные (IAEA-407, IAEA-140/ТМ, IAEA-452) и контрольные образцы изучались в ходе рутинного анализа совместно с исследуемыми пробами.

### Результаты

В табл. 1 приведены значения концентрации ртути в основных продуктах питания с учетом их влажно-

сти. Выявлено, что повышенная концентрация ртути характерна для неразмолотых зерновых (пшеница и рожь), некоторых субпродуктов (легкое и почки), морской и речной рыбы. Сравнение этих данных с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) (табл. 2) показывает, что норматив превышен в зерновой пшенице и ржи в 2–3 раза. Следует отметить, что это относится только к зерну, в готовой продукции — муке и хлебе концентрация ртути находится в пределах ПДК.

Таблица 1

Концентрация ртути в продуктах питания	
Продукт	C Hg $\pm$ SD, мкг/кг (ppb)
<i>Крупы, хлебобулочные изделия, сахар, чай</i>	
Овес зерно, n=10	5,3 $\pm$ 2,2
Овес хлопья, n=11	2,0 $\pm$ 0,7
Гречневая крупа, n=12	2,9 $\pm$ 0,7
Пшеничные хлопья Nordic, n=5	4,2 $\pm$ 2,2
Хлопья 4 злака, n=4	4,2 $\pm$ 2,5
Рис, n=12	3,3 $\pm$ 1,1
Пшено, n=6	2,6 $\pm$ 1,2
Манка, n=7	2,5 $\pm$ 2,1
Рожь зерно, n=5	40,0 $\pm$ 13,0
Мука ржаная, n=6	2,3 $\pm$ 0,9
Хлеб ржаной, n=11	1,2 $\pm$ 0,6
Пшеница зерно, n=7	71,0 $\pm$ 22,0
Пшеничная мука, n=5	2,5 $\pm$ 1,5
Хлеб пшеничный, n=9	2,1 $\pm$ 1,7
Макаронные изделия, n=12	1,7 $\pm$ 1,2
Сахар, n=15	1,5 $\pm$ 0,8
Соль поваренная, n=13	2,3 $\pm$ 0,9
Чай черный, n=11	4,1 $\pm$ 2,3
Кофе молотый, n=9	0,9 $\pm$ 0,5
<i>Мясо, рыба, молочные продукты</i>	
Рубец, n=9	11,0 $\pm$ 2,9
Печень, n=13	3,5 $\pm$ 2,3
Почки, n=11	93,0 $\pm$ 46,0
Сердце, n=17	9,3 $\pm$ 2,5
Легкое, n=7	105,0 $\pm$ 56,0
Мясо говядина, n=11	4,3 $\pm$ 3,1
Мясо свинина, n=12	1,8 $\pm$ 1,3
Яйца куриные, n=12	2,0 $\pm$ 0,6
Куриное мясо, n=9	3,2 $\pm$ 2,2
Мясо индейки, n=11	2,9 $\pm$ 1,4
Рыба пресноводная, n=201	90,0 $\pm$ 70,0*
Морская рыба, n=118	101,0 $\pm$ 97,0*
Колбаса вареная, n=19	1,8 $\pm$ 0,6
Сосиски, n=13	2,4 $\pm$ 0,9
Сыр, n=7	2,3 $\pm$ 0,9
Сухие сливки, n=5	21,0 $\pm$ 3,9
Сухое молоко, n=9	1,2 $\pm$ 0,5

Продолжение таблицы 1

Продукт	C Hg ± SD, мкг/кг (ppb)
Молоко, молокопродукты	0,8±0,3
Детское питание фруктовое, n=7	0,9±0,5
Детское питание молочная смесь, n=8	3,4±0,6
<i>Овощи, фрукты, грибы</i>	
Картофель, n=63	2,2±1,3
Свекла, n=24	5,1±3,2
Капуста, n=22	7,8±4,3
Морковь, n=57	2,5±0,9
Редис, n=11	1,8±0,8
Редька, n=21	2,2±1,3
Баклажаны, n=9	2,6±2,1
Томаты, n=26	1,7±1,2
Шпинат, n=19	14,0±12,0
Кукуруза, n=18	1,5±0,5
Лук репчатый, n=15	4,4±2,3
Чеснок, n=9	2,8±2,2
Салат листовой, n=24	2,5±1,8
Салат кочанный, n=10	6,2±2,1
Укроп, n=20	1,3±0,8
Петрушка, n=22	3,2±2,2
Фрукты, n=32	1,8±0,9
Фасоль, n = 13	7,1±3,4
Чечевица, n =5	3,5±2,4
Горох, n =5	3,1±2,3
Соя, n=6	5,5±3,5
Шампиньоны, n=11	12,0±4,2**
Вешенка, n=10	19,0±8,1**

Примечание. \* – среднее значение по всем видам рыб, \*\* – значение для грибов, выращенных в агрофирме.

Таблица 2

**Предельно допустимые концентрации ртути  
в основных продуктах питания [3, 11]**

Продукт	C Hg, мкг/кг (ppb)
Зерно, хлопья	30
Зернобобовые	20
Хлеб	15
Овощи свежие	20–50
Мясо, птица	30
Субпродукты	100–200
Рыба	300–600
Моллюски, ракообразные	200
Молоко, кисломолочные продукты	5
Творог	20
Грибы	50
Сахар	10
Чай	100
Кофе	20

Структура и объем потребляемых продуктов питания определяется рационом питания человека. Конечно, рацион каждого человека (семьи) в большой степени индивидуален, однако в общем случае он сводится к набору основных продуктов питания, объем потребления которых зависит от двух факторов – уровня доходов и региона проживания. В табл. 3 приведены статистические данные о потреблении основных продуктов питания в России в зависимости от доходов населения и региона проживания. Используя их и данные о концентрации ртути в продуктах питания из табл. 1, можно рассчитать ее поступление в организм человека с каждым из приведенных в табл. 3 рационов.

Таблица 3

**Потребление основных продуктов питания на душу населения  
в зависимости от величины дохода и региона проживания,  
кг/год [2, 4, 9, 13]**

Продукт	Мин.	Средний	Макс.
Молоко и молоко-продукты, л	174,4/128,2	273,4/263,4	325,5/360,8
Хлеб и макаронные изделия	81,0/69,2	98,3/98,3	106,3/146,7
Картофель	49,6/33,8	62,0/61,6	67,2/87,8
Овощи и бахчевые культуры	60,4/41,6	95,5/92,3	126,4/137,6
Фрукты	39,8/23,6	74,1/73,3	104,8/107,1
Сахар и кондитерские изделия	22,9/20,5	32,1/31,7	38,0/40,9
Мясопродукты	53,1/55,9	84,7/81,9	105,9/114,5
Рыбопродукты	14,2/7,8	22,6/22,3	28,5/34,7
Яйца	9,6/3,8	12,8/12,6	16,1/16,6
Масло и жиры	8,4/7,8	10,8/10,8	12,7/15,0

Примечание для табл. 3–4. В зависимости от уровня доходов/в зависимости от региона проживания.

### Обсуждение результатов

С использованием данных табл. 1 и 3 были рассчитаны величины поступления ртути в организм человека при потреблении основных продуктов питания в России при различных уровнях дохода, а также в зависимости от региона проживания. Результаты этих расчетов, а также доза ртути, поступающая в организм человека при потреблении рыбы и рыбопродуктов, приведены в табл. 4. Как уже было отмечено выше, безопасное поступление ртути составляет 5 мкг на 1 кг массы тела человека в неделю, что в пересчете на средний вес тела человека (70 кг) и на 1 сутки составит 50 мкг. Данные табл. 4 показывают, что реальное поступление ртути в организм человека на территории России с продуктами питания (строка 1) значительно ниже порога токсичности, принятого в ФАО и ВОЗ. При этом следует признать факт постоянного низкодозового поступления ртути в организм при употреблении самых распространенных продуктов питания. Оно происходит на протяжении всей жизни человека, обуславливает накопление в тканях и орга-

нах и касается всего населения России. Последствия этого накопления исследованы явно недостаточно и нуждаются в дальнейшем изучении.

Таблица 4

**Поступление ртути в организм человека с основными продуктами питания**

	Минимальное	Среднее	Максимальное
Поступление Hg, мкг/сутки	6,62/4,26	10,30/10,12	12,90/15,25
Вклад рыбы и рыбопродуктов	54,7/50,1	56,6/60,3	57,0/62,3

Особый интерес для изучения представляет оценка доли ртути, поступающей в организм человека при потреблении рыбы и рыбопродуктов. Известно, что зарубежные исследователи в основном связывают низкодозовое ее поступление с регулярным употреблением рыбы и морепродуктов [15, 17–19]. В России в некоторых работах [5, 6, 16] также приводятся данные о том, что регулярное употребление рыбы и морепродуктов приводит к повышенной концентрации ртути в волосах и пуповинной крови беременных женщин. В строке 2 табл. 4 приведены значения вклада рыбы и рыбопродуктов в общее поступление ртути в организм. Он является определяющим и колеблется в пределах 50–60 %. При этом следует отметить, что в России постоянно увеличивается объем потребления рыбы и рыбопродуктов, что в перспективе может привести к увеличению поступления ртути в организм человека.

Данные, приведенные в нашей статье, позволяют сделать следующие выводы:

- Концентрация ртути в основной массе продуктов питания на территории России находится в пределах ПДК. Наибольшая ее концентрация характерна для неразмолотого зерна, некоторых субпродуктов (легкие, почки), а также мяса пресноводных и океанических рыб;

- Поступление ртути в организм человека при потреблении продуктов питания на территории России в общем находится в физиологически допустимых пределах и не превышает токсичного порога;

- Существует постоянное низкодозовое поступление ртути в организм человека при употреблении самых распространенных продуктов питания. Оно происходит на протяжении всей жизни человека, обуславливает кумулятивное накопление в тканях и органах и касается всего населения России независимо от дохода и региона проживания. Последствия этого исследованы явно недостаточно и нуждаются в дальнейшем изучении;

- Установлена доля ртути, поступающая в организм человека при потреблении рыбы и рыбопродуктов, — она является определяющей и составляет 50–60 %. Это относится к современному уровню потребления рыбопродуктов, при увеличении объема или при изменении структуры потребления (в сторону увеличения потребления хищных океанических рыб) будет увеличиваться доля поступающей ртути.

Работа проводилась в рамках тем института 0135-2015-0019 и 0135-2016-0029

**Список литературы:**

1. Агаджанян Н. А., Велданова М. В., Скальный А. В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов. М., 2001. 236 с.
2. Анализ продуктовой потребительской корзины РФ в 2012–2013 гг. Аналитический отчет, ТЕВІZ Group, 2014.
3. Государственные стандарты. Сырье и продукты пищевые. ИПК. Издательство стандартов, 1998.
4. Грешонков А. М., Меркулова Е. Ю. Анализ потребления основных продуктов питания по регионам РФ // Социально-экономические явления и процессы. 2014. Т. 9, № 11. С. 54–62.
5. Егоров А. И., Ильченко И. Н., Ляпунов С. М., Марочкина Е. Б., Окينا О. И., Ермолаев Б. В., Карамышева Т. В. Применение стандартизованной методологии биомониторинга человека для оценки пренатальной экспозиции к ртути // Гигиена и санитария. 2014. № 5. С. 10–18.
6. 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.
7. Малов А. М., Александрова М. Л. Медико-экологические аспекты ртутной контаминации в условиях мегаполиса // Экология. 2009. Т. 10, № 4. С. 102–112.
8. Майстренко В. Н., Хамитов Р. З., Будников Г. К. Экологический мониторинг суперэкоотоксикантов. М.: Химия, 1996. 320 с.
9. Официальный сайт Федеральной службы статистики. URL: <http://gks.ru>.
10. Петросян В. С. Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями. Россия в окружающем мире. М.: МНЭПУ, Авант, 2007. С. 149–163.
11. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. 180 с.
12. Скальная М. Г., Нотова С. В. Макро- и микроэлементы в питании современного человека: эколого-физиологические и социальные аспекты. М.: РОСМЭМ, 2004. 310 с.
13. Шевкунова Е. С. Анализ уровня потребления продуктов питания // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 101 (07). С. 1–16.
14. Шилов В. В., Чащин В. П., Великова В. Д., Полозова Е. В., Константинов Р. В. Острые и хронические отравления ртутью. СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2006. С. 38.
15. Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // Crit Rev Toxicol. 2006. Vol. 36. P. 609–620.
16. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S. Nuclear and Related Analytical Techniques in Ecology: Impact of Geocological Factors on the Balance of Trace Elements in the Human Organism // Physics of Particles and Nuclei. 2012. Vol. 43, N. 6, P. 783–824.
17. Kaim W., Schwederski B. Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester: John Wiley and Sons, 1994. 401 p.
18. Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knights, Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U.S. Seafood Consumers: Implications for Policy // Environ Health Perspect. 2010. Vol. 118, N 1. P. 137–143.

19. Passos C. J., Mergler D., Lemire M., Fillion M., Guimarães J. R. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure // *Sci Total Environ*. 2007. Vol. 373, N 1. P. 68–76.

#### References

1. Agadzhanyan N. A., Veldanova M. V., Skal'nyi A. V. *Ekologicheskii portret cheloveka i rol' mikroelementov* [Ecological portrait and role of trace elements]. Moscow, 2001, 236 p.

2. *Analiz produktovoy potrebitel'skoj korziny RF v 2012-2013 gg.* [The analysis of the grocery consumer's basket of the Russian Federation in 2012-2013]. Analytical report, TEBIZ Group, 2014.

3. *Gosudarstvennye standarty. Syr'e i produkty pishchevye* [State standards. Raw materials and food products]. IPK, Publishing house of standards, 1998.

4. Greshonkov A. M., Merkulova E. U. The Analysis of consumption of main foods by region of the Russian Federation. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy* [Socio-economic phenomena and processes]. 2014, 9 (11), pp. 54-62. [in Russian]

5. Egorov A. I., Ilchenko I. N., Lyapunov S. M., Marochkina E. B., Okina O. I., Ermolaev B. V., Karamysheva T. V. Application of standardized methodology of human bio-monitoring to assess prenatal exposure to mercury. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 2014, 5, pp. 10-18 [in Russian]

6. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu 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]

7. Malov A. M., Aleksandrova M. L. Medical-ecological aspects of mercury contamination in the metropolis. *Ekologiya* [Ecology]. 2009, 10 (4), pp. 102-112. [in Russian]

8. Maistrenko V. N., Khamitov R. Z., Budnikov G. K. *Ekologicheskii monitoring superekotoksikantov* [Environmental monitoring of superecotoxicants]. Moscow, Chemistry, 1996, 320 p.

9. *Ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby statistiki* [Official site of the Federal statistics service]. URL: <http://gks.ru>.

10. Petrosyan V. S. *Global'noe zagryaznenie okruzhayushchei sredey rtut'yu i ee soedineniyami. Rossiya v okruzhayushchem mire* [Global pollution by mercury and its compounds. Russia in the surrounding world]. 2006, 2007, pp. 149-163.

11. *Sanitarnye pravila i normy SanPiN* [Sanitary rules and norms SanPiN]. 2.3.2.560-96. *Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti proizvodstvennogo syr'ya i pishhevyykh produktov*. [Hygienic requirements to quality and safety of food raw materials and food products]. 180 p.

12. Skal'naya M. G., Notova S. V. *Makro- i mikroelementy v pitanii sovremennogo cheloveka: ekologo-fiziologicheskie i sotsial'nye aspekty* [Macro- and micronutrients in the diet of modern man: ecological, physiological and social aspects]. Moscow, ROSMEHM, 2004, 310 p. [in Russian]

13. Shevkunova E. S. Analysis of the level of food consumption. *Nauchnyi zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of Kuban State Agrarian University]. 2014, 101 (07), pp. 1-16. [in Russian]

14. Shilov V. V., Chashchin V. P., Velikova V. D., Polozova E. V., Konstantinov R. V. *Ostrye i khronicheskie otravleniya rtut'yu* [Acute and chronic mercury poisoning]. Saint Petersburg, 2006, 38 p [in Russian]

15. Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit. Rev. Toxicol.* 2006, 36, pp. 609-620.

16. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S. Nuclear and Related Analytical Techniques in Ecology: Impact of Geoecological Factors on the Balance of Trace Elements in the Human Organism. *Physics of Particles and Nuclei*. 2012, 43 (6), pp. 783-824.

17. Kaim W., Schwederski B. *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. Chichester, John Wiley and Sons, 1994, 401 p.

18. Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knights, Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U.S. Seafood Consumers: Implications for Policy. *Environ Health Perspect.* 2010, 118 (1), pp. 137-143.

19. Passos C. J., Mergler D., Lemire M., Fillion M., Guimarães J. R. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure. *Sci Total Environ*. 2007, 373 (1), pp. 68-76.

#### Контактная информация:

Горбунов Анатолий Викторович – старший научный сотрудник ФГБУН «Геологический институт Российской академии наук»

Адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский переулок, д. 7  
E-mail: [anatolygor@yandex.ru](mailto:anatolygor@yandex.ru)