

УДК 614.3

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВЕ И ОВОЩАХ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П.

Томский политехнический университет, Томск, e-mail: osipova@tpu.ru

Для оценки последствий складывающейся эколого-гигиенической ситуации определено содержание химических элементов (Be, Sc, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Ag, Ba, Hg, Pb, U) в почвах пригородных овощеводческих объединений в непосредственной близости от г. Томска и выращенных на ней овощах методами спектрального и атомного адсорбционного анализа. Рассчитаны среднесуточные дозы поступления свинца, марганца, никеля, ртути при потреблении в пищу выращенных овощей (картофель, свекла, капуста) для оценки риска здоровью человека. Значения канцерогенных рисков, рассчитанные по усредненным концентрациям контаминантов в овощах, лежат в интервале 10^{-7} – 10^{-6} и в соответствии с критериями приемлемости риска расцениваются как допустимые и не вызывающие беспокойства. Однако, когда содержание свинца в картофеле превышает предельно допустимую концентрацию в 2,7 раза, среднесуточная доза поступления свинца выходит за рамки безопасной. При регулярном потреблении таких овощей или при увеличении частоты встречаемости проб с повышенным содержанием свинца возникает реальная опасность здоровью человека.

Ключевые слова: дозы поступления, оценка риска для здоровья человека, тяжелые металлы

HEAVY METALS IN SOIL AND VEGETABLES AS A RISK FACTOR FOR HEALTH OF CONSUMERS

Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P.

Tomsk Polytechnical University, Tomsk, e-mail: osipova@tpu.ru

The problem of chemical soil pollution of agricultural areas is nagging one. The concentrations of chemical elements (Be, Sc, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Ag, Ba, Hg, Pb, U) in soil and grown vegetables in Tomsk rural areas were determined by spectroscopy and atomic adsorption spectroscopy (AAS) method. Tomsk is an industrial city in West Siberia. The risk assessment for human health at consumption of grown vegetables was performed in accordance with generally accepted methodology. Calculated living average daily doses of element intake were considered as safe ones. The values of carcinogenic risks are calculated based on average concentrations of pollutants in the vegetables with the use of standard factors of exposure. The values of carcinogenic risks are in the interval 10^{-7} – 10^{-6} and in accordance with the criteria for the risk acceptability is approached normal and not causing concern. However when the content of lead in the potato exceeds maximum permissible concentration by factor of 2,7 the average daily dose of lead receipt is beyond the scope of the safety. Special attention in the analysis of risk is paid to the lead which carcinogenic properties are not sufficiently studied. A danger to human health is raised by regular consumption of these vegetables or along increasing the frequency of the samples occurrence of a higher content of lead.

Keywords: daily dose, heavy metals, estimation of risk for health

Оценка риска для здоровья населения от воздействия вредных факторов окружающей среды является относительно новым научным направлением. Основная масса различных химических веществ, как эссенциальных (необходимых для жизнедеятельности), так и токсичных поступает в организм человека пероральным путем с питьевой водой и продуктами питания. Питание является одним из важнейших факторов, опосредующих связь человека с окружающей средой и определяющих его здоровье [2].

В основу показателей безопасности продуктов питания в соответствии с [1] положены требования по ограничению в пищевых продуктах и продовольственном сырье допустимых уровней содержания основных групп опасных для здоровья человека веществ химического, биологического и радиологического происхождения [3].

К основным регламентируемым загрязнителям относятся токсичные металлы (свинец, кадмий, ртуть, олово и др.), мышьяк,

пестициды и их метаболиты, нитраты, нитриты, полициклические углеводороды, фтористые соединения, стимуляторы роста сельскохозяйственных животных, а также органические и неорганические соединения, мигрирующие в пищевые продукты из упаковочных материалов, показатели биологического происхождения – бактерии и их токсины, микотоксины, гельминты [5].

В работе проведена оценка риска для здоровья человека при потреблении в пищу овощей, выращенных в пригородных овощеводческих объединениях в непосредственной близости от г. Томска. Известно, что почвы пригородных зон загрязнены тяжелыми металлами. Томская область имеет свою особенность: большая часть населения (> 50%) занимается сельским хозяйством и питается продуктами подсобного хозяйства.

Содержание химических элементов в почвах пригородных овощеводческих объединений в непосредственной близости от г. Томска и в золе выращенных на ней

овощей определено методом эмиссионного спектрального полуколичественного анализа (ЭСПА), содержание ртути – методом атомного адсорбционного анализа (данные по анализу золы пересчитаны на сырую массу). Было отобрано 94 пробы почв полей совхоза «Степановский» и 43 пробы овощей (картофель, капуста, морковь), выращенных на этих полях. На полях совхоза «Томский» было отобрано 83 пробы почвы, 47 проб овощей. Данные по содержанию тяжелых металлов в почвах и выращенных на этих почвах овощах приведены на рис. 1.

Биологическая избирательность в отношении химических элементов, в том числе и тяжелых металлов, позволяет растениям контролировать в определенных границах свой химический состав относительно

них. Рис. 1 показывает, что концентрации микроэлементов имеют положительную корреляцию с содержанием этих элементов в почвах. Из этих данных видно, что поступление токсичных веществ в сельскохозяйственное сырье обусловлено транслокацией их из почвы в растения.

Такие критерии, как концентрации токсичных веществ в почве пригородных зон, содержание химических токсичных контаминантов в местной сельскохозяйственной продовольственной продукции, риски заболеваемости населения вследствие химической контаминации объектов окружающей среды применены для оценки последствий складывающейся эколого-гигиенической ситуации (на примере Томского района Томской области).

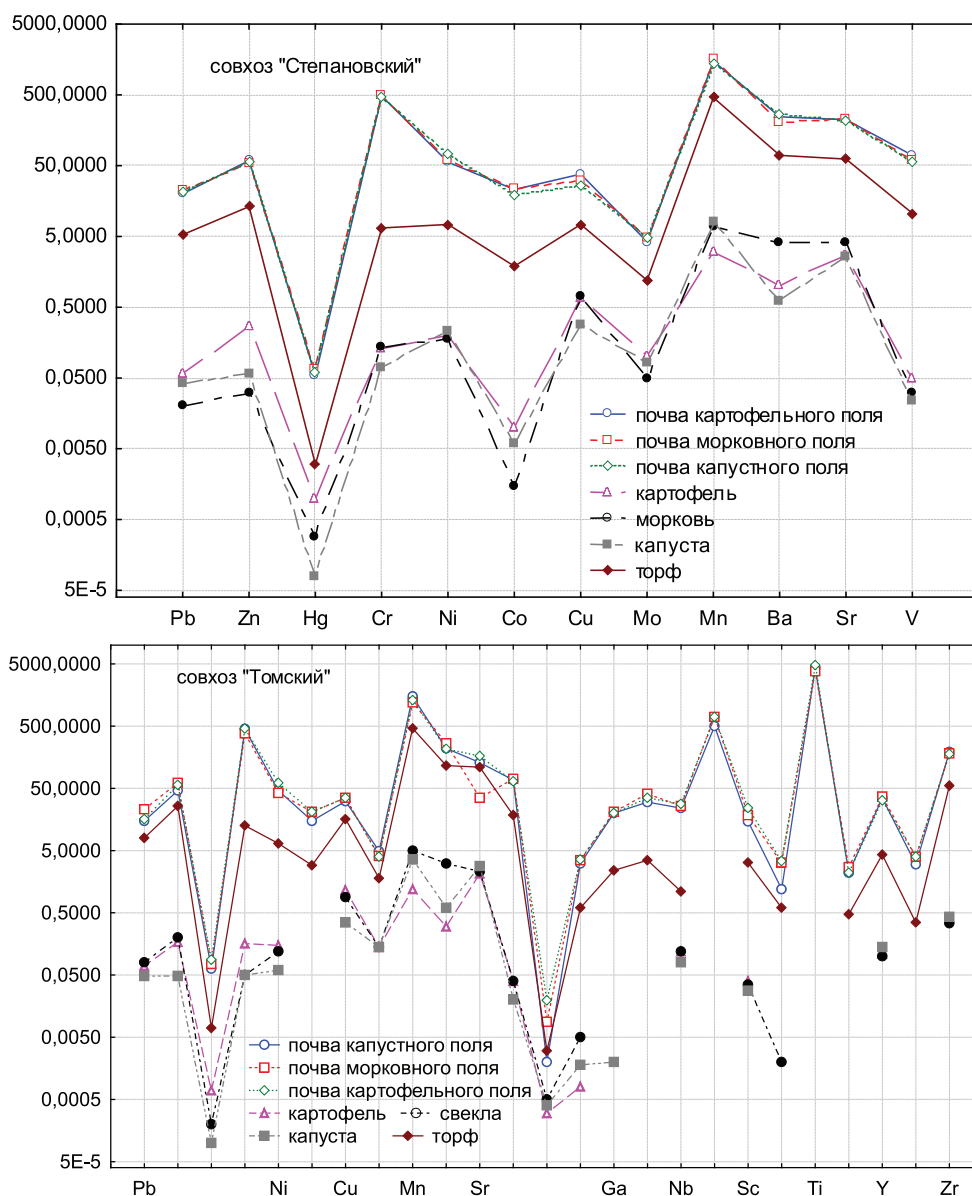


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в почве и выращенных на ней овощах

Использование методологии оценки риска для здоровья имеет перспективный характер и направлено на прогноз возможных изменений в будущем, создавая тем самым основу для профилактики неблагоприятных влияний за здоровье населения.

В связи с этим была проведена оценка канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения при алиментарном поступлении токсичных загрязнителей с продуктами питания по известной методике [4]. Чтобы оценить риск, необхо-

димо рассчитать среднедневные дозы поступления химических веществ. Для этого были использованы усредненные значения концентраций тяжелых металлов в овощах: свекле, капусте, моркови, картофеле на территории овощеводческих объединений в окрестностях Томска (табл. 1).

Данные о суточном среднелюдовом потреблении продуктов, значения факторов канцерогенного потенциала приведены в [4]. Доля потребления местной продукции принималась равной 100%.

Таблица 1

Среднесуточные дозы поступления элементов
в организм человека с потребляемыми в пищу овощами

Наименование сельхозпродукции	Название элемента	ПДК в овощах, мг/кг	$C_{\text{ср.}}$, мг/кг	$C_{\text{мин.}}$, мг/кг	$C_{\text{макс.}}$, мг/кг	ССД, мг/кг
			(на сырую массу)			
Картофель	Свинец	0,5	0,06	0,02	0,14	$3,3 \cdot 10^{-4}$
	Ртуть	0,02	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$49 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
	Медь	5,0	0,99	0,6	1,4	$5 \cdot 10^{-3}$
	Цинк	10,0	0,22	0,03	0,3	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	Никель	0,5	0,18	0,06	2,2	$9,2 \cdot 10^{-4}$
	Марганец		2,1	0,09	4,0	$1,1 \cdot 10^{-2}$
	Барий		0,7	0	0,2	$3,5 \cdot 10^{-3}$
	Хром	0,2	0,15	0,07	2,1	$7,5 \cdot 10^{-4}$
	Молибден		0,12	0,07	0,31	$6 \cdot 10^{-4}$
	Стронций		2,47	1,0	3,5	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Свекла, морковь	Свинец	0,5	0,05	0,02	0,14	$1,54 \cdot 10^{-4}$
	Ртуть	0,02	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$
	Медь	0,8	0,3	1,69	1,4	$2,5 \cdot 10^{-5}$
	Цинк	10,0	0,11	0,02	0,21	$3,4 \cdot 10^{-4}$
	Олово		0,002	0,0001	0,02	$6,2 \cdot 10^{-6}$
	Никель	0,5	0,15	0,07	0,35	$4,5 \cdot 10^{-4}$
	Марганец		6,0	1,5	15	$1,8 \cdot 10^{-2}$
	Барий		3,6	2,0	7,0	$1,1 \cdot 10^{-2}$
	Хром	0,2	0,09	0,03	0,13	$2,7 \cdot 10^{-4}$
	Молибден		0,09	0,05	0,23	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Стронций		3,3	2,0	4,5	$9,9 \cdot 10^{-3}$	
Капуста	Свинец	0,5	0,045	0,027	0,09	$2,8 \cdot 10^{-4}$
	Ртуть	0,02	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$
	Медь	0,8	0,32	0,21	0,48	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	Цинк	10,0	0,053	0,001	0,21	$6,48 \cdot 10^{-4}$
	Никель	0,5	0,15	0,057	0,33	$4,5 \cdot 10^{-4}$
	Марганец		5,8	2,9	12	$1,7 \cdot 10^{-2}$
	Барий		0,6	0,01	1,2	$1,8 \cdot 10^{-3}$
	Хром	0,2	0,06	0,038	0,16	$1,8 \cdot 10^{-4}$
	Молибден		0,11	0,043	0,13	$3,3 \cdot 10^{-4}$
	Стронций		2,7	1,5	3,1	$8,1 \cdot 10^{-3}$

Риск развития неканцерогенных эффектов оценивали по значениям коэффициента опасности (табл. 2).

Так как исследуемые вещества поражают различные критические органы или си-

стемы, в таблицу включены данные о критических органах, на которые воздействует загрязнитель. При воздействии компонентов смеси на одни и те же органы и системы организма наиболее вероятным типом их

комбинированного действия является суммация. Вклад в суммарную величину коэффициента опасности различных загрязняющих веществ при регулярном поступлении в организм человека с овощами отражен на рис. 2. Общий суммарный риск развития не

канцерогенных эффектов составляет 1,745. Системами, наиболее подверженными суммарному воздействию неканцерогенных веществ, таких как свинец и никель, являются: центральная нервная система, сердечно-сосудистая, репродуктивная.

Таблица 2

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов при потреблении в пищу выращенных овощей

Вещество	Код CAS	Доза, мг/кг	Референтная доза, мг/кг	Коэффициент опасности	Критический орган
Свинец	7439-92-1	0,000764	0,0035	0,218	ЦНС, кровь, репродуктивная система
Ртуть	7439-97-6	0,00000558	0,0003	0,0186	Иммунная система, почки, ЦНС, репродуктивная система
Медь	7440-50-8	0,006525	0,019	0,342	ЖКТ, печень
Цинк	7440-66-6	0,002088	0,3	0,0070	Кровь, биохим.
Олово	7440-31-5	0,0000062	0,6	0,00001	Печень, почки, ЖКТ
Олова дихлорид	7772-99-8				Органы дыхания
Никель	7440-02-0	0,00182	0,02	0,091	Печень, серд.-сосуд. система, кровь, масса тела
Марганец	7439-96-5	0,046	0,14	0,329	ЦНС, кровь, ЖКТ
Барий	7440-39-3	0,016	0,07	0,229	Почки, серд.-сосуд. система
Хром	7440-47-3	0,0012	0,005	0,24	Печень, почки, ЖКТ, слизистые
Хром	18540-29-9		0,003		
Молибден	7439-98-7	0,0012	0,005	0,24	Почки
Стронций	7440-24-6	0,0182	0,6	0,03	Костная система

Значительное содержание свинца в пищевых продуктах обусловлено его антропогенным происхождением, а это уже опасно, т.к. свинец не относится к жизненно необходимым элементам, а представляет собой типичный токсикант. Интоксикация свинцом сопровождается нарушением процессов биосинтеза таких жизненно важных соединений, как гемоглобин, нуклеиновые кислоты, протеины, гормоны. Это в свою очередь отражается на функциях желудочно-кишечного тракта, нервной системы, терморегуляции, кровообращения. Особенно опасны токсичные и кумулятивные свойства свинца для детей, обладающих большей чувствительностью развивающихся органов к токсикантам, и для пожилых людей, у которых замедлены выделительные функции кишечника [6].

Что касается ртути, различные физико-химические формы ртути обладают собственными токсическими свойствами и требуют индивидуальной оценки их токсичности. Двухвалентная ртуть образует важный класс металлоорганических соединений. С точки зрения токсикологии, наиболее важным из металлоорганических соединений является подкласс алкилртут-

ных препаратов с короткой цепью: метил-, этил-, пропилртуть. Метилртуть способна проникать через клеточные мембраны

Оценки воздействия молибдена, марганца, меди на здоровье человека более осторожны. Эти вещества относятся к жизненно необходимым при низких дозах поступления. Их токсичность связана с формами нахождения и рядом других факторов, влияющих на усвояемость этих элементов организмом. Вышесказанное также касается хрома и олова: значения референтных доз различны для разных соединений олова, для соединений трех- и шестивалентного хрома, что вносит дополнительную неопределенность в оценку риска при отсутствии достоверных данных о физико-химическом состоянии металлов в составе пищевых продуктов.

Хром присутствует в биологических объектах преимущественно в трехвалентной форме (Cr^{3+}). Некоторые исследователи относят его к биомикроэлементам, поскольку он является кофактором инсулина и необходим для оптимального использования организмом глюкозы. Имеющиеся данные о токсичности хрома в повышенных концентрациях в целом противоречивы.

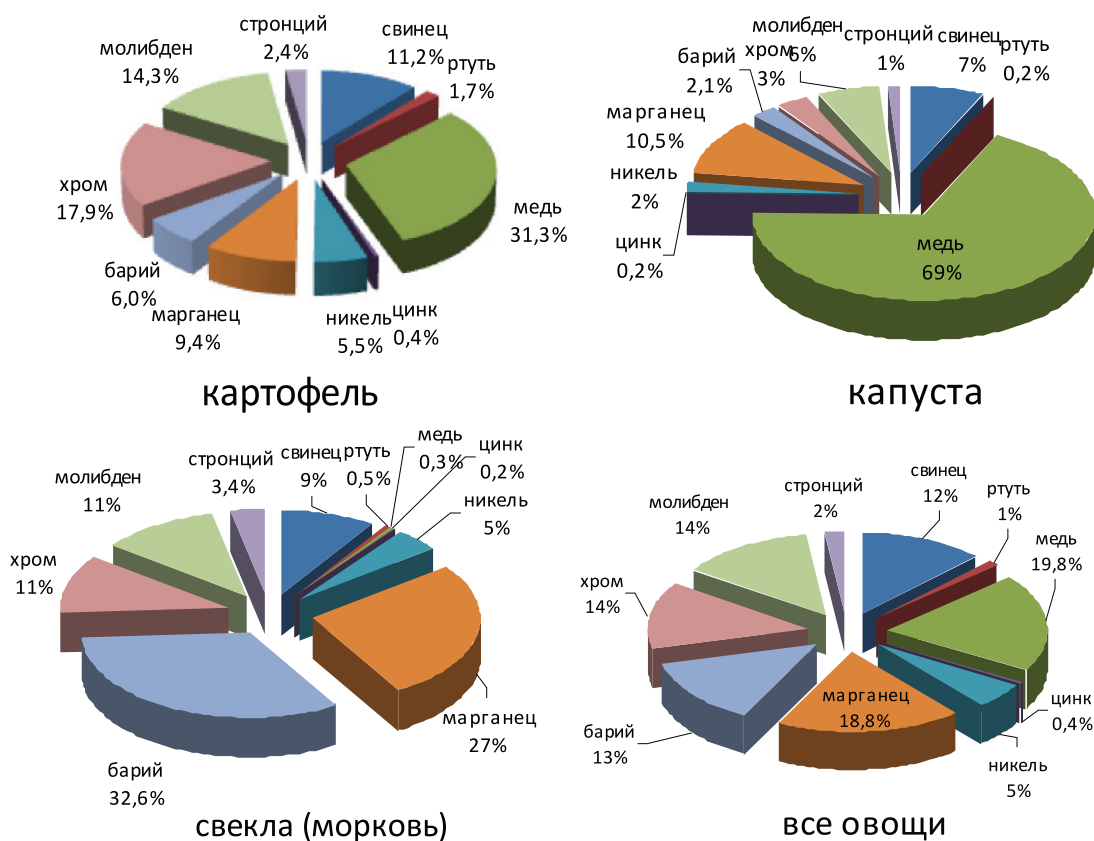


Рис. 2. Вклад в суммарную величину коэффициента опасности различных загрязняющих веществ при регулярном поступлении в организм человека с овощами

Следует отметить, что рассчитанные в исследовании индексы опасности неканцерогенных эффектов, связанных с потреблением продуктов питания, характеризуют максимально возможные уровни, поскольку при расчете доз мы ориентировались на сценарии максимального воздействия.

Канцерогенный риск для здоровья человека от регулярного потребления данных пищевых продуктов – это вероятностная величина, характеризующая вероятность того, что в результате такого питания у человека могут развиваться канцерогенные заболевания. Риск на уровне 10^{-6} соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн лиц, подвергшихся воздействию. Такие риски воспринимаются людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных повседневных.

Риск в интервале 10^{-6} – 10^{-4} соответствует зоне условно приемлемого (допустимого) риска; именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом. Значения риска индивидуального канцерогенного выше 10^{-4} следует расценивать как повышенные.

Как правило, канцерогенный риск при потреблении пищевых продуктов, содержащих канцерогены, оценивается в отношении мышьяка, кадмия, свинца. Мы располагаем данными о содержании в овощах свинца.

Значения канцерогенных рисков, рассчитанные по усредненным концентрациям свинца в овощах, лежащие в интервале 10^{-7} – 10^{-5} , в соответствии с критериями приемлемости риска следует расценивать как допустимые и не вызывающие беспокойства. Однако при превышении ПДК по свинцу в пробах картофеля в 2,7 раза. среднесуточная доза поступления свинца выходит за рамки безопасной. В результате индивидуальный канцерогенный риск также возрастает и приближается к границе допустимого. Также следует учесть, что канцерогенные свойства свинца еще изучены явно недостаточно. Более детальные выводы можно делать с учетом данных мониторинга частоты и уровней загрязнения продуктов питания.

Даже при концентрациях ряда элементов в овощах ниже ПДК формируются потенциальные риски для здоровья. В этом смысл оценки риска, которая позволяет оценивать опасность по реальным дозо-

вым нагрузкам, с которыми сталкивается человек, с учетом всех факторов экспозиции: длительности воздействия, возраста человека, доли данной продукции в пищевом рационе и т.д. В целом сельско-хозяйственная продукция, выращенная на исследуемой территории, не характеризуется экстремальными уровнями загрязнения токсичными элементами.

Список литературы

1. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zakonrus.ru/gost/sanpin_232_1078_01.htm (дата обращения 24.05.13).
2. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска. / под ред. А.П. Щербо. – СПб.: МАПО, 2002. – 370 с.
3. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. СанПиН 42-123-4089-86. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://document.ua/docs/tdoc8475.php> (дата обращения 20.05.13).
4. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство Р. 2.1.10.1920-04. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. 273 с [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/R2110192004Rukovodstvopoo.html> (дата обращения 24.05.13).
5. Эколого-гигиенические последствия прошлого экологического ущерба в промышленных регионах Сибири / А.П. Михайлуц, А.М. Васильевский, С.Е. Скударнов, Ю.С. Чухров / Эко-бюллетень ИнЭка. – 2008, № 3 (128). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arithiv/0128&pg=016> (дата обращения 10.05.13).
6. Элементы-экоотоксиканты в пищевых продуктах. Гигиенические характеристики, нормативы содержания в пищевых продуктах, методы определения: анализ. обзор, март 2000 / Сиб. отд. Рос. акад. наук. – Новосибирск: Изд-во Наука, 2000. – 68 с.

References

1. Gigenicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyh produktov. SanPiN 2.3.2.1078-01, available at: http://zakonrus.ru/gost/sanpin_232_1078_01.htm, (accessed 24 May 2013).
2. Okruzhajushhaja sreda i zdorov'e: podhody k ocenke riska. Edited by Shherbo A.P., Spb.: MAPO, 2002, 370 p.
3. Predel'no dopustimye koncentracii tjazhelyh metallov i mysh'jaka v prodovol'stvennom syr'e i pishhevyh produktah. SanPiN 42-123-4089-86, available at: <http://document.ua/docs/tdoc8475.php> (accessed 20 May 2013).
4. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja nasele'nija pri vozdeystvii himicheskikh veshhestv, zagryaznjajushhih okruzhajushhiju sredu. Rukovodstvo R. 2.1.10.1920-04. M.: Federal'nyj centr Gossanepidnadzora Minzdrava RF, 2004. 273 p., available at: <http://www.gosthelp.ru/text/R2110192004Rukovodstvopoo.html> (accessed 24 May 2013).
5. Jekologo-gigenicheskie posledstvija proshlogo jekologicheskogo usherba v promyshlennyh regionah Sibiri. A.P. Mihajluc, A.M. Vasilovskij, S.E. Skudarnov, Ju.S. Chuhrov / Jekobulleten' InJeka, 2008, no. 3 (128), available at: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arithiv/0128&pg=016> (accessed 10 May 2013).
6. Jelementy-jekotoksikanty v pishhevyh produktah. Gigenicheskie harakteristiki, normativy soderzhanija v pishhevyh produktah, metody opredelenija: analit. obzor, March 2000. Sib. Otd. Ros.akad.nauk, Novosibirsk, Nauka, 2000, 68 p.

Рецензенты:

Короткова Е.И., д.х.н., профессор кафедры физической и аналитической химии, заместитель директора по научной работе и инновационному развитию института природных ресурсов, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;
Пасько О.А., д.с.-х.н., профессор кафедры общей геологии и землеустройства, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 01.07.2013.