



МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Медицинская экология / Medical ecology

Обзорная статья / Review article

УДК 574:613:616

DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-107-127

ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕЛЕНОВОГО СТАТУСА НАСЕЛЕНИЯ

¹Надежда А. Голубкина*, ²Анна В. Синдирева, ³Вячеслав Ф. Зайцев

¹Агрохимический испытательный центр
Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и
семеноводства овощных культур, Москва, Россия, segolubkina@rambler.ru

²Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

³Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Резюме. Цель. Оценить причины меж- и внутрирегиональной вариабельности селенового статуса населения. **Обсуждение.** Эссенциальность селена для организма человека определяют приоритетность оценки селенового статуса территорий в большинстве стран мира. В то же время вопросы внутрирегиональной вариабельности показателей обеспеченности часто недооцениваются. Показано, что среди факторов, определяющих селеновый статус населения, наиболее значимыми являются геохимическая характеристика почвы и антропогенное влияние. Отмечается важность морей и океанов, как источников микроэлемента. Приводятся примеры значительных внутрирегиональных вариаций в селеновом статусе населения и отмечается важность комплексного подхода к выявлению экологических рисков, связанных с неадекватным потреблением селена, учитывающих как распределение микроэлемента в почве, так и уровни биоконцентрирования различными видами растений, концентрации селена в природных водах, продуктах питания и биологических тканях и жидкостях человека. Отмечается сложность разработки мер оптимизации селенового статуса территории с высоким геохимическим разнообразием и значительным антропогенным влиянием. **Заключение.** Высокая внутрирегиональная вариабельность показателей селенового статуса населения определяет необходимость комплексного подхода к выявлению экологических рисков, связанных с недостатком или избытком селена в окружающей среде, как в районах с интенсивным использованием местных продуктов питания, так и в крупных промышленных регионах и городах, а также в условиях отдельных специфических производств.

Ключевые слова: селен, селеновый статус, население, внутрирегиональная вариабельность, геохимические и антропогенные факторы влияния.

Формат цитирования: Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрирегиональная вариабельность селенового статуса населения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т.12, N1. С.107-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-107-127

INTERREGIONAL VARIABILITY OF THE HUMAN SELENIUM STATUS

¹Nadezhda A. Golubkina, ²Anna V. Sindireva, ³Vyacheslav F. Zaitsev

¹Agrochemical research center All-Russian Institute of vegetable breeding and
seeds production, Moscow, Russia, segolubkina@rambler.ru

²Omsk state agrarian university, Omsk, Russia

³Astrakhan state technical university, Astrakhan, Russia

Abstract. Aim of the present work was evaluation of factors affecting interregional variability of the human selenium status. **Discussion.** Essentiality of selenium to human beings determines the priority of the selenium status evaluation in different regions of the world. At the same time interregional variability of the human selenium status bi-



omarkers are often underestimated. Among factors affecting the human selenium status geochemical characteristic of soils and anthropogenic influence are proved to be the most significant. The importance of seas and oceans are emphasized as important sources of the element. Examples of great interregional variability of the human selenium status are indicated and the importance of complex approach for evaluation of ecological risks connected with inadequate selenium consumption are emphasized. Such an approach should combine the data of selenium distribution in soils, levels of selenium bio concentration by different plants species, selenium content in water, food products and in human biological fluids and tissues. Difficulties in the human selenium status optimization are shown to be typical in regions with significant geochemical variations and intensive anthropogenic loading. **Conclusions.** High interregional variability of the human selenium status determines the necessity of complex approach in revealing ecological risks connected with selenium deficiency of excess in the environment both in regions with high utilization of local food products and in large industrial regions and towns and also in conditions of separate specific industrial production.

Keywords: the human selenium status, inter regional variability, geochemical and anthropogenic factors.

For citation: Golubkina N.A., Sindireva A.V., Zaitsev V.F. Interigional variability of the human selenium status. *South of Russia: ecology, development*. 2017, vol. 12, no. 1, pp. 107-127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-107-127

ВВЕДЕНИЕ

Высокая биологическая значимость селена и его эссенциальность для организма человека определяют приоритетность оценки селенового статуса территорий в большинстве стран мира [1]. Картирование территорий по уровню обеспеченности селеном населения приобретает все большее значение и является основополагающим в выявлении экологических рисков и разработке эффективных мер оптимизации селенового статуса. Несмотря на значительные успехи в этом направлении вопросы

внутрирегиональной вариабельности исследуемых биомаркеров часто недооцениваются особенно в районах со значительным геохимическим разнообразием и мощной антропогенной нагрузкой.

Целью настоящего обзора явилось установление роли внутрирегиональной вариабельности селенового статуса различных регионов в оценке обеспеченности селеном населения. В работе использовались данные отечественных и зарубежных авторов за период с 1980 г по настоящее время.

ОБСУЖДЕНИЕ

По сравнению с другими регионами земного шара Россия отличается не только огромной территорией, но и значительной вариабельностью геохимических характеристик почвы - основного источника микроэлемента в пищевой цепи почва – растения – животные - человек. Первые крупномасштабные исследования обеспеченности селеном населения России были осуществлены в содружестве Института питания РАМН с Финляндией в 1990-1995 гг. [2]. Функционирование центра Биоэлементологии по оценке элементного состава волос определило возможность получения огромного объема информации уровней накопления микроэлемента волосами жителей значительного количества регионов страны, что дало возможность картирования результатов оценки селенового статуса населения России [3]. По сравнению с традиционным подходом к оценке селенового статуса

населения путем определения концентрации селена в сыворотке крови [4], выбор в качестве объекта исследования волос имеет несомненные преимущества: неинвазивность и возможность оценки долговременного потребления человеком, как селена, так и других микроэлементов. С другой стороны, волосы в качестве объекта исследования за рубежом используются сравнительно редко в связи с необратимой абсорбцией волосами селена из селен обогатенных шампуней, промышленной пыли и селен содержащих аэрозолей [5], отсутствия данных взаимосвязи уровней накопления селена волосами с активностью селеносодержащих ферментов (в частности селенозависимой глутатионпероксидазы), и обратной корреляцией между уровнями накопления селена волосами и потребления метионина, а также преимущественным аккумулярованием органических форм перед неорганическими [6]. Чаще всего в



качестве маркера уровня обеспеченности селеном человека используют показатель активности селенозависимой глутатионпероксидазы [7], максимальное значение которой достигается при концентрации селена в сыворотке/плазме крови около 100 мкг Se/л [8; 9].

По данным эпидемиологических исследований с использованием показателя

содержания микроэлемента в сыворотке крови для России умеренный селенодефицит является достаточно распространенным явлением, имеющим место на всем протяжении страны от востока до запада (рис. 1). Такие территории приурочены в основном к подзолистым, дерново-подзолистым и некоторым болотным почвам [10] (рис. 1).



Рис. 1. Зарегистрированные случаи селенодефицита в России по исследованию уровня селена в сыворотке крови жителей [2]
Fig. 1. Cases of human selenium deficiency in Russia according to mean levels of serum selenium [2]

С другой стороны, в ряде случаев соответствие между полученными результатами [2] и данными содержания селена в волосах [11], а также с установленным характером распределения селенодефицитных зон в стране на основании геохимических характеристик почвы, сопоставлении концентраций селена в растениях, водах и степени распространения беломышечной болезни сельскохозяйственных животных [10] не наблюдалось. Так, для Костромской, Мурманской, Астраханской областей, Норильска отмечалась высокая корреляция показателей содержания селена в сыворотке крови, волосах жителей и в почве [2; 11]. Благодаря высокой взаимосвязи показателей содержания селена в сыворотке крови, волосах жителей и уровню микроэлемента в почве в Астраханской области удалось

выделить зоны экологического риска дефицита селена (в Красноярском и Володарском районах) [12]. Однако по данным картирования [11] территория Астраханской области представляется однородной.

С другой стороны, возможность внутрирегиональных вариаций в уровне обеспеченности селеном населения часто оказывается недооцененной. Так, при общем сравнительно высоком уровне обеспеченности селеном жителей Омской области относительное благополучие выявлено только для южных и центральных районов, в то время как северные районы: Усть-Ишимский, Тарский, Муромцевский отличались существенным понижением обеспеченности селеном населения [13-17] (рис. 2).

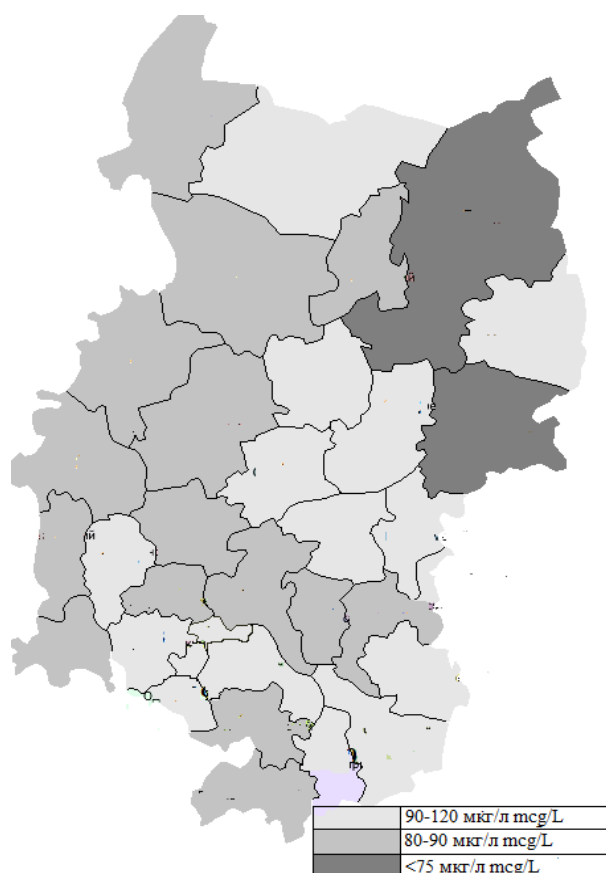


Рис. 2. Картограмма содержания селена в сыворотке крови жителей Омской области

Fig. 2. Cartogram of serum selenium of Omsk region residents

Значительны внутрирегиональные различия в показателе селена сыворотки крови жителей в Новгородской, Московской областей и даже эндемической по селену Читинской области [2]. Средние уровни селена в сыворотке крови жителей разных районов варьируют от 87 до 133 мкг/л в Астраханской области [12], от 73 до 116 мкг/л в Омской области [13-15], от 62 до 117 мкг/л в Хабаровском крае [18], от 62 до 100

мкг/л в Новгородской области от 90 до 135 мкг/л на Сахалине [2] (табл. 1).

Среди многочисленных факторов, определяющих высокую внутри региональную вариабельность селенового статуса населения, лидирующее место занимают геохимическая неоднородность территории и антропогенное воздействие. При этом взаимосвязь этих факторов в каждом конкретном случае часто мало предсказуема.

Таблица 1

Содержание селена в сыворотке крови жителей отдельных регионов России

Table 1

Human serum selenium levels in separate regions of Russia

Регион Region	Число районов Number of districts	Se сыворотки крови M ± SD, мкг/л Serum Se M ± SD, µg/L	CV, %	Интервал концентраций средних значений селена в области Concentration range
Владимирская Vladimir region	13	101.3 ± 2.3	2.3	94 – 110
Вологодская	10	100.2 ± 3.3	3.3	94 – 105



Vologda region				
Челябинская Chelyabinsk region	11	101 ± 4	4.0	95 – 106
Башкортостан Bashkortostan	7	90.4 ± 5.3	5.9	84 – 98
Карелия Karelia	6	90.2 ± 6.0	6.7	84 – 101
Костромская Kostroma region	7	79.6 ± 6.4	8.0	72 – 92
Астраханская Astrakhan region	11	104±9	8.6	87-133
Омская Omsk region	32	92.0 ± 8.0	8.7	73 – 116
Калужская Kaluga region	8	105 ± 9.1	8.7	94 – 126
Мурманская Murmansk region	9	102.4 ± 9.4	9.2	86 – 123
Новгородская Novgorod region	16	82.5 ± 9.2	11.2	62 – 100
Дагестан Dagestan	9	82.6 ± 10.2	12.3	76 – 102
Хабаровский край Khabarovsk land	12	90.0 ± 14.0	15.6	69 – 117
Московская Moscow region	7	115 ± 33	28.7	85 – 202

Влияние характера почвы

Наиболее характерным примером выраженного влияния геохимической неоднородности на селеновый статус населения является положение в провинции Енши Китая, где случаи глубокого селенодефицита и выраженных селенозов установлены в населенных пунктах, расположенных на расстоянии не более 20 км друг от друга [19].

Значимые вариации в уровнях селена в почве, укосах и поверхностных и грунтовых водах выявлены Коробовой в Брянской области [20] при интервалах наблюдаемых концентраций микроэлемента в почве от 70 до 510 мкг/кг, укосах – 21-100 мкг/кг, питьевой воде – 5-4400 нг/л. Данные эпидемиологических исследований этого региона не располагают столь подробными грациями по районам и относят Брянскую область в целом к зонам умеренного селенодефицита [2; 3]. Значительная внутри региональная вариабельность в содержании селена в почвах отмечена в Красноярском, Хабаровском краях, Челябинской, Амурской областях, Карелии, Тувы [21].

Установление особенностей распределения селена в почве, несомненно, имеет основополагающее значение в

разработке программы оптимизации селенового статуса того или другого региона, поскольку дает информацию о потенциальных возможностях оптимизации уровня обеспеченности населения микроэлементом за счет местных продуктов питания. Известно, что на величину биодоступности селена почвы влияет pH, окислительно-восстановительный потенциал, текстура и элементный состав почвы, химическая форма присутствующего селена, наличие конкурирующих элементов. Наиболее распространенными природными неорганическими формами селена являются селенат и селенит. При этом более устойчивой формой является селенит, существенно легче абсорбирующийся на частицах почвы, чем селенат, особенно при низких pH и легко образующий нерастворимые комплексы с окислами железа и алюминия. Такая особенность селенитов по сравнению с селенатами делает их менее доступными для растений, определяет большую эффективность биофортификации растений селенатом [22] и сравнительно высокую потенциальную возможность повышения селенового статуса населения путем увеличения уровня биодоступности микроэлемента почвы. Так,



оценка содержания селена в почве, воде, продуктах питания и волосах жителей отдельных деревень провинции Личуань Китая выявила при сравнительно одинаковом низком содержании микроэлемента в почве существование более низких pH почвы в населенных пунктах с проявлением болезни Кешана, что позволило решить проблему селено дефицита путем известкования почвы [23].

Активная адсорбция селена частицами глины и органическим веществом также снижают биодоступность микроэлемента для растений.

Другие формы неорганического селена (элементарный селен и селениды) присутствуют в почве предпочтительно в восстановительных условиях, а также в почве, богатой органическим веществом, связывающим до 50% присутствующего в почве микроэлемента. Установлено, что внесение селената в почву, богатую органическим веществом, в 10 раз менее эффективно, чем те же дозы элемента, внесенные в минеральную почву [24]. Показано также, что выделенный из органического вещества почвы селенометионин в 2-4 раза более доступен для растений, чем селенит, и более доступен, чем селеноцистеин. Биодоступность восстановленных форм селена (Se^0 , Se^{-2}) в значительной степени определяется микробиологической активностью почвы, способствующей протеканию окислительно-восстановительных реакций.

Из других факторов, влияющих на биодоступность селена почвы, следует отметить конкурирующее действие сульфатов, проявляющих ингибирующий эффект на аккумуляцию селената растениями в большей степени, чем селенитов. Напротив, внесение фосфатов в почву, как правило, повышает биодоступность микроэлемента (в частности селенитов) путем вытеснения последних из природных комплексов, хотя более интенсивный рост растений в условиях использования фосфорных удобрений может и снижать уровень селена в продукции благодаря биологическому разбавлению.

Выбор стратегии оптимизации селенового статуса населения в конечном счете определяется уровнем неоднородности геохимического окружения. Так, в Финляндии,

характеризующейся сравнительно сходными геохимическими условиями на всей территории страны с низкими уровнями селена в почве с подстилающими породами гранита и гнейса, низким pH и высоким содержанием железа высоко эффективным оказалось повсеместное использование NPK удобрений, содержащих селенат натрия [25]. В других странах со значительными вариациями геохимических условий (например, в Великобритании) оптимизация селенового статуса населения требует тщательного исследования распределения и уровней биодоступности селена в почве, влияние внесения селен содержащих удобрений на уровни аккумуляции растениями, сельскохозяйственными животными и человеком.

Обособленность исследований содержания селена и других микроэлементов в почвах на сегодняшний день не дает возможности выявления специфики и корреляционных взаимосвязей между элементами и не позволяет реально оценить потенциальные возможности повышения коэффициента биологического накопления селена в системе почва-растение. Принято считать, что селен в почве представлен тремя фракциями: водорастворимой, абсорбированной и химически связанной. Только первые две считаются биодоступными для растений. Для России фракционирование селена почвы практически не проводится в связи со сложностью осуществления анализа. Но даже и валовое содержание селена в почвах установлено лишь для некоторых регионов, таких как Омской, Оренбургской, Астраханской, Московской, Брянской областей [10; 12-15; 20; 26; 27].

Селен в растениях

Геохимический фактор влияния на селеновый статус населения, как правило, оценивается или по содержанию в почве водорастворимых форм селена, или по уровню аккумуляции в сельскохозяйственных культурах. Первый показатель, однако, не всегда отражает истинное поступление селена в биогеохимическую пищевую цепь ввиду множественности различных факторов влияния. Более показательны, несомненно, уровни аккумуляции селена растениями и в первую очередь зерновыми - как основными источниками селена для человека. Так в исследовании эндемических



по селену провинций Китая наблюдали прямую взаимосвязь уровня накопления селена волосами жителей с содержанием микроэлемента в зерне и отсутствием аналогичной взаимосвязи с концентрацией селена в почве [28]. Высокая прямая корреляция между содержанием селена в сыворотке крови жителей и уровнем накопления селена пшеницей была выявлена и в условиях России [17]. Исследованиями Fordyce [22] территорий в Китае, расположенных в районе селеноза, было установлено, что у населения даже одной

деревни уровни обеспеченности варьировали от низких до токсичных, что определялось местом выращивания сельскохозяйственных культур и интенсивностью практики внесения в почву золы от сжигания местного угля, содержащего высокие концентрации селена.

Данные вариабельности содержания селена в пшенице России свидетельствует о важности индивидуального подхода к решению проблемы селенодефицита для каждого региона в отдельности (табл. 2).

Таблица 2
Уровни производства зерна пшеницы и аккумуляирования селена зерном в разных регионах России

Table 2

Production levels of wheat and grain accumulation of selenium in different regions of Russia

Регион / Region	N	Содержание Se, мкг/кг Se content, µg/Kg		CV, %	Производство зерна, 2001 г. тыс. тонн Grain production, 2001, thousand tonns
		M±SD	Интервал конц-ций Concentra- tion range		
Выраженный селеновый дефицит / Distinct selenium deficiency					
Читинская обл [29] Chita region	4	10±26	1-36	260	221.7
Бурятия / Buryatia	9	53±13	31-78	24.5	138.8
Калининградская обл Kaliningrad region	8	70±23	51-104	32.9	64.9
Костромская обл Kostroma region	4	71±5	64-76	7	13.4
Значительные межрайонные вариации / Significant inter-regional variations					
Удмуртия / Udmurtya	6	75±23	51-110	30.7	108.5
Кировская обл. Kirov region	5	88±20	65-119	28.9	1464
Новгородская обл Novgorod region	5	90±18	62-112	20	19
Чувашия / Chuvashia	5	94.2±27.2	62-128	28	1393
Орловская обл Orel region	8	102±39	85-158	38.2	578.4
Воронежская обл Voroneg region	9	105±33	98-121	31.4	649.1
Саратовская обл Saratov region	3	111±24	90-144	31.6	1213.2
Волгоградская обл. Volgograd region	20	113±23.4	78-163	20.7	415.2
Курганская обл Kurgan region	6	128±30	93-190	23.4	1129.6
Приморский край Primorsky land	9	142±46	85-213	32.4	29.5
Ульяновская обл Ulyanovsk region	9	157*	91-880	150	46.2



Умеренные вариации / Moderate variations					
Тверская обл / Tver region	5	84±13.3	70-104	15.8	9.6
Челябинская обл Chelyabinsk region	2	86±16.5	65 – 107	19.2	935.8
Брянская обл Bryansk region	9	88±10.7	77-100	12.2	107.5
Алтайский край Altay land	9	89±13	71-113	14.6	3.0
Башкортостан Bashkortostan	3	89±16	86-112	18	1077.1
Рязанская обл Ryazan region	11	90±10	74-110	11	357.2
Нижегородская обл Nygny Novgorod region	8	91± 10	76-104	11	266.4
Владимирская обл Vladimir region	8	96±11.7	79-109	12.2	41.3
Мордовия / Mordovia	4	97±9	86-108	9.3	189.7
Ярославская обл Yaroslavl region	6	98±18	77-128	18.4	11.4
Оренбургская обл Orenburg region	7	99±9	70-124	9.1	1556.3
Московская обл Moscow region	8	100±9	85-125	9	69.6
Республика Адыгея Adygea republic	9	102±12	88-119	12	173.8
Омская обл / Omsk region	3	105±12	88-115	11.4	1147.7
Курская обл / Kursk region	2	106±14	91-120	14.2	701.0
Ставропольский край* Stavropol land*	6	113±11	97-131	9.7	2300.7
Калмыкия / Kalmykia	5	114±15.5	94-135	13.6	102.2
Новосибирская обл Novosibirsk region	4	121±16	96-140	13.7	1227.7
Самарская обл Samara region	3	121±22.1	92-139	18.3	788.7
Белгородская обл Belgorod region	4	124±20	117-157	16.1	632.8
Красноярский край Krasnoyarsk land	8	125±23	98-180	18.4	1012.5
Тамбовская обл Tambov region	8	126±20	118-163	15.9	576.5
Краснодарский край Krasnodar land	4	131±20	107-155	15.3	4229.8
Пензенская обл Penza region	4	241±23	208-271	9.5	452.7
Низкие межрайонные вариации / Low inter-regional variations					
Иркутская обл Irkutsk region	3	84±5	78-90	6	472.4
Ивановская обл Ivanovo region	5	87±3	85-92	3.4	15.8
Карелия / Karelia	2	90±7	83-97	7.8	-
Тува / Tuva	3	98±5	91-103	5.1	11.5
Тульская обл / Tula region	9	99±8	76-129	8	290.5
Екатеринбургская обл Ekaterinburg region	5	99±5.5	93-107	5.6	270.5
Калужская обл	7	100±9	85-114	8	29.5



Kaluga region					
Татарстан / Tatarstan	11	100±7	93-113	7	853.2
Ростовская обл Rostov region	7	115±10	103-134	8.7	1403.0
Кемеровская обл Kemerovo region	5	146±9	129-153	6.2	290.5
Астраханская обл. Astrakhan region	1	185	-	5	2.0
Тюменская обл Tumen region	2	195.5±8.5	187-204	4.3	640.3

Обращают внимание высокие коэффициенты вариации показателей накопления микроэлемента в зерне Удмуртии, Кировской, Читинской, Новгородской, Орловской, Воронежской, Саратовской, Волгоградской, Курганской, Ульяновской областей и Приморском крае (табл. 2). При этом в пшенице Ульяновской области зарегистрировано рекордно высокое содержание селена - 880 мкг/кг [2]. Умеренные вариации (от 10 до 20%) установлены в 34 регионах страны. Принимая во внимание прямую корреляцию между селеном пшеницы и уровнем обеспеченности селеном населения [17], представляется очевидным возможность существования значительного влияния вариаций в геохимическом окружении в указанных регионах на селеновый статус населения, что подтверждается, в частности, данными для Новгородской области.

С другой стороны, видовые различия растений в способности аккумулировать селен могут оказаться решающими в оптимизации селенового статуса территории. Так переход от выращивания белого клевера к производству некоторых видов местных трав в Новой Зеландии дал возможность значительно улучшить обеспеченность селеном сельскохозяйственных животных [30].

Хорошо известна практика фиторемедиации почв, загрязненных селеном. В этом отношении предпочтение отдается растениям-аккумуляторам селена, устойчивым к высоким концентрациям микроэлемента и характеризующимся быстрым ростом и значительной биомассой. В этом отношении индийская горчица (*Brassica juncea*) представляется идеальным растением для фиторемедиации селена благодаря способности накапливать высокие концентрации микроэлемента, большой скоростью роста и большой биомассе [31].

Атмосферные переносы селена

Образование летучих соединений селена микроорганизмами почвы, растениями и фитопланктоном, а также атмосферный перенос аэрозолей, содержащих частицы соединений селена, могут вносить существенный вклад в становлении селенового статуса территорий [32].

Биогенный уровень выброса селена наземными экосистемами в атмосферу оценивается в настоящее время в 1200 т селена в год, 180 т в год приходится на ветровую эрозию поверхности Земли и вулканическую деятельность, и около 550 т в год - на перенос частичек морской соли [33]. От 33 до 82% атмосферной составляющей селенового пула атмосферы абсорбируется листьями растений. Такая абсорбция, безусловно, является видоспецифической и может проявляться в более высоком селеновом статусе населения в южных регионах, прилегающих к морям и океанам. В Северных регионах такие процессы менее выражены, однако, видоспецифичность растений на воздействие атмосферной составляющей селена сохраняется. Так, на территории Куршской косы Калининградской области из 24 видов обследованных растений только облепиха проявляла выраженные высокие селенаккумулярующие свойства, отсутствующие в условиях средней полосы России [34]. При этом уровень обеспеченности селеном населения области соответствовал сравнительно низкому содержанию микроэлемента в сыворотке крови - 75 мкг/л. Напротив, в условиях Камчатки со значительным влиянием океана и вулканической деятельности уровень обеспеченности селеном населения оказался одним из наиболее высоких среди регионов России [2]. В этом случае возможное



влияние на селеновый статус населения может проявляться как в повышенных уровнях потребления микроэлемента с местными продуктами питания, включая морепродукты, так и в абсорбции микроэлемента через дыхательные пути и кожу.

Доказано, что океаны составляют важный природный источник селена не только в отношении морепродуктов, богатых селеном, но также и благодаря образованию фитопланктоном летучих селенидов и ветрового переноса брызг и аэрозолей морской воды. Биогенная миграция селена из морской воды в атмосферу достигает 5000-8000 т в год [33] и особенно интенсивна в период весеннего размножения фитопланктона.

Предполагают, что основной химической формой селена атмосферы является диметилселенид, атмосферная пыль от вулканов и ветровой эрозии поверхности земли и суспендированная морская соль из океанов составляют важные источники атмосферного селена [33]. Предполагают, что с частицами пыли селен может переноситься на несколько тысяч км прежде чем элемент возвращается на поверхность земли как в виде жидких, так и твердых осадков. Жидкие осадки составляют ориентировочно 5610 т селена/год. Так в Англии показано, что дожди, снег обеспечивают до 76-93% всех осадков с 70% селена в виде растворимых форм. Вблизи промышленных источников (например, промышленная эмиссия) накопление селена в атмосфере может достигать 33-82% от уровня усвоения селена листьями растений [35].

Антропогенные факторы влияния

Большинство исследований влияния антропогенных факторов на селеновый статус населения посвящены избыточному поступлению селена в окружающую среду в результате работы промышленных предприятий, что вполне оправдано, поскольку антропогенные выбросы микроэлемента в 2-5 раз превышают естественные уровни пере-

носа селена из морей и океанов, поверхности Земли и с атмосферой (рис. 3).

Интенсивное промышленное использование соединений селена определяет возможность значимых выбросов микроэлемента в металлургии и машиностроении, выплавке металлов, сжигании природного топлива, с пестицидами, фосфорными удобрениями, навозом и осадками сточных вод [24]. Установленные средние уровни селена в осадках сточных вод составляют 1-17 мг/кг, навозе - 2,4 мг/кг, фосфорных удобрениях 0,08-25 мг/кг. Избыточное локальное поступление селена в окружающую среду может быть связано с широким промышленным использованием соединений микроэлемента: в производстве сплавов и металлургии, полупроводников и солнечных батарей, фотографических эмульсий, использования в копировальном деле, в качестве добавок к топливу, производстве цветного стекла, эмалей, красок, чернил, резины и текстиля, а также фунгицидов и пестицидов и шампуней против перхоти. К этому следует прибавить использование микроэлемента в производстве БАД, детских молочных смесей, в качестве премиксов в корм сельскохозяйственным животным и птице.

С другой стороны, следует отметить, что при всем многообразии локальных выбросов микроэлемента случаи селеновых токсикозов среди населения встречаются сравнительно редко. По-видимому, антропогенные факторы чаще всего способны лишь повысить или снизить влияние геохимических особенностей места проживания. При этом значимые изменения селенового статуса населения могут определять, как внутри-региональные различия, так и различия в селеновом статусе отдельных групп населения в пределах одного населенного пункта. Характерным примером может служить двукратное различие в концентрации селена в сыворотке крови лиц, занятых производством красок, и рабочих механического завода г.Долгопрудный Московской области (рис. 4).

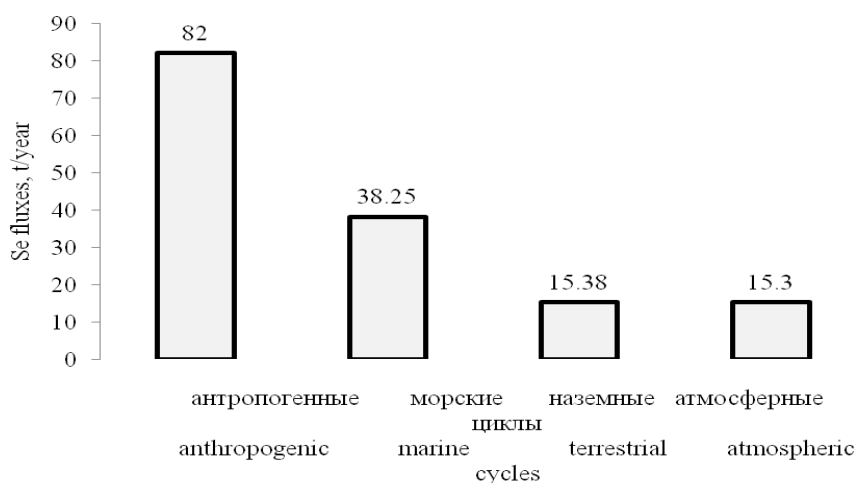


Рис. 3. Природные и антропогенные потоки селена в окружающей среде [35]
Fig. 3. Natural and anthropogenic selenium sources in the environment [35]

Не менее показательным представляются вариации селенового статуса жителей г.Сызрани (табл. 3), где уровни селена в сыворотке крови жителей варьируют от 73 до 126 мкг/л в зависимости от района проживания и участия в промышленном производстве.

Особенно сложной представляется ситуация в крупных агропромышленных реги-

онах. Примером тому могут служить показатели селенового статуса 35 районов Оренбургской области. При коэффициентах вариации в уровнях селена в почве (32,7%), говядине (22,5%), пшенице (9,1%) и воде (32%) между этими показателями корреляционных взаимосвязей не наблюдалось (рис. 5) [26; 27; 36].

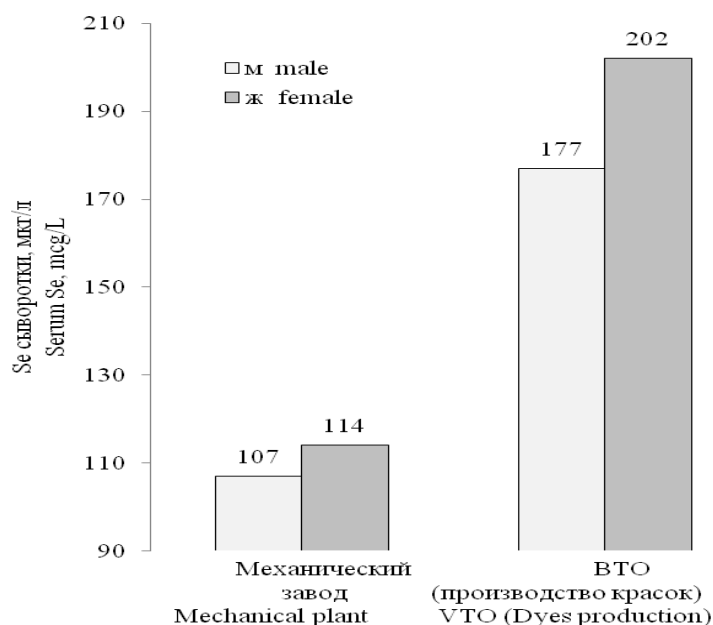


Рис. 4. Влияние специфики промышленного производства на селеновый статус рабочих (г.Долгопрудный)
Fig. 4. Effect of industrial production peculiarities on the human selenium status (Dolgoprudny town)



Таблица 3

Селеновый статус жителей г. Сызрани

Table 3

The human selenium status in Syzran

Район города, завод District of the town, plant	N	(M ±SD)	Интервал концентраций Concentration range	% лиц с Se < 115 мкг/л % of persons with Se < 115 µg/L
Юго-запад города South-Western district	20	114 ± 15	91 – 128	45.0
Центр города Central district	15	100 ± 12	82 – 118	80.0
Нефтеперерабатывающий завод Oil refining plant	16	109 ± 14,6	82 – 126	62.5
Завод Пластик Plastic production plant	20	72.6 ± 17.0	57.4 – 99	100
Завод тяжелого машиностроения Heavy engineering plant	15	125.6 ± 27.8	82.5 – 317	13.3
Среднее M±SD The average M ± SD		104.2 ± 14.4	114-126	51.9
CV, %		13.8	72.6-125.6	

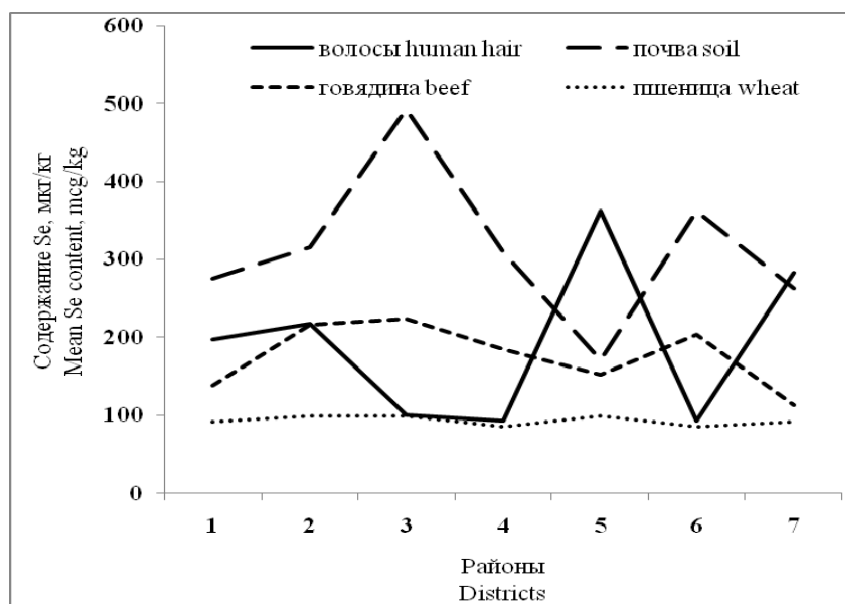


Рис. 5. Данные содержания селена в волосах жителей отдельных регионов Оренбургской области, пшенице, говядине и почве [12].

Районы: 1- Беляевский, 2-Оренбургский, 3-Октябрьский, 4- Илекский, 5-Переволочкий, 6-Сакмарский, 7-Соль-Илецкий

Fig. 5. Human hair, wheat, beef and soil selenium in several districts of Orenburg region [12]. Districts: 1-Belyaevsky, 2-Orenburgsky, 3-Octyabrsky, 4-Ilecsky, 5-Perevolotsky, 6-Sakmarsky, 7-Sol-Iletsy

Частично эти результаты указывают на недостаточную выборку материала и высокую вероятность использования в области смешанного зерна, произведенного в разных районах. С другой стороны, очевидным

представляется многочисленность природных и антропогенных факторов, способных влиять на селеновый статус региона. По данным И.И. Быстрых и др. [37] для почв Оренбургской области коэффициент вариации



ции валового содержания по всем металлам составляет 30%. Выявлены превышения ПДК по Pb, V, Zn, S, Mn, Cu, Cd, В. При этом восточная часть области характеризуется преобладанием в почвах Cu, Zn, Mn, Co, S, Ni, В, Be. В центральной части области отмечены минимальные уровни Co и Ni и максимальные Pb. Западная зона отличается минимальным уровнем Zn и S. Важнейшие места добычи и переработки полезных ископаемых Оренбургской области включают добычу медно-колчеданных руд в Гайском районе и выплавку меди в Медногорске, добычу руды и производство медного и цинкового концентратов в г. Орске, производство ферроникеля на Буруктальском никелевом заводе, добычу асбеста в г. Ясный, каменной соли в Соль-Илецке, бурого угля в

п.Тюльган, добычу и переработку нефти в северо-западных районах.

Отсутствие корреляционных взаимосвязей на рис. 5 представляются особенно показательными: содержание селена в волосах населения 7 районов Оренбургской области не коррелирует ни с одним из показателей селенового статуса территории, что предполагает необходимость использования нескольких методов оценки обеспеченности населения микроэлементом. Наблюдаемое явление представляется особенно показательным в связи с тем, что для значительного числа регионов России установлена прямая взаимосвязь между содержанием селена в используемой говядине и сыворотке крови жителей (рис. 6, 7).

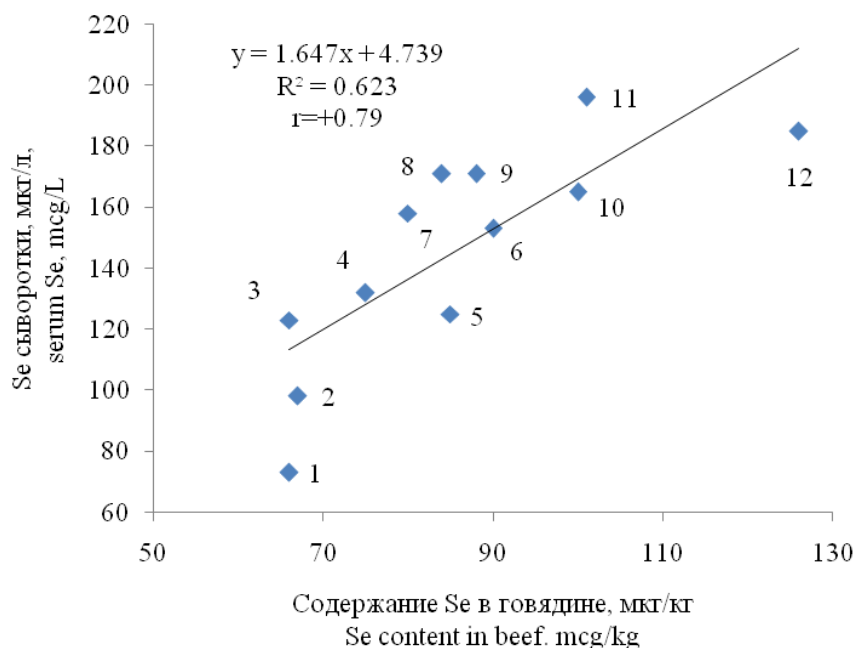


Рис. 6. Взаимосвязь между селеновым статусом населения и уровнем микроэлемента в говядине: 1) Республика Саха, 2) Бурятия, 3) Читинская область, 4) Иркутская область, 5) Чувашия, 6) Карелия, 7) Волгоградская область, 8) Тюменская область, 9) Татарстан, 10) Екатеринбургская область, 11) Московская область, 12) Самарская область

Fig. 6. The relationship between the human selenium status and selenium content in beef: 1) Sakha Republic, 2) Buriatia, 3) Chita region, 4) Irkutsk region, 5) Chuvashia, 6) Karelia, 7) Volgograd region, 8) Tyumen region, 9) Tatarstan, 10) Ekaterinburg region, 11) Moscow region, 12) Samara region

При этом такая взаимосвязь наблюдается как между разными регионами страны

(рис. 6), так и внутри отдельных регионов (рис. 7).

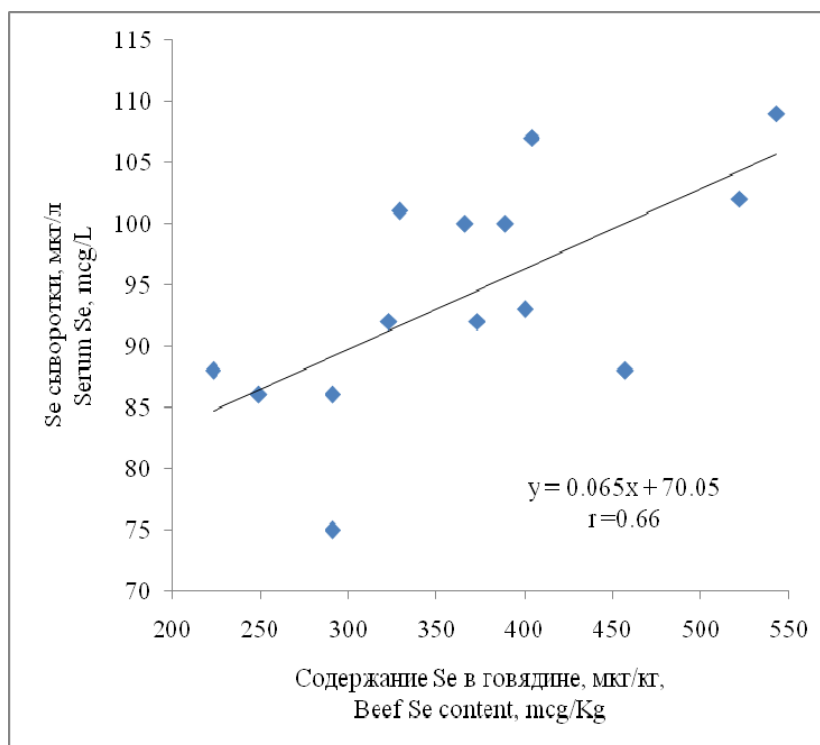


Рис. 7. Взаимосвязь между селеновым статусом населения Омской области и уровнем микроэлемента в говядине
Fig. 7. The relationship between human selenium status in Omsk region and selenium content in beef

Если учитывать такую закономерность, то дефицит селена у населения Оренбургской области следует ожидать в районах, расположенных на юго-западе и центральности части: Ташлинском, Бузулукском, Тюльганском, Матвеевском, Соль-Илецком, Корочинском, Новосергиевском, Первомайском и Тоцком районах.

В этой ситуации необходимы подробные эпидемиологические исследования селенового статуса населения каждого района области и особенно рабочих промышленных предприятий с предпочтением использования в качестве биомаркера содержания селена в сыворотке крови, поскольку в условиях интенсивных промышленных производств возможна высокая адсорбция селена с аэрозолями и промышленной пылью. Только такой подход позволит выделить четкие зоны экологического риска и предложить научно обоснованную программу оптимизации селенового статуса населения.

В Уральском высоко развитом промышленном регионе России средние показатели содержания селена в сыворотке крови жителей в целом не выходят за рамки нормы и лишь в редких случаях свидетельствуют о наличии маргинальной недостаточности микроэлемента в организме жителей (табл. 4). С другой стороны, обращают внимание два факта: проведение обследования населения только отдельных крупных городов и существование определенной доли населения с критически низкими показателями уровня селена в сыворотке крови. Таким образом, в исследовании отсутствует характеристика первых звеньев пищевой цепи переноса селена: почва-растения-животные и оценки роли геохимических условий проживания на становление селенового статуса населения, как крупных городов, так и особенно малых населенных пунктов.



**Показатели селенового статуса жителей промышленных городов Урала
с интенсивно развитой промышленностью**

Таблица 4

Table 4

**Selenium content in human serum for residents of the Urals towns with intensively
developed industry**

Город Town	Промышленность Industry	Se сыворотки, M±SD, мкг/л Serum Se, M±SD, μg/L	CV, %	Интервал концентраций Concentration range
Челябинск Chelyabinsk	Металлообработка, электродный завод Metalworking, electrode plant	101 ± 13	12.9	70-129
Нязепетровск Nyazepetrovsk	горнообогатительный комбинат / Ore processing plant	95 ± 13,5	14.2	56-124
В.Уфалей V.Ufalei	Ni комбинат, металлургия Ni plant, metallurgy	96 ± 16	16.7	73-131
Еманжелинск Emangelinsk	Кирпичный завод Brickyard			57-108
Миасс Miass	Выплавка меди, металлургия, добыча золота Copper smelting, metallurgy, gold mining			74-123
Магнитогорск Magnitogorsk	Черн, цв. металлургия Ferrous and non-ferrous metallurgy	100±15	15.0	75-123
Южноуральск Yughouralsk	Электроника, производство ке- рамики Electronics, ceramics production	104 ± 13	12.5	79-120
Златоуст Zlatoust	Металлургия Metallurgy	105 ± 18	17.1	57-131
Чибаркуль Chebarkul	Металлургия, титановый прокат /Metallurgy, titanium mill	106 ± 18	17.0	66 – 124
Пласт Plast	Гонодобывающая, хим. пром. Mining and chemical industry	106 ± 13	12.3	77-131
Каменск- Уральский Kamensk- Uralsky	Переработка цветных металлов, черная металлургия Processing of non-ferrous metals, ferrous metallurgy	99 ± 9	9.1	70-131
Рыбниково Ribnikovo	Район радиоактивного следа ава- рии на п/о Маяк Radioactive pollution as a result of Mayak accident	86 ± 12	14.0	67-101
Арамил Aramil	Машиностроение. Производство пластмасс Mechanical engineering, plastics production	97 ± 18	18.6	80-112
Н.Тагил N.Tagil	Металлургический комбинат Iron and steel works	99 ± 13	13.3	73-128
Екатеринбург Ekaterinburg	Металлургия, тяжелое машиностроение, производство пластмасс Metallurgy, heavy engineering, plastics production	103 ± 15	14.6	70-126

Выборочные данные свидетельствуют
о снижении селенового статуса жителей в

условиях повышенного оксидантного стрес-
са, вызванного участием в производстве



серной кислоты (г.Первоуральск, рис.8), негативного влияния радиационного облучения в связи с аварией на предприятии Маяк в Челябинске в 1957 г. (п. Рыбниково), а также низким селеновым статусом жителей г.Сибай с отсутствием селенодефицитных почв, но высоким содержанием антагониста селена- меди- в окружающей среде [10]. В

радиационно загрязненных районах Южного Урала (Уральский радиационный след) селеновый статус лиц старше 40 лет достоверно ниже, чем у необлученных, а уровень селена в сыворотке крови жителей загрязненных территорий достоверно ниже, чем в экологически благополучных районах (рис. 9, 10) [38; 39].

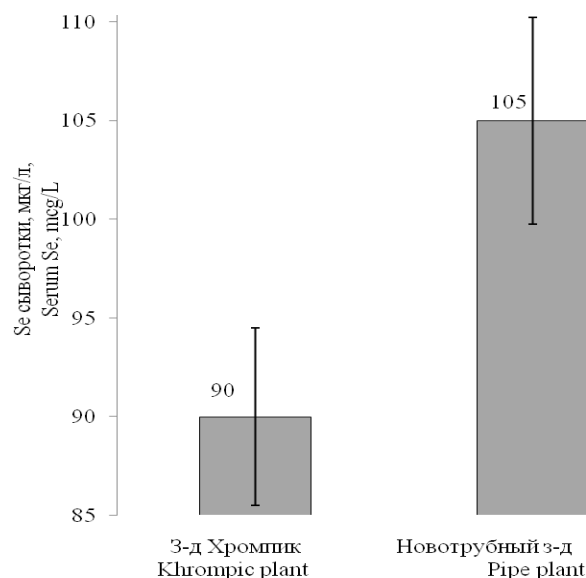


Рис. 8. Уровни Se в сыворотке крови работников завода Хромпик (производство серной кислоты) и Новотрубного завода (Екатеринбургская область) [2]

Fig. 8. The levels of Se in the blood serum of the “Khrompic” factory workers (production sulfuric acid) and Pipe plant (Ekaterinburg region) [2]

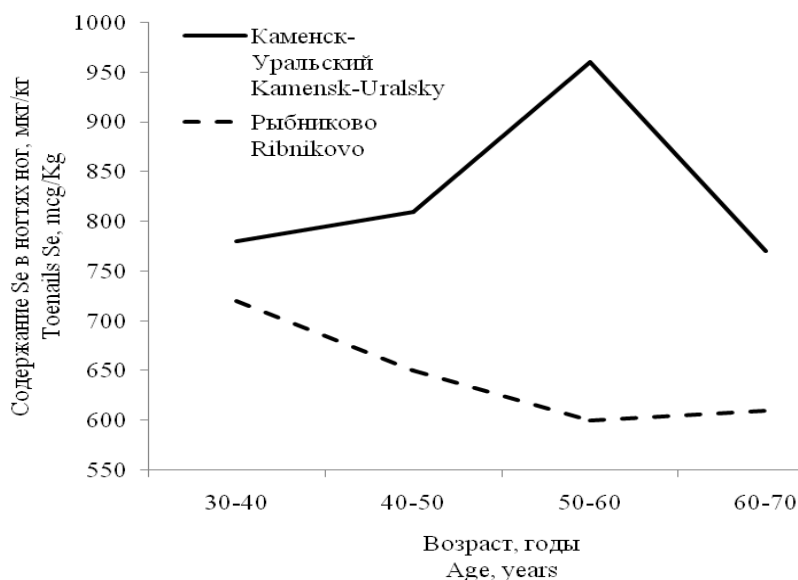


Рис. 9. Содержание селена в ногтях ног жителей Каменск-Уральска (не облученный район) и п.Рыбниково (район «радиационного следа» в результате аварии на ядерном комбинате Маяк в 1957 г.)



Fig. 9. Toenails selenium concentrations in residents of Kamensk-Uralsk (not irradiated district) and Rybnikovo (area of the "radiation footprint" as a result of catastrophe at the nuclear plant Mayak in 1957)

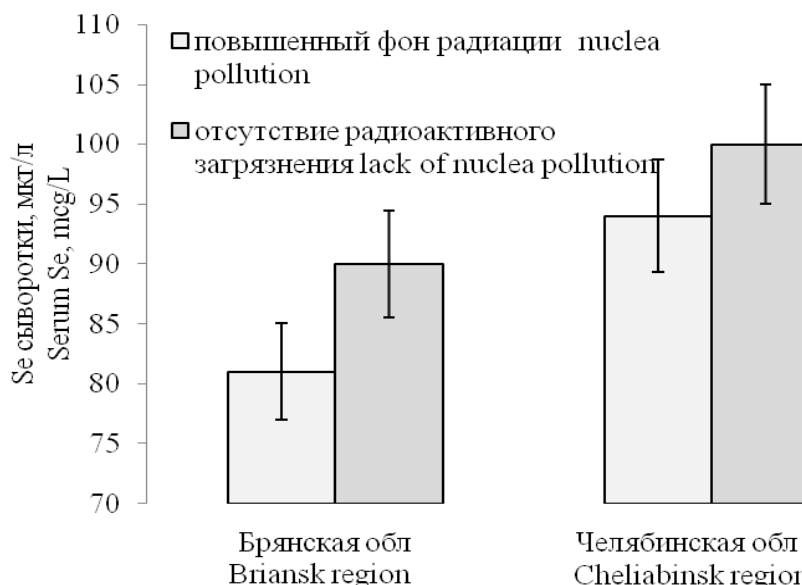


Рис. 10. Содержание селена в сыворотке крови жителей облученных (Клинцы, Брянская область и Рыбниково в Челябинская области) и необлученных (Брянск и Каменск-Уральский) регионов России [2]

Fig. 10. Serum selenium values for residents of nuclea polluted (Klintsy, Bryansk region and Ribnikovo in the Chelyabinsk region) and non-polluted (Bryansk and Kamensk-Uralsky) regions of Russia [2]

Очевидно, что в условиях высоко развитых промышленных производств важным аспектом оптимизации селенового статуса населения является также выявление специфики антропогенного воздействия на уровень обеспеченности жителей микроэлементами.

Такого рода подробные исследования ждут своего осуществления практически во всех регионах России, включая аграрно-промышленные регионы Поволжья, Башкортостане, центрального административного округа России, Европейского Севера, и также актуальны для многих развитых и особенно развивающихся стран. Очевидно,

что значительная геохимическая неоднородность и внутрирегиональная вариабельность в селеновом статусе предполагает необходимость использования нескольких различных подходов к выявлению зон экологического риска и поиска решений оптимизации селенового статуса населения.

Более того, как отмечает Fordyce [22], даже в развитых странах влияние геохимической составляющей в группе факторов, определяющих селеновый статус населения, остается значимым, несмотря на более высокую лабильность населения, широкое использование импортируемых и редкое использование местных продуктов питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, высокая внутрирегиональная вариабельность показателей селенового статуса населения определяет необходимость комплексного подхода к выявлению экологических рисков, связанных с недостатком или избытком селена в окружающей среде, как в районах с интенсивным использованием местных

продуктов питания, так и в крупных промышленных регионах и городах, а также в условиях отдельных специфических производств. Такие исследования должны включать, с одной стороны, характеристику не одного, а всех звеньев пищевой цепи переноса микроэлемента (почва-растения-животные-человек). С другой стороны, со-



вершенно очевидна острая необходимость осуществления эпидемиологических исследований работников крупных промышленных предприятий, детальное изучение селенового статуса сравнительно небольших населенных пунктов и групп населения со

специфической диетой (вегетарианцы, сыроеды и т.п.). На сегодняшний день оптимизация селенового статуса населения признана основополагающей в снижении рисков возникновения и развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Oldfield J.E. Selenium World Atlas. Selenium-Tellurium Development Association N.Y. 1999. 59 p.
2. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. Москва: Печатный город, 2006. 254 с.
3. Скальный А.В., Киселев М.Ф. Элементный статус населения России. Санкт-Петербург: Медкнига "ЭЛ-БИ-СПб". 2010. 416 с.
4. Stoffaneller R., Morse N.L. A review of dietary selenium intake and selenium status in Europe and the Middle East. *Nutrients*. 2015. vol. 7, pp. 1494-1537. DOI: 10.3390/nu7031494
5. Combs G.F. Biomarkers of selenium status. *Nutrients*. 2015. vol. 7, pp. 2209-2236. DOI: 10.3390/nu7042209
6. Salbe A.D., Levander O.A. Effect of various dietary factors on the deposition of selenium in the hair and nails of rats. *Journal of Nutrition*. 1990. vol. 120(2), pp. 200-206.
7. Elsom R., Sanderson P., Hesketh J.E., Jackson M.J., Fairweather-Tait S.J., Akesson B., Handy J., Arthur J.R. Functional markers of selenium status: UK Food Standards Agency Workshop report // *British Journal of Nutrition*. 2006. vol. 96, pp. 980-984.
8. Duffield A.H., Thomson C.D., Hill K.E., Williams An estimation of selenium requirements for New Zealanders // *American Journal of Clinical Nutrition*. 1999. vol. 70, pp. 896-903.
9. Alfthan G., Aro A., Arvilommi H. Selenium metabolism and platelet glutathione peroxidase activity in healthy Finnish men: effects of selenium yeast, selenite and selenite // *American Journal of Clinical Nutrition*. 1991. vol. 53, pp. 120-125.
10. Ермаков В.В. Биогеохимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека // *Вестник отделения наук о земле РАН*. 2004. Т. 22, N1. С. 1-17.
11. Скальный А.В., Сальникова Е.В., Кудрявцева Е.А., Кустова А.С. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области // *Микроэлементы в медицине*. 2012. Т. 13, вып. 4. С. 42-45.
12. Свечникова А.А., Голубкина Н.А., Мелякина Э.И. Обеспеченность селеном жителей Астраханской области // *Вопросы питания*. 2010. Т. 79, N 2. С. 78-80.
13. Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайко О.А., Алфтан Г. Селеновый статус Омской области // *Сибирский экологический журнал*. 2012. N 3. С. 389-396.
14. Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Зайко О.А. Селеновый статус населения Омской области // *Медицинская наука и образование Урала*. 2009. N 2. С. 66-69.
15. Синдирева А.В., Голубкина Н.А. Оценка селенового статуса территории Омской области // *Омский научный вестник*. 2011. N1 (104). С. 192-196.
16. Александровская Е.Ю., Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Чуянова Г.И., Серебренникова А.А. Влияние селена на урожайность и показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. N 1 (21). С. 98-104.
17. Golubkina N.A., Alfthan G. The human selenium status in 27 regions of Russia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 1999. vol. 13, iss. 1-2, pp. 15-20. DOI:10.1016/S0946-672X(99)80018-2
18. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ковальский Ю.Г., Сиротина З.В., Искренко Г.В., Бельды Д.С. Обеспеченность селеном жителей Хабаровского края // *Дальневосточный медицинский журнал*. 2009. N 1. С. 82-84.
19. Yang G., Wang S., Zhou R., Sun S. Endemic selenium intoxication of humans in China // *American Journal of Clinical Nutrition*. 1983. vol. 37, pp. 872-881.
20. Коробова Е.М., Березкин В.Ю., Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д. Оценка содержания селена в водах питьевого назначения, почвах и укосах пастбищных трав Брянской области // *Материалы VII Биогеохимической школы «Фундаментальные и инновационные аспекты биогеохимии, Москва, 2011. С. 54-57.*
21. Ермаков В.В., Воронцова О.В. Биогеохимия селена в почвах // *Материалы VI-XII биогеохимических чтения памяти В.В. Ковальского. М.-ГЕОХИ. 2010. С.268-287.*
22. Fordyce F.M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. *Essentials of Medical Geology*. 2012, pp. 375-416. DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_16
23. Fordyce F.M. Zhang G., Green K., Liu X. Soil, grain and water chemistry and human selenium imbalance in Enshi District, Hubei province, China // *Applied Geochemistry*. 2000. vol. 15, iss. 1, pp. 117-132.
24. Neal R.H. Selenium in Heavy metals in soils (DJ Alloway ed) Blackie Academic and Professional, London. 1995, pp. 260-283.
25. Aspila P. The history of selenium supplemented fertilization in Finland // *Proc. Twenty years of selenium*



- fertilization. 2005. 8-9 Sept., Helsinki, ed. M. Eurola, pp. 8-13.
26. Бурцева Т.И., Голубкина Н.А., Мирошников С.А., Скальный А.В. Содержание селена в мясе животных и птицы, произведенных на территории Оренбургской области // Вопросы питания. 1998. Т.8. С. 2-5.
27. Бурцева Т.И., Голубкина Н.А., Мирошников С.А. Содержание селена в хлебе Оренбургской области // Вопросы питания. 2009. Т.78, N4. С. 47-50.
28. Tan J. (ed), The atlas of endemic diseases and their environments in the people's republic of China. Science Press, Beijing 1989. 193 p.
29. Aro A., Kumpulainen J. Factors affecting the selenium intake of people in Transbaikalian Russia // Biology and Trace Elements Research. 1994. vol. 40, pp. 277-285.
30. Davies E.B., Watkinson J.H. Uptake of native and applied selenium by pasture species // New Zealand Agricultural Research. 1966. vol. 9, pp. 317-324.
31. Banuelos G.S., Meek D.W. Accumulation of selenium in plants grown on selenium-treated soil // *Journal of Environmental Quality*. 1990. vol. 19, pp. 772-777. doi:10.2134/jeq1990.00472425001900040023x
32. Guo-Xin Sun, Meharg A.A., Li G., Chen Z., Yang L., Chen S-C., Zhu Y-G. [Distribution of soil selenium in China is potentially controlled by deposition and volatilization?]. *Scientific reports*, 2016. no. 6, Article number 20953. DOI 10.1038/scep20953 Available at: www.nature.com/scientificreports/. (accessed 10.09.2016)
33. Nriagu J.O. Occurrence and distribution of selenium, CRC Press. Boca Raton, FL, 1989. 214 p.
34. Голубкина Н.А. Селеновый статус Калининградской области // Микроэлементы в медицине. 2016. N4. С. 43-45.
35. Haygarth P.M. Global importance and cycling of selenium // Selenium in the environment (WT Frabkenberger, S Benson eds)-Marcel-Dekker, New York. 1994, pp. 1-28.
36. Голубкина Н.А., Бурцева Т.И., Гаценко А.Ю. Показатели качества питьевой воды Оренбургской области // Гигиена и санитария. 2011. N 1. С. 70-74.
37. Быстрых И.И., Перепелкин С.В., Кузьмин С.А., Тиньков А.Н., Осиян С.А. Биоэлементы в почвах Оренбуржья // Вестник ОГУ. 2004. N4. С. 19-20.
38. Голубкина Н.А., Хотимченко С.А. Селен в продуктах питания Уральского экономического района // Гигиена и санитария. 1994. Т.7. С.12-14.
39. Голубкина Н.А. Потребление селена жителями Брянской области в районах радиоактивного заражения // Вопросы питания. 1994. N4. С. 3-5.

REFERENCES

1. Oldfield J.E. Selenium World Atlas. Selenium-Tellurium Development Association N.Y. 1999. 59 p.
2. Golubkina N.A., Papazyan T.T. *Selen v pitanii. Rasteniya, zhivotnye, chelovek* [Selenium in Nutrition. Plants, animals, human beings]. Moscow, Pechatny Gorod Publ., 2006. 254 p. (In Russian)
3. Skalny A.V., Kiselev M.F. *Elementnyi status naseleleniya Rossii* [The human selenium status in Russia]. St. Petersburg, Medkniga "ELBI-SPT" Publ., 2010 (In Russian) 416 pp.
4. Stoffaneller R., Morse N.L. A review of dietary selenium intake and selenium status in Europe and the Middle East. *Nutrients*. 2015. vol. 7, pp. 1494-1537. DOI: 10.3390/nu7031494
5. Combs G.F. Biomarkers of selenium status. *Nutrients*. 2015. vol. 7, pp. 2209-2236. DOI: 10.3390/nu7042209
6. Salbe A.D., Levander O.A. Effect of various dietary factors on the deposition of selenium in the hair and nails of rats. *Journal of Nutrition*. 1990. vol. 120(2), pp. 200-206.
7. Elsom R., Sanderson P., Hesketh J.E., Jackson M.J., Fairweather-Tait S.J., Akesson B., Handy J., Arthur J.R. Functional markers of selenium status: UK Food Standards Agency Workshop report. *British Journal of Nutrition*. 2006. vol. 96, pp. 980-984.
8. Duffield A.H., Thomson C.D., Hill K.E., Williams An estimation of selenium requirements for New Zealanders. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1999. vol. 70, pp. 896-903.
9. Alfthan G., Aro A., Arvilommi H. Selenium metabolism and platelet glutathione peroxidase activity in healthy Finnish men: effects of selenium yeast, selenite and selenite. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1991.vol. 53, pp. 120-125.
10. Ermakov V.V. Biogeochemistry of selenium and its significance in prophylactics of endemic human diseases. *Vestnik otdeleniya nauk o zemle RAN [Vestnik of Earth science RAS]*. 2004. Vol. 22, no. 1, pp. 1-17. (In Russian)
11. Skalny A.V., Salnikova E.V., Kudriavtseva E.A., Kustova A.S. Accumulation of heavy metals and trace elements in hair of Orenburg population. *Mikroelementy v meditsine [Trace Elements in Medicine]*. 2012. Vol. 13, no. 4. pp. 42-45. (In Russian)
12. Svechnikova A.A., Golubkina N.A., Meliakina E.I. The human selenium status of Astrakhan region. *Voprosy pitaniya [Voprosy pinanya]*. 2010. Vol. 79, no. 2, pp. 78-80. (In Russian)
13. Golubkina N.A., Sindireva A.V., Zaiko O.A., Alfthan G. Selenium status of Omsk region. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal [Siberian ecological journal]*. 2012. no. 3, pp. 389-396. (In Russian)
14. Sindireva A.V., Golubkina N.A., Zaiko O.A. The human selenium status in Omsk region. *Meditinskaya nauka i obrazovanie Urala [Medical science and education of the Ural]*. 2009. no. 2, pp. 66-69. (In Russian)



15. Sindireva A.V., Golubkina N.A. Evaluation of selenium status of the territory of Omsk region. *Omskii nauchnyi vestnik* [Omsk Scientific Bulletin]. 2011. no. 1 (104), pp. 192-196. (In Russian)
16. Alexandrovskaya E.Yu., Sindireva A.V., Golubkina N.A., Chuyanov G.I., Serebrennikova A.A. Effect of selenium on yield of soft spring wheat and indicators of grain quality in the southern forest-steppe conditions of the Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Omsk State Agrarian University]. 2016. no. 1 (21), pp. 98-104. (In Russian)
17. Golubkina N.A., Alfthan G. The human selenium status in 27 regions of Russia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 1999. vol. 13, iss. 1-2, pp. 15-20. DOI:10.1016/S0946-672X(99)80018-2
18. Senkevich O.A., Golubkina N.A., Kovalsky Yu.G., Sirotina Z.V., Iskrenok G.V., Beldy D.S. The human selenium status in Khabarovsk land. *Dal'nevostochnyi meditsinskii zhurnal* [Far-Eastern medical journal]. 2009. no. 1, pp. 82-84. (In Russian)
19. Yang G., Wang S., Zhou R., Sun S. Endemic selenium intoxication of humans in China. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1983. vol. 37, pp. 872-881.
20. Korobova E.M., Berezkin V.Yu., Danilova V.N., Khushvakhtova S.D. Otsenka soderzhaniya selena v vodakh pit'evogo naznacheniya, pochvakh i ukosakh pastbishchnykh trav Bryanskoi oblasti [Evaluation of selenium content in drinking water, soil and fodder plants in Bryansk region]. *Materialy VII Biogeokhicheskoi shkoly «Fundamental'nye i innovatsionnye aspekty biogeokhicheskoi shkoly»*, Moskva, 2011 [Proceedings of the VII biogeochemical school «Fundamental and innovational aspects of biogeochemistry», Moscow, 2011]. Moscow, 2011, pp. 54-57 (In Russian)
21. Ermakov V.V., Vorontsova O.V. Biogeokhimiya selena v pochvakh [Biogeochemistry of selenium in soils]. *Materialy VI-XII biogeokhicheskikh chteniya pamyati V.V. Koval'skogo*, Moskva, 2010 [Proceedings of the VI-XII VV Kovalsky Biogeochemical readings, Moscow, 2010]. Moscow, Institute of geochemistry and analytical chemistry Publ., 2010, pp. 268-287. (In Russian)
22. Fordyce F.M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. *Essentials of Medical Geology*. 2012, pp. 375-416. DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_16
23. Fordyce F.M., Zhang G., Green K., Liu X. Soil, grain and water chemistry and human selenium imbalance in Enshi District, Hubei province, China. *Applied Geochemistry*. 2000. vol. 15, iss. 1, pp. 117-132.
24. Neal R.H. Selenium in Heavy metals in soils (DJ Alloway ed) Blackie Academic and Professional, London. 1995, pp. 260-283.
25. Aspila P. The history of selenium supplemented fertilization in Finland. *Proc. Twenty years of selenium fertilization*. 2005. 8-9 Sept., Helsinki, ed. M. Eurola, pp. 8-13.
26. Burtseva T.I., Golubkina N.A., Miroshnikov S.A., Salny A.V. Selenium content in poultry and meat of domestic animals of Orenburg region. *Voprosy pitanya* [Problems of nutrition]. 1998. vol. 8, pp. 2-5. (In Russian)
27. Burtseva T.I., Golubkina N.A., Miroshnikov S.A. Selenium content in bread of Orenburg region. *Voprosy pitanya* [Problems of nutrition]. 2009. vol. 78, no. 4, pp. 47-50. (In Russian)
28. Tan J. (ed), The atlas of endemic diseases and their environments in the people's republic of China. Science Press, Beijing 1989. 193 p.
29. Aro A., Kumpulainen J. Factors affecting the selenium intake of people in Transbaikalian Russia. *Biology and Trace Elements Research*. 1994. vol. 40, pp. 277-285.
30. Davies E.B., Watkinson J.H. Uptake of native and applied selenium by pasture species. *New Zealand Agricultural Research*. 1966. vol. 9, pp. 317-324.
31. Banuelos G.S., Meek D.W. Accumulation of selenium in plants grown on selenium-treated soil. *Journal of Environmental Quality*. 1990. vol. 19, pp. 772-777. doi:10.2134/jeq1990.00472425001900040023x
32. Guo-Xin Sun, Meharg A.A., Li G., Chen Z., Yang L., Chen S.-C., Zhu Y.-G. [Distribution of soil selenium in China is potentially controlled by deposition and volatilization?]. *Scientific reports*, 2016. no. 6, Article number 20953. DOI 10.1038/srep20953 Available at: www.nature.com/scientificreports/. (accessed 10.09.2016)
33. Nriagu J.O. Occurrence and distribution of selenium, CRC Press. Boca Raton, FL, 1989. 214 p.
34. Golubkina N.A. Selenium status of Kaliningrad region. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2016. no. 4, pp. 43-45. (In Russian)
35. Haygarth P.M. Global importance and cycling of selenium. *Selenium in the environment* (WT Frabkenberger, S Benson eds)-Marcel-Dekker, New York. 1994, pp. 1-28.
36. Golubkina N.A., Burtseva T.I., Gatsenko A.Yu. Water quality parameters in Orenburg region. *Gigiena i Sanitariia* [Hygiene and sanitary]. 2011. no. 1, pp. 70-74. (In Russian)
37. Bistrikh I.I., Perepelkin S.V., Kuzmin S.A., Tinkov A.N., Osian S.A. Microelements in soils of Orenburg region. *Vestnik of OGU* [Vestnik of OSU]. 2004. no. 4, pp. 19-20. (In Russian)
38. Golubkina N.A., Khotimchenko S.A. Selenium in food products of the Ural economical region. *Gigiena i Sanitariia* [Hygiene and sanitary]. 1994. vol. 7, pp. 12-14. (In Russian)
39. Golubkina N.A. Selenium consumption by residents of Bryansk region in regions of nuclear contamination. *Voprosy pitanya* [Problems of nutrition]. 1994. no. 4, pp. 3-5. (In Russian)



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Надежда А. Голубкина* - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Агрохимический испытательный центр Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур, Россия, Московская обл, Одинцовский район, 143080 пос. ВНИИССОК, Селекционная 14. E-mail: segolubkina@rambler.ru

Анна В. Синдирева - доктор биологических наук, профессор, Омский государственный аграрный университет, г. Омск, Россия. Тел.: 8-908-800-78-49; e-mail sindireva72@mail.ru

Вячеслав Ф. Зайцев - доктор сельскохозяйственных наук, Заслуженный деятель науки, профессор, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия.

E-mail: viacheslav-zaitsev@yandex.ru

Критерии авторства

Надежда А. Голубкина - сформулировала концепцию статьи, провела многолетние исследования, представленные в статье, провела обзор современных данных по заявленной теме. Анна В. Синдирева, Вячеслав Ф. Зайцев – проведение ряда исследований, оформление статьи. Надежда А. Голубкина, Анна В. Синдирева, Вячеслав Ф. Зайцев несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2016

Принята в печать 19.12.2016

AUTHORS INFORMATION

Affiliations

Nadezhda A. Golubkina* - Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, Agrochemical research center, All-Russian Research Institute of Vegetable breeding and-Seeds production, Moscow region, Russia. E-mail: segolubkina@rambler.ru

Anna V. Sindireva - Doctor of Biological Sciences, Professor, Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia. 8-908-800-78-49; e-mail sindireva72@mail.ru

Vyacheslav F. Zaitsev - Doctor of Agricultural Sciences, Honored Scientist of Russia, Professor, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia. E-mail: viacheslav-zaitsev@yandex.ru

Contribution

Nadezhda A. Golubkina - formulated the concept of the article, combined the results of long-term research results, presented in the paper and reviewed contemporary data on the subject. Anna V. Sindireva, Vyacheslav F. Zaitsev - the research design of the article. Nadezhda A. Golubkina, Anna V. Sindireva, Vyacheslav F. Zaitsev - are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.11.2016

Accepted for publication 19.12.2016