

Е. Ю. Александровская, А. В. Синдирева, В. В. Иеронова

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ СЕЛЕНА
В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

E. Ju. Aleksandrovskaia, A. V. Sindireva, V. V. Ieronova

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ACTION OF
SELENIUM IN A SOIL-PLANT SYSTEM IN THE
CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

Аннотация. Селен выполняет в живом организме важную роль антиоксиданта. Но при этом часто отмечается дефицит его содержания в объектах окружающей среды. Поэтому важна разработка и оценка методов наиболее эффективного и экологически безопасного поступления необходимого количества данного элемента в организм человека, в том числе, с растительной пищей. В связи с этим перспективными представляются приемы обогащения растений данным микроэлементом, в частности, путем дополнительного внесения его соединений в почву или некорневого поступления. В ходе исследования проводилась экологическая оценка влияния селена на биометрические параметры, урожайность и качество растений яровой пшеницы. Объектами исследования была зерновая культура мягкая яровая пшеница сорта Памяти Азиева, микроэлемент селен, лугово-черноземная почва. Установлено преимущественно стимулирующее влияние Se на показатели роста и развития растений пшеницы и урожайность зерна. Выявлена прямая зависимость между увеличением вносимых доз селена и повышением его содержания в зерне пшеницы. Полученные результаты могут быть использованы в разработке оптимальных способов применения селенсодержащих микроудобрений в конкретных экологических условиях.

Ключевые слова: селен; микроэлементы; пшеница; растительный организм.

Abstract. Selenium plays an important antioxidant role in a living organism. At the same time, we often observe a deficit of selenium in natural environmental locations. Therefore, it is of great importance to elaborate and assess methods for the most efficient and environmentally safe intake of the necessary amount of this element in the human body with the consumption of vegetable food, among others. In this respect, the techniques of enriching plants with this microelement are promising. These techniques include additional introduction of selenium compounds into the soil and non-root intake. Our research consisted of an environmental assessment of the effect of selenium on biometric parameters, crop yield, and quality of spring wheat plants. Aziiev soft spring wheat, selenium microelement, meadow chernozemic soil were the objects of our study. It was determined that Se has a predominantly stimulating effect on the growth and development of wheat plants and their crop yield. A direct correlation between an increase in the applied doses of selenium and an increase in its content in wheat grain was identified. The results of our study can be applied for the development of appropriate methods for the use of selenium-containing micro fertilizers in certain environmental conditions.

Key words: selenium, microelements, wheat, plant organism.

Сведения об авторах: Александровская Елена Юрьевна, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия, pleasureville@mail.ru; Синдирева Анна Владимировна, ORCID: 0000-0001-8596-7584, SPIN-код: 2564-7936, д-р биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, sindireva72@mail.ru; Иеронова Виктория Викторовна, SPIN-код: 1703-0331, канд. биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, vita17.8@mail.ru.

Information about authors: Aleksandrovskaia Elena Iurievna, P. A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia, pleasureville@mail.ru; Sindireva Anna Vladimirovna, ORCID 0000-0001-8596-7584, SPIN-code: 2564-7936, Dr. habil, Tyumen State University, Tyumen, Russia, sindireva72@mail.ru; Ieronova Viktoria Viktorovna, SPIN-code: 1703-0331, Ph.D., Tyumen State University, Tyumen, Russia, vita17.8@mail.ru.

Микроэлементы являются экзогенными химическими факторами, играющими значительную роль в таких жизненно важных процессах, как рост, размножение, цветение, клеточное дыхание, обмен веществ и др. Микроэлементы образуют с белками организма специфические металлоорганические комплексные соединения, являющиеся регуляторами биохимических реакций. В случае аномаль-

ного содержания или нарушенного соотношения микроэлементов в окружающей среде и в организме человека могут развиваться нарушения с характерными клиническими симптомами, главным образом в связи с нарушением функций ферментов, в состав которых они входят или их активируют. В результате нарушения функционирования одной или нескольких ферментных систем, вызываемого тем или иным этиологическим фактором, блокируется нормальный ход соответствующих процессов обмена [1].

В условиях техногенной эволюции биосферы представляется необходимым всестороннее изучение особо опасных биогеохимических эндемий, вызываемых дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов в среде, рационах и организме животных и человека. По мнению ряда исследований, наиболее опасны следующие биогеохимические провинции: с избытком – фтора, ртути, кадмия, меди, мышьяка, радионуклидов; с недостатком – селена, иода, кобальта и др. [7]. Одной из острых проблем является селенодефицит многих территорий.

Селен – «микроэлемент долголетия», очень важный для человеческого организма благодаря своим функциям. Необходимость микроэлемента селена для живых организмов на сегодняшний день не вызывает сомнений. В живом организме он выполняет функцию антиоксиданта. У человека и животных селен участвует в процессах детоксикации в печени, питании мышц, образовании кожи, волос, ногтей, роговицы глаз [3].

Дефицит селена в пищевых цепях, а вследствие этого, в организме человека, объясняется низким содержанием элемента в почве. В связи с этим необходима разработка мероприятий по увеличению содержания селена в системе почва–растение. С другой стороны, чрезвычайно высокое содержание селена в пище может вызвать интоксикацию. Поскольку зерновые культуры составляют основной рацион питания животных и человека, то возникает необходимость разработки методов и критериев оценки влияния селена на рост и развитие зерновых культур, урожайность и качество, а также установления оптимальных и токсических доз микроэлементов [3; 12].

В связи с этим была поставлена цель исследования: изучить влияние различных доз и способов применения Se на урожайность и качество мягкой яровой пшеницы сорта Памяти Азиева в условиях южной лесостепи Омской области.

Задачи: определить влияние селена на показатели роста и развития яровой мягкой пшеницы; установить влияние селена на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы; определить оптимальный экологически безопасный способ внесения селена для получения высокой продуктивности зерна пшеницы; установить влияние селена на качество зерна пшеницы; оценить накопление селена в зерне яровой мягкой пшеницы.

Объекты, условия и методы проведения исследований

Объектами исследования были зерновая культура мягкая яровая пшеница Памяти Азиева, микроэлемент селен, лугово-черноземная почва.

Полевые опыты по оценке действия селена на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы закладывались в 2013–2015 гг. на опытном поле в Кизюринском саду Омского ГАУ.

Почвенный покров опытного участка, на котором заложен полевой опыт, представлен лугово-черноземной маломощной тяжелосуглинистой почвой. Глубина грунтовых вод 3–6 м. Содержание гумуса в пахотном слое 5,2%, pH = 6,8. В среднем перед посевом культурных растений содержание в почве нитратного азота было недостаточно, практически в два раза меньше оптимальной нормы, подвижного фосфора – чуть ниже оптимальных значений, содержание обменного калия превышало оптимальное значение. В связи с этим обогащение селеном проводили на фоне минеральных макроудобрений (Фон N₃₀P₆₀). Содержание селена составляло за годы исследований 0,2–0,5 мг/кг.

В опыте использовали два способа применения селена: некорневое (опрыскивание зеленой массы перед фазой колошения) и основное внесение в почву перед посевом. Для опрыскивания использовали раствор селенита натрия в концентрациях 0,005; 0,01; 0,02%, для основного внесения дозы селена в составе селенита натрия составляли 9,12,15 кг/га. Расчет доз проводился согласно исследованиям А.В. Синдиревой [8].

В почву до посева вносились минеральные удобрения: азот в виде аммиачной селитры, фосфор – в виде суперфосфата. Посев проводился сеялкой ССФК-7М. Размер делянки 1 м², опыт проводился в шестикратной повторности. Фиксировались следующие фазы роста и развития растений: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, созревание, молочая спелость, восковая спелость, полная спелость. В фазу колошения и полной спелости проводили биометрические измерения. Также растительный материал оставляли сушить для последующего определения Se и других макро- и микроэлементов. Качество зерна определяли по следующим показателям: клейковина, стекловидность, белок,

натура в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Селен в почве и зерне определяли флюорометрическим методом в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства».

Полученные экспериментальные данные обрабатывались по методу дисперсионного и корреляционного анализов по методике Б.А. Доспехова (1985).

Результаты исследований

Селен обнаружен практически во всех материалах земной коры. Его содержание в магматических породах редко превышает 0,05 мг/кг. В осадочных породах он связан с глинистой фракцией, и поэтому наименьшие его концентрации отмечаются в песчаниках и известняках.

Селен в почвах представлен селенидами (Se^{2-}), элементарным селеном (Se^0), селенитами (SeO_3^{2-}), селенатами (SeO_4^{2-}) и органическими соединениями, преимущественно в окисленной форме (белки и аминокислоты). За последние 100 лет содержание селена в почве существенно снизилось. Во многих регионах наблюдается дефицит селена в почве и, как следствие, дефицит его в растениях [4; 5; 8; 11]. Исследования показали, что при внесении микроэлемента в почву в исследуемых дозах наблюдается значительное повышение его содержания в почве (табл. 1).

Таблица 1

Содержание селена в лугово-черноземной почве (слой 0–30 см) при его основном внесении

Вариант	Содержание селена, мг/кг
Фон (Ф) ($N_{30}P_{60}$)	0,46±0,05
Ф+Se 9 кг/га	5,6±0,9
Ф+Se 12 кг/га	6,9±1,5
Ф+Se 15 кг/га	8,2± 1,9

Таким образом, за счет дополнительного внесения селена в почву меняется её химический состав, что в дальнейшем способствует накоплению микроэлемента в системе почва–растение, изменению качества и продуктивности растений. При этом действие селена может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от дозы его поступления.

В настоящее время остается практически не исследованной и другая очень важная проблема – изучение механизмов действия селена на продуктивность, а также на физиологические и биохимические процессы основных сельскохозяйственных культур, таких как, например, пшеница. Выяснение биологических эффектов селена, особенно его защитного действия, исключительно важно для России, обширные территории которой имеют неблагоприятные условия для производства зерновых культур. Наибольший негативный эффект на растения оказывает засуха, которая охватывает практически всю территорию страны и случается не реже одного раза в 3–4 года [9]. Логично допустить, что в растениях, так же как и в животных, селен обладает защитным эффектом, который может реализоваться через функционирование селенобелков, в частности, защитных селенопероксидаз.

Биометрические показатели дают возможность более детально установить, за счет каких показателей получается суммарный эффект, оцениваемый величиной конечного урожая. Большая роль в этом отношении принадлежит учету некоторых показателей роста и развития растения в течение вегетационного периода. Влияние селенита на изменение биометрических показателей яровой пшеницы сорта Памяти Азиева в фазу колошения в среднем за 2013–2015 гг. представлены в таблице 2.

Таблица 2

Биометрические показатели яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, фаза колошения (в среднем за 2013–2015 гг.)

Вариант	Масса растения, г	Масса колоса, г	Длина колоса, см	Высота растения, см
Фон (Ф) $N_{30}P_{60}$	5,36	0,96	8,32	54,8
Ф+опр.Se 0,005%	5,94	1,37	8,84	60,2
Ф+опр.Se 0,01%	6,12	1,22	8,54	62,0
Ф+опр.Se 0,02%	6,22	1,21	8,08	62,4
Ф+Se9 кг/га	5,83	0,99	8,34	58,0
Ф+Se12 кг/га	6,12	1,36	8,52	60,0
Ф+Se15 кг/га	6,10	1,13	8,70	62,6
НСР 05	0,3	0,04	0,4	4,5

Согласно данным таблицы, отмечается положительное влияние селена на показатели роста и развития яровой пшеницы на стадии колошения при всех вариантах. Биометрические показатели на вариантах с применением селена, как при внесении в почву, так и при некорневой обработке, досто-

верно превышают уровень фона. В то же время достоверных различий между вариантами не установлено. Таким образом, можно предположить, что селен, обладая защитным действием, повышая устойчивость растений к неблагоприятным факторам, стимулирует показатели роста растений яровой мягкой пшеницы в процессе вегетации.

Влияние селенита на изменение биометрических показателей яровой пшеницы сорта Памяти Азиева в фазу полной спелости в среднем за 2013–2015 гг. представлено в таблице 3.

Таблица 3

Биометрические показатели яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, фаза полной спелости (в среднем за 2013–2015 гг.)

Вариант	Масса растения, г	Масса колоса, г	Длина колоса, см	Высота растения, см
Фон (Ф) N ₃₀ P ₆₀	3,21	1,45	7,47	77,2
Ф+опр.Se 0,005%	3,72	1,75	7,73	80,3
Ф+опр.Se 0,01%	4,14	2,00	7,81	81,0
Ф+опр.Se 0,02%	3,38	1,70	7,69	77,3
Ф+Se9 кг/га	4,54	2,20	8,13	82,1
Ф+Se12 кг/га	3,71	2,03	8,07	79,7
Ф+Se15 кг/га	3,80	2,00	7,91	77,8
НСР 05	0,4	0,03	0,4	4,3

Исходя из обобщенных данных за 2013–2015 гг. для фазы полной спелости яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, лучшим вариантом являлся внесение «фон + Se 9 кг/га» и опрыскивание с концентрацией 0,01%. Влияние микроэлементов на процессы роста и развития яровой пшеницы сорта Памяти Азиева в течение вегетации находит отражение в изменении урожайности. Различные способы применения микроэлемента и особенности накопления определяют интенсивность поступления микроэлемента в растения и, как следствие, влияют на рост и развитие, а в итоге – на урожайность сельскохозяйственных культур. Следовательно, различное содержание селена в растениях может оказывать значительное влияние на продукционный процесс в растительном организме, оказывая как положительное, стимулирующее, так и токсическое действие (табл. 4).

Таблица 4

Влияние селена на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева (в среднем за 2013–2015 гг.)

Вариант	Зерно		
	Урожайность зерна, кг/м ²	Прибавка	
		кг/м ²	%
Фон (Ф) N ₃₀ P ₃₀	0,22	–	–
Ф+опр.Se 0,005%	0,26	0,04	18,2
Ф+опр.Se 0,01%	0,28	0,06	27,3
Ф+опр.Se 0,02%	0,25	0,03	13,6
Ф+Se9 кг/га	0,27	0,05	22,7
Ф+ Se12 кг/га	0,24	0,02	11,7
Ф+ Se15 кг/га	0,22	0	0
НСР 05	0,03		

Из данных таблицы 4 видно, что максимальная урожайность зерна яровой пшеницы отмечалась на варианте с опрыскиванием «фон + опр. Se 0,01%», при этом урожайность превышала уровень фона на 27,3%. При основном внесении лучший результат при оценке урожайности зерна отмечался на варианте «фон + Se 9 кг/га». При этом прибавка составила 22,7% по сравнению с уровнем фона. Таким образом, влияние селена на урожайность яровой мягкой пшеницы зависело от физиологического действия самого элемента, дозы и способа его применения.

В условиях крайне напряженной экологической ситуации, сложившейся во многих регионах страны, повышение продуктивности растениеводства должно быть неразрывно связано с контролем качества получаемой сельскохозяйственной продукции [10]. Качество продуктов растениеводства – понятие очень многостороннее. Микроэлементы, поступая из почвы в растения, влияют на протекание биохимических реакций, изменяя содержание в растении необходимых для жизнедеятельности веществ. Однако избыточное поступление химических элементов может стать причиной накопления в растении веществ, опасных для здоровья человека и животных. Следовательно, изучение влияния селена на основные показатели качества сельскохозяйственных культур представляет практический интерес (табл. 5).

Таблица 5

Основные показатели качества зерна пшеницы сорта Памяти Азиева

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натура, г/л	Белок, %	Клейковина	
					%	ИДК
Фон (Ф)N ₃₀ P ₃₀	30,5	62,5	745,0	16,0	28,7	88,5
Ф+опр.Se 0,005%	36,6	67,0	745,0	16,0	28,3	83,0
Ф+опр.Se 0,01%	37,4	64,0	758,0	16,8	28,7	84,5
Ф+опр.Se 0,02%	34,7	65,0	752,0	15,8	29,3	81,0
Ф+Se9 кг/га	32,3	60,0	746,0	16,4	27,2	77,5
Ф + Se12 кг/га	32,1	66,5	739,0	16,2	28,9	86,0
Ф + Se15 кг/га	34,5	68,0	740,0	16,6	28,4	85,0

Качество зерна зависит от большого количества факторов. Их можно разделить на две группы: первая – факторы, на которые воздействовать не представляется возможным (погодно-климатические условия вегетационного сезона), и вторая – факторы, которыми можно управлять (питание растений, защита растений от вредителей, болезней и сорняков и качественная доработка зерна). Согласно обобщенным данным, селен оказал неоднозначное влияние на показатели качества зерна. Во многом изменение показателей качества сопряжено с накоплением селена в зерне яровой мягкой пшеницы, поскольку влияние микроэлемента на процессы метаболизма в растительном организме доказано множеством исследований. При применении микроудобрений увеличивается скорость протекания процессов развития организма, следовательно, растения лучше реализуют свои возможности. Это способствует улучшению биометрических показателей растения, приводит к повышению урожая зерновых культур и улучшению его качества.

Накопление микроэлементов в пищевых продуктах растительного происхождения происходит в зависимости от вида почвы, ее физических свойств и химического состояния, географического расположения района, климатических условий, от вида, сорта и стадии вегетации растений, применяемых удобрений, источников орошения и других факторов.

В связи с негативным влиянием избыточных количеств селена, поступивших с растительной пищей в живой организм, возникает необходимость проводить контроль питания растений по химическому анализу. Исследования показали значительное накопление селена в зерне яровой пшеницы при дополнительном его применении [2]. При непосредственном внесении селена в почву, так же как и при опрыскивании, наблюдается прямая зависимость между дозой внесения и содержанием селена в зерне (рис.).

Селен, накапливаясь в продукции растениеводства, поступает по пищевой цепи в организм человека и животных, вызывая как положительные, так и негативные последствия. Накопление селена в растениеводческой продукции может решить проблему селенодефицита, при этом зерно яровой мягкой пшеницы, обогащенной селеном, может быть хорошим и безопасным источником микроэлемента для населения селендефицитных регионов. В то же время в ряде исследований [8] показано, что кормление животных растениями, содержащими селен в дозах свыше 5 мг/кг, вызывает развитие воспалительных и дегенеративных процессов в местах первичного попадания селена, в частности, в тканях печени и почек. В связи с этим корма, выращенные на вариантах «Ф+опр.Se 0,02%» и «Ф+ Se15 кг/га», могут быть токсичны при потреблении их в пищу.

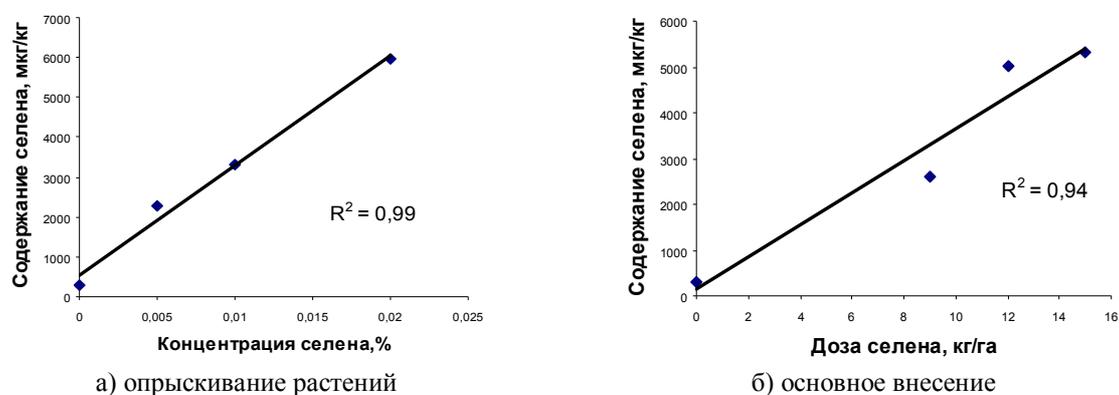


Рис. Зависимость содержания селена в зерне яровой мягкой пшеницы от дозы его поступления

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно судить об эффективности применения селена под зерновые культуры. Наиболее эффективным и в то же время экологически безопасным способом внесения является опрыскивание растений раствором селенита натрия (наилучшие результаты выявлены при концентрации раствора 0,01%) и внесение в почву в дозе 9 кг/га. При внесении селена в более высоких дозах существует опасность накопления избытка микроэлемента в системе почва–растение, что может рассматриваться уже как фактор загрязнения окружающей среды. Поэтому применение селена при обогащении сельскохозяйственных культур должно проводиться под строгим научным контролем.

Выводы

Влияние селена на рост и развитие яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева зависит от фазы развития растения, дозы и способа его применения. В целом селен оказывал стимулирующее влияние на основные показатели роста и развития культуры.

В условиях проведенного исследования (2013–2015 гг.) максимальное положительное влияние на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева оказала некорневая подкормка селеном с концентрацией 0,01%, прибавка в среднем составила 27,3% по сравнению с фоном.

Установлено влияние селена на такие показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы, как масса 1000 зерен, стекловидность, натура зерна, содержание белка и клейковины.

С увеличением дозы применения селена происходит повышение содержания его в зерне яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева.

Определена прямая сильная связь между поступлением селена и его содержанием в лугово-черноземной почве и в зерне яровой мягкой пшеницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина. 1991.
2. 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. № 1(21). С. 98–104.
3. Голубкина Н. А., Папазян Т. Т. Селен в питании: растения, животные, человек. М., 2006.
4. Голубкина Н. А., Синдирева А. В., Зайко О. А., Алфтан Г. Селеновый статус Омской области // Сибирский экологический журнал. 2012. № 3. С. 389–396.
5. Голубкина Н. А., Синдирева А. В., Зайцев В. Ф. Внутрирегиональная вариабельность селенового статуса населения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 1. С. 107–127. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985.
7. Ермаков В. В. Значение биогеохимических циклов макро-и микроэлементов в связи с техногенной эволюцией живого вещества // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2008. № 4. С. 13–15.
8. Синдирева А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе «почва – растение – животное»: Дис. ... д-ра биол. наук. Омск, 2012.
9. Усубова Е. З. Аккумуляция селена и его влияние на эпифитную микрофлору и продуктивность фасоли: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2012.
10. Черных Н. А., Ладонин В. Ф. Вопросы нормирования содержания тяжелых металлов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 5. С. 10–13.
11. Combs G. F. Selenium in global food systems // British journal of nutrition. 2001. Vol. 85. № 5. P. 517–547. <https://doi.org/10.1079/BJN2000280>
12. Fairweather-Tait S. J., Bao Y., Broadley M. R., Collings R., Ford D., Hesketh J. E., Hurst R. Selenium in Human Health and Disease // Antioxidants & redox signaling. 2011. Vol. 14. № 7. P. 1337–1383. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3275>

REFERENCES

1. Avtsyn, A. P., Zhavoronkov, A. A., Rish, M. A., & Strochkova, L. S. (1991). Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya. Moscow. (In Russian)
2. Alexandrovskaya, E. Yu., Sindireva, A. V., Golubkina, N. A., Chuyanova, G. I., & Serebrennikova, A. A. (2016). Vliyanie selena na urozhainost' i pokazateli kachestva zerna yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [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 Omsk State Agrarian University]*, (1(21)). 98-104. (In Russian)
3. Golubkina, N. A. & Papazyan, T. T. (2006). Selenium in nutrition: plants, animals, people. Moscow. (In Russian)
4. Golubkina, N. A., Sindireva, A. V., Zaiko, O. A., & Alfthan, G. (2012). Selenium status of Omsk oblast. *Contemporary Problems of Ecology*, 5(3), 389-396. (In Russian)
5. Golubkina, N. A., Sindireva, A. V., & Zaitsev, V. F. (2017). Interregional Variability of the Human Selenium Status. *South of Russia: ecology, development*, 12(1).107-127. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>. (In Russian)

6. Dospikhov, B. A. (1985). Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniya). Moscow. (In Russian)
7. Ermakov, V. V. (2008). Znachenie biogeokhimicheskikh tsiklov makro-i mikroelementov v svyazi s tekhnogennoi evolyutsiei zhivogo veshchestva. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoi ekologii*, (4). 13-15. (In Russian)
8. Sindireva, A. V. (2012). Kriterii i parametry deistviya mikroelementov v sisteme "pochva – rastenie – zhivotnoe": Dis. ... d-ra biol. nauk. Omsk. (In Russian)
9. Usubova, E. Z. (2012). Akkumulyatsiya seleno i ego vliyanie na epifitnyuyu mikrofloru i produktivnost' fasoli: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk. (In Russian)
10. Chernykh, N. A., & Ladonin, V. F. (1995). Voprosy normirovaniya sodержaniya tyazhelykh metallov v pochve. *Khimiya v sel'skom khozyaistve*, 5, 10-13. (In Russian)
11. Combs, G. F. (2001). Selenium in global food systems. *British journal of nutrition*, 85(5), 517-547. <https://doi.org/10.1079/BJN2000280>
12. Fairweather-Tait, S. J., Bao, Y., Broadley, M. R., Collings, R., Ford, D., Hesketh, J. E., & Hurst, R. (2011). Selenium in Human Health and Disease. *Antioxidants & redox signaling*, 14(7), 1337-1383. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3275>

Александровская Е. Ю., Синдирева А. В., Иеронова В. В. Экологическая оценка действия селена в системе почва-растение в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 104–110. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/16>

Aleksandrovskaia, E. Ju., Sindireva, A. V., & Ieronova, V. V. (2020). Ecological assessment of the action of selenium in a soil-plant system in the conditions of Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 104–110. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/16>

дата поступления: 16 мая 2019 г.

дата принятия: 10 октября 2019 г.

© Александровская Е.Ю., Синдирева А.В., Иеронова В.В.