

## Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91  
 УДК: 635.651-02:581.192.6(571.1)

А.В. Синдирева<sup>1\*</sup>, Н.А. Голубкина<sup>2</sup>,  
 Е.В. Безуглова<sup>3</sup>, М.А. Федотов<sup>4</sup>, А.А. Алпатов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский государственный университет" 625003, Россия, г. Тюмень, улица Перекопская, 15 А

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» 644008, Россия, г. Омск-8, ул. Институтская площадь, 1

<sup>4</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и металловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук 119334, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 49

\*Автор для переписки: a.v.sindireva@utmn.ru

**Вклад авторов.** Синдирева А.В.: концептуализация, администрирование данных, проведение исследования, формальный анализ, визуализация, создание рукописи и ее редактирование. Голубкина Н.А.: проведение исследования, руководство исследованиями, администрирование проекта, создание рукописи и ее редактирование. Безуглова Е.В.: ресурсы, концептуализация, проведение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи. Федотов М.А., Алпатов А.А.: концептуализация, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

**Конфликт интересов.** Голубкина Н.А. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

**Для цитирования:** Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Безуглова Е.В., Федотов М.А., Алпатов А.А. Влияние селеносодержащих соединений и тяжелых металлов на химический состав и урожайность овощных бобов (*Vicia faba* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2026;(1):81-91. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91>

Поступила в редакцию: 29.11.2025  
 Принята к печати: 09.02.2026  
 Опубликовано: 16.03.2026

Anna V. Sindireva<sup>1</sup>, Nadezhda A. Golubkina<sup>2</sup>, Elena V. Bezuglova<sup>3</sup>, Mikhail A. Fedotov<sup>4</sup>, Andrey A. Alpatov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State University 15A, Perokopskaya Street, Tyumen, 625003, Russia

<sup>2</sup>Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

<sup>3</sup>Omsk State Agrarian University 1, Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russia

<sup>4</sup>Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences 49, Leninskiy Prospect, Moscow, 117334, Russia

\*Corresponding Author: a.v.sindireva@utmn.ru

**Authors' Contribution:** Sindireva A.V.: conceptualization, data curation, investigation, formal analysis, visualization, writing – review & editing. Golubkina N.A.: investigation, supervision, project administration, writing – review & editing. Bezuglova E.V.: conceptualization, resources, investigation, writing – original draft. Fedotov M.A., Alpatov A.A.: conceptualization, investigation, writing – review & editing.

**Conflict of interest.** N.A. Golubkina has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

**For citations:** Sindireva A.V., Golubkina N.A., Bezuglova E.V., Fedotov M.A., Alpatov A.A. The effect of selenium-containing compounds and heavy metals on the chemical composition and yield of vegetable beans (*Vicia faba* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):81-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91>

Received: 29.11.2025  
 Accepted for publication: 09.02.2026  
 Published: 16.03.2026

# Влияние селеносодержащих соединений и тяжелых металлов на химический состав и урожайность овощных бобов (*Vicia faba* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири

Check for updates



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Бобы являются источником витаминов и других биологически активных веществ. Одним из перспективных направлений является обогащение бобов микроэлементами, в частности, Se. С позиции экологической безопасности представляет также интерес изучение влияния различных форм селена (селенита натрия и наноселена) отдельно и на фоне загрязнения тяжелыми металлами (свинцом и хромом) на рост, развитие, урожайность и химический состав бобов сортов отечественной и зарубежной селекции.

**Методы.** Проведена оценка влияния соединений селена, хрома и свинца на рост, развитие, урожайность и химический состав бобов сортов различной селекции. Полевые опыты проводились в 2022-2024 годах в условиях южной лесостепи Западной Сибири, объектами исследования явились бобы овощные сортов Русские черные, Белорусские, Hangdown Grunkernig, Dreifach Waibe.

**Результаты.** В зависимости от применяемой формы селена, влияния тяжелых металлов, сортовой специфики, разница в содержании селена в бобах может быть очень значительной (41-1325 мкг/кг). Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента увеличивается в 6,4-12,2 раза, а при использовании наноселена – в 1,4-3,8 раза. Антропогенное поступление тяжелых металлов снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение (на 96,4%) отмечается при воздействии свинца. Различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, влияют на рост и развитие, и, в итоге, на урожайность овощных бобов. Взаимодействие тяжелых металлов и селена оказывает влияние на продукционный процесс.

**Заключение.** Эффективность применения селена для обогащения бобов зависит от способа и формы его поступления, взаимодействия с другими элементами, в частности, тяжелыми металлами. Сорта бобов отечественной и зарубежной селекции обладают различной отзывчивостью к применению микроэлемента.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

селен, селенит, наноселен, свинец, хром, сорт, овощные бобы, урожайность, элементный состав

# The effect of selenium-containing compounds and heavy metals on the chemical composition and yield of vegetable beans (*Vicia faba* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia

## ABSTRACT

**Relevance.** Beans are a source of vitamins and other biologically active substances. One of the promising areas is the enrichment of beans with trace elements, in particular, Se. From the standpoint of environmental safety, it is also of interest to study the effect of various forms of selenium (sodium selenite and nanoselene) separately and against the background of heavy metal pollution (lead and chromium) on the growth, development, yield and chemical composition of beans of domestic and foreign varieties.

**Methods.** The influence of selenium, chromium, and lead compounds on the growth, development, yield, and chemical composition of beans of various varieties has been evaluated. Field experiments were conducted in 2022-2024 in the southern forest-steppe of Western Siberia, the objects of research were vegetable beans of the varieties Russian black, Belarusian, Hangdown Grunkernig, Dreifach Waibe.

**Results.** Depending on the form of selenium used, the influence of heavy metals, and variety specificity, the difference in selenium content in beans can be very significant (41...1325mcg/kg). The use of sodium selenite significantly increases the selenium content in plants, while the level of the trace element increases by 6.4...12.2 times, and when using nanoselene by 1.4...3.8 times. Anthropogenic intake of heavy metals reduces the selenium content in beans in all studied varieties, with the largest decrease by -96.4% observed when exposed to lead. Various ways of using selenium and the varietal specifics of its accumulation affect the growth and development, and, as a result, the yield of vegetable beans. The interaction of heavy metals and selenium affects the production process.

**Conclusion.** The effectiveness of using selenium for bean enrichment depends on the method and form of its intake, interaction with other elements, in particular, heavy metals. Varieties of beans of domestic and foreign breeding have different responsiveness to the use of trace elements.

## KEYWORDS:

selenium, selenite, nano-selenium, lead, chromium, variety, vegetable beans, yield, elemental composition

**Введение**

Одно из решающих мест в решении белковой проблемы отводится культуре бобов, которые имеют ряд преимуществ перед другими бобовыми [1]. Среди овощных культур они лидируют по содержанию белка и аминокислот. Белок бобов по ценности не уступает белку мяса. В их семенах содержится 28-35% белка, присутствуют все незаменимые аминокислоты. В фазе технической спелости в бобах – 4,2% углеводов (2,6% из них – сахара), большое количество минеральных солей, в основном калия, кальция, фосфора, магния, серы и железа [2].

В нашей стране, несмотря на свои достоинства, бобы не являются традиционной культурой, лишь в последнее время спрос на них увеличивается. Кроме того, в связи с ухудшающимися условиями окружающей среды и постоянными стрессами, для большей части населения земного шара возрастает роль функциональных продуктов в рационе питания.

Бобы привлекают все большее внимание фармацевтов, поскольку являются источником витаминов, в частности А, Е, Д, алкалоидов, пектинов, фитостероидов, минеральных веществ. Доказана их неоценимая роль для профилактики диабета и в питании диабетиков, антихолестериновая, антиканцерогенная и иммуномодулирующая функция некоторых веществ семян бобов. Частое употребление бобов позволяет остановить рост раковых опухолей [2,3]. Одним из перспективных направлений является обогащение бобов микроэлементами, в частности, селеном.

На сегодняшний день проблема микроэлементозов актуальна для регионов России, в том числе и для Западной Сибири. В различных экосистемах в результате техногенного воздействия возникают территории с избытком ряда химических элементов, в частности, тяжелых металлов. В то же время представляет опасность недостаток химических элементов в объектах окружающей среды, и, как следствие, в организме растений, животных и человека. В частности, для многих почв, типичных для южной лесостепи Западной Сибири, по мнению ряда экспертов, отмечен дефицит таких микроэлементов, как селен. Дисбаланс эссенциальных элементов, в частности, селена в объектах окружающей среды является одной из наиболее серьезных проблем современного мира.

Микроэлемент селен (Se) может оказывать значительное влияние на человека и животных, как при избыточном поступлении, так и при недостатке его в живом организме. Se в оптимальных концентрациях является антиоксидантом, предотвращает негативное действие окислительного стресса на живой организм, возникающего в результате влияния негативных факторов окружающей среды. Согласно данным ряда исследований, Se способен снизить риск заболевания раком у человека. Этот микроэлемент предотвращает опасность возникновения мутаций в клетках бронхов, слизистой кишечника, молочной железе [4,5,6].

Основное количество Se живые организмы получают вместе с едой и водой, именно поэтому важно исследовать пути поступления Se в продукты питания, а также обогащения их данным микроэлементом в условиях селенодефицита, который отмечается у населения многих регионов [7,8,9]. Очевидно, с позиции практи-

ки, разработка технологии обогащения сельскохозяйственной продукции Se и промышленное внедрение таких технологий в России может стать важным этапом в снижении уровня смертности от кардиологических и онкологических заболеваний и улучшении здоровья населения [10,11,12].

В настоящее время общепризнано, что агрохимическое обогащение растений Se - наиболее перспективный прием решения проблемы недостаточности этого микроэлемента у человека и животных [13,14,15]. В зависимости от метода внесения микроэлемента (основное внесение в почву, опрыскивание раствором, а также, замачивание семян с использованием раствора солей Se) и формы вносимого Se (селенат, селенит, органический селен и т.д.) компонентный состав Se-содержащих соединений и концентрации последних в растениях будут изменяться. Кроме того, на интенсивность накопления микроэлемента влияют биологические особенности культуры и ее сортовые особенности [10].

Практически во всех сельскохозяйственных растениях обогащение Se приводит к образованию значительных количеств селенметионина (SeMet), в то время как у овощных культур наряду с SeMet также интенсивно синтезируются метилированные формы [10].

В целом, уровень потребления микроэлемента человеком зависит от места проживания, интенсивности импорта продуктов питания из других регионов, и уровня потребления белка, поскольку среди органических форм Se наиболее распространенными являются белковые производные, содержащие в своем составе аминокислоты селенометионин (SeMet) и селеноцистеин (SeCys) [10,16].

В связи с этим, представляет особый практический интерес вопрос обогащения селеном таких функциональных продуктов питания, как бобы. Исследования биологического действия таких продуктов подтверждают перспективность рассматриваемого направления.

Располагаясь в шестой группе периодической системы Менделеева, селен может присутствовать в почве в виде селенатов ( $Se^{+6}$ ), селенитов ( $Se^{+4}$ ), селенидов ( $Se^{+2}$ , преимущественно органических производных) и элементарного нано размерного селена (Se<sub>0</sub>). Содержание подвижных биодоступных для растений форм селена в почве зависит от характера почвы, pH, окислительно-восстановительного потенциала [17].

Одним из перспективных направлений является применение так называемого наноселена – форма Se с размером частиц менее 100 нм [18]. Основное преимущество наноселена, по сравнению с другими формами – гораздо более низкая токсичность, что позволяет применять его в дозах, значительно превышающих суточную потребность.

Помимо положительного влияния селена как антиоксиданта, в литературе имеются данные о способности проявлять антагонизм в живых организмах по отношению к ряду тяжелых металлов. Тяжелые металлы (ТМ) в окружающей среде играют двойную роль. Они являются неотъемлемым компонентом нормальных физиологических процессов, но в то же время они токсичны при повышенных концентрациях, приводящих к нарушению метаболизма и функционирования живых

организмов на любой стадии онтогенеза. Во многих случаях эти нарушения являются необратимыми и смертельными. В токсичных концентрациях ТМ проявляют канцерогенные свойства, отрицательно воздействуют на генетическую мембранную, ферментно-белковую систему клетки, вызывают нарушение концентраций веществ, необходимых для энергетического метаболизма – АТФ, АДФ, фосфоркреатина, изменяют активность ферментов, уровень содержания в клетках кальция и магния, необходимых для нормального функционирования организма. Поэтому представляет интерес изучение взаимного влияния различных соединений селена и тяжелых металлов.

**Цель исследования** – оценка влияния различных форм селена (селенита натрия и наноселена) отдельно и на фоне загрязнения свинцом и хромом на рост, развитие, урожайность и химический состав сортов бобов овощных различной селекции.

### Материалы и методы

Объектами являлись овощные бобы сортов отечественной (Белорусские, Русские черные) и немецкой (Dreifach Waibe и Hangdown Grunkernig) селекции.

Исследования проводили в 2022-2024 годах в условиях южной лесостепи Западной Сибири (опытное поле Омского государственного аграрного университета им П.А. Столыпина). Климат района исследования умеренно континентальный, формирующийся под влиянием азиатского материка с продолжительной суровой зимой, жарким летом и короткой весной, резкими колебаниями суточных температур выше 10°C составляет 1900-2000°C, продолжительность этого периода 125–130 дней. Средняя многолетняя сумма осадков равна 300-350 мм. Благодаря сочетанию удлиненного светового дня, высокой температуры воздуха и хороших почвенных условий за короткий вегетационный период на данной территории успешно растет и развивается растительность. Метеорологические условия вегетационного периода годов исследования отражали основные черты климата и существенно влияли на рост, развитие, продуктивность и интенсивность накопления и действие химических элементов. Метеорологические условия вегетационного периода 2022-2024 годов характеризовались неравномерным температурным режимом и количеством осадков: теплой и дождливой погодой в начале лета и жаркой, сухой погодой – в конце лета. Вегетационный период отличался контрастной погодой: прохладные и дождливые периоды сменялись в течение лета теплыми и сухими.

Почва опытного участка – лугово-черноземная, маломощная тяжелосуглинистая, содержание гумуса в пахотном слое 5,2-6,5%, pH=6,8, в составе почвенно-поглощающего комплекса преобладает кальций (19,8-23,3 мг-экв/100 г). В среднем перед посевом культурных растений содержание в почве нитратного азота было недостаточно, подвижного фосфора – чуть ниже оптимальных значений, содержание обменного калия превышало оптимальное значение. Содержание селена в почве составляло 0,326±0,091 мг/кг.

Для обогащения использовали метод некорневого внесения – опрыскивание растворами селенита, наноселена. С целью оценки защитного действия селена на растения бобов в условиях загрязнения тяжелыми

металлами в опыт введены варианты с применением хрома и свинца Тяжелые металлы Pb и Cr вносили в почву до посева в виде сухих ацетатных солей. Доза внесения составляла 2 ПДК (12 мг/кг) содержания подвижной формы этих элементов в почве. Опрыскивание проводили однократно в фазу стеблевания. Размер опытной делянки составлял 1 м<sup>2</sup>. Опыт заложен в шестикратной повторности с систематической последовательностью размещения вариантов по схеме: 1. Контроль; 2. Раствор селенита натрия с концентрацией селена 0,01% (Se 0,01%); 3. Раствор наноселена с концентрацией селена 0,01% (nSe 0,01%); 4. Основное внесение в почву свинца в дозе 2 ПДК (Pb 2ПДК, 12 мг/кг); 5. Pb 2ПДК + Se 0,01%; 6. Pb 2ПДК + nSe 0,01%; 7. Основное внесение хрома в дозе 2 ПДК (Cr 2ПДК, 12 мг/кг); 8. Cr 2ПДК + Se 0,01%; 9. Cr 2ПДК + nSe 0,01% (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта  
Table 1. Scheme of experience

Вариант	Контроль	Селенит натрия Se	Наноселен nSe
Контроль (без внесения)	Вода	0,01%	0,01%
Свинец Pb 2ПДК, 12 мг/кг	Вода	0,01%	0,01%
Хром Cr 2ПДК, 12 мг/кг	Вода	0,01%	0,01%

Наночастицы селена получали методом лазерной абляции, используя лазер (Nd:YAG) с длиной волны 1064 нм при длительности импульса 12 нс и энергии 2,5 Дж. Средний размер наночастиц составил 90 нм, согласно данным динамического светорассеяния (Photocor Compact Z, США).

Уборка была проведена во второй декаде сентября. По окончании уборки бобов овощных проводили оценку биометрических показателей; оценивали урожайность, качество бобов (содержание селена, белка). Содержание селена определяли флюорометрическим методом на флуориметре Флуорат 02-5-М (Россия), тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом на ААС спектрофотометре Shimadzu GFA-7000 (Shimadzu, Япония), а белка методом Кьельдаля UDK-149 (Velp Scientifica, Италия).

Математическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием пакета Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

До сих пор не существует однозначного мнения по поводу необходимости Se для растительного организма, и, по мнению многих авторов, эссенциальность его для высших растений не доказана. Однако проведено множество исследований с различными культурами (зерновыми, овощными, кормовыми), показывающими достоверную прибавку урожайности от применения данного микроэлемента [19,20,21,22,24,24]. Очевидно, положительный эффект достигается с учетом многих действующих факторов: типа почвы, содержания доступного Se в ней, вида химического соединения селена в почве, возделываемой культуры, сорта.

Некорневые подкормки являются довольно эффективным способом, позволяющим, уменьшить дозиров-

ку Se, и этим значительно повысить коэффициент его использования [25]. Микроэлементы, поглощенные листьями, могут переноситься в другие растительные ткани, включая и корни, где избыточное количество элемента может быть запасено [26].

По мнению ряда авторов, Se очень легко сорбируется через листья растений, это определяет большую эффективность некорневой подкормки, которая зависит от времени проведения, что очень важно при использовании селенита, поскольку последний легче фиксируется, чем селенат [20]. Наши исследования показали, что некорневые подкормки на ранних стадиях онтогенеза способствуют накоплению селена в бобах (табл. 2). Кроме того, представляет теоретический и практический интерес изменение содержания селена в условиях повышенного поступления в почву тяжелых металлов.

увеличивается в 6,4-12,2 раза. Максимальное значение (1325±22,7 мкг/кг) отмечено у бобов сорта Dreifach Waibe. Необходимо отметить, что такое содержание микроэлемента может быть уже токсичным для растений и животных. Применение наноселена способствовало увеличению содержания селена в бобах различной селекции в 1,4-3,8 раза. При этом максимальное значение установлено также у бобов немецкой селекции сорта Dreifach Waibe. Таким образом, можно использовать некорневое внесение соединений Se и существенно повысить уровень этого микроэлемента в растениях, однако при этом необходимо постоянно контролировать его содержание в почве и растениях, учитывая интервалы токсичного и необходимого содержания селена для конкретных систем почва – растение – животное.

Таблица 2. Содержание селена в бобах при применении селенсодержащих удобрений и тяжелых металлов мкг/кг  
Table 2. Selenium content in beans when using selenium-containing fertilizers and heavy metals

Вариант		Сорт			
		Русские черные	Белорусские	Hangdown Grunkernig	Dreifach Waibe
Контроль (без внесения)	Контроль (вода)	81±2,1	98±2,3	156±5,6	208±7,2
	Селенит натрия Se	990±19,2**	623±21,2**	1264±53,1**	1325±22,7**
	Наноселен nSe	114±3,2**	141±2,8**	489±19,3**	782±12,9**
Хром 2ПДК, 12 мг/кг	Контроль (вода)	69±1,4	42±1,6	114±3,1	41±2
	Селенит натрия Se	865±15,1**	454±11,2**	994±25,4**	349±7,8**
	Наноселен nSe	171±3,9**	84±1,9**	106±12,1	51±0,9
Свинец 2ПДК, 12 мг/кг	Контроль (вода)	56±0,8	-*	54±1,9	41±0,9
	Селенит натрия Se	137±2,2**	-	82±3,1**	505±6,3**
	Наноселен nSe	74±1,9**	-	69±2,5**	416±5,6**

Примечание: -\* нет данных, \*\* – достоверность различий по сравнению с контролем (p<0,05)  
Note: -\* no data available, \*\* – the significance of the differences compared with the control (p<0.05)

Растения – единственные организмы на Земле, способные превращать неорганические формы Se в органические. В зависимости от устойчивости организма к высоким концентрациям селена и способности накапливать определенные уровни микроэлемента без видимых признаков фитотоксичности все растения делят на не аккумуляторы, вторичные аккумуляторы и гипераккумуляторы [10].

Согласно проведенным исследованиям, бобы относятся к растениям не аккумуляторам, которые накапливают максимально до 50 мг/кг. В зависимости от применяемой формы селена, сортовой специфики разница в накоплении селена может быть очень значительна (табл. 2). По содержанию селена в бобах без дополнительного его применения, изучаемые сорта можно расположить по убыванию в следующий ряд: Dreifach Waibe – Hangdown Grunkernig – Белорусские – Русские черные. Таким образом, сорта немецкой коллекции более богаты микроэлементом, нежели отечественные сорта.

Анализируя закономерность поступления Se в бобах в зависимости от его формы, можно отметить, что интенсивность накопления снижается в ряду селенит-наноселен. Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента

Поскольку одной из задач исследования являлось изучение действия селена на фоне повышенного поступления тяжелых металлов, нами изучено содержание подвижных форм свинца и хрома в почве опытного участка, что представлено (табл. 3).

Согласно данным таблицы 3, содержание тяжелых металлов в лугово-черноземной почве не превышало установленных ПДК, однако отмечается увеличение свинца в варианте с его внесением на 50%, а хрома – на 138% по сравнению с контролем.

Необходимо отметить, что повышенный фон тяжелых металлов в почве без обработки препаратами Se снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение на 80,3% отмечается при воздействии свинца (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют об антагонизме между селеном и такими тяжелыми металлами, как свинец и хром. Фолиарная обработка селенитом натрия на фоне хрома и свинца способствовала увеличению селена в бобах практически всех сортов (за исключением сорта Hangdown Grunkernig на варианте «Селенит+Pb») по сравнению с контролем. Однако внесение наноселена на фоне тяжелых металлов не всегда способствовало увеличению уровня микроэлемента по сравнению с контролем.

Таблица 3. Содержание подвижных форм микроэлементов в почве опытного участка (слой 0-30 см)  
Table 3. Content of mobile microelements in the soil of the experimental plot (layer 0-30 cm)

Вариант	Содержание микроэлементов, мг/кг	
	Pb	Cr
Контроль	0,26	0,21
Pb 2ПДК	0,39	.*
Cr 2ПДК	.*	0,50
ПДК**	6	6

Примечание: .\* не определяли, \*\* – ПДК согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".  
Note: .\* not defined, \*\* – MPC according to SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans".

Физиология и биохимия Se растений на современном этапе исследований представляются во многом близкими физиологии и биохимии серы, что объясняет, как положительный, так и токсический эффект применения селена [22]. Большинство исследований показывает, что положительное действие селена на рост и развитие растений объясняется его способностью повышать устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Селен повышает соле- и засухоустойчивость [20], устойчивость растений к стрессовым факторам (в том числе при токсическом воздействии тяжелых металлов) посредством следующих механизмов:

- путем снижения выработки супероксид аниона – индуктора свободнорадикальных процессов;
- частичным ингибированием процессов перекисно-

го окисления липидов, образующих клеточные мембраны;

- усилением процессов гидролиза белков, способных привести к освобождению из неактивных форм особых защитных белков, а также накопление в цитозоле полипептидов-осморегуляторов;
- увеличением выработки и накоплением в тканях универсального защитного вещества – аминокислоты пролина.

Аналогично метаболизму серы, селенат переходит в селенит и далее в селенид с участием восстановленного глутатиона. Селенид превращается в SeCys и далее в SeMet. В обычных условиях вегетации SeCys и SeMet включаются в белки. При нагрузке Se образуются метилированные формы, часть из которых (диметилселениды) являются летучими соединениями, а часть – производными Cys и Met (Se-Me-SeCys,  $\gamma$ -Glu-SeMe-SeCys, SeMe-SeMet), не способными включаться в белки и изменять их биологическую активность. Такой механизм служит эффективным способом защиты растений от токсического воздействия соединений Se [13, 27, 28, 29, 30].

При ассимиляции селена не аккумулирующими видами растений происходит синтез селенцистеина и селенметионина. Синтез селенметионина влечет за собой появление селентаурина, селенцистеиновой кислоты и других продуктов окисления. Селенцистеин может стать составной частью белков и воздействовать на метаболизм серы и азота. Некоторые авторы приписывают селенцистеину роль 21-й аминокислоты, участвующей в построении белков, что возможно, определяет ее роль в высших растениях [20].

Таким образом, различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, определяют интенсивность поступления микроэлемента в растения, и, как следствие, влияют на рост и развитие,

Таблица 4. Урожайность бобов сорта Русские черные  
Table 4. The yield of the Russian Black beans

Вариант	Урожайность бобов, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы
		кг/м <sup>2</sup>		кг/м <sup>2</sup>
Контроль	0,44	—	1,79	—
Селенит натрия	0,47	0,03	1,82	0,03
Наноселен	0,27*	-0,17	1,86	0,07
Cr	0,29*	-0,15	1,42*	-0,37
Селенит+Cr	0,23*	-0,21	1,48*	-0,30
Наноселен+Cr	0,32*	-0,11	1,71	-0,08
Pb	0,42	-0,02	1,57*	-0,22
Селенит+Pb	0,45	0,01	1,43*	-0,36
Наноселен+Pb	0,64*	0,20	1,50*	-0,29
НСР <sub>05</sub>	0,03		0,12	

Примечание: \* – достоверность различий по сравнению с контролем (p<0,05)  
Note: \* – the significance of the differences compared with the control (p<0.05)

Таблица 5. Урожайность бобов сорта Белорусские  
Table 5. The yield of the Belarusian

Условия	Урожайность бобов, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы
		кг/м <sup>2</sup>		кг/м <sup>2</sup>
Контроль	0,39	—	1,96	—
Селенит натрия	0,40	0,01	1,98	0,02
Наноселен	0,41	0,02	2,06	0,10
Cr	0,29*	-0,10	1,57*	-0,39
Селенит+Cr	0,40	0,01	1,69*	-0,30
Наноселен+Cr	0,40	0,01	1,95	-0,01
Pb	0,32*	-0,07	2,00	0,04
Селенит+Pb	0,35*	-0,04	1,83*	-0,13
Наноселен+Pb	0,13*	-0,26	1,61*	-0,35
НСР 05	0,03		0,12	

Примечание: \* – достоверность различий по сравнению с контролем (p<0,05)  
Note: \* – the significance of the differences compared with the control (p<0.05)

и, в итоге, на урожайность бобов овощных. Следовательно, различное содержание селена в сельскохозяйственных культурах, может оказывать значительное влияние на продукционный процесс в растительном организме (табл. 4, 5, 6, 7). Необходимо отметить, что тяжелые металлы также могут оказывать как стимулирующее, так и токсическое воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур, в зависимости от их содержания в системе почва – растение, что и подтверждают наши исследования.

Согласно данным, представленным в таблице 4, применение Se и тяжелых металлов оказало неоднознач-

ное, даже противоречивое действие на урожайность как самих бобов сорта Русские черные, так и их зеленой массы. Необходимо отметить, что селенит натрия оказал положительное действие как на рост бобов, так и зеленой массы растений. В то же время наноселен стимулировал развитие зеленой массы, но снижал урожайность бобов. Хром во всех вариантах негативно влиял на урожайность, в то же время интерес представляет стимулирующее действие свинца на урожайность бобов. При этом в варианте «Наноселен+Pb» отмечается наибольшая урожайность бобов 0,64 кг/м<sup>2</sup>, что выше уровня контроля на 45,4%. Однако в этом же варианте

Таблица 6. Урожайность бобов сорта Hangdown Grunkernig  
Table 6. The yield of the Hangdown Grunkernig

Условия	Урожайность бобов, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы
		кг/м <sup>2</sup>		кг/м <sup>2</sup>
Контроль	0,36	—	1,79	—
Селенит натрия	0,35	-0,01	2,12*	0,33
Наноселен	0,19*	-0,17	1,83	0,04
Cr	0,40*	0,05	2,09*	0,30
Селенит+Cr	0,41*	0,05	1,84	0,05
Наноселен+Cr	0,26*	-0,09	2,08*	0,49
Pb	0,21*	-0,15	1,53*	-0,26
Селенит+Pb	0,26*	-0,09	1,70	-0,09
Наноселен+Pb	0,22*	-0,14	1,66*	-0,13
НСР <sub>05</sub>	0,03		0,12	

Примечание: \* – достоверность различий по сравнению с контролем (p<0,05)  
Note: \* – the significance of the differences compared with the control (p<0.05)

Таблица 7. Урожайность бобов сорта Dreifach Waibe  
Table 7. The yield of the Dreifach Waibe

Условия	Урожайность бобов, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м <sup>2</sup>	Изменение массы
		кг/м <sup>2</sup>		кг/м <sup>2</sup>
Контроль	0,28	—	1,31	—
Селенит натрия	0,39*	0,11	1,78*	0,47
Наноселен	0,26	-0,02	1,69*	0,38
Cr	0,36*	0,08	1,31	0,00
Селенит+Cr	0,24*	-0,04	1,77*	0,46
Наноселен+Cr	0,28	—	1,68*	0,37
Pb	0,35*	0,07	1,61*	0,30
Селенит+Pb	0,30	0,02	1,70*	0,40
Наноселен+Pb	0,29	0,01	2,39*	1,08
HCP <sub>05</sub>	0,03		0,12	

Примечание: \* – достоверность различий по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ )  
Note: \* – the significance of the differences compared with the control ( $p < 0,05$ )

установлено снижение урожайности зеленой массы на 16,2% по сравнению с контролем.

Анализируя данные таблицы 5, можно отметить, что достоверной прибавки урожая бобов сорта Белорусские в опыте в опытных вариантах не отмечено, а тенденция к повышению урожайности наблюдается только у образцов, обработанных селенитом натрия и наноселеном. Угнетающее действие тяжелых металлов проявляется в варианте с внесением хрома, при этом снижение урожайности бобов и зеленой массы составляет 25,4 и 19,9% по сравнению с контролем. Наибольшее угнетающее действие на урожайность бобов отмечается в варианте «Наноселен+Pb», где снижение урожайности составляет 67%. Таким образом, применение наноселена на повышенном фоне свинца может оказывать прямо противоположный эффект на продуктивность в зависимости от сорта бобов.

Согласно данным, представленным в таблице 6, положительное влияние на урожайность бобов сорта Hangdown Grunkernig оказал хром, а также применение селенита на фоне основного внесения хрома, в остальных вариантах отмечали снижение урожайности бобов. На урожайность зеленой массы растений негативное воздействие оказали варианты с применением свинца.

В таблице 7 представлены данные по урожайности бобов сорта Dreifach Waibe в зависимости от применяемого элемента. Согласно проведенным исследованиям на урожайность бобов сорта немецкой селекции Dreifach Waibe в наибольшей степени влияет селенит натрия (при этом прибавка урожайности бобов составляла 39,3%) и тяжелые металлы (свинец и хром).

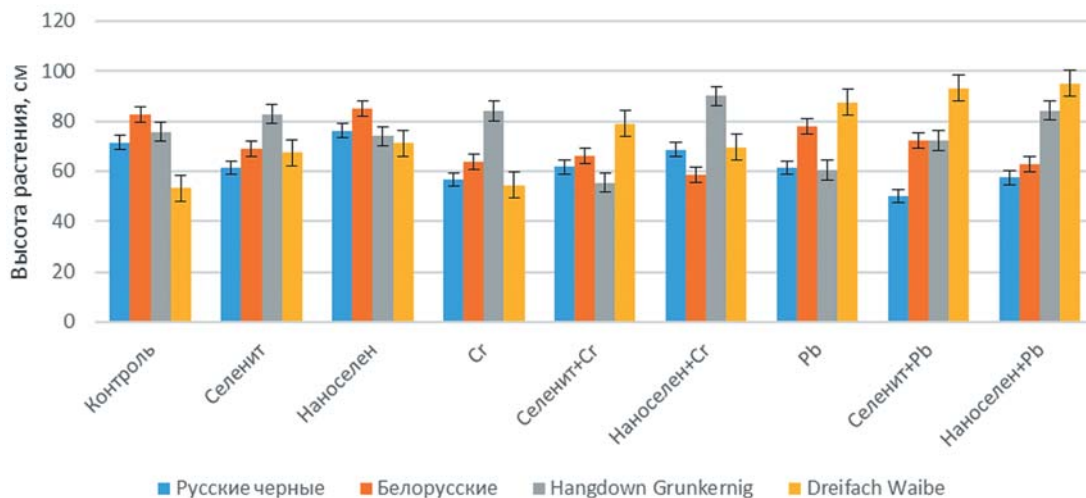
Таким образом, в изучаемых условиях проанализирована сортовая специфика отзывчивости сортов бобов овощных на применение микроэлементов. Минимальная урожайность бобов отмечали у сорта немецкой коллекции – Dreifach Waibe (табл. 7), а наи-

большая – у сорта Русские черные. В целом бобы отечественной селекции отличаются большей урожайностью по сравнению с растениями немецкой селекции. Отмечается также сортовая отзывчивость на применение соединений селена и тяжелых металлов.

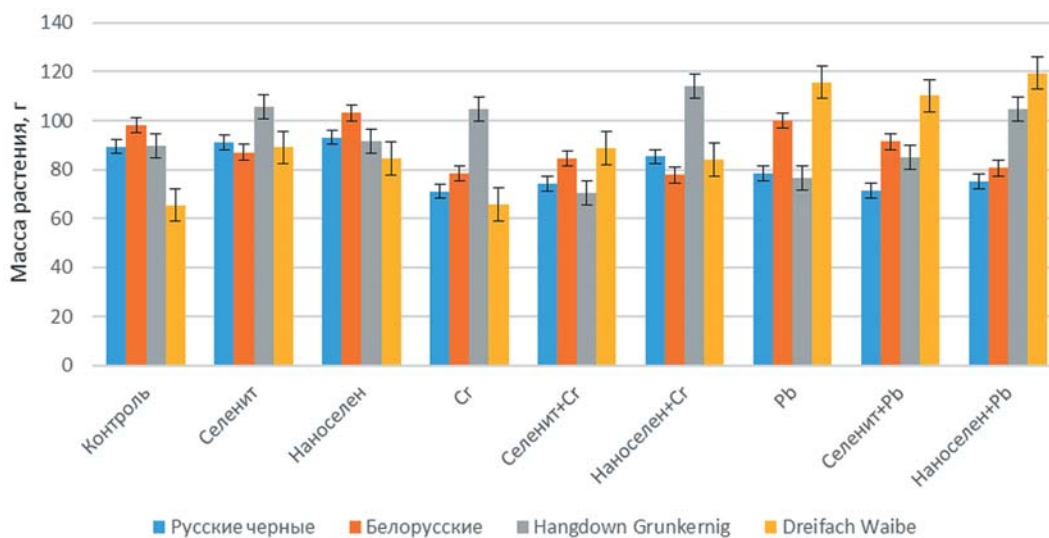
Помимо влияния на урожайность, нами были изучены биометрические показатели растений бобов. На рисунках 1-4 представлены показатели высоты растений, общей их массы и массы семян в зависимости от внесенных в почву тяжелых металлов (свинца или хрома) и обработки различными формами селена (наноселен и селенит натрия).

Согласно данным рисунка 1, обработка селенитом натрия способствовала стимулированию роста растений бобов немецкой селекции, однако снижала рост бобов отечественной селекции. Наноселен способствовал росту лишь растений сорта Dreifach Waibe. Рост растений сортов Русские черные, Белорусские и Hangdown Grunkernig угнетался свинцом. Также совместное действие свинца и селена в обеих его формах оказало дополнительное угнетающее действие на культуру. Сорт Dreifach Waibe, наоборот, под действием свинца показал увеличение высоты растения в ряду Pb – селенит+Pb – наноселен+Pb. В вариантах с применением хрома на высоту растения сорта Hangdown Grunkernig этот элемент оказал положительное влияние, но при совместном действии с селенитом рост угнетается. Рост растений сортов Русские черные, Белорусские и Dreifach Waibe угнетается хромом. Но при совместном действии хрома и селенита наблюдаются небольшие положительные тенденции роста у сорта Dreifach Waibe. Аналогичные зависимости отмечены и при оценке массы растений (рис. 2).

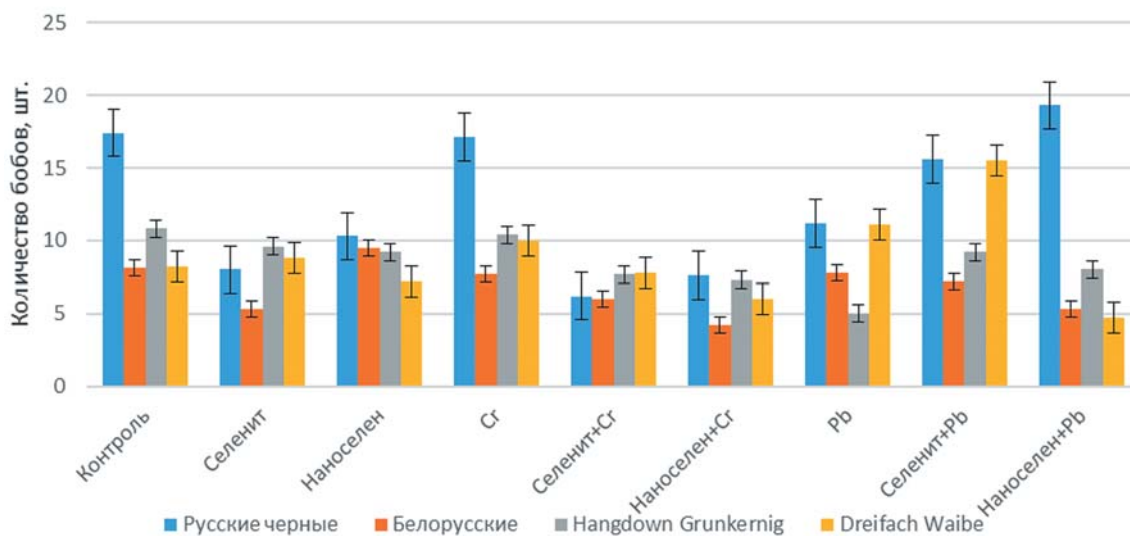
Согласно данным рисунка 3, можно отметить, что препараты селена не оказали значимого положительного влияния на показатель – количество бобов. Среди



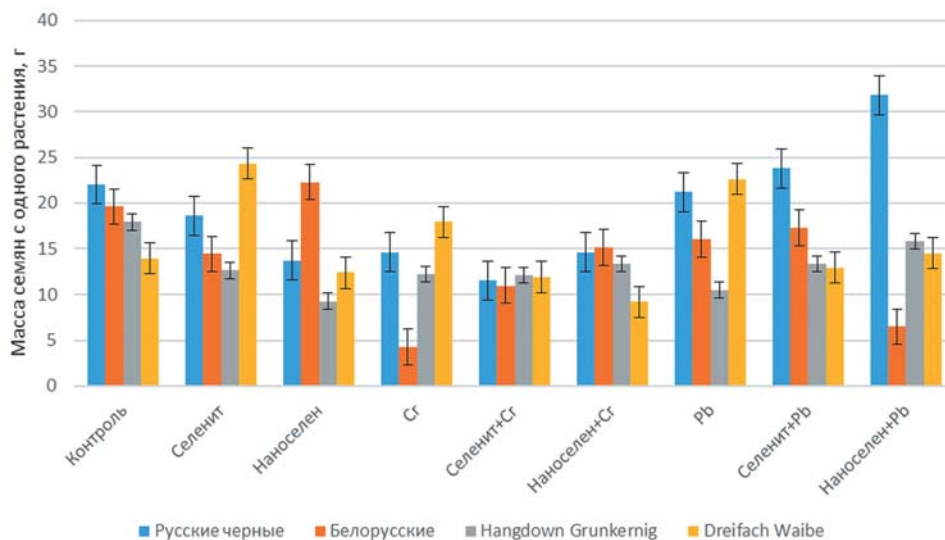
**Рис. 1. Влияние соединений селена, хрома и свинца на высоту растений бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)**  
**Fig. 1. The effect of selenium, chromium and lead compounds on bean plant height (field experience 2022-2024)**



**Рис. 2. Влияние соединений селена, хрома и свинца на массу растений бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)**  
**Fig. 2. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the weight of bean plants (field experience 2022-2024)**



**Рис. 3. Влияние соединений селена, хрома и свинца на количество бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)**  
**Fig. 3. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the number of beans (field experience 2022-2024)**



**Рис. 4. Влияние соединений селена, хрома и свинца на массу семян бобов с одного растения (полевой опыт 2022-2024 годы)**  
**Fig. 4. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the weight of bean seeds per plant (field experience 2022-2024)**

сортов по наибольшему количеству бобов выделяется сорт Русские черные. Действие тяжелых металлов можно оценить как неоднозначное: как стимулирующее, так и угнетающее в зависимости от сорта культуры и способа применения.

На рисунке 4 можно наблюдать одну из особенностей бобов сорта Русские черные. Масса семян с одного растения увеличивается в ряду Pb – селенит+Pb – наноселен+Pb. Остальные сорта проявили неоднозначную зависимость массы семян с одного растения от микроэлементов в рамках их сортовой специфики.

Таким образом, высокое содержание Se и тяжелых металлов снижает интенсивность продукционного процесса в растительном организме. Существует много объяснений токсического действия селена в растительном организме. В частности, известно, что растения-не аккумуляторы способны синтезировать селено-содержащие аминокислоты и из них – соответствующие белки, что при высоких концентрациях селена приводит к дезактивации значительной части ферментов и, как следствие, гибели растения [29]. В то же время, ряд авторов считает, что важнейшие продукты селенового метаболизма в растениях – белковые и небелковые аминокислоты, включаются в первичную структуру белка, воздействуют на метаболизм N и S, и это может вести к изменению четвертичной структуры и функции белков и ферментов, не снижая их активности [27].

Роль Se в метаболизме белка объясняется и его влиянием на метаболизм азота в растениях. В работе [28] показана прямая связь между содержанием белка и селена в зерне некоторых зерновых культур. Ряд авторов предполагает, что между азотом и селеном существует такая же зависимость.

В связи с тем, что исследованиями доказано значительное влияние Se на метаболизм белков в растениях, среди показателей качества, особое внимание было уделено содержанию белка в бобах овощных именно при применении различных форм селена (табл. 8).

Согласно полученным данным, в условиях опыта Se не оказал значимого стимулирующего влияния на биосинтез белка в растениях бобов. В то же время некор-

невая обработка растворами селенита и селената натрия способствовала снижению содержания белка в бобах сортов немецкой селекции Hangdown Grunkernig и Dreifach Waibe в среднем на 18-26%.

Кроме влияния Se на метаболизм биологически активных веществ, положительное или токсическое действие селена на растительный организм проявляется во взаимодействии его с другими элементами, в частности, как показали наши исследования – хромом и свинцом. В ряде работ указано, что влияние возрастающих доз селена на элементный состав растений изучено слабо, и в литературе имеется значительное количество противоречивых данных по этому вопросу, т.к. процесс взаимодействия между ионами определяется их химическими свойствами, а также видовой и сортовой спецификой растения, фазой его развития, агроэкологическими условиями [30, 31, 32, 33]. Согласно нашим опытам и исследованиям других авторов, отмечаем, что Se оказывает как положительное, так и фитотоксическое действие на растения, с одной стороны, нанокмозиты селена стимулируют рост и развитие растений, с другой – могут вызывать окислительный стресс и повреждение клеток [34].

### Выводы

1. Установлено, что в зависимости от применяемой формы селена, влияния тяжелых металлов, сортовой специфики разница в содержании селена в бобах может быть очень значительной (41-1325 мкг/кг). По содержанию селена в бобах без дополнительного его применения, изучаемые сорта можно расположить по убыванию в следующий ряд: Dreifach Waibe > Hangdown Grunkernig > Белорусские > Русские черные. Интенсивность накопления при дополнительном внесении селена снижается в ряду селенит – наноселен. Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента увеличивается в 6,4-12,2 раза, а при использовании наноселена – в 1,4-3,8 раза. Максимальное значение установлено также у бобов немецкой селекции сорт Dreifach Waibe.

Таблица 8. Содержание белка в бобах при применении различных форм селена  
Table 8. Protein content of beans with different forms of selenium

Вариант	Сорт			
	Русские черные	Белорусские	Hangdown Grunkernig	Dreifach Waibe
Контроль (вода)	32,99±1,03	29,65±0,91	31,13±0,95	29,60±0,91
Селенит натрия Se	31,93±0,98	29,98±0,93	28,78±0,88	29,57±0,91
Наноселен нSe	31,27±0,95	30,95±0,96	23,03±0,71*	24,05±0,75*

Примечание: \* – достоверность различий по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ )  
Note: \* – the significance of the differences compared with the control ( $p < 0,05$ )

2. Применение тяжелых металлов снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение (на 80,3%) отмечается при воздействии свинца.

3. Различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, влияют на рост и развитие, и, в итоге, на урожайность бобов овощных. Тяжелые металлы также могут оказывать как стимулирующее, так и токсическое воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур, в зависимости от их содержания в системе почва – растение. Бобы отечественной селекции отличаются большей урожайностью по сравнению с растениями немецкой селекции. При оценке показателей

роста и развития бобов также отмечается сортовая отзывчивость на применение соединений селена и тяжелых металлов.

4. Взаимодействие тяжелых металлов и селена при их совместном применении оказывает влияние на продукционный процесс. При оценке действия микроэлемента в обязательном порядке необходимо учитывать не только формы и дозы селеносодержащих соединений, но и, с учетом явлений антагонизма и синергизма ионов, влияние одних элементов питания на содержание других.

5. В условиях опыта селен не оказал значимого стимулирующего влияния на биосинтез белка в растениях бобов.

• Литература

- Безуглова Е.В. Исходный материал для селекции бобов (*Vicia Faba*) и влияние биологических препаратов на их хозяйственно-ценные признаки в южной лесостепи Западной Сибири. Тюмень 2015. 17 с.
- Амелин А.В., Вороничев Б.А., Стебакова Е.Н. Продуктивные возможности растений кормовых бобов у разных по окультуренности сортообразцов. *Вестник ОрелГАУ*. 2008;(13):8-11. <https://www.elibrary.ru/kwatsz>
- Пивоваров В.Ф., Пронина Е.П. Основные направления и результаты селекции и семеноводства овощных бобовых культур во ВНИИССОК. *Овощи России*. 2013;(1):4-11. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-4-11> <https://www.elibrary.ru/qcjhkz>
- Brooks J.D. et al. Plasma selenium level before diagnosis and the risk of prostate cancer development. *Urol*. 2001;(166):2034–2038.
- Salman M., Idiz G.Yi Effects of different levels of organic selenium supplementation on fattening performance, carcass characteristics and blood GSH-PX activity in lambs. *Rev. med. Vet (France)*. 2009;160(5):258-264.
- Rizky Abdulah, Raori Miyazaki, Minato Nakazawa, Hiroshi Koyama, Abdulah Rizky. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *J.Trace Elem.Med.Biol*. 2005;19(2-3):141-150.
- Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J. Trace Elem. Med. Biol*. 1999;13(1-2):15-20.
- Скальный А.В., Киселев М.Ф. Элементный статус населения России. Санкт-Петербург: Медкнига "ЭЛ-БИ-СПб". 2010. 416 с.
- Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Голубкина Н.А., Полубояринов П.А., Синдирева А.В. Селен в продуктах растительного происхождения. *Вопросы питания*. 2017;86(2):63-69. <https://www.elibrary.ru/ykkezv>
- Rayman M.P. The argument for increasing selenium intake. *Proc. Nutr. Soc*. 2002;(61):203-215.
- McKenzie R.C., Arthur J.R., Miller S.M., Rafferty T.S., Beckett G.J. Selenium and the immune system. in Nutrition and immune function. P.C. Calder, C.J. Field, H.C. Gill (eds). 2002. CABI Publishing. Wallingford. UK. P. 239-250.
- Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid. Redox Signal*. 2011;14(7):1337-1383.
- Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе «почва – растение – животное». Омск, 2012. 455 с.

- Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. 2006. М.: Печатный город, 269 с.
- Schrauser H.W. Selenium. Elements and their Compounds in the Environment. Vol.3. Nonmetals. Ed. Merian et al. Wiley-VCH Verlag. 2003. P.100-106.
- Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Никонов И.Н., Фолманис Ю.Г., Коваленко Л.В. [и др.] Биологическая активность наноразмерного коллоидного селена. *Доклады Академии наук*. 2012;447(6):675-677. <https://www.elibrary.ru/nzinsj>
- Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрорегиональная вариабельность селенового статуса населения. *Юг России: экология, развитие*. 2017;12(1):107-127. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>
- Серегина И.И. Действие микроэлементов (селена, цинка и молибдена) на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы в разных условиях азотного питания и водообеспечения. М.: ВИАУ, 2000. 22 с.
- Степанюк В.В. Влияние селена на элементный состав растений горохоовсяной смеси. *Агрехимия*. 2003;(12):13-20. <https://www.elibrary.ru/okxqxx>
- Торшин С. П., Удельнова Т.М., Ягодин Б.А. Биогеохимия и агрохимия селена и методы устранения селенодефицита в пищевых продуктах и кормах. *Агрехимия*. 1996;(8):127-145.
- Lyons G., Genc Y., Soole K., Stangoulis J., Liu F., Graham R. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant Soil*. 2009;(318):73-80.
- Jovic V. Selenium in soils and some plants in Serbia. *The problems of Biochemistry and Geochemical Ecology*. 2006;1(1):65-69.
- Бобко Е.В. Избранные сочинения. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. 358 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 429 с.
- Brown K.M., Arthur J.R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public. Health. Nutr*. 2001;(4):593-599.
- Neuhierl B. [et al.] A family of S-methylmethionine-dependant thiol/selenol methyltransferases. Role in selenium tolerance and evolutionary relation. *Biol. Chem*. 1999;(274):5407-5414.
- B'Hymer C., Caruso J.A. Selenium speciation analysis using inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*. 2006;(1114):1-20.
- Синдирева А.В., Зайко О.А., Мангутова А.К. Эколого-токсикологическая оценка возможности применения селена для коррек-

ции свинцовой интоксикации у крыс. *Теоретическая и прикладная экология*. 2025;(1):168-176. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-168-176> <https://www.elibrary.ru/jijcli>

31. Синдирева А.В., Эрдэнэцогт Э., Голубкина Н.А., Гурьев Н.Е. Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва-растение-животное для разработки научно-обоснованной профилактики микроэлементозов в регионах России и Монголии. Омск : Изд-во КАН, 2024. 244 с.

32. Tallarita A.V., Golubkina N., De Pascale S., Şekara A., Pokluda R., Murariu O.C., Cozzolino E., Cenvinzo V., Caruso G. Effects of selenium/iodine foliar application and seasonal conditions on yield and quality of perennial wall rocket. *Horticulturae*. 2025;11(2):211. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020211>

33. Skrypnik L., Feduraev P., Golubkina N., Maslennikov P., Antipina M., Katserov D., Murariu O.C., Tallarita A.V., Caruso G. Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae*. 2024;(338):113633. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.113633>

34. Burmistrov D.E., Shumeyko S.A., et al. Selenium Nanoparticles (Se NPs) as Agents for Agriculture Crops with Multiple Activity: A Review. *Agronomy*. 2025;(15):1591. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071591>

## • References

1. Bezuglova E.V. Source material for the selection of beans (*Vicia Faba*) and the influence of biological preparations on their economically valuable traits in the southern forest-steppe of Western Siberia. Tyumen, 2015. 17 p. (In Russ.)

2. Amelin A.V., Voronichev B.A., Stebakova E.N. Productive potential of fodder bean plants in varieties with different levels of cultivation. *Vestnik OrelGAU*. 2008;(13):8-11. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/kwatsz>

3. Pivovarov V.F., Pronina E.P. Main directions and results of vegetable breeding and seed production of vegetable crops of legumes in VNIIS-SOK. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(1):4-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-4-11> <https://www.elibrary.ru/qcjhkh>

4. Brooks J.D. et al. Plasma selenium level before diagnosis and the risk of prostate cancer development. *Urol*. 2001;(166):2034-2038.

5. Salman M., Idiz G.Yi Effects of different levels of organic selenium supplementation on fattening performance, carcass characteristics and blood GSH-PX activity in lambs. *Rev. med. Vet (France)*. 2009;160(5):258-264.

6. Rizky Abdulah, Raori Miyazaki, Minato Nakazawa, Hiroshi Koyama, Abdulah Rizky. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2005;19(2-3):141-150.

7. Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 1999;13(1-2):15-20. (In Russ.)

8. Skalny A.V., Kiselev M.F. Elemental status of the Russian population. St. Petersburg: Medical book "EL-BI-SPb". 2010. 416 p. (In Russ.)

9. Ermakov V.V. Biological significance of selenium. M.: Science, 1974. 300 p. (In Russ.)

10. Golubkina N.A., Poluboyarinov P.A., Sindireva A.V. Selenium in plant products. *Nutrition Issues*. 2017;86(2):63-69. <https://www.elibrary.ru/ykkezb>

11. Rayman M.P. The argument for increasing selenium intake. *Proc. Nutr. Soc.* 2002;(61):203-215.

12. McKenzie R.C., Arthur J.R., Miller S.M., Rafferty T.S., Beckett G.J. Selenium and the immune system. in Nutrition and immune function. P.C. Calder, C.J. Field, H.C. Gill (eds). 2002. CABI Publishing. Wallingford. UK. P. 239-250.

13. Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid. Redox Signal.* 2011;14(7):1337-1383.

14. Sindireva A.V. Criteria and parameters of the action of microele-

ments in the "soil-plant-animal" system. Omsk, 2012. 455 p. (In Russ.)

15. Golubkina N.A., Papazyan T.T. Selenium in nutrition. Plants, animals, humans. 2006. Moscow: Pechatny Gorod, 269 p. (In Russ.)

16. Schrauser H.W. Selenium. Elements and their Compounds in the Environment. Vol.3. Nonmetals. Ed. Merian et al. Wiley-VCH Verlag. 2003. P.100-106.

17. Ermakov V.V., Kovalsky V.V. Biological significance of selenium. M.: Science, 1974. 300 p. (In Russ.)

18. Nikonov I.N., Folmanis Yu.G., Kovalenko L.V. [et al.] Biological activity of nanosized colloidal selenium. *Reports of the Academy of Sciences*. 2012;447(6):675-677. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/nzinsj>

19. Golubkina N.A., Sindireva A.V., Zaitsev V.F. Intraregional variability of selenium status of the population. *South of Russia: ecology, development*. 2017;12(1):107-127. (In Russ.) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>

20. Seregina I.I. Effect of microelements (selenium, zinc and molybdenum) on the growth, development and productivity of spring wheat under different conditions of nitrogen nutrition and water supply. M.: VIUA, 2000. 22 p. (In Russ.)

21. Stepanyuk V.V. The influence of selenium on the elemental composition of pea-oat mixture plants. *Agrohimia*. 2003;(12):13-20. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/okxqxx>

22. Torshin S.P., Udelnova T.M., Yagodin B.A. Biogeochemistry and agrochemistry of selenium and methods for eliminating selenium deficiency in food products and feeds. *Agrohimia*. 1996;(8):127-145. (In Russ.)

23. Lyons G., Genc Y., Soole K., Stangoulis J., Liu F., Graham R. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant Soil*. 2009;(318):73-80.

24. Jovic V. Selenium in soils and some plants in Serbia. *The problems of Biochemistry and Geochemical Ecology*. 2006;1(1):65-69.

25. Bobko E.V. Selected Works M.: Publishing house of agricultural literature, magazines and posters, 1963. 358 p. (In Russ.)

26. Kabata-Pendias A., Pendias H. Microelements in soils and plants M. 1989. 429 p. (In Russ.)

27. Brown K.M., Arthur J.R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health. Nutr.* 2001;(4):593-599.

28. Neuhierl B. [et al.] A family of S-methylmethionine-dependant thiol/selenol methyltransferases. Role in selenium tolerance and evolutionary relation. *Biol. Chem.* 1999;(274):5407-5414.

29. B'Hymer C., Caruso J.A. Selenium speciation analysis using inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*. 2006;(1114):1-20.

30. Sindireva A.V., Zayko O.A., Mangutova A.K. Ecological-toxicological assessment of the possibility of using selenium for correction of lead intoxication in rats. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2025;(1):168-176. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-168-176> <https://www.elibrary.ru/jijcli>

31. Sindireva A.V., Erdenetsogt E., Golubkina N.A., Guryev N.E. An integrated approach to standardizing selenium action in the soil-plant-animal system for developing scientifically based prevention of microelementoses in the regions of Russia and Mongolia. 2024. 244 p. (In Russ.)

32. Tallarita A.V., Golubkina N., De Pascale S., Şekara A., Pokluda R., Murariu O.C., Cozzolino E., Cenvinzo V., Caruso G. Effects of selenium/iodine foliar application and seasonal conditions on yield and quality of perennial wall rocket. *Horticulturae*. 2025;11(2):211. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020211>

33. Skrypnik L., Feduraev P., Golubkina N., Maslennikov P., Antipina M., Katserov D., Murariu O.C., Tallarita A.V., Caruso G. Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae*. 2024;(338):113633. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.113633>

34. Burmistrov D.E., Shumeyko S.A., et al. Selenium Nanoparticles (Se NPs) as Agents for Agriculture Crops with Multiple Activity: A Review. *Agronomy*. 2025;(15):1591. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071591>

## Об авторах:

**Анна Владимировна Синдирева** – доктор биол. наук, заведующая кафедрой геоэкологии и природопользования, <https://orcid.org/0000-0001-8596-7584>, SPIN-код: 2564-7936, автор для переписки, a.v.sindireva@utmn.ru

**Надежда Александровна Голубкина** – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, SPIN-код: 9284-3454, segolubkina45@gmail.com

**Елена Валентиновна Безуглова** – кандидат с.-х. наук, старший преподаватель кафедры экологии, природопользования и экологии, SPIN-код: 3257-5996, ev.bezuglova@omgau.org

**Михаил Александрович Федотов** – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, SPIN-код: 8147-0828, mikle\_fed@mail.ru

**Андрей Алексеевич Алпатов** – доктор экон. наук, профессор, зам. директора, SPIN-код: 8266-8755, aalpatov@imet.ac.ru

## About the Authors:

**Anna V. Sindireva** – Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Geoeology and Nature Management, <https://orcid.org/0000-0001-8596-7584>, SPIN-code: 2564-7936,

Corresponding Author, a.v.sindireva@utmn.ru

**Nadezhda A. Golubkina** – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher of the Laboratory and Analytical Department, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, SPIN-code: 9284-3454, segolubkina45@gmail.com

**Elena V. Bezuglova** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Lecturer, Department of Ecology, Nature Management, and Ecology, SPIN-code: 3257-5996, ev.bezuglova@omgau.org

**Mikhail A. Fedotov** – Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, SPIN-code: 8147-0828, mikle\_fed@mail.ru

**Andrey A. Alpatov** – Dr. Sci. (Economics), Professor, Deputy Director, SPIN-code: 8266-8755, aalpatov@imet.ac.ru