

УДК 631.81.095.337

DOI: 10.18522/2308-9709-2025-52-11

Влияние «НаноКремния» на рост и развитие озимой пшеницы

Шеванюк Д. С.¹, Бирюкова О. А.¹, Хворост Д. А.¹

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: dasha.sheva8@yandex.ru*

Аннотация

В вегетационном опыте оценивали ростстимулирующий эффект различных доз инновационного наноудобрения «НаноКремний» при выращивании озимой пшеницы сорта Агрофак на черноземе обыкновенном карбонатном. Исследования показали, что обработка семян озимой пшеницы «НаноКремнием» в дозе 300 г/т увеличивала показатель силы роста на 8,0 %, биомассу проростков на 10,0 %. При этом наибольшее влияние на длину побегов озимой пшеницы оказала обработка семян наноудобрением в дозе 450 г/т. Ростстимулирующая активность «НаноКремния» в дозе 600 г/т не зафиксирована. Изучаемые биометрические показатели в этом варианте были на уровне контроля или ниже. Полученные результаты показали, что обработка семян озимой пшеницы «НаноКремнием» в дозе 300 г/т является наиболее эффективной не только для повышения всхожести, но и для стимуляции начального роста и накопления биомассы на ранних этапах онтогенеза озимой пшеницы, что в перспективе может создать основу для формирования более высокой продуктивности растений.

Ключевые слова: наноудобрение, нанокремний, озимая пшеница, сила роста, длина побегов и корней, масса побегов и корней.

Eng.

The effect of "NanoSilicon" on the growth and development of winter wheat

Shevaniuk Daria S.¹, Biryukova Olga A.¹, Khvorost Dmitriy A.¹

¹*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail:
dasha.sheva8@yandex.ru*

Annotation

In the vegetation experiment, the growth-stimulating effect of various doses of innovative «NanoSilicon» nanosilicon fertilizer was evaluated when growing Agrofac winter wheat on ordinary carbonate chernozem.

Studies have shown that the treatment of winter wheat seeds with «NanoSilicon» at a dose of 300 g/t increased the growth rate by 8,0 % and the biomass of seedlings by 10,0 %. At the same time, the treatment of seeds with nano-fertilization at a dose of 450 g/t had the greatest effect on the length of winter wheat shoots. The growth-stimulating activity of «NanoSilicon» at a dose of 600 g/t has not been recorded. The studied biometric indicators in this variant were at or below the control level. The results showed that the treatment of winter wheat seeds with «NanoSilicon» at a dose of 300 g/t is the most effective not only for increasing germination, but also for stimulating initial growth and accumulation of biomass in the early stages of winter wheat ontogenesis, which in the future may create the basis for the formation of higher plant productivity.

Keywords: nanofertilizer, nanosilicon, winter wheat, growth rate, shoot and root length, shoot and root mass.

Введение

В условиях увеличения населения планеты необходимо совершенствовать устойчивые методы ведения сельского хозяйства, которые позволяют получать более высокие урожаи, чтобы удовлетворить растущий спрос на продовольствие. Применение наноудобрений – один из таких современных методов (Жданок и др., 2012). Наноудобрения позволяют доставлять необходимые питательные вещества эффективнее, чем обычные удобрения, за счет небольшого размера частиц, повышают биодоступность элементов для растений, снижают их вымывание в водные системы.

Кремний (Si) является важнейшим элементом в жизни растительных организмов. Он оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, повышает урожайность и улучшает качество продукции. При этом, как правило, выраженный положительный эффект кремния более всего заметен у растений в условиях стресса (Шелкова и др., 2015). Оптимизация

кремниевого питания растений приводит к увеличению площади листьев. В таких условиях у растений формируются более прочные клеточные стенки. В стеблях злаков (овес, ячмень, пшеница, рис) кремний отлагается в стенках и междоузлиях, что существенно повышает их прочность, сужает просвет стебля и препятствует развитию и передвижению личинок насекомых. Таким образом, снижается риск опасности полегания посевов, а также поражения их болезнями и вредителями. Одной из важных функций активных форм кремния является стимуляция развития корневой системы. Исследования на злаковых показали, что при улучшении кремниевого питания растений увеличивается количество вторичных и третичных корешков на 20 – 100 % и более (Ничипуренко и др., 2024). Кремний в наноформе является перспективным объектом изучения, так как его применение позволит повысить устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды и получить стабильные урожаи зерна с хорошим качеством (Verma et al., 2022). Однако многие вопросы, связанные с применением нанокремния под различные сельскохозяйственные культуры, остаются еще не изученными.

Цель исследования – определение влияния «НаноКремния» на рост и развитие озимой пшеницы на черноземе обыкновенном карбонатном.

Объекты и методы

В рамках проведения исследований был заложен вегетационный опыт с озимой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) — ключевой зерновой культурой для агропромышленного комплекса Ростовской области, общая площадь посевов которой в регионе составляет 2,682 млн га (<https://сельхозпортал.рф/analiz-rosevnyh-ploshhadej/>). В опыте использовали мягкую озимую пшеницу сорта Агрофак (рис.1). Этот сорт рекомендован для возделывания в Северо-Кавказском регионе, обладает следующими характеристиками: направление использования – сильная пшеница, срок созревания (группа спелости) – средний (среднеспелая), устойчив к полеганию (<https://gossortrf.ru/registry/>).



Рис. 1 – Исследуемая культура

Для исследования эффективности наноудобрений было выбрано уникальное удобрение в жидкой форме «НаноКремний» на основе биологически активного кристаллического кремния (содержит 50,0 % кремния как д.в.) (<https://nano-si.ru/>).

Схема опыта:

1. Контроль (б/у)
2. «НаноКремний» 300 г/т
3. «НаноКремний» 450 г/т
4. «НаноКремний» 600 г/т

Повторность опыта – трехкратная. Способ внесения удобрений – предпосевная обработка семян.

Подготовка и проведение вегетационного опыта поведено по З. И. Журбицкому (1968). Для каждой культуры при закладке опыта необходимо учитывать оптимальный размер сосудов и количество семян в одном сосуде (Кидин и др., 2008). В вегетационном опыте использовали сосуды высотой 9 см и диаметром 10 см, вмещающие 300 г почвы, что обеспечило достаточно места для нормального развития 20 растений в каждом из них. Сосуды предварительно были вымыты, продезинфицированы и взвешены.

Подготовка почвы осуществлялась путем просеивания её через сито 3 мм. Выбор диаметра сита продиктован установленным размером агрономически ценной структуры – отдельности диаметром 0.25 – 7 (10) мм (Журбицкий, 1968).

Краткая характеристика почвы, используемой в вегетационном опыте,

Шеванюк Д. С., Бирюкова О. А., Хворост Д. А., Влияние «НаноКремния» на рост и развитие озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2025. – № 52; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-52/article-11>; DOI: 10.18522/2308-9709-2025-52-11

представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика почвы в вегетационном опыте
(Бирюкова и др., 2010; Гончарова и др., 2015)

Номер разреза	1
Название почвы	Чернозем обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках
Горизонт и глубина отбора	A _{пах} , 0-20 см
Место отбора	Ботанический сад ЮФУ (северная часть), г. Ростов-на-Дону
Дата отбора	04.10.2024
Содержание гумуса	3,55 %
pH	7,2
Содержание аммонийного азота	17,5 мг/кг
Содержание нитратного азота	26,1 мг/кг
Содержание подвижного фосфора	22,4 мг/кг
Содержание подвижного калия	360,0 мг/кг

Влажность почвы определяли по ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений».

Расчет влажности проводился по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100\% \quad (1)$$

где m_1 – масса влажной почвы с бюксом и крышкой, г; m_0 – масса высушенной почвы с бюксом и крышкой, г; m – масса пустого бюкса с крышкой, г.

Влажность чернозема обыкновенного составила 3,90 %. Параллельно необходимо было установить полную влагоемкость почвы для дальнейших вычислений норм полива. Для ее определения использовали расчетный метод по данным о плотности твердой фазы и плотности почвы. Формула для расчета полной влагоемкости (ПВ):

$$ПВ = \frac{d - dv}{d * dv} \times 100\% \text{ массы сухой почвы} \quad (2)$$

где d – плотность твердой фазы, $г/см^3$, dv – плотность почвы, $г/см^3$.

Полная влагоемкость чернозема обыкновенного составила 40,0 %. Согласно рекомендуемой методике расчета норм полива, учитывающей массу сосуда, почвы и растений в нем (Журбицкий, 1968), в каждый вегетационный сосуд приливали 60 мл воды.

После отбора семян их замачивали на 15 минут в 3 % растворе H_2O_2 , промывали водой, оставляли высохнуть (Мордвинцев, 2010). Затем семена обрабатывали «НаноКремнием» в соответствующих дозах. Углубляли посевной материал на 1,5-2 см. После выравнивания поверхности присыпали слой 0,5 см песка (20 г) в каждый сосуд. Полив сосудов осуществлялся до фиксированной массы (415 г) один раз в сутки в течение 10 дней.

По окончании опыта были определены показатели силы роста по массе проростков (в пересчете на 100 шт.) и по количеству пробившихся через слой почвы ростков (в %) на десятые сутки (Ступин, 2014). Для каждого из вариантов опыта вычислили среднее арифметическое значение результатов анализа из трех повторностей. Также дополнительно были измерены морфометрические показатели растений: длина побегов и корней, их масса.

Дисперсионный анализ полученных результатов проводили в пакете программ STATISTICA 13.3 с 5 % уровнем значимости ($P < 0.05$).

Результаты и обсуждение

Сила роста – это сумма тех свойств, которые определяют активность растений и способность их к прорастанию в широком диапазоне окружающих условий (Алексейчук, 2009). Показатели силы роста по количеству пробившихся сквозь слой почвы побегов в вегетационном опыте представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сила роста семян озимой пшеницы Агрофак, %

№	Вариант обработки	Сила роста, %
1	Контроль (б/у)	85,0
2	«НаноКремний» 300 г/т	93,0
3	«НаноКремний» 450 г/т	87,0
4	«НаноКремний» 600 г/т	83,0
	НСР 05	6,0

Обработка семян озимой пшеницы НаноКремнием в дозе 300 г/т повысила их всхожесть на 8,0 % по сравнению с контрольным вариантом. Увеличение дозы наноудобрения до 450 и 600 г/т приводит к снижению стимулирующего эффекта. В варианте 450 г/т увеличение всхожести составило лишь 2,0 % относительно контроля, а при внесении 600 г/т наблюдалась тенденция к снижению количества проростков (на 2,0 %), что может указывать на проявление фитотоксичности при высоких концентрациях.

Полученные результаты полностью согласуются с данными других авторитетных научных учреждений России (ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», Орловский ГАУ), которые также зафиксировали максимальную эффективность в диапазоне 7,8 % – 8,4 % для различных сортов озимой пшеницы (Донская безостая, Московская 39) (<https://nano-si.ru/>, 2019).

В таблице 3 представлены данные по биомассе озимой пшеницы в пересчете на одно растение. Наибольшая масса одного растения отмечена в вариантах с обработкой наноудобрением в дозах 300 и 450 г/т, что свидетельствует об усилении начального ростового процесса. Анализ сырой биомассы ростков подтвердил общую тенденцию. Побеги растений из варианта 300 г/т показали наибольшую массу, достоверно превышающую показатель контрольного варианта на 10,0 %.

Установленная закономерность полностью коррелирует с ранее выявленной оптимальной дозой (300 г/т) для повышения лабораторной всхожести. Это указывает на комплексное положительное действие «НаноКремния» на физиологическое состояние семян и проростков.

Таблица 3 – Биомасса озимой пшеницы Агрофак в вегетационном опыте

Варианты опыта	Сырая масса ростка, г	Сырая масса корня, г	Общая сырая масса 1 растения, г	Сухая масса ростка, г	Сухая масса корня, г	Общая сухая масса 1 растения, г
1.Контроль (вода)	0,1097± 0,0011	0,0037± 0,0004	0,1134± 0,0007	0,0023± 0,0002	0,0011± 0,0001	0,0034± 0,0001
2.«НаноКремний» 300 г/т	0,1203± 0,0015	0,0043± 0,0001	0,1246± 0,0008	0,0025± 0,00003	0,0011± 0,00003	0,0036± 0,00003
3.«НаноКремний» 450 г/т	0,1152± 0,0018	0,0037± 0,0001	0,1189± 0,0009	0,0025± 0,00003	0,0010± 0,00002	0,0035± 0,00002
4.«НаноКремний» 600 г/т	0,1022± 0,0010	0,0034± 0,0001	0,1056± 0,0006	0,0023± 0,00002	0,0010± 0,00002	0,0033± 0,00002
НСР ₀₅	0,0087	0,0004	0,0091	0,0002	0,00007	0,0002

Проведенный анализ биомассы проростков подтвердил выраженное дозозависимое действие удобрения «НаноКремний» и выявил оптимальную дозу для стимуляции начального развития озимой пшеницы.

Максимальная эффективность наноудобрения установлена при внесении 300 г/т. В этом варианте общая сырая масса всех проростков (т.е. масса всех проростков без деления на корни и ростки) превышает контроль на 10,0 %. Масса надземной части (ростков) выше контроля также на 10,0 %. Сырая масса корней превышает контрольный показатель на 16,0 %, что свидетельствует о мощном стимулирующем эффекте на начальное развитие корня.

НаноКремний в дозе 450 г/т показывает незначительное увеличение сырой массы надземной части (5,0 %) по сравнению с контролем, подтверждая снижение эффективности. Доза 600 г/т оказывает угнетающее действие: масса ростков и корней снижается на 7,0 % и 8,0 % соответственно по сравнению с контролем. Наблюдается четкая тенденция к подавлению ростовых процессов, особенно в корневой системе.

Полученные результаты подтверждаются данными ранее проведенных исследований для сорта Московская 39, где также было зафиксировано увеличение массы корней на 7,8 % под действием кремниевых препаратов (<https://nano-si.ru/>).

Во всех вариантах опыта наблюдалось значительное превышение сырой массы побегов над массой корней (в среднем в 30 раз), что является типичным для начальных этапов развития злаковых культур в оптимальных условиях вегетационного опыта (рис.2). Данные по сухой массе

демонстрируют иное соотношение (надземная часть превышает подземную лишь в 1,5 раза), что указывает на значительно более высокое содержание воды в тканях побегов по сравнению с корнями (рис.3).

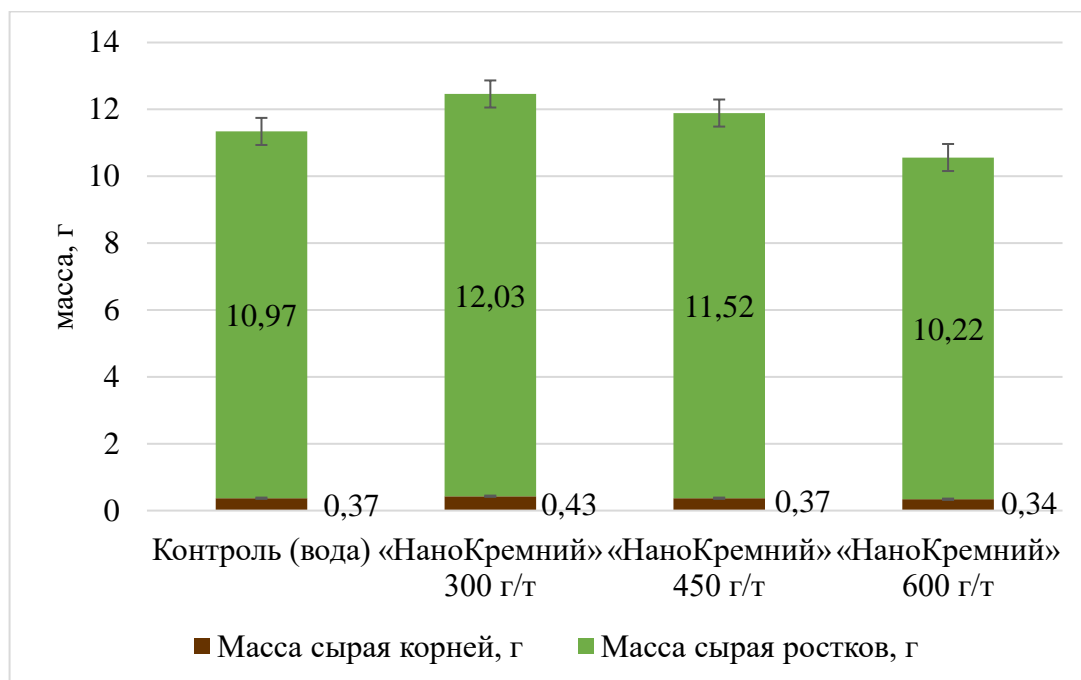


Рис. 2 – Сила роста озимой пшеницы *Агрофак* по сырой массе проростков, г (в пересчете на 100 шт.)

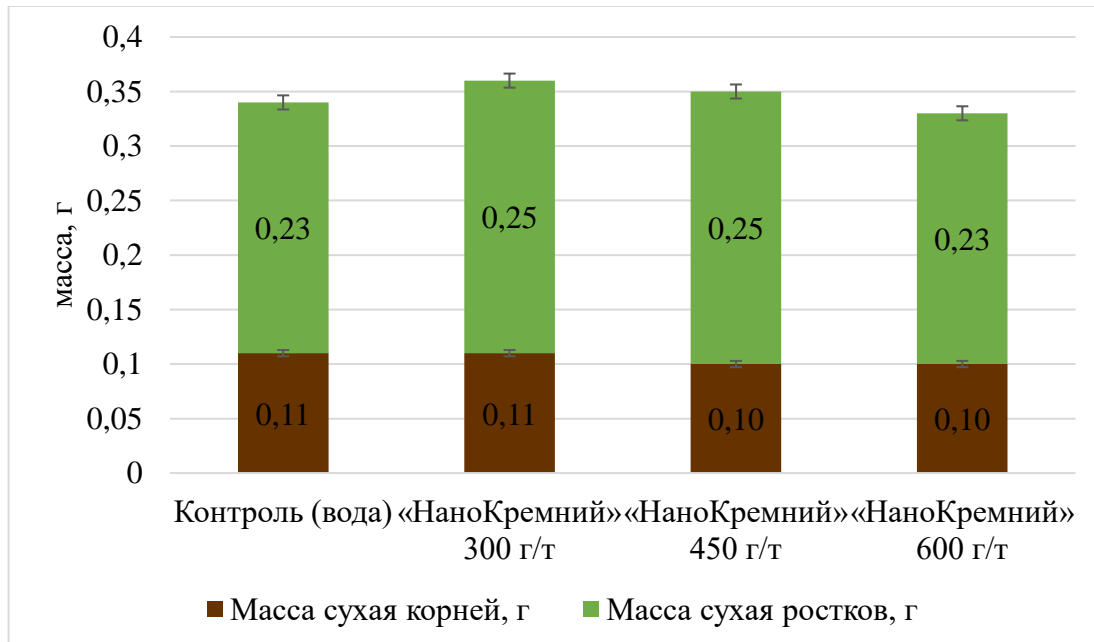


Рис. 3 – Сила роста озимой пшеницы *Агрофак* по сухой массе проростков, г (в пересчете на 100 шт.)

Анализ длины надземной части проростков выявил сложную зависимость эффекта от применяемой дозы НаноКремния, что указывает на необходимость тщательного подбора оптимальной концентрации.

Обработка семян НаноКремнием в дозе 450 г/т оказала наибольшее влияние на линейный рост побегов. Зафиксировано увеличение минимальных значений длины на 7,0 %, максимальных – на 15,0 % по сравнению с контролем. Среднее значение длины ростков в данном варианте также было максимальным. Применение двойной дозы (600 г/т) оказало подавляющее действие на ростовые процессы. Средняя длина ростков в этом варианте была на 5,0 % ниже, чем в контроле.

При оценке морфометрических показателей растений (длина надземной части) в среднем зафиксировано, что оптимально повлияла обработка дозой 450 г/т – это и увеличение минимума (7,0 %), и повышение максимума длины (15,0 %) и среднего значения. Минимальная длина ростков в опыте с двойной дозой – на 5,0 % меньше контроля (рис. 4).

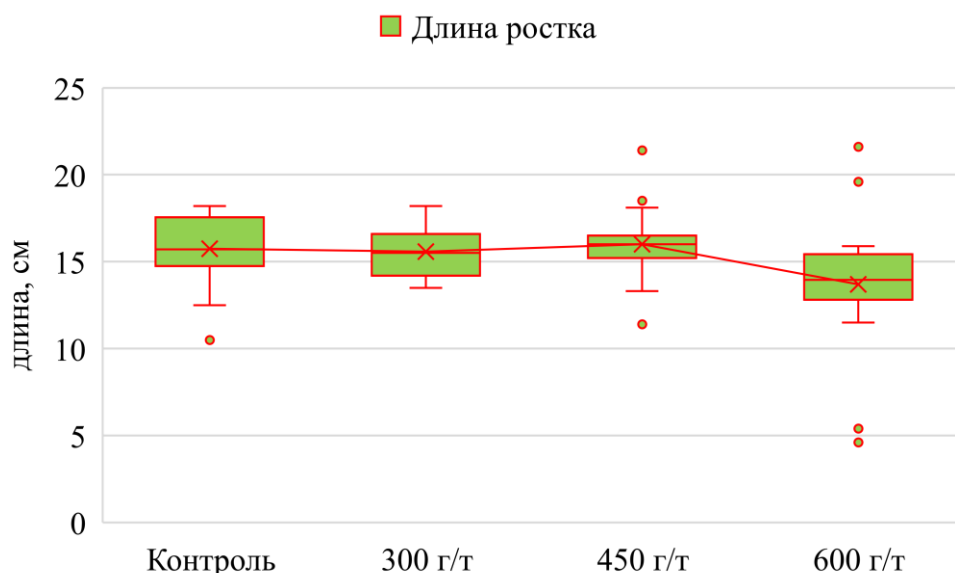


Рис. 4 – Распределение длины надземной части проростков пшеницы *Агрофак*

Заключение

В результате исследования установлено, что показатели силы роста семян озимой пшеницы в вегетационном опыте закономерно расположились в следующем возрастающем ряду: «НаноКремний» 600 г/т < Контроль (б/у) < «НаноКремний» 450 г/т < «НаноКремний» 300 г/т. Применение НаноКремния в дозе 300 г/т повысила количество взошедших семян на 8 %. В этом же варианте выявлено увеличение сырой массы побегов на 10,0 % и сырой масса корней на 16,0 %. Внесение наноудобрения в дозе 450 г/т менее эффективно, а предпосевная обработка семян двойной дозой (600 г/т) оказывает негативное воздействие на рост и развитие озимой пшеницы.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии «НаноКремния» на рост и развитие озимой пшеницы. Обработка семян озимой пшеницы удобрением «НаноКремний» в дозе 300 г/т является оптимальной, обеспечивая комплексную стимуляцию как надземной, так и подземной частей растений.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

Литература

Алексейчук Г. Н. Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения: учебно-методическое пособие. Мн.: Право и экономика, 2009. – 44 с.

Бирюкова О.А., Ельников И.И., Крыщенко В.С. Оперативная диагностика питания растений. – Ростов/Д: Изд-во ЮФУ. 2010. –168 с.

Воронков М. Г., Кузнецов И. Г. Кремний в живой природе / Отв. ред. К. Р. Седов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. — 157 с.

Гончарова Л. Ю. и др. Современное состояние черноземов обыкновенных особо охраняемых территорий Нижнего Дона // Мелиорация и гидротехника. 2015. № 4 (20). – С. 210–227.

Жданок С. А., Ильина З. М., Толочко Н. К. Нанотехнологии в агропромышленном комплексе: монография / Под ред. Н. К. Толочко. Минск: БГАТУ, 2012. – 172 с.

Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода – Вегетационный метод / АН СССР. Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева. Москва: Наука, 1968. — 266 с.

Кидин В. В. Практикум по агрохимии / Кидин В. В., Дерюгин, И. П., Кобзаренко В. И. и др. / Под ред. В. В. Кидина. М.: КолосС, 2008. – 599 с.

Ничипуренко Е.Н. и др. Влияние минерального удобрения с микроэлементами «нанокремний» на продуктивность озимой пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 195(01). – С.1–8.

Ступин А.С. Основы семеноведения: учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2014. – 384 с.

Шелкова А.О., Новикова Н.Е. Физиологическая роль кремния в жизни растений // *Russian Agricultural Science Review*. 2015. № 5–1. – С.187-190.

АГРОФАК 100. Пшеница мягкая озимая [Электронный ресурс] / — Режим доступа: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyu-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/agrofak-100-pshenitsa-myagkaya-ozimaya/?ysclid=m8334h8r4a217826049>. — Дата обращения: 05.11.2024.

Мордвинцев М. П. Семеноведение: определение посевных качеств семян. Особенности: альбом наглядных материалов для ЛПЗ по растениеводству [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://direct.farm/d8bca905ea73465a83535536439636ab1470707.pdf>. Дата обращения: 11.11.2024.

НаноКремний® — биологически активный кремний кристаллический [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://nano-si.ru/>. Дата обращения: 09.01.2025.

Посевная площадь озимой пшеницы в Ростовской области на Сельхозпортале [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://сельхозпортал.рф/analiz-rosevnyh-ploshhadej/?region_id=2252&area=3. Дата обращения: 11.03.2025.

Verma K. K. Nanofertilizer Possibilities for Healthy Soil, Water, and Food in Future / Verma K.K., Song X-P., Joshi A. and others. // *Frontiers in Plant Science*. 13:865048. doi: 10.3389/fpls.2022.865048.

References

Alekseychuk G. N. The growth force of grain seeds and its assessment by the accelerated aging method: an educational and methodological guide. – Moscow: Pravo i ekonomika Publ., 2009. – 44 p.

Biryukova O.A., Yelnikov I.I., Kryshchenko V.S. Operative diagnostics of plant nutrition. – Rostov/D: SFU Publishing House. – 2010. -168 p.

Voronkov M. G., Kuznetsov I. G. Silicon in living nature / Ed. by K. R. Sedov. – Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1984. – 157 p.

Goncharova L. Y. and others. The current state of chernozems of ordinary specially protected areas of the Lower Don // *Land reclamation and hydraulic engineering*. – 2015. – № 4 (20). – Pp. 210-227.

Zhdanok S. A., Ilina Z. M., Tolochko N. K. Nanotechnology in the agro-industrial complex: monograph / Edited by N. K. Tolochko. – Minsk: BGATU, 2012. – 172 p.

Zhurbitsky Z. I. Theory and practice of the vegetative method – The vegetative method / USSR Academy of Sciences. K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology. – Moscow: Nauka Publ., 1968. – 266 p.

Kidin V. V. Practicum on agrochemistry / Kidin V. V., Deryugin, I. P., Kobzarenko V. I. et al. / Edited by V. V. Kidin. – Moscow: KolosS Publ., 2008. – 599 p.

Nicipurenko E.N. and others. The effect of mineral fertilizer with trace elements "nanosilicon" on the productivity of winter wheat // Polythematic online electronic scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. – 2024. – № 195(01). – Pp.1-8.

Stupin A.S. Fundamentals of seed science: a textbook. – Saint Petersburg: Lan Publishing House, 2014. – 384 p.

Shelkova A.O., Novikova N.E. The physiological role of silicon in plant life // Russian Agricultural Science Review. – 2015. – № 5-1. – Pp. 187-190.

AGROFAC 100. Soft winter foam [Electronic resource] / — Access mode: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektcionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/agrofak-100-pshenitsa-myagkaya-ozimaya/?ysclid=m8334h8r4a217826049>. – Date of request: 05.11.2024.

Mordvintsev M. P. Seed science: determination of sowing qualities of seeds. Friends: an album of visual materials for management users [Electronic resource] / — Access mode: <https://direct.farm/d8bca905ea73465a83535536439636ab1470707.pdf>. – Date of request: 11.11.2024.

NanoSilicon ® — biologically active crystalline silicon [Electronic resource] / — Access mode: <https://nano-si.ru/>. – Date of request: 09.01.2025.

The sown area of winter wheat in the Rostov region in rural areas [Electronic resource] / — Access mode: https://сельхозпортал.Russian Federation/analiz-posevnyh-ploshhadej/?region_id=2252&area=3. – Date of request: 03.11.2025.

Verma K. K. Nanofertilizer Possibilities for Healthy Soil, Water, and Food in Future / Verma KK., Song X-P., Joshi A. and others. // *Frontiers in Plant Science*. – 13:865048. doi: 10.3389/fpls.2022.865048.

Статья поступила в редакцию 8 июня 2025 г.

Принята к печати 20 июня 2025 г.

Received June 8, 2025

Accepted June 20, 2025