

# ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ ПЕРЕНОСА СЕЛЕНА В УСЛОВИЯХ ЧУВАШИИ

### CHARACTERISTICS OF SELENIUM FOOD CHAIN IN THE CHUVASH REPUBLIC

Н.А. Голубкина<sup>1</sup>, Д.В. Широков<sup>2</sup>  
N.A. Golubkina<sup>1</sup>, D.V. Shirokov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГУ НИИ питания РАМН, лаборатория пищевой токсикологии, Устьинский пр. 2/14 Москва 109240 Россия;  
e-mail: edr9705@mtu-net.ru

<sup>2</sup> Московский колледж управления и новых технологий, Москва 115580 Россия.

<sup>1</sup> Institute of Nutrition, Russian Academy of Medical Sciences, 2/14 Ust'inskiy pr., Moscow 109240 Russia;  
e-mail: edr9705@mtu-net.ru

<sup>2</sup> Moscow College of Management and New Technologies, Moscow 115580 Russia.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: селен, обеспеченность населения, пищевая цепь, Чувашия.

KEY WORDS: selenium status, food chain, the Chuvash Republic.

**РЕЗЮМЕ:** Проведена оценка содержания селена в пищевой цепи переноса микроэлемента в условиях Чувашии: в почве, зерновых, мясных и диетических продуктах, в сыворотке доноров крови. Установлен пониженный селеновый статус жителей Чебоксар и Новочебоксарска, соответствующий концентрации 83–86 мкг Se/л сыворотки крови доноров. Содержание микроэлемента в зерновых местного производства находилось в интервале от 14,4 мкг/кг (рожь) до 128 мкг/кг (пшеница), мяса — 93–153 мкг/кг, рыбы — 152–326 мкг/кг, куриных яйцах — 209–478 мкг/кг. В почвах Чебоксар и пригорода концентрация селена варьировала от 152 до 1300 мкг/кг, причем максимальные значения были характерны для почвы вблизи керамического завода.

**ABSTRACT:** Selenium content in soils, cereals and other food products of the Chuvash republic revealed moderate decrease of selenium accumulation in all links of food chain. Serum selenium concentration in Cheboksary and Novocheboksarsk were equal to 83–86 mcg/l, selenium concentration in cereals of native origin varied in the range of 14.4–128 mcg/kg, meat 93–153 mcg/kg, fish — 152–326 mcg/kg. Selenium content in soils of Cheboksary city reflected anthropogenic influence being the highest near the ceramic plant (more than 1300 mcg/kg).

#### Введение

Селен поступает в организм человека из почвы с продуктами растениеводства и животноводства.

Геохимические особенности различных регионов мира обуславливают существование обширных территорий с умеренным и глубоким дефицитом микроэлемента. Так, к регионам выраженного селенового дефицита относят Читинскую область России, отдельные провинции Китая, Новую Зеландию (Ермаков, 1999). Для живых организмов опасен как умеренный, так и глубокий дефицит микроэлемента. Низкое поступление селена по пищевой цепи в организм человека обуславливает, как известно, снижение иммунитета, увеличение риска возникновения и развития кардиологических и ряда онкологических заболеваний (Levander, Burk, 1998; Combs, 1997), снижение продолжительности жизни (Гаврилов, Гаврилов, 1991). В случаях глубокого дефицита как у человека, так и у сельскохозяйственных животных развиваются специфические селен дефицитные заболевания.

Обширность территории России и неустойчивость экономики осложняет проведение широкомасштабных эпидемиологических исследований, направленных на установление селенового статуса населения. Несоответствие между данными накопления селена в волосах и сыворотке крови жителей (Golubkina, Alfthan, 1999; Скальная и др., 2001) ставит вопрос о необходимости использования как неинвазивных, так и инвазивных методов анализа микроэлемента. Содержание селена в сыворотке крови жителей России изучено крайне недостаточно (Ago et al., 1994; Golubkina, Alfthan, 1999) и в отношении густо заселенных промышленно развитых Волжских регионов предоставляет мало информации. Сре-

ди последних Чувашия не составляет исключения. Согласно данным Ермакова (Ермаков, 1999) по геохимической характеристике почв в Чувашии возможен дефицит микроэлемента во всех звеньях пищевой цепи. На значительной части этого региона неблагоприятность такого прогноза усугубляется избытком в почве кремния и дефицитом цинка (Сусликов, 2000).

Для установления истинного уровня селенового статуса населения нами было предпринято эпидемиологическое исследование Чувашии в городах Чебоксары и Новочебоксарск, первый характеризуется относительным экологическим благополучием, а второй – хорошо развитой химической промышленностью. В качестве критериев оценки были выбраны показатели звеньев пищевой цепи переноса селена: содержание микроэлемента в почве, растениях, животных, тканях человека.

### Материалы и методы

Образцы почвы собирали в окрестностях г. Чебоксары, а также в разных районах столицы с целью изучения возможного антропогенного воздействия, связанного с работой промышленных предприятий. Зерновые и продукты их переработки отбирали на складах и в магазинах городов Чебоксары и Новочебоксарск, высушивали при 60°C до постоянного веса перед проведением анализа на содержание селена. Исследовано содержание селена в 6 видах рыбы, выловленной в Волге (определение осуществляли в средней пробе 5 образцов каждого вида рыбы). Другие продукты питания приобретали на рынках г. Чебоксары.

Для оценки обеспеченности селеном населения городов Чебоксары и Новочебоксарск отобраны

образцы сыворотки у доноров крови возраста от 18 до 52 лет (средний возраст 36,5 и 35,8 лет соответственно для доноров г. Чебоксары и г. Новочебоксарск). Сыворотку крови помещали в полиэтиленовые пробирки и хранили до начала анализа при –10°C.

Содержание селена в продуктах питания, почве и сыворотке крови устанавливали флуориметрически после мокрого сжигания образцов смесью азотной и хлорной кислот, последующего восстановления шестивалентного селена до четырехвалентного действием соляной кислоты и конденсации образующейся селенистой кислоты с 2,3-диаминонафталином с образованием флуоресцирующего комплекса — пиазоселенола (Alfthan, 1984). В качестве референс-стандартов использовали сыворотку крови Seronorm 23КТ (Nippra, Осло), пшеничную муку, лиофилизированное мясо (Сельскохозяйственный центр Финляндии) и образец почвы (Национальный институт здравоохранения, Хельсинки) с регламентированным содержанием селена соответственно 76 мкг/л, 59 мкг/кг, 458 мкг/кг и 500 мкг/кг.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием критерия Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Исследование содержания селена в почве города и пригорода Чебоксар свидетельствует о неравномерном распределении микроэлемента, связанном с естественными факторами и антропогенным воздействием (рис.1). Так, на территории города уровень селена варьирует в интервале от 157 до 1344 мкг/кг сухой массы. В центре около электроаппаратного завода значения концентрации селена минимальны и составляют 157 мкг/кг, однако, уже вблизи гальванического цеха содержание возраста-

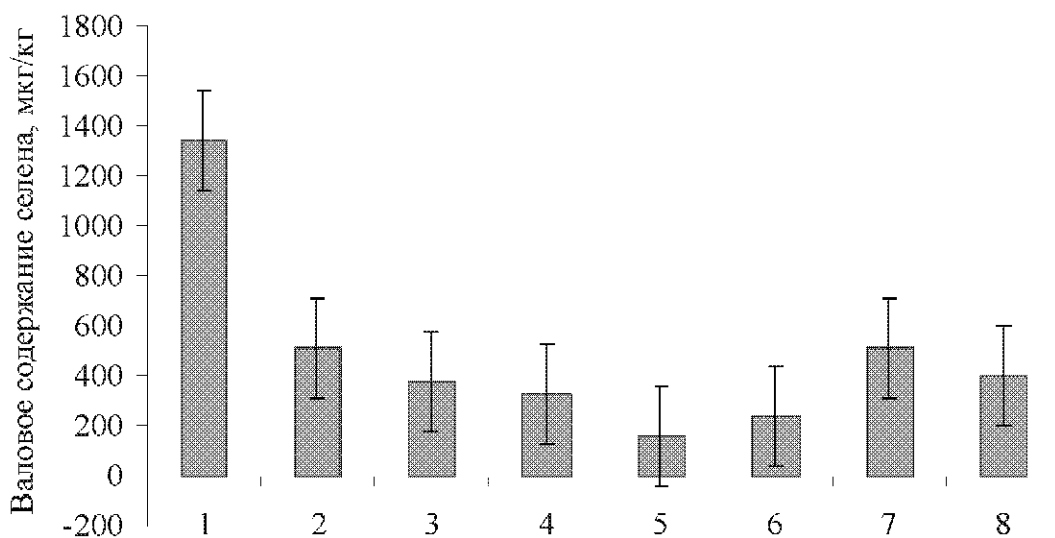


Рис. 1. Содержание селена в почве г. Чебоксары и г. Канаш.

Чебоксары: 1 — з-д Керамики (юг); северо-запад: 2 — Волжский залив, 3 — парк Победы; центр: 4 — электро-аппаратный з-д, 5 — гальванический цех; 6 — Агрегатный з-д (северо-восток); 7 — пригород; 8 — Канаш (ж/д станция).

ет до 330 мкг/кг. На северо-востоке города вблизи агрегатного завода содержание селена невысоко – около 250 мкг/кг. В то же время на северо-западе на берегу Волги, а также в пригороде (экологически относительно чистые районы) уровень селена достигает 500 мкг/кг. Валовое содержание селена в почве далеко не всегда отражает уровень аккумуляции микроэлемента растениями. Более показательны в этом отношении данные накопления в почве растворимых в воде форм селена, известных своей высокой биодоступностью для растений. Для всех исследованных образцов почв Чувашии содержание растворимых в воде форм селена было не велико и не превышало 32,1%. Интересно отметить, что вблизи керамического завода концентрация микроэлемента в почве имеет высокое значение (более 1000 мкг/кг) что хорошо согласуется с известными данными предпочтительного аккумуляции микроэлемента глинами (Ермаков, 1999).

Результаты исследования содержания селена в продуктах питания Чувашии свидетельствуют о существовании по крайней мере трех факторов влияния на селеновый статус населения: невысокого уровня микроэлемента в зерновых республики, наличия небольшой доли импортируемого зерна с относительно высоким содержанием селена и возможным применении селен содержащих премиксов в птицеводстве.

Действительно, данные накопления селена в горохе, гречихе, ржи, ячмене, пшене, овсе и пшенице, выращенных на территории Чувашии, составляют интервал от 14,4 до 128 мкг/кг (табл. 1). Показательно, что регион характеризуется низким уровнем на-

копления микроэлемента зерном ржи, сравнимом с величиной аккумуляции этой зерновой культуры в селен дефицитной Псковской области (11,7 мкг/кг). Однако найденные значения были все же выше, чем в условиях критического недостатка микроэлемента в почве. Так, ранее в Ленинградской области и странах Балтии мы отмечали концентрации селена во ржи менее 6 мкг/кг (Голубкина, 2002).

Другим примером низкого накопления селена в условиях Чувашии может служить гречиха, концентрация микроэлемента в которой оказалась в 5 раз ниже величин, характерных для гречихи, используемой на Южном Урале (Голубкина и др., 1994).

Известно, что пшеница в зависимости от условий произрастания может накапливать селен в количествах от 2–3 мкг/кг (эндемические районы глубокого дефицита микроэлемента, например, Читинская область) (Aro et al., 1994) до 600–700 мкг/кг (районы высокого поступления селена из почвы: США, Канада) (Голубкина, 2002). В Чувашии местное зерно пшеницы характеризуется невысоким содержанием селена, в ряде случаев ниже (до 61,5 мкг/кг), чем средние значения по России (90–120 мкг/кг). Однако наблюдаемые значения не достигают критически низких показателей, характерных для биогеохимических провинций (Aro et al, 1994). Результаты, таким образом, указывают на отсутствие условий глубокого дефицита микроэлемента в зерновых республики, что для населения имеет решающее значение, поскольку основная доля потребляемого селена в России приходится на зерновые (около 50 %) (Голубкина, 2002).

Исследование продуктов переработки пшеницы, в частности, макаронных изделий выявило существенно более широкий интервал концентраций селена по сравнению с данными для пшеницы (см. табл. 1) и указывало на частичное использование в республике импортируемой пшеницы с относительно высоким содержанием микроэлемента. Меньшее влияние импорт оказывал на уровень микроэлемента в белом хлебе. Данные, представленные в таблице 1, показывают, что концентрация селена в этом широко используемом продукте в Чувашии в два раза ниже, чем в городах Южного Урала. Аналогичная картина наблюдается и для черного хлеба, подтверждающая неблагоприятные условия обеспеченности селеном населения республики.

Вторым звеном пищевой цепи переноса селена после растений являются сельскохозяйственные животные и птицы. В России с мясными и диетическими продуктами питания в организм человека поступает до 35 % всего количества микроэлемента (Голубкина, 2002). Сравнивая данные о содержании селена в мясных и диетических продуктах Чувашии и Южного Урала, следует отметить сходство показателей, находящихся в интервале концентраций, характерных для регионов с умеренными уровнями переноса селена по пищевой цепи (табл. 2). В то же время содержание селена в куриных яйцах, поступающих в розничную продажу в Чебоксарах, скорее

Таблица 1. Сравнительные данные содержания селена (мкг/кг) в зерновых Чувашии и Южного Урала.

Наименование	n	Чувашия	Урал (Голубкина, Хотимченко, 1994)
		M±SD (интервал концентраций)	
Геркулес	1	105	50,4
Гречка	2	62,5–64,0	335
Рис	2	52,4–135	131
Пшено	2	90,4–92,6	–
Макаронные изделия	9	146 ±83 (41,5–272)	–
Горих	1	40	–
Рис	1	135	131
Пшеница	3	94,2±27,2 (61,5–128)	164,6±85,1 (100–387)
Овес	5	96,1±5,7 (89,5–102)	129
Ячмень	5	86,4±4,6 (81,8–90,4)	–
Рожь	4	14,4±2,1 (11,7–18,3)	–
Хлеб белый	10	167±20 (114–235)	345±171 (105–535)
Хлеб черный	5	139±34 (90–174)	262±103 (133–448)

Таблица 2. Сравнительные данные содержания селена в некоторых продуктах Чувашии и Южного Урала.

Наименование	Содержание селена, мкг/кг				
	Чувашия			Южный Урал (Голубкина, Хотимченко, 1994)	
	M±SD	n	Интервал концентраций	M±SD	Интервал концентраций
Творог	129	1	–	126	–
Молоко сухое	101±11	3	88–115	86±23	52–146
Яйца: белок	266±44	10	209–312	102±20	76–139
желток	422±53	10	344–478	202±24	148–238
Сыр	199	2	145–253	157	–
Колбаса: вареная	211±27	3	178–244	110±53	60,5–237
копченая	110±12	5	98–122	62±5	55,7–69,5
Ветчина	175	1	–	205	–
Говядина	97 (сырая) 325 (вар.)	1 1	– –	165±29	76,4–227
Свинина	153	2	142–164	129±6	96,6–225

соответствует показателям, характерным при использовании в птицеводстве селен содержащих премиксов, и почти в 2 раза превышает соответствующий показатель, характерный для Южного Урала.

Многочисленные исследования в разных регионах мира показывают, что как пресноводная, так и морская рыба наименее подвержена воздействию специфическим различиям в содержании селена в почве (Combs, 1997). Действительно, приведенные на рисунке 2 данные свидетельствуют об относительно высоких концентрациях микроэлемента как в рыбе р. Волги, так и реках других регионов России, например, Южного Урала, республики Коми, Брянской области. С другой стороны нельзя не отметить, что при наличии относительно высоких уровней микроэлемента среди указанных регионов именно в Чувашии рыба содержит более низкое содержание селена (рис. 2).

Результаты мониторинга содержания селена в почве и продуктах питания, приведенные выше, не дают оснований считать Чувашию регионом с выраженным селеновым дефицитом. Однако, окончательная оценка возможна лишь при проведении эпидемиологических исследований.

Данные обследования доноров крови городов Чебоксары и Новочебоксарск в целом оказались в полном соответствии с результатами исследования содержания селена в продуктах питания республики. Действительно, согласно выше приведенным данным, единственным различием в поступлении микроэлемента в организм человека в условиях Чувашии и Южного Урала является использование в последнем регионе импортируемой муки с высоким содержанием селена, в то время как в Чувашии преобладает местное зерно. Соответственно с этим

среднее зарегистрированное содержание селена в сыворотке крови жителей Чебоксар составило  $83 \pm 12$  мкг/л ( $n=20$ ) по сравнению с  $100-103$  мкг/л для жителей Южного Урала (Golubkina, Alfthan, 1999). Показательно, что селеновый статус обследованных в Чебоксарах практически не отличался от установленного для доноров крови экологически неблагополучного г. Новочебоксарска ( $86 \pm 14$  мкг/л,  $n=20$ ). Вопрос влияния загрязнения окружающей среды на селеновый статус населения в настоящее время представляется весьма сложным. Так, работами Скальной, Скального (Скальная и др., 2001) выявлено снижение уровня микроэлемента в волосах жителей Южного Урала, в то время как данные наших исследований свидетельствуют об относительном благополучии указанного региона по показателю накопления селена в сыворотке крови жителей Урала (Golubkina, Alfthan, 1999). Исследования, проведенные нами ранее в Сызрани и на Южном Урале, позволяют утверждать, что каждое промышленное производство имеет специфическое воздействие на уровень аккумуляции селена сывороткой крови и может в одних случаях снижать (производство пластмасс, серной кислоты), а в других увеличивать (машиностроительные предприятия) этот показатель. Производство удобрений в Новочебоксарске, по нашим данным, не оказывает влияния на уровень селена в сыворотке крови жителей. В связи с этим становится очевидным, что оценку обеспеченности селеном населения промышленных регионов и в особенности работников разных предприятий следует проводить комплексно, используя несколько показателей, таких как содержание селена в сыворотке крови, эритроцитах, моче, волосах, ногтях.

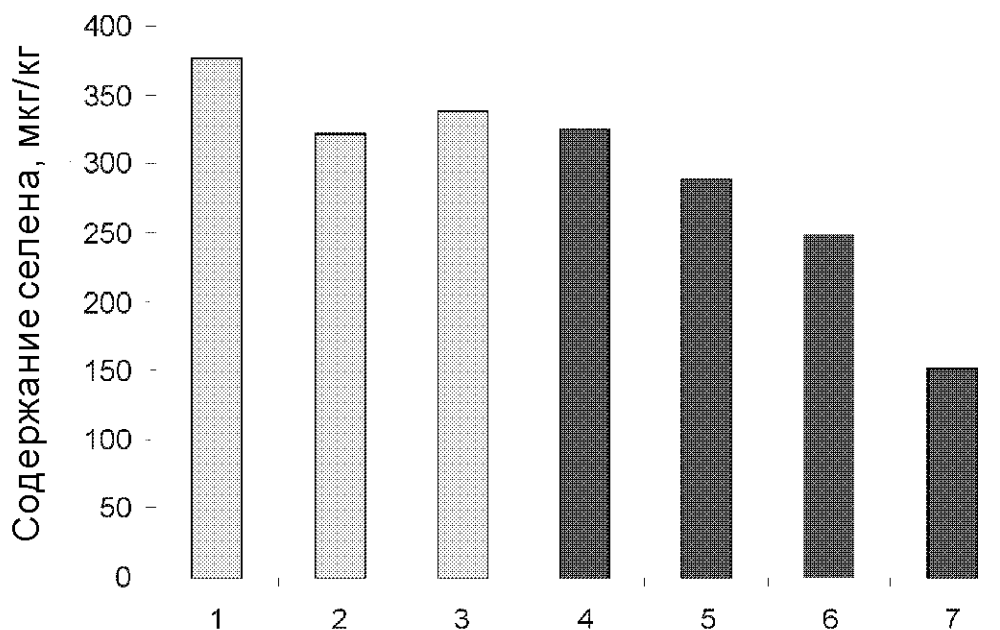


Рис. 2. Сравнительные данные содержания селена в рыбе Чувашии и некоторых других регионов России. 1 — республика Коми, 2 — Брянская обл., 3 — Южный Урал; Чувашия: 4 — плотва, 5 — белоглазка, 6 — окунь, 7 — чухонь.

Полученные в настоящей работе данные показывают, что при наличии относительно низкого уровня поступления селена из почвы в растения дефицит селена среди населения Чувашии невелик и по показателю содержания микроэлемента в сыворотке доноров крови оценивается всего в 28,3–30,8% относительно оптимального уровня концентрации 115–120 мкг/л сыворотки крови, соответствующего максимальной активности селен зависимой глутатионпероксидазы тромбоцитов (Levander et al., 1983). Как и для большинства других обследованных ранее регионов России (Golubkina, Alfthan, 1999). Причиной отсутствия выраженного дефицита, по-видимому, служит импорт продуктов питания, определяющий относительно высокое поступление микроэлемента с диетой.

Авторы выражают благодарность д-ру Дж. Алфтану (Национальный институт здравоохранения, Хельсинки) за предоставление образцов сравнения.

### Литература

Гаврилов Л.А., Гаврилов Н.С. 1991. Биология продолжительности жизни. М.: Наука. С.78–89.  
 Голубкина Н.А. 1998. Влияние геохимического фактора на накопление селена зерновыми культурами и сельскохозяйственными животными в условиях России, стран СНГ и Балтии // Проблемы региональной экологии. № 4. С.94–101.  
 Голубкина Н.А., Хотимченко С.А. 1994. Селен в продуктах питания Уральского экономического района // Ги-

гиена и санитария. Т.7. С.12–14.  
 Ермаков В.В. 1999. Геохимическая экология как следствие системного изучения биосферы // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Т.23. М.: Наука. С.152–182.  
 Скальная М.Г., Скальный В.А., Демидов В.А. 2001. Зависимость повышения онкологических заболеваний от избыточного содержания мышьяка и других токсических химических элементов // Микроэлементы в медицине. Т.2. Вып.1. С.32–35.  
 Сусликов В.Л. 2000. Современные проблемы и перспективы медицинской микроэлементологии // Микроэлементы в медицине. Т.1. С.9–15.  
 Alfthan G. 1984. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta. Vol.165. P.187–194  
 Aro A., Kumpulainen J., Alfthan G. et al. 1994. Factors affecting the selenium intake of people in Transbaikalian Russia // Biol. Trace Elem. Res. Vol.40. P.277–285.  
 Combs G.F. 1997. Selenium in nutrition // Encyclopedia of human biology, ed. R. Dulbecco, 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Acad. Press. Vol.7. P.743–754.  
 Golubkina N.A., Alfthan G. 1999. The human selenium status in 27 regions of Russia // J. Trace Elements Med. Biol. Vol.13. P.15–20.  
 Levander O.A., Alfthan G., Arvilommi H. et al. 1983. Bioavailability of selenium to Finnish men as assessed by platelet glutathione peroxidase activity and other blood parameters // Am. Clin. Nutr. Vol.37. P.887–893.  
 Levander O., Burk R.F. 1998. Selenium // Present knowledge in nutrition / Ziegler E.E., Filer L.J. eds, 7<sup>th</sup> ed. P.320–328.