

ПРОБЛЕМА СЕЛЕНА И ЕЕ РЕШЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

**Общие контуры программы исследований проблемы селена в системе Географической сети опытов и Государственной агрохимслужбы
(Сообщение 2)**

***В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, Т.А. Яковлева, ВНИИА, В.И. Панасин, ЦАС «Калининградский»,
А.С. Бусыгин, ЦАС «Кировский»***

Обсуждены состояние исследований по проблеме селена в нашей стране и целесообразность выполнения их в хорошо структурированных системах Географической сети опытов и Государственной агрохимической службы. В условиях острого селенодефицита в агроэкосистемах обогащение селеном продуктов питания для человека и растительных кормов для животных посредством применения селеновых удобрений становится все более актуальным.

Ключевые слова: проблема селена, селенодефицит, селеновый статус, мониторинг, полевые опыты, селеновые удобрения, продуктивность, здоровье людей и животных.

Основная цель исследований – осуществить сплошной мониторинг (М 1: 10000 или 1:25000) содержания подвижных форм селена в почвах всех регионов России и разработать научное нормирование применения селеновых удобрений под основные сельскохозяйственные культуры на преобладающих типах и подтипах почв путем постановки и проведения полевых опытов.

Результаты мониторинга могут быть использованы для разработки картосхемы (картограммы) региона, с выделением селенодефицитных, нормальных и селеноизбыточных территорий. Такая картосхема нужна для научно обоснованного регулирования селенового статуса конкретных территорий. Например, имеющиеся в настоящее время факты направления потоков продовольствия не учитывают уровни селенового статуса регионов и не способствуют решению проблемы [2]. Сопряженные исследования по оценке содержания селена в сельскохозяйственных объектах, пищевых продуктах, в сыворотке крови людей и мясе животных позволят обеспечить научно обоснованный подход и основные пути к трансрегиональному обмену основными продуктами питания сельскохозяйственного производства, выявить территории не только с низким селеновым статусом, но и с избыточным содержанием селена в экосистемах.

Многие исследователи считают, что оценка микроэлементного статуса является хотя и сложным, но необходимым мероприятием, позволяющим адекватно оценить ситуацию и сделать выбор тех или иных путей ее улучшения [2, 9-11, 13]. В настоящее время в почвах и растениях определяется широкий спектр (порядка 25-30 показателей) химического состава почв и растений, включая микроэлементы. Положительный опыт освоения методов анализа почв и растений на содержание в них селена уже имеется у центра агрохимической службы «Нижегородский». Более того, в нашей стране накоплен определенный опыт оценки селенового статуса территорий как на региональном [11-13] уровне, так и на уровне страны [4]. Известно, что наиболее достоверные результаты достигаются при комплексном анализе геохимических, биологических (почва, растение) и медицинских факторов. Так, на основании общих региональных закономерностей биогеохимии селена, сопоставлений концентраций селена в растениях, водах и степени распространения беломышечной болезни сельскохозяйственных животных В.В.Ермаковым (1999) [4] сделана попытка составления картосхемы экологического статуса России (рис.). Он использовал балльную оценку территорий: 4-8 баллов – резкий дефицит селена, >8-12 – дефицит, >12-20 – норма, >20 баллов – повышенное

содержание. На картосхеме обозначены территории как с дефицитом, так и с нормальным статусом селена, но она, по признанию самого автора, носит ориентировочный характер из-за недостатка аналитических данных по отдельным регионам и субрегионам биосферы. Тем не менее, автор особо подчеркивает, что наиболее неблагоприятный селенодефицитный статус присущ ряду областей Центрального Нечерноземья (Брянская, Ленинградская, Ярославская, Кировская обл.), ряду республик Поволжья, некоторым районам Предбайкалья, Забайкалья и Дальнего Востока. Районов с повышенным содержанием селена в растениях и почвах очень мало (локальные участки Красноярского края, Адыгеи, Камчатки, Курил, Тувы). Особо выделено, что селеновый статус в пределах административных единиц может быть весьма пестрым. В пределах относительно нормальных по уровню селена территорий могут встречаться участки с очень низким или даже повышенным содержанием селена в биогеохимических пищевых цепях.

Подобная ситуация характерна для Красноярского края, Челябинской области, Хабаровского края, Карелии, Тувы, Забайкальского края, Омской и Амурской областей и других регионов [1, 6, 8 и др.]. Сравнение предложенного экологического статуса отдельных районов России с оценкой территорий по уровню содержания селена в сыворотке крови человека, волосам покрове или ногтях, проведенного Н.А. Голубкиной с сотр. [2, 3, 15, 16], показало в ряде случаев совпадение результатов.

Исследователи [4] обращают внимание также на зависимость статуса селена от техногенного загрязнения природных комплексов. Так, в Южно-Уральском субрегионе биосферы селенодефицитные патологии встречаются в районах, где уровень содержания селена в пастбищных растениях нормальный (180-250 мкг/кг) или слегка повышен (250-400 мкг/кг). Учитывая повышенные концентрации в кормах меди и ряда других металлов, В.В.Ермаков предполагает влияние в данном районе конкурирующих свойств избытка тяжелых металлов на метаболизм селена, возможно в результате взаимодействия селеносодержащих белков и пептидов с металлами. При этом ряд факторов (интенсивное применение фосфорных удобрений, загрязнение тяжелыми металлами, синтетическими окислителями, недостаток потребления природного белка) могут стать также причиной появления селенодефицита [14, 17].

Особый интерес по определению селенового статуса территорий представляют комплексные агрохимические, биогеохимические и медицинские исследования на региональном уровне. Так, в исследованиях А.В. Синдиревой (2012) [12] в Омской области изучались современные вопросы экологической биогеохимии и сопряженные с ними проблемы развития дефицита, избытка и дисбаланса содержания селена и других микроэлементов в объектах окружающей среды и пути их решения. Предложены различные подходы к экологическому нормированию содержания и действия селена и других микроэлементов в трофических цепях. Исследованиями выявлено, что преобладающие типы почв области по валовому содержанию селена располагаются в следующий ряд: чернозем>лугово-

черноземная>серая лесная>подзолистая. Установлена корреляционная взаимосвязь валовых и подвижных форм селена на уровне 0,66, а содержание подвижного селена от валового колебалось в пределах 10,0-16,0 %. Выявлено также, что на подвижность селена в почвах влияют кислотность почв (рН), сумма поглощенных оснований, взаимодействие с макро- и микроэлементами, гранулометрический состав почв и погодные условия. Кроме того, установлено, что содержание селена в растениях меняется в зависимости от типа почв, на которых они произрастают, их видовой принадлежности, антагонизма и синергизма ионов при поступлении в растение и внутри самого растения. Содержание Se в растениях Омской области оценивается как близкое к дефициту (30-170 мкг/кг, $K_n = 0,07-0,77$). А.В. Синдирева [11, 12] установила,

что для лугово-черноземных почв области ПДК селена для растений составляет 3 мг/кг (3000 мкг/кг) и ПСЭ (предельное содержание элемента) в почве – 5,4 мг/кг для овса и 24,8 мг/кг для пшеницы. Но главное состоит в том, что в Омской области агрохимические исследования проводили совместно с медицинской службой региона. Оценка отдельных звеньев пищевой цепи переноса селена в условиях данной области выявила достаточно широкие вариации по содержанию микроэлемента в почве, в растениях и мясе сельскохозяйственных животных. Также установлено, что между содержанием селена в мясе крупного рогатого скота и его уровнем в сыворотке крови жителей области имеется прямая корреляция.



Рис. Селеновый статус России (Ермаков, 1999):

1-дефицит селена четко выражен; 2 – умеренный недостаток селена в среде; 3 – территория с относительно нормальным статусом селена; 4 – территория с повышенным содержанием селена в растениях и среде; 5 – участки селеновых аномалий и потенциальных биогеохимических гиперпровинций (цифры на карте – административные единицы)

В результате проведенных А.В. Синдиревой исследований в Омской области выделены три географические зоны распределения уровней обеспеченности населения по содержанию селена в сыворотке крови: 1) северо-восточные районы значительного недостатка содержания селена (<75 мкг/л); 2) расположенные на западе районы маргинальной недостаточности со средней концентрацией селена от 80 до 88 мкг/л и 3) территории со сравнительно высокой обеспеченностью селеном (от 89 до 116 мкг/л в сыворотке крови). Такая мозаичность селенового статуса может быть характерна и для других регионов страны (Голубкина, 2008), что следует учесть при постановке и проведении последующих исследований.

На основании краткого анализа обзора проведенных ранее исследований по проблеме селена предлагается следующая программа работ в системах Геосети и агрохимической службы.

Мониторинг содержания селена в почвах и растениях. Наиболее целесообразно эту работу провести в два этапа: *первый этап* – исследования на реперных участках. Известно, что в системе агрохимслужбы функционирует около 2000 реперных участков, т.е. в среднем в каждом регионе примерно 20 участков. Практически в каждом из них в динамике учитывают уровень урожайности культур, изменение плодородия почв по широкому кругу показателей, включая содержание микроэлементов (В, Мо, Zn, Cu, Mn, Со) и тяжелых металлов. Детальный учет применяемых агрохимических средств на полях реперных участков позволяет следить за изменением не только плодородия почв, но и качества растительной продукции с определением ее

элементного химического состава и хозяйственно важных показателей качества урожая (белок, крахмал, сахара, витамины и т.д.). Комплексный анализ полученных данных в каждой почвенно-климатической зоне региона (как правило, 3-4 зоны в каждом регионе) позволит оценить влияние природных, хозяйственных и антропогенных факторов на состояние и динамику элементного состава в почвах и растениях региона. По сути это рекогносцировочный подход, который даст предварительную географическую оценку селенового статуса территорий каждого конкретного региона.

Второй этап – крупномасштабное сплошное обследование почв на содержание в них селена. Агрохимслужба выполняет эти исследования с 1964 г. В регионах проведено до 8-9 и более туров таких обследований, в том числе по содержанию микроэлементов. Работу осуществляют в плановом и заказном порядке и нарушать ее нельзя. При этом специальный отбор проб почв на определение Se проводить нет необходимости: элемент определяют в тех же смешанных образцах почв, отобранных для анализа традиционных микроэлементов. Для оценки уровня содержания селена в почвах могут быть использованы сводные материалы исследований разных авторов и наши предложения (табл.).

Уровни содержания валового селена в почвах, мкг/кг

Автор, год	Дефицит	Маргинальная недостаточность	Оптимум	Избыток
А.В. Синдирева, 2012	<125	125-175	175-3000	>3000
В.В.Ермаков,	-	-	-	>2000

В.В.Ковальский, 1974				
Е.В.Надежкина, В.А.Вихрева, 2013	84-100	130-170	320-350	-
Tan T, Zhu W., Weng W., Li R., Hoa S., Wang D., Yang L., 2000	<125	125-175	175-3000	>3000
В.А.Боев, 2013	-	180-200	200-300	-
Итого (предложено нами)	<100	100-200	200-350	>2000

Проведение полевых опытов с селеновыми удобрениями. Наиболее часто исследователи используют такие виды удобрений как селенит и селенат натрия. При этом единого мнения об эффективности их применения, в том числе и о влиянии на получение дополнительного урожая нет. В перечне исследуемых культур в приоритете должны быть наиболее широко используемые населением и животными: зерновые, кормовые, овощные и зеленные. В опытах целесообразно изучать все три главных способа применения селена: основной (внесение в почву), обработка семян и некорневые подкормки.

На основе анализа ранее проведенных исследований предлагается в качестве примера следующая схема полевых опытов под зерновые культуры (по данной схеме заложен опыт с яровой пшеницей в ЦАС «Кировский»):

Схема полевых опытов

Исследуемые удобрения: селенит натрия (А), селенат натрия (В)

1. Абсолютный контроль (без удобрений).
2. Фон – $N_{120}P_{90}K_{90}$ (меняется с учетом плановой урожайности культуры и содержания основных элементов питания в почвах).

Внесение селена в почву, г/га

А (селенит Na) В (селенат Na)

3. Фон + Se_1A (60 г/га) Se_1B
4. Фон + Se_2A (120 г/га) Se_2B
5. Фон + Se_3A (180 г/га) Se_3B

Некорневые подкормки

6. Фон + Se_1A (0,005%-ный раствор) Se_1B
7. Фон + Se_2A (0,010%-ный раствор) Se_2B
8. Фон + Se_3A (0,020%-ный раствор) Se_3B

Обработка семян

9. Фон + Se_1A (0,005%-ный раствор) Se_1B
10. Фон + Se_2A (0,010%-ный раствор) Se_2B
11. Фон + Se_3A (0,020%-ный раствор) Se_3B

Допускается включение в схему опыта второго фона с более высокой дозой азота. Достаточно интересен факт высокой значимости подкормок Se в различные фазы развития растений, особенно в стадии флагового листа (патент Республики Беларусь – ВУ 13234 С1.2010.06.30). Представляют теоретическую и практическую значимость результаты изучения органических форм селена, обеспечивающих повышение урожая зерна яровой пшеницы (сорта Саратовская 42, Беянка и Прохоровка на 10-30%) при использовании предпосевной обработки семян на выщелоченных черноземах.

Заключение. Селен – биологически активный ультрамикроэлемент, незаменимый для человека и животных. Нет другого элемента, который был бы столь жизненно важен для антиокислительных защитных механизмов живых организмов. Доказано, что когда в организме человека отсутствует селен, то нет и глутатионпероксидазы – мощного антиокислительного фермента.

Имеющиеся экспериментальные данные по применению селеновых удобрений под зеленные, овощные и зерновые культуры, под рис свидетельствуют о влиянии различных способов внесения селеновых удобрений на повышение урожая, улучшение качества продукции и возможности коррекции селенового статуса пищевых продуктов и кормов, а, следовательно, на улучшение здоровья населения и

животных. Однако, многие вопросы ещё достаточно далеки от полного решения. Поэтому предлагается придать исследованиям по проблеме селена общегосударственную значимость и подключить к ним хорошо структурированные и имеющие большой опыт мониторинговых, экспериментальных и аналитических работ такие системы как Географическая сеть опытов и Государственная агрохимическая служба с широкой сетью региональных станций химизации сельского хозяйства. Первоочередное значение имеют мониторинговые исследования содержания селена в целях установления четкого географического содержания селена в почвах, растениях и водоисточниках. Второй важной задачей являются широкое проведение полевых опытов и установление оптимальных видов, доз и способов применения селеновых удобрений.

Литература

1. Баранова Т.А. Гигиеническое и эпидемиологическое обоснование системы профилактики селенодефицитных состояний у населения Омской области. Автореф дисс. ...канд.мед наук.- Омск, 2008.- 26 с.
2. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании: растения, животные, человек. – М.:Печатный городок, 2006. -255 с. 3. Голубкина Н.А., Широков Д.В. Характеристика пищевой цепи переноса селена в условиях Чувашии//Микроэлементы в медицине, 2001. – 5 с. 4. Ермаков В.В. Геохимическая экология как следствие системного изучения биосферы // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии (Тр. Биогеохим. лаб., т.23).- М.: Наука, 1999. – С. 152-183. 5. Ермаков В.В., Воронцова О.В. Биогеохимия селена в почвах//Сб.Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии (2006-2010 гг.). Мат-лы VI-XII биохимических чтений памяти В.В.Ковальского. – М.,2010. – С.268-287. 6. Ключникова Н.Ф., Голубкина Н.А., Сенькевич О.А., Ключников П.Ф. Селен в лекарственных растениях Хабаровского края//Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН,2009. Вып.4. - С.37-40. 7. Назаров В.О., Леонтьев Ю.Г. Роль селеносодержащих биологически активных веществ в повышении качества зерна мягкой яровой пшеницы // Плодородие. – 2012.- №2. – С. 41-43. 8. Перепелкина Л. Селен в почвах Приамурья. ДальГАУ // Кормление, корма и их компоненты. Отраслевой портал WebPricProm.hptt // www.webpticeprom.ru/ru/main.html. 9. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ковальский Ю.Г. Диагностика обеспеченности человека Se и оценка степени его дефицита// Дальневосточный медицинский журнал.- 2011.- №4. – С.78-80. 10. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ковальский Ю.Г. Дефицит Se и заболеваемость населения Дальнего Востока. // Сб. ГБОУ ВПО Дальневост. гос. мед.универс. 2011. – С. 74-79. 11. Синдирева А.В. Экологические и геохимические особенности накопления Se в почве и растениях в условиях Омской области // Вестник Омского государственного аграрного университета.- 2012.- №2(6). – С. 6-10. 12. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное. Автореф дисс. на соискание степени д.б.н. – Тюмень, 2012. – 32 с. 13. Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Зайко О.А. Экологические факторы и селеновый статус населения Омской области//Экономические и экологические проблемы в меняющемся мире// Сб.межд.конфер. – Омск, 2003. – С.411-413. 14. Ermakov V.V. Migration of selenium in the biogeochemical food chain landscapes of Russia//Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology,2008. №2 (6). -P.3-10. 15. Golubkina N.A. Selenium deficiency in Russia problems and decisions / In Current advances in selenium research and application, 2008 – Wagenigen Academic Oubkishers, ed. P.P.Surai. Teylor-Pickard. – P. 45-56. 16. Golubkina N.A. The human selenium status in Russia. The problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology,2008. №2 (6). - P.20-27. 17. Jovanovic L.N., Ermakov V.V., Dgenbaev B.M. Selenium deficiency and its overcoming// Central Asian territories of the biosphere as natural heritage (Problems of conservations and renewal of the biodiversity). Proceedings of the International Conference held in Cholpon-Ata (Kyrgyzstan), May 13-15, 2009. -P. 184-189.

PROBLEM OF SELENIUM AND ITS SOLUTION BY AGROCHEMICAL MEANS: 2. GENERAL PRINCIPLES OF SELENIUM STUDY IN THE SYSTEM OF THE GEOGRAPHICAL NETWORK OF EXPERIMENTS AND THE STATE AGRICULTURAL SERVICE

V.G. Sychev¹, A.N. Aristarkhov¹, T.A. Yakovleva¹, V.I. Panasin², A.S. Busygin³

¹Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, info@vniia-pr.ru

²Kaliningradsky Center of Agrochemical Service, ul. Molodoi Gvardii 2/4, Kaliningrad, 236038 Russia

³Kirovski Center of Agrochemical Service, ul. Luganskaya 55, Kirov, 610044 Russia

The state of the art in the studies of selenium problem in our country and the expediency of their fulfillment in the well-structured systems of the VNIIA Geographical Network of Experiments and the State Agrochemical Service are discussed. Under a sharp deficit of selenium in agroecosystems, the enrichment of food for the humans and vegetable forages for animals with selenium by the application of selenium fertilizers becomes more and more important. However, little agrochemical works deal with this issue. On the basis of the generalization and analysis of earlier research on these questions, their standard bases are proposed as a first approximation, and methods for their improvement are provided.

Keywords: selenium problem, selenium deficit, selenium status, monitoring, field experiments, selenic fertilizers, efficiency, human animal health.