

Эффективность кремнийсодержащих препаратов при выращивании картофеля

© 2025. Ю. Д. Смирнова✉, Н. В. Фомичева

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Внедрение биологических средств в растениеводство для защиты, регулирования роста и повышения устойчивости культур к биотическим и абиотическим стрессам становится все более распространенным. Цель исследования – изучить влияние кремнегуминовых препаратов на урожайность картофеля и микробиологическую активность почвы. Исследования проводили в условиях Тверской обл. в 2020–2022 гг. В опыте испытывали кремниевый (раствор силиката натрия) и кремнегуминовые препараты, разработанные во Всероссийском НИИ мелиорируемых земель (БоГум-С, наноБоГум-С). Для получения нанопрепаратов применяли метод ультразвукового диспергирования. Препараты использовали для обработки клубней перед посадкой (ОК) в концентрациях 0,5; 1,0 % и двукратной некорневой обработки (НО) растений картофеля сорта Скарб в фазы «всходы» и «бутонизация». Наибольший прирост урожайности картофеля в среднем за три года относительно контроля (без обработок) отмечали в варианте с применением наноразмерного кремнегуминового препарата наноБоГум-С (ОК, 1,0 % + НО) – 1,7 т/га, или 9,7 %. Статистически значимые прибавки урожайности картофеля в этом варианте получены во все годы испытаний. Рост урожайности обусловлен увеличением доли средней фракции картофеля за счет снижения мелкой. В основные фазы развития растений картофеля проводили учет численности автохтонных, аммонифицирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов в почве методом предельных разведений на агаризованных питательных средах. Обработка клубней картофеля препаратами способствовала активизации указанных групп микроорганизмов, наибольшая их численность отмечена в варианте с применением наноБоГум-С (ОК, 1,0 % + НО). Численность указанных групп микроорганизмов возросла в фазу «всходы» практически в два раза, в фазу «цветение» прирост аммонифицирующей микрофлоры составил 36 %, фосфатмобилизирующей – 43 %. Активизация автохтонных микроорганизмов оказывала влияние на содержание легкогидролизуемого азота в почве. При применении кремнийсодержащего препарата наноSi отмечали повышение численности фосфатмобилизирующих микроорганизмов и снижение активности аммонифицирующих и автохтонных.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., урожайность, кремний, гуминовые препараты, микроорганизмы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема № FGUR-2022-0017).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Смирнова Ю. Д., Фомичева Н. В. Эффективность кремнийсодержащих препаратов при выращивании картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1069–1076.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1069-1076>

Поступила: 03.02.2025

Принята к публикации: 26.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

The effectiveness of silicon-containing preparations in potato growing

© 2025. Yulia D. Smirnova✉, Natalia V. Fomicheva

Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The introduction of biological agents in crop production for protection, growth regulation and increasing crop resistance to biotic and abiotic stresses is becoming increasingly common. The aim of the study was to investigate the effect of siliceous humic preparations on potato yield and soil microbiological activity. The studies were conducted in the Tver region from 2020 to 2022. The experiments tested silicon (sodium silicate solution) and siliceous humic preparations developed at the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (BoHum-S, nanoBoHum-S). Ultrasonic dispersion was used to obtain nanopreparations. The preparations were applied to tubers before planting (OK) at concentrations of 0.5 and 1.0 % and as a two-time foliar treatment (HO) of 'Skarb' potato plants during the "seedlings" and "budding" phases. The greatest increase in potato yield on average over three years relative to the control (without treatment) was noted in the variant using the nanosized silica-humic preparation nanoBoHum-S (OK, 1.0% + HO) – 1.7 t/ha, or 9.7 %. Statistically significant increases in potato yield in this variant were obtained in all years of testing. The yield increase is due to the increase in the share of the medium potato fraction due to the decrease in the small one. During the main phases of potato plant development, the number of autochthonous, ammonifying and phosphate-mobilizing microorganisms in the soil was counted using the limiting dilution method on agar nutrient media. Treatment of potato tubers with preparations contributed to the activation of the said microorganisms, their highest number was noted in the variant with the use of nanoBoHum-S (OK, 1.0% + HO). The number of the said microorganisms increased almost twofold in the germination phase, in the flowering phase the increase in ammonifying microflora was 36 %, phosphate-mobilizing – 43 %. Activation of autochthonous microorganisms affected the content of easily hydrolyzed

nitrogen in the soil. When using the silicon-containing preparation nanoSi, an increase in the number of phosphate-mobilizing microorganisms and a decrease in the activity of ammonifying and autochthonous ones were noted.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., yield, silicon, humic preparations, microorganisms

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (No. FGUR-2022-0017).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Smirnova Yu. D., Fomicheva N. V. The effectiveness of silicon-containing preparations in potato growing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1069–1076. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1069-1076>

Received: 03.02.2025

Accepted for publication: 26.09.2025

Published online: 31.10.2025

Современные вызовы, связанные с заботой о почве и экологии, требуют биологизации производства сельскохозяйственных культур [1, 2]. Исследователи во всем мире отмечают, что применение минеральных удобрений и пестицидов, даже в невысоких дозах, оказывает неблагоприятное воздействие на почвенный покров, состояние её микрофлоры и мезофауны, и как результат, на качество продукции [3, 4, 5].

Все чаще в производство сельскохозяйственных культур внедряют биологические средства интенсификации, выполняющие защитные, рострегулирующие функции и повышающие устойчивость культур к биотическим и абиотическим стрессам [6, 7, 8]. Положительное влияние на сельскохозяйственные культуры российские и зарубежные исследователи отмечают в отношении всех групп разрабатываемых препаратов: гуминовых, микробиологических, комплексных и других.

Определенный интерес в последние годы наблюдается в отношении препаратов, содержащих кремний, изучается их эффективность для некорневого питания растений и предпосевной обработки семян. В работе Е. В. Безручко и Л. С. Федотовой [9] представлен аналитический материал по применению в России и зарубежом различных кремниевых препаратов при выращивании картофеля. Показано, что все формы кремния способствовали росту урожайности картофеля, повышению его качественных характеристик, стрессоустойчивости культуры.

Использование Силипланта, содержащего 7 % кремния, приводило к повышению урожайности сортов картофеля Утенок, Иван-да-Марья, Ароза на 36,4; 16,1; 29,1 % соответственно и фотосинтетического потенциала посадок [10].

Положительное влияние на урожайность и качество клубней картофеля препарата АпаСил (APASIL), который содержит аморфные формы диоксида кремния в количестве не

менее 31,5 %, показано в работах Воронежского ГАУ [11].

Все исследования, проведенные лабораторией агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» с разными кремниевыми препаратами на растениях картофеля, показали хорошую их эффективность. Применение препаратов Форрис и АпаСил обеспечивало примерно равные максимальные прибавки урожайности картофеля на уровне 15 %. Высокий прирост урожайности картофеля отмечен также при внесении перед посадкой цеолита в дозе 5000 кг/га и составил в среднем 9,8 т/га, или 62,4 % по сравнению с вариантом без удобрений [12].

Зарекомендовали себя комплексные препараты, в частности кремнегуминовые, эффективность которых показана на различных сельскохозяйственных культурах. Применение жидкого гуминового экстракта с активным кремнием EcoGrow для обработки клубней картофеля сорта Гала и дальнейшей двукратной подкормки растений способствовало росту урожайности культуры на 39,38 %. Также установлено повышение общей биогенности чернозема, увеличение содержания в клубнях картофеля сухого вещества, крахмала и витамина С [13].

Цель исследования – изучить влияние кремнийсодержащих препаратов на урожайность картофеля и микробиологическую активность почвы.

Научная новизна – в климатических условиях Тверской области изучена эффективность новых кремнегуминовых препаратов для обработки клубней и вегетирующих растений картофеля, рассмотрено влияние кремнегуминовых препаратов на численность агрономически значимой микрофлоры.

Материал и методы. Исследования проводили на агрополигоне Губино Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) – филиале

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (Тверская область) в мелкоделянчном опыте в 2020–2022 гг. на посадках картофеля сорта Скарб. В опыте применяли комплексное минеральное удобрение общим фоном в дозе $N_{65}P_{65}K_{65}$, предшественник – яровая пшеница. Почва опыта дерново-подзолистая среднекислая pH 4,95–5,05, с содержанием гумуса 2,0–2,3 % (по методу Тюрина), Нлг 44,8–45,5 мг/кг (по методу Корнфилда), P_2O_5 – 205–230 мг/кг и K_2O – 134–182 мг/кг почвы (по методу Кирсанова).

В опыте исследовали следующие препараты:

1. Раствор силиката натрия, обработанный ультразвуком (УЗ) – наноSi: содержание SiO_2 – 0,1 %.

2. Кремнегуминовый препарат БоГум-С (разработка ВНИИМЗ): содержание SiO_2 – 0,1 %, гуминовых кислот – не менее 10 г/л, pH – не более 9, сухого остатка – не менее 20 г/л.

3. Кремнегуминовый препарат БоГум-С, обработанный ультразвуком – наноБоГум-С.

Для обработки препаратов УЗ использовали ультразвуковой гомогенизатор Sonopulse HD 3200 (Bandelin electronic, Германия) с системой управления Amplichron®, время воздействия – 20 мин.

Препараты применяли для обработки клубней (ОК) перед посадкой и двукратной некорневой обработки вегетирующих растений картофеля (НО). Обработку клубней проводили препаратами наноSi и БоГум-С раствором 1,0%-й концентрации, наноБоГум-С – 0,5 и 1,0%-й (расход рабочего раствора 50 л/т семян). Некорневую обработку вегетирующих растений осуществляли по фазам «всходы» и «бутонизация» в единой норме расхода 1 л/га (расход рабочего раствора 300 л/га). Контролем служил вариант без обработок. Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок систематическое.

В фазы «всходы» и «цветение» растений картофеля исследовали содержание автохтонных, аммонифицирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов в почве. Учет численности осуществляли методом посева на твердые питательные среды¹, соответственно нитритном агаре, мясо-пептонном агаре, среде Менкиной (в качестве единственного источника фосфора использовался лецитин)².

Учетная площадь делянки – 10 м², уборку урожая проводили со всей площади делянки.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2019. Статистическую достоверность различий урожайности оценивали по значениям наименьшей существенной разницы (НСР) при 5%-ом уровне значимости. На рисунках представлены среднеарифметические значения показателей со стандартным отклонением, достоверность результатов оценивали по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Анализ препаратов на анализаторе размера частиц 90 Plus/MAS (Brookhaven Instruments, США) свидетельствовал о снижении размера частиц под влиянием УЗ воздействия (табл. 1): отмечено уменьшение всех исследуемых параметров и достижение наноуровня. В свою очередь, это обстоятельство указывает на увеличение биодоступности препаратов и направлено на повышение их эффективности.

Урожайность картофеля при внесении невысоких доз минеральных удобрений получена в опыте на уровне среднестатистической для данной культуры по Тверской области – 17,6–19,3 т/га (табл. 2).

Анализ данных по урожайности картофеля показал, что применение препаратов в течение трехлетнего периода увеличило продуктивность культуры по сравнению с контрольной группой. Наиболее существенное статистически значимое воздействие на урожайность наблюдали при использовании препаратов, подвергнутых ультразвуковой обработке. В частности, максимальное увеличение общей урожайности в среднем за три года было зафиксировано при использовании наноБоГум-С при обработке клубней 1,0%-м раствором (табл. 2) – прибавка урожая составила 1,7 т/га, или 9,7 %. В остальных вариантах применения кремнегуминовых препаратов в среднем за три года получена близкая урожайность, прибавка составила 1,1–1,3 т/га, или 6,2–7,4 %. Необходимо отметить, что в варианте с некорневой обработкой вегетирующих растений картофеля препаратом НаноSi (0,1%-й раствор силиката натрия, подвергнутый УЗ воздействию) прирост урожайности составил 5,1 %, что было немного меньше, чем от кремнегуминового БоГум-С. Полученные результаты согласуются с данными о положительном влиянии препаратов, содержащих кремний, на рост и развитие картофеля [12, 13, 14].

¹Методы почвенной микробиологии и биохимии: учебное пособие. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.

²Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. Пер. с венг. И. Ф. Куренного. М.: Колос, 1983. 296 с.

Таблица 1 – Изменение размеров частиц препаратов под влиянием ультразвукового воздействия /
Table 1 – Changes in sizes of preparation particles under the influence of ultrasound

Препарат / Preparation	Эффективный диаметр, нм / Effective diameter, nm			Минимальный размер частиц, нм / Minimum particle size, nm			Средний диаметр, нм / Average diameter, nm		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
БоГум-С / BoHum-S	374	276	350	114	85	120	545	425	532
наноБоГум-С / nanoBoHum-S	235	193	221	75	40	82	301	242	296
наноSi / nanoSi	-	239	168	-	78	72	-	292	252

Таблица 2 – Влияние кремнийсодержащих препаратов на урожайность картофеля сорта Скарб /
Table 2 – The influence of silicon-containing preparations on the yield of the ‘Skarb’ potato cultivar

Препарат / Preparation	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				Соотношение фракций клубней в кусте / The ratio of tuber fractions in a bush ≥100 г: 100–50 г: ≤50 г	
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее / average	количество / quantity	масса / weight
Контроль / Control	18,6	17,3	15,7	17,6	0,22:0,47:0,31	0,45:0,44:0,11
наноSi / nanoSi (OK, 1,0 % + HO)	–	18,4	17,3	18,5	0,22:0,56:0,21	0,45:0,47:0,08
БоГум-С / BoHum-S (OK, 1,0 % + HO)	19,8	18,2	16,7	18,7	0,19:0,53:0,28	0,37:0,51:0,12
наноБоГум-С / nanoBoHum-S (OK, 0,5 % + HO)	19,1	19,0	17,3	18,9	0,21:0,48:0,30	0,42:0,47:0,10
наноБоГум-С / nanoBoHum-S (OK, 1,0 % + HO)	20,4	18,3	17,9	19,3	0,22:0,51:0,27	0,43:0,48:0,09
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,96	0,87	0,84	-	-	-

Примечания: OK – обработка клубней; HO – некорневая обработка /
Notes: OK – tuber treatment; HO – non-root treatment

Применение всех кремнийсодержащих препаратов повлияло на структуру урожая. В вариантах с наноразмерными препаратами НаноSi, наноБоГум-С (особенно при использовании 1,0%-го раствора для обработки клубней) наблюдали повышение доли средней фракции, которое происходило за счет снижения количества мелкого картофеля. Другими словами, указанные препараты наряду с повышением урожайности увеличивали товарность картофеля. В то же время использование препарата БоГум-С также значительно увеличило долю средней фракции клубней, но за счет снижения массы крупных клубней с куста на 18 %.

Полученный повышенный урожай от применения наноразмерного кремнегуминового препарата определялся синергетическим эффектом – сочетанием влияния гуминовых веществ и кремния, а также активизацией почвенной микрофлоры.

При детальном рассмотрении содержания микроорганизмов в зависимости от фазы развития растений выявлено статистически значимое увеличение всех изучаемых групп

микроорганизмов в фазе «всходы» в варианте с обработкой клубней наноБоГум-С в концентрации 1,0 % (рис.) – численность аммонифицирующих, автохтонных и фосфатмобилизующих микроорганизмов возросла практически в два раза по сравнению с вариантом без обработки.

Некорневая подкормка наноразмерными кремнегуминовыми препаратами посадок картофеля способствовала активизации аммонифицирующей микрофлоры в фазу «цветение»: прирост численности составил 21–36 % (рис. а). Повышение общей биогенности почвы в результате обработки клубней и вегетирующих растений кремнегуминовым препаратом отмечается и в работе [13]: препарат EcoGrow способствовал увеличению общей численности почвенной микрофлоры на 1,48–17,67 млн КОЕ/г. Значительное увеличение численности микроорганизмов в ризосфере картофеля при применении гуминовых и кремниевых препаратов (на 42–92 % по отношению к контролю) описано и другими авторами [15].

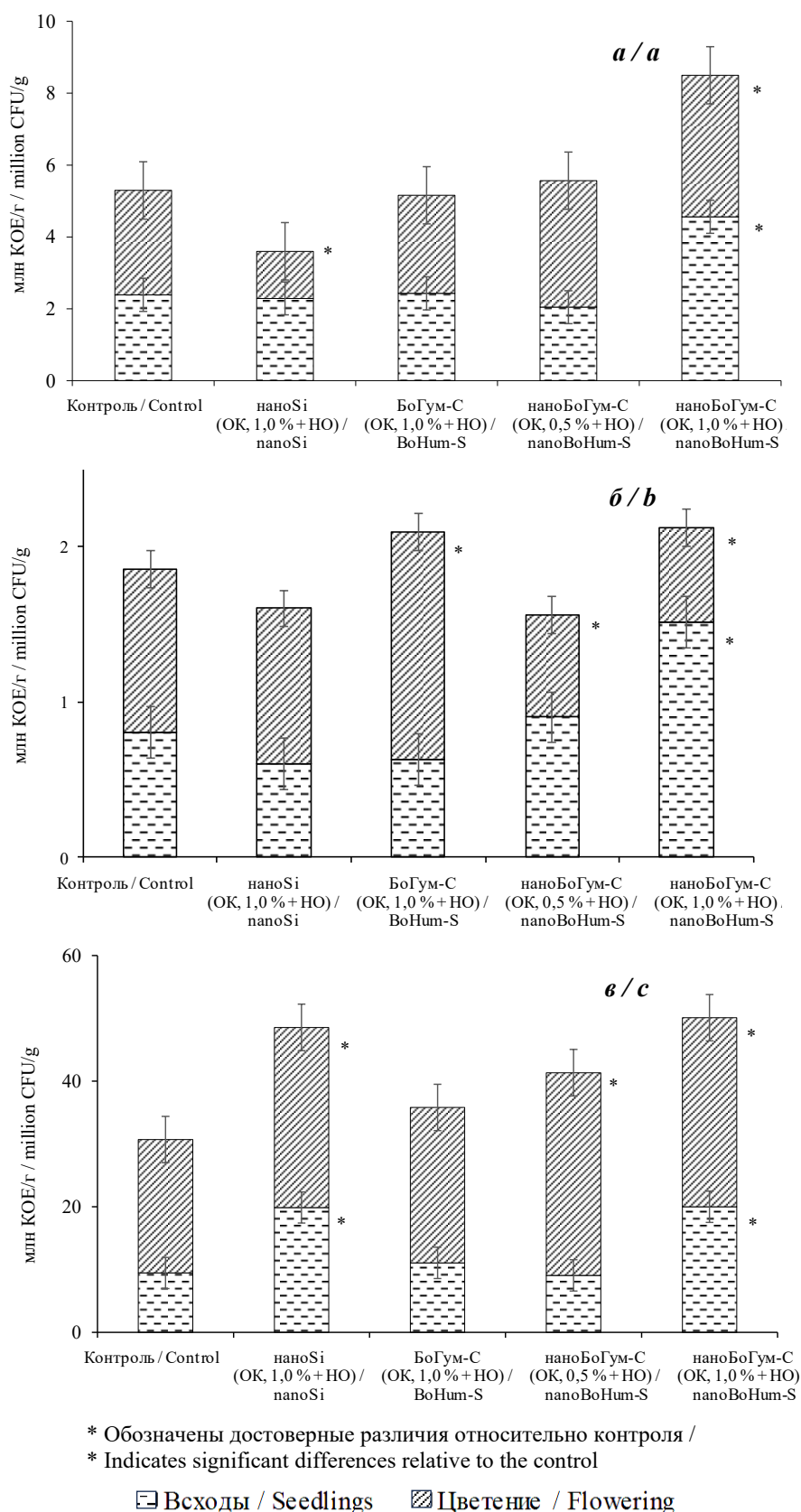


Рис. Влияние кремнийсодержащих препаратов на содержание групп микроорганизмов в почве по фазам развития картофеля сорта Скарб: а – аммонифицирующие; б – автохтонные; в – фосфатмобилизующие (в среднем за 2020–2022 гг.) /

Fig. The influence of silicon-containing preparations on the content of microorganism groups in the soil according to the development phases of the 'Skarb' potato cultivar: а – ammonifying; б – autochthonous; в – phosphate-mobilizing (average for 2020–2022)

Автохтонные микроорганизмы играют ключевую роль в преобразовании азота гумусовых кислот, что, в свою очередь, оказывает влияние на содержание легкогидролизуемого азота в почве. Активизация данной группы микроорганизмов в фазу «всходы» картофеля способствовала повышению количества азота в почве варианта с наноБоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $57,4 \pm 2,8$ мг/кг почвы, в контрольном варианте – $37,8 \pm 2,3$ мг/кг. В фазу «цветение» отмечается противоположная ситуация – достоверное снижение их численности в вариантах с кремнегуминовыми препаратами относительно контроля, что косвенно может свидетельствовать о затухании процессов минерализации гумуса. Данная тенденция наблюдается и по содержанию легкогидролизуемого азота. В конце вегетационного периода его количество во всех опытных вариантах было ниже контрольного: контроль – $49,7 \pm 2,1$ мг/кг; наноSi (ОК 1,0 % + НО) – $45,7 \pm 1,9$ мг/кг; БоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $47,6 \pm 1,6$ мг/кг; наноБоГум-С (ОК 0,5 % + НО) – $37,1 \pm 2,3$ мг/кг; наноБоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $23,4 \pm 1,8$ мг/кг. Как видно, минимальное значение легкогидролизуемого азота было зафиксировано в вариантах с использованием наноразмерных кремнегуминовых препаратов, что связано как с большим выносом азота урожаем картофеля, так и снижением активности автохтонных микроорганизмов. Подобные рассуждения приводятся и в статье [16].

Применение всех препаратов способствовало активному развитию фосфатмобилизующих микроорганизмов, при этом препараты, обработанные УЗ, увеличивали общую численность микроорганизмов на 37–67 % по сравнению с контролем (рис. в). Наиболее значимые изменения отмечены в фазу «цветение». Влияние препаратов кремния на активизацию трансформации фосфорных соединений подробно рассмотрена в работе [17], в которой исследователи связывают повышение подвиж-

ных форм фосфора с реакцией замещения в почвах фосфат-анионов на силикат-анионы при внесении активных форм кремния.

Применение кремнийсодержащего препарата наноSi оказывало неоднозначное влияние на активность почвенной микрофлоры – отмечали значительное увеличение численности фосфатмобилизующих микроорганизмов, снижение численности аммонифицирующих и автохтонных. Поэтому можно предположить, что на активизацию аммонифицирующих и автохтонных микроорганизмов при применении кремнегуминовых препаратов оказывала влияние гуминовая составляющая.

Анализ качества клубней картофеля свидетельствовал, что содержание нитратов находилось ниже уровня ПДК. Можно отметить статистически значимое снижение содержания крахмала в вариантах с применением кремнегуминовых препаратов: в контрольном варианте на 16,82 отн.%; с применением БоГум-С и наноБоГум-С в среднем на 15,75 отн. %.

Заключение. Таким образом, выращивание картофеля сорта Скарб в течение 2020–2022 гг. с использованием кремнийсодержащих препаратов показало, что наибольший прирост урожайности картофеля отмечался в варианте с применением наноразмерного кремнегуминового наноБоГум-С. Обработка клубней 1,0 %-м раствором в сочетании с двукратной некорневой подкормкой вегетирующих растений картофеля наноБоГум-С в дозе 1 л/га, выращиваемых по фону минеральных удобрений ($N_{65}P_{65}K_{65}$), позволила увеличить урожайность картофеля на 1,7 т/га, или 9,7 %. Показано, что применение ультразвукового диспергирования способствовало значительному уменьшению размера частиц тестируемых препаратов, что в совокупности с активизацией микробиологических процессов в почве положительно сказалось на урожайности картофеля и его структуре.

Список литературы

1. Савченко Е. С., Кирюшин В. И., Лукин С. В. Опыт биологизации агротехнологий при освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Белгородской области. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022;(6):658–661. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_658 EDN: ULEHDN
2. Jamil I., Syeda F. E. B., Adeela A., Muhammad R., Javaid H., Syeda U. B. et al. Soil health and environmental sustainability: a comprehensive review of functions, challenges, and conservation practices. Annals of plant sciences. 2024;13(11):6574–6591. DOI: <https://doi.org/10.21746/aps.2024.13.11.2>
3. Baweja P., Kumar S., Kumar G. Fertilizers and Pesticides: Their impact on soil health and environment. Soil Health. 2020;59:265–285. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_15
4. Mustafaoglu D. Pesticides negative effects on soil-water-air cycle and alternative approaches. International Journal of Engineering Science and Technology. 2023;20:3537–3560. DOI: <https://doi.org/10.17366/uhmfd.2023.20.1>
5. Зеленская Т. Г., Коровин А. А., Безгина Ю. А., Округ С. В., Лысенко И. О. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности. Вестник АПК Ставрополя. 2022;(1(45)):32–36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48768692> EDN: FKKTXX

6. Юрина Т. А., Белик М. А., Негреба О. Н., Ермаков А. А. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при частичной биологизации производства. Техника и оборудование для села. 2023;(4):22–24. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-22-24> EDN: ONQFGO
7. Zanirov A., Leshkenov A., Utkin A. The influence of agricultural biologization means on the content of essential amino acids in winter wheat grain. III International Scientific and Practical Conference «Concept of Sustainable Development: Agriculture and Environment» (TAEE-III-2024). 2024;118:01029. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411801029>
8. Rosa A., Dudek M., Siemiński P., Sadowski A., Bartosik S., Kaczmarek P. et al. Biologization: the key to sustainable agriculture. Catalogue of good practices. Warsaw: Institute of Rural and Agricultural Development, Polish Academy of Sciences (Publ.), 2022. 82 p. DOI: <https://doi.org/10.53098/978-83-89900-69-2>
9. Безручко Е. В., Федотова Л. С. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля (обзор). Агрохимия. 2021;(8):70–81. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121080032> EDN: ANZXDP
10. Захаров Е. А., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Кузнецова Н. В., Горбачева Ю. И. Применение Силипланта как регулятора роста при возделывании картофеля в аридной зоне Северного Прикаспия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2024;(2(74)):103–108. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-12> EDN: EBMHOV
11. Кольцова О. М., Стекольников Н. В. Качество картофеля при применении кремний содержащего агрохимиката АпаСил (APASIL). Современные достижения и перспективы развития агрономической науки: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2023. С. 67–74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61176413> EDN: MKIQJF
12. Безручко Е. В., Федотова Л. С., Тимошина Н. А., Князева Е. В., Арсентьев И. А. Кремниевые удобрения в технологии выращивания картофеля. Научные труды по агрономии. 2023;(1-2):5–15. DOI: <https://doi.org/10.35244/2658-7963-2023-8-1-5-15> EDN: WDHTDH
13. Ступина Л. А., Косачев И. А., Антонова О. И., Комякова Е. М., Курсакова В. С., Третьякова М. Н. Эффективность применения органоминерального удобрения есогров при возделывании картофеля. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023;(10(228)):35–43. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-228-10-35-43> EDN: MRUTXW
14. Гранкина А. О., Пэлий А. Ф., Носов В. В., Демидов Д. В., Стеркин М. В. Применение нового кремнийсодержащего агрохимиката от Фосагро на картофеле Нечерноземной зоны. Картофель и овощи. 2021;(7):26–28. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.19.13.005> EDN: DCHAKO
15. Черемисин А. И., Кумпан В. Н. Изучения влияния применения биопрепаратов и стимуляторов роста на полезную микрофлору и продуктивность картофеля. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018;13(4):91–95. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c3de390ad4cc9.66646319 EDN: YWHBVR
16. Kozlov A. V., Uromova I. P., Mashakin A. M., Novikov D. A. The change of the condition of saprotrophic part of the microbic pool of the soil under the influence of silicon preparations. Modern problems of science and education. 2015;(2(part 1)):560–560. URL: <https://science-education.ru/en/article/view?id=18791>
17. Матыченков И. В., Пахненко Е. П. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013;(3(23)):24–28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20360811> EDN: RDOLLD

References

1. Savchenko E. S., Kiryushin V. I., Lukin S. V. Experience of biologization of agricultural technologies during the development of adaptive-landscape agricultural systems in Belgorod region. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2022;(6):658–661. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_658
2. Jamil I., Syeda F. E. B., Adeela A., Muhammad R., Javaid H., Syeda U. B. et al. Soil health and environmental sustainability: a comprehensive review of functions, challenges, and conservation practices. *Annals of plant sciences*. 2024;13(11):6574–6591. DOI: <https://doi.org/10.21746/aps.2024.13.11.2>
3. Baweja P., Kumar S., Kumar G. Fertilizers and Pesticides: Their impact on soil health and environment. *Soil Health*. 2020;59:265–285. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_15
4. Mustafaoglu D. Pesticides negative effects on soil-water-air cycle and alternative approaches. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2023;20:3537–3560. DOI: <https://doi.org/10.17366/uhmfd.2023.20.1>
5. Zelenskaya T. G., Korovin A. A., Bezgina Yu. A., Okrut S. V., Lysenko I. O. New technologies in crop production as a condition for environmental and food security. *Vestnik APK Stavropol'ya* = Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2022;(1(45)):32–36. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48768692>
6. Yurina T. A., Belik M. A., Negreba O. N., Ermakov A. A. Increasing crop yields with partial biologization of production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2023;(4):22–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-22-24>
7. Zanirov A., Leshkenov A., Utkin A. The influence of agricultural biologization means on the content of essential amino acids in winter wheat grain. III International Scientific and Practical Conference «Concept of Sustainable Development: Agriculture and Environment» (TAEE-III-2024). 2024;118:01029. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411801029>

8. Rosa A., Dudek M., Siemiński P., Sadowski A., Bartosik S., Kaczmarek P. et al. Biologization: the key to sustainable agriculture. Catalogue of good practices. Warsaw: Institute of Rural and Agricultural Development, Polish Academy of Sciences (Publ.), 2022. 82 p. DOI: <https://doi.org/10.53098/978-83-89900-69-2>
9. Bezruchko E. V., Fedotova L. S. Plant-friendly silicon – a factor in sustainable potato production. *Agrokimiya*. 2021;(8):70–81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121080032>
10. Zakharov E. A., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Kuznetsova N. V., Gorbacheva Yu. I. The use of Siliplant as a growth regulator in potato cultivation in the arid zone of the Northern Caspian region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2024;(2(74)):103–108. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-12>
11. Koltsova O. M., Stekolnikova N. V. Quality of potatoes when using silicon containing agrochemicals apasil (Apsil). Modern achievements and prospects for the development of agronomic science: Proceedings of the international scientific and practical conference, dedicated to the Decade of Science and Technology in the Russian Federation. Voronezh: *Voronezhskiy GAU im. Imperatora Petra I*, 2023. pp. 67–74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61176413>
12. Bezruchko E. V., Fedotova L. S., Timoshina N. A., Knyazeva E. V., Arsent'ev I. A. Silicon fertilizers in potato technology. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2023;(1-2):5–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35244/2658-7963-2023-8-1-5-15>
13. Stupina L. A., Kosachev I. A., Antonova O. I., Komyakova E. M., Kursakova V. S., Tretyakova M. N. Effectiveness of organo-mineral fertilizer ecogrow application in potato growing. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2023;(10(228)):35–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-228-10-35-43>
14. Grankina A. O., Peliy A. F., Nosov V. V., Demidov D. V., Sterkin M. V. The use of a novel silicon-containing agrochemical produced by phosagro to potato in the Non-chernozem zone of Russia. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(7):26–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.19.13.005>
15. Cheremisin A. I., Kumpan V. N. Study the impact of biopreparations and growth stimulators application on useful microflora and productivity of potato. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2018;13(4):91–95. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c3de390ad4cc9.66646319
16. Kozlov A. V., Uromova I. P., Mashakin A. M., Novikov D. A. The change of the condition of saprotrophic part of the microbic pool of the soil under the influence of silicon preparations. Modern problems of science and education. 2015;(2(part 1)):560–560. URL: <https://science-education.ru/en/article/view?id=18791>
17. Matychenkov I. V., Pakhnenko E. P. Change of the content of mobile phosphates of soil when introducing active forms of silicon. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2013;(3(23)):24–28. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20360811>

Сведения об авторах

✉ **Смирнова Юлия Дмитриевна**, кандидат биол. наук, зав. отделом мелиоративного земледелия, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Фомичева Наталья Викторовна, кандидат биол. наук, зав. лаб. микробиологии и экологической биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

Information about the authors

✉ **Yulia D. Smirnova**, PhD in Biological Science, Head of the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Natalia V. Fomicheva, PhD in Biology Science, Head of the Laboratory of Microbiology and Environmental Biotechnology, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

✉ – Для контактов / Corresponding author