

БЕЗРУЧКО ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

**РЕАКЦИЯ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ НА ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОГО
КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении
«ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»

Научный руководитель: **Федотова Людмила Сергеевна,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: **Аканова Наталья Ивановна,** доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова», главный научный сотрудник, руководитель лаборатории известковых удобрений и химической мелиорации.

Корягина Наталья Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», доцент кафедры селекции, семеноводства и биологии растений агрономического факультета.

Ведущее учреждение: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр» (ФГБНУ Верхневолжский ФАНЦ), Владимирская область, п. Новый.

Защита состоится 9 июля 2024 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2; тел./факс 8 (846-63) 46-1-31.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», на сайте университета <http://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Троц Наталья Михайловна

Актуальность. Несмотря на высокое общее содержание кремния в почвах и основных почвообразующих породах, согласно исследованиям ученых, биогенного (доступного) кремния может быть всего 0,01-3,0% вследствие невысокой растворимости аморфного кремния в почвенном растворе [Базилевич, 1975; Бочарникова, 2011]. Поэтому для обеспечения растений доступным кремнием надо рационально использовать кремнийсодержащие удобрения.

Отечественные и зарубежные исследования демонстрируют повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почв под влиянием кремнийсодержащих агроруд и отходов промышленности [Жевора, 2018; Гайнутдинов, 2014; Дабахова, 2011; Лобода, 2010; Gundappa, 2017; Millard, 2008]. Однако, учитывая, что процесс растворения кремния из мелиорантов является сложным, многофазовым процессом, зависящим от внешних условий [Бочарникова, 2011], а отходы производства могут содержать тяжелые металлы [Datnoff, 2001; Berthelsen, 2003], очевидна необходимость тестирования кремнийсодержащих удобрений в более доступной и безопасной форме, например, в жидкой.

Кремниевые удобрения на сегодняшний день позиционируются как дополнительный элемент технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в т.ч. и картофеля, повышающий стрессоустойчивость и адаптивность к биотическим и абиотическим факторам среды, что влияет на рост продуктивности и рентабельности производства.

Степень разработанности темы исследований. Вопросам совершенствования технологических приемов возделывания картофеля посредством применения кремния, посвятили свои работы многие ученые [Матыченков, 1997, 2008; Prentice, 2011; Пузырьков, 2011; Базилевич, 1975; Бочарникова, 2011; Artyszak, 2018; Панова, 2012; Лобода, 2010, 2014; Жевора, 2018; Аминова, Мушинский 2019 и др.] В большинстве исследований фигурирует применение агроруд (цеолитов, диатомитов) и кремнийсодержащих отходов промышленности (шлаков). Однако, несмотря на техническую необходимость утилизации шлаков и доказанную эффективность вышеназванных мелиорантов важным ограничением их применения являются логистические сложности транспортировки и наличие поллютантов.

В связи с этим для Российской Федерации актуальным является разработка научно-обоснованных способов и норм внесения жидких, как наиболее технологичных, кремниевых удобрений при возделывании картофеля на основе изучения механизма их воздействия на продукционный процесс формирования продовольственного картофеля в условиях конкретных агроландшафтов.

Цель исследований – изучить рост, развитие и продуктивность перспективных отечественных сортов картофеля в зависимости от доз и способов применения жидкого кремнийсодержащего агрохимиката в условиях дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Задачи исследований:

1. Выявить влияние отдельного и комплексного применения (клубней или ботвы, клубни + ботва) различных концентраций кремнийсодержащего препарата на:
 - 1.1 рост и развитие растений картофеля;
 - 1.2 площадь листовой поверхности и фотосинтетическую деятельность, в т.ч. содержание пластидных пигментов в листьях;
 - 1.3 водный дефицит листьев;
 - 1.4 фракционный состав урожая клубней;
 - 1.5 урожайность;
 - 1.6 показатели качества продукции: содержание сухого вещества, крахмала, витамина С, редуцирующих сахаров, нитратов, кулинарные свойства;
 - 1.7 лежкость продукции в осенне-весенний период.

2. Выявить наиболее эффективные концентрации и способы внесения удобрения по комплексу хозяйственно ценных признаков и экономически обосновать систему минерального питания с кремнийсодержащим агрохимикатом.

Научная новизна работы заключается в изучении реакции отечественных сортов картофеля на действие различных доз и способов применения кремнийсодержащего препарата (100 г/л SiO₂) по критериям: параметры роста и развития растений, величина листовой поверхности, фотосинтетический потенциал (ФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧФП), накопление фотосинтезирующих пигментов; структура урожая, урожайность, качество, в т.ч. лежкость, клубней картофеля и экономические показатели в условиях дерново-подзолистой почвы Центрального региона Российской Федерации.

Теоретическая значимость. Установлено стимулирование фотосинтетической деятельности картофеля от действия Si-препарата, которое проявилось в увеличении фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза: наиболее мощная величина ФП (2,17 и 2,23-2,27 млн. м²/га сутки) сформировалась у обоих сортов от применения 0,8-1,0% концентраций препарата (независимо от способа применения), а чистая ЧФП была максимальной у растений сорта Варяг (2,78-2,89 г/м² в сутки) и Вымпел (2,53-2,55 г/м² в сутки) в вариантах с 0,4-0,6% концентрациями препарата (независимо от способа применения). Окупаемость ФП урожаем клубней сорта Варяг (14,1-14,4 кг/1 тыс. ед. ФП) и Вымпел (13,0-13,1 кг/1 тыс. ед. ФП) также была наиболее высокой в вариантах с 0,4-0,6% концентрациями Si-препарата (независимо от способа применения). В листьях картофеля под влиянием Si-препарата наблюдали тенденции увеличения концентрации хлорофиллов, *a* и *b*: на 4,2-13,0% (сорт Варяг) и 8,6-14,2% (сорт Вымпел) при одновременном снижении содержания каротиноидов на 1,2-9,8% (сорт Варяг) и 3,6-8,2% (сорт Вымпел). Водоудерживающая способность листьев повышалась на 0,9-4,0% по сорту Варяг и 0,6-3,6% – по сорту Вымпел.

Практическая значимость состоит в установлении наиболее эффективных концентраций и способов внесения Si-удобрения. Для сорта Варяг – обработка по клубням *или* двукратно по ботве 0,6-0,8% концентрациями Si-препарата повышала урожайность до 29,9-30,3 т/га (прибавка 3,5-4,0 т или 14-15%) и товарность до 93%, обеспечивала максимальный сбор крахмала (42-43 ц/га) и витамина С (3,8-3,9 кг/га), наивысшую кулинарную оценку продукции (24-27 балла) и условный доход (55-57 тыс. руб./га). Для сорта Вымпел – обработка по клубням концентрацией 0,6% *или* двукратно по ботве 0,4-0,8% концентрациями Si-препарата повышала урожайность до 27,8-28,3 т/га (прибавка 2,6-3,1 т или 10-12%) и товарность до 95%, обеспечивала максимальный сбор крахмала (38-39 ц/га) и витамина С (4,0-4,1 кг/га), высокую кулинарную оценку продукции (24-25 балла) и условный доход (28-34 тыс. руб./га). Отмечена четко выраженная сортоспецифичность в реакции растений картофеля по изучаемым показателям.

Методология и методы исследования. Методологической основой экспериментальных исследований послужило изучение и глубокий анализ источников научной литературы отечественных и зарубежных авторов по изучаемой тематике, разработка цели и задач исследования. При постановке и проведении полевых и лабораторно-аналитических исследований руководствовались общепринятыми ГОСТами и методиками. Статистическая обработка результатов проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову на ПЭВМ с использованием приложения к Excel CXSTAT.

Основные положения, выносимые на защиту: применение Si-препарата в возрастающих дозах от 0,4 до 1,0% оказывает следующие результаты:

- улучшаются основные показатели роста и развития растений; увеличивается ассимиляционная поверхность листьев, ФП, масса и количество клубней на одно растение; расширяется соотношение хлорофиллов $a : b$ и суммы $a+b$ к каротиноидам;
- повышается урожайность и товарность картофеля, увеличивается сбор питательно-ценных компонентов с единицы площади;
- повышаются параметры экономической эффективности возделывания картофеля.

Степень достоверности. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается комплексным подходом к изучению агроприемов, использованием современных методов статистической обработки экспериментальных данных, а также сопоставлением результатов исследований с данными, полученными учёными в нашей стране и за рубежом.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены на полевой конференции ФосАгро (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» Москва, Барыбино, 6 августа 2020 г.); на научно-практической онлайн-конференции «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Анапа, 6-10 сентября 2020 г.); на научно-практической онлайн-конференции «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, 10 ноября 2020 г.); на международной научно-практической конференции «Селекция и оригинальное семеноводство: теория, методология, практика» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха», Красково, 10-12 июля, 2022 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и одна рекомендация.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 155 страницах компьютерного текста (без приложений), состоит из введения, 8 глав, заключения и предложений производству. Экспериментальный материал приведен в 36 таблицах, 29 графиках и 26 приложениях. Список цитируемой литературы содержит 171 наименование, в том числе 74 на иностранных языках.

Личный вклад автора. Автором лично проведен обзор литературы, разработаны и реализованы программы и схемы полевых, лабораторных опытов; выполнена статистическая обработка полученных данных и анализ результатов исследований, подготовлены научные отчеты, доклады, статьи. Работа выполнена в рамках тематического плана НИР ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»: «Разработать высокоэффективные агротехнологические приёмы возделывания, защиты, хранения и переработки новых и перспективных сортов картофеля с учетом их биологических особенностей на основе повышения плодородия почвы, создания интегрированной системы защиты от болезней, вредителей и сорняков, и применения средовых факторов» (№ государственной регистрации: FNRZ-2019-0006).

Условия и методы исследований. Исследования проводились в трехфакторном полевом опыте: 9-17 вариантов (максимально в 2022 году) в трехкратной повторности на двух сортах картофеля разных групп спелости (Варяг среднеранний, Вымпел среднеспелый) на территории научно-экспериментальной базы «Коренево» ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» Люберецкого района Московской области.

Предшественник – зерновые яровые культуры.

Общая площадь каждой делянки – 28 м², расположение делянок рендомизированное внутри повторений.

Краткая запись схемы опыта 2020 г.: 2 сорта (фактор А) x 2 способа (фактор В) x 6 концентраций (фактор С); **2021 г.:** 2 сорта (фактор А) x 2 способа (фактор В) x 7 концентраций (фактор С); **2022 г.:** 2 сорта (фактор А) x 3 способа (фактор В) x 10 концентраций (фактор С); **2023 г.:** 2 сорта (фактор А) x 3 способа (фактор В) x 6 концентраций (фактор С):

Способ обработки	Концентрация препарата, %	Варианты по годам			
		2020	2021	2022	2023
Контроль. Фон N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ . Обработка водой		х	х	х	х
Фон N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + предпосадочная обработка клубней расход раб. р-ра – 10 л/т	0,2	х	х	х	нет
	0,4	х	х	х	х
	0,6	х	х	х	х
	0,8	х	х	х	нет
	1,0	х	х	х	нет
	1,2	нет	х	х	нет
Фон N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + двукратная некорневая обработка растений* расход раб. р-ра – 300 л/га	0,2	х	х	х	нет
	0,4	х	х	х	х
	0,6	х	х	х	х
	0,8	х	х	х	нет
	1,0	х	х	х	нет
	1,2	нет	х	х	нет
Фон N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + комбинированная обработка	0,4 клубни + 0,4 растения	нет	нет	х	х
	0,4 клубни + 0,6 растения	нет	нет	х	х
	0,6 клубни + 0,4 растения	нет	нет	х	х
	0,6 клубни + 0,6 растения	нет	нет	х	х

*1-я обработка в фазу полных всходов, 2-я – в фазу бутонизации-начала цветения.

Почва – дерново-подзолистая супесчаная, нормального увлажнения со следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: рН_{KCl} – 4,21-4,41; Н_г – 3,65-3,97 мг-экв/100 г почвы; S – 1,87-2,20 мг-экв/100 г почвы, V – 32,6-37,0 %; P₂O₅ – 35,5-37,6 и K₂O – 9,1-10,7 мг/100 г почвы, подвижные формы кремния (Si) – 10,3-14,5 мг/100 г почвы, гумус – 1,81-1,89%.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка определялась ежегодно весной до посадки культуры: P₂O₅ и K₂O – по ГОСТ Р 54650-2011; рН_{KCl} – по ГОСТ 26483-85; гидролитическая кислотность – по ГОСТ 26212-91; сумма поглощенных оснований – по ГОСТ 27821-2020; степень насыщенности почвы основаниями – расчетным способом; определение монокремниевой кислоты в почве с молибденово-кислым аммонием (при посадке и во время уборки урожая); азот общий – по ГОСТ 26107-84; гумус – по ГОСТ 26213-91.

Учет урожая и его структуру определяли по методике ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (2019). В клубнях определяли содержание крахмала по удельному весу, витамина С – по Мурри, нитратов – по ГОСТ 26951-86, редуцирующих сахаров – по методу Самнера, лежкость при хранении – по методике ВНИИКХ (1990). Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных проводили по Доспехову Б.А. (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ. Экономическую эффективность применения агрохимиката рассчитывали по «Методическим указаниям» под редакцией Полунина Г.А. (2007).

Метеорологические условия. Средняя температура воздуха за вегетационный период 2020 г. составила 17,1 °С, при норме 16,7°С, осадков выпало 395,7 мм или 149,7 % от нормы (264,3 мм). ГТК₂₀₂₀ составил 2,35 (влажный год). Средняя температура воздуха за вегетацию 2021 г. составила 19,7 °С, осадков выпало 258,0 мм или 99,04 % от нормы. ГТК₂₀₂₁ составил 1,096 (слабо засушливый год). Средняя температура воздуха за вегетационный период 2022 года составила 18,5 °С, осадков выпало 203,5 мм или 78,1% от нормы. ГТК₂₀₂₂ составил 0,93 (засушливый год). Средняя температура воздуха за вегетационный период 2023 г. составила 17,2 °С, осадков выпало 251,0 мм или 96,4 % от нормы. ГТК₂₀₂₃ составил 1,18 (слабо засушливый год).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рост и развитие картофеля в зависимости от доз и способов применения кремнийсодержащего удобрения. Оценка влияния Si-препарата на рост и развитие картофеля проводилась в 2020-2022 гг. и являлась положительной во все годы исследований (таблица 1).

Высота растений (в фазу цветения) повышалась наиболее заметно при некорневом опрыскивании растений Si-препаратом в концентрациях от 0,4% до 1,0%: прирост составил на сорте Варяг 6-9 см, на сорте Вымпел – 8-12 см.

Увеличение массы ботвы отмечено при применении нарастающих концентраций препарата (0,2-1,2%): у сорта Варяг при обработке клубней/ботвы – на 15-64/17-67 г/куст или 3,9-17,2%; у сорта Вымпел – на 17-54/22-64 г/куст или 4-15,5% к значениям контрольных вариантов. На обоих сортах преимущество по темпам увеличения массы ботвы оставалось за некорневым опрыскиванием.

Количество основных стеблей имело тенденцию к увеличению в вариантах с применением нарастающих концентраций (0,2-1,2%) Si-препарата при обработке клубней/ботвы на сорте Варяг максимально на 7,5-10,0% и на сорте Вымпел – на 13,9%, соответственно.

Увеличение массы клубней отмечалось во всех вариантах, кроме обработки клубней сорта Вымпел концентрацией 1,2%. Максимальный рост показателя при обработке клубней/ботвы был в вариантах с применением концентраций 0,4-1,0%: по сорту Варяг – на 61-86/75-91 г/куст или 10,2-15,2%; по сорту Вымпел – на 32-60/61-72 г/куст или 5,6-12,6%.

Увеличение количества клубней на одно растение от действия 0,2-1,2 % концентраций Si-препарата при обработке клубней/ботвы составило по сорту Варяг 0,5-1,4/0,6-1,6 шт./куст или 3,6-11,4%; по сорту Вымпел – 0,5-1,7/ 1,2-1,8 шт./куст или 3,9-15,5%.

Ассимиляционная площадь листьев картофеля повышалась от применения концентраций 0,2-1,2% при обработке клубней/ботвы на сорте Варяг – на 1,0-4,5/1,2-4,5 тыс. м²/га или на 3,9-17,4%; на сорте Вымпел – на 1,1-3,6/ 1,5-4,3 тыс. м²/га или на 4,0-15,6%.

Таблица 1 – Показатели роста и развития растений картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт./куст	Масса ботвы, г/куст	Площадь листьев, тыс. м ² /га	Кол-во клубней, шт./куст	Масса клубней, г/куст
сорт Варяг							
Контроль		64	4,0	389	25,9	14,0	598
Обработка клубней	0,2%	66	3,9	404	26,9	14,6	611
	0,4%	68	4,1	416	27,7	14,5	659
	0,6%	70	4,1	433	28,9	14,6	684
	0,8%	71	4,2	452	30,4	15,0	680
	1,0%	70	4,2	453	30,1	15,4	679
	1,2%*	63/66	4,2/4,3	355/402	23,6/26,8	13,5/14,7	494/539
Обработка растений	0,2%	66	4,1	406	27,1	14,6	616
	0,4%	70	4,1	427	28,5	14,9	673
	0,6%	72	4,3	444	29,6	15,5	682
	0,8%	73	4,3	455	30,3	15,5	689
	1,0%	72	4,4	456	30,4	15,6	677
	1,2%*	63/70	4,2/4,3	355/402	23,6/26,8	13,5/14,0	494/541
сорт Вымпел							
Контроль		63	3,6	414	27,6	11,6	572
Обработка клубней	0,2%	65	3,9	431	28,7	12,5	599
	0,4%	68	4,0	443	29,7	12,8	624
	0,6%	70	4,1	455	30,4	13,3	632
	0,8%	71	4,1	465	31,0	13,2	623
	1,0%	68	3,9	468	31,2	12,8	604
	1,2%*	61/67	4,0/4,2	380/419	25,3/27,9	12,8/13,3	547/545
Обработка растений	0,2%	66	3,9	436	29,1	12,8	610
	0,4%	71	4,0	445	29,7	13,1	633
	0,6%	74	4,1	458	30,5	13,4	639
	0,8%	75	4,1	471	31,4	13,3	644
	1,0%	73	4,1	478	31,9	13,1	637
	1,2%*	61/69	4,0/4,3	380/430	25,3/28,6	12,8/14,0	547/573

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

Увеличение фотосинтетического потенциала (ФП) в зависимости от роста концентраций Si-препарата (0,2-1,2%) при обработке клубней/опрыскивании ботвы составило по сорту Варяг 0,06-0,33/0,09-0,32 млн. м²/га сутки или 3,2-17,8%; по сорту Вымпел – 0,08-0,25/0,10-0,30 млн. м²/га сутки или 4,0-15,1% (таблица 2).

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) у растений сорта Варяг росла при обработке клубней/ботвы 0,2-1,0% концентрациями препарата до 2,68-2,91/2,63-2,78 г/м² в сутки, в вариантах с концентрацией 1,2% значение показателя было на уровне контроля. У растений сорта Вымпел ЧПФ незначительно отличалась от контроля: максимально составила 2,55-2,56/ г/м² в сутки при обработке клубней концентрациями 0,4-0,6% и 2,57 г/м² в сутки при обработке ботвы концентрацией 0,4%.

Окупаемость 1 тысячи единиц ФП урожаем сорта Варяг увеличивалась относительно контроля только в вариантах с 0,4 и 0,6% концентрациями Si-препарата при

обработке клубней/ботвы – до 14,4/14,0-14,2 кг/1 тыс. ед. ФП. Окупаемость сорта Вымпел увеличивалась только при применении концентраций 0,2-0,6% Si-препарата при обработке клубней/ботвы – до 12,9-13,1/13,0-13,2 кг/1 тыс. ед. ФП.

Оптимальное значение индекса листовой поверхности (ИЛП) для сорта Варяг было достигнуто при 0,4-0,6% концентрациях Si-препарата: 2,77-2,89 при обработке клубней и 2,85-2,96 при обработке растений. Оптимальными значениями ИЛП для сорта Вымпел стали 2,97-3,05, соответствующие концентрации 0,4-0,6% при обоих способах обработки. Более высокие значения ИЛП в вариантах с концентрацией Si-препарата 0,8% и выше снижали ЧПФ и окупаемость 1 тыс. ед. ФП.

Таблица 2 – Фотосинтетический потенциал (ФП), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), индекс листовой поверхности (ИЛП) и окупаемость ФП урожайностью картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	ФП, млн. м ² /га сутки	ЧПФ, г/м ² сутки	ИЛП	Окупаемость 1 тыс. ед. ФП, кг клубней
сорт Варяг					
Контроль		1,85	2,56	2,59	14,0
Обработка клубней	0,2%	1,91	2,68	2,69	13,9
	0,4%	1,98	2,87	2,77	14,4
	0,6%	2,06	2,91	2,89	14,4
	0,8%	2,18	2,78	3,04	13,5
	1,0%	2,16	2,70	3,01	13,6
	1,2%*	1,7/1,93	2,27/2,25	2,36/2,68	12,8/12,3*
Обработка растений	0,2%	1,94	2,66	2,71	13,7
	0,4%	2,03	2,78	2,85	14,2
	0,6%	2,10	2,78	2,96	14,0
	0,8%	2,17	2,70	3,03	13,8
	1,0%	2,17	2,63	3,04	13,5
	1,2%*	1,7/1,93	2,27/2,30	2,36/2,68	12,8/12,3*
сорт Вымпел					
Контроль		1,98	2,52	2,76	12,8
Обработка клубней	0,2%	2,06	2,51	2,87	12,9
	0,4%	2,12	2,55	2,97	13,1
	0,6%	2,17	2,56	3,04	12,9
	0,8%	2,22	2,44	3,10	12,5
	1,0%	2,23	2,34	3,12	11,9
	1,2%*	1,82/2,01	2,51/2,24	2,53/2,79	13,3/11,9*
Обработка растений	0,2%	2,08	2,47	2,91	13,0
	0,4%	2,12	2,57	2,97	13,2
	0,6%	2,19	2,50	3,05	13,0
	0,8%	2,24	2,43	3,14	12,7
	1,0%	2,28	2,34	3,19	12,3
	1,2%*	1,82/2,06	2,51/2,31	2,53/2,86	13,3/12,3*

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

При выращивании картофеля было отмечено, что содержание фотосинтетических пигментов в листьях зависело от применения Si-препарата (таблица 3).

Так, увеличение концентрации суммы хлорофиллов *a* и *b* было максимальным при применении 0,6% концентрации препарата по клубням/ботве: 1,760/1,790 мг/г

(прибавка 11-13%) по сорту Варяг и 1,513/1,499 мг/г (прибавка 13-14%) по сорту Вымпел. Содержание каротиноидов снижалось при увеличении дозы препарата. Максимальное снижение относительно соответствующего контроля отмечено при применении концентрации 1,0% независимо от сорта и способа применения. Рост концентрации хлорофиллов в вариантах с применением кремнийсодержащего препарата можно объяснить снижением деградации этих структур под его воздействием. Депрессия синтеза каротиноидов в растениях, получивших экзогенный кремний, говорит о том, что агрохимикат снижал физиологическую потребность в них, как в источнике дополнительной фотосинтетической и антиоксидантной функции, т.е. опытные растения испытывали стресс в меньшей степени, чем контрольные.

Таблица 3 – Содержание пигментов в листьях картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Содержание пигментов, мг/г сырой массы листьев				Соотношение	
		хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	Σ хл. (<i>a+b</i>)	Σ каротиноидов	хл. <i>a</i> /хл. <i>b</i>	Σхл./Σкар.
сорт Варяг							
Контроль		1,312	0,271	1,584	0,249	5,2	6,6
Обработка клубней	0,2%	1,367	0,303	1,670	0,241	4,7	7,2
	0,6%	1,423	0,338	1,760	0,235	4,5	7,7
	1,0%	1,366	0,353	1,719	0,223	4,1	7,2
	1,2%*	1,198/1,235	0,219/0,322	1,417/1,558	0,213/0,195	5,7/4,3	6,9/7,6
Обработка растений	0,2%	1,364	0,287	1,651	0,241	5,1	7,4
	0,6%	1,465	0,325	1,790	0,232	4,7	8,0
	1,0%	1,433	0,328	1,765	0,226	4,5	8,1
	1,2%*	1,198/1,269	0,219/0,293	1,417/1,561	0,213/0,196	5,7/4,8	6,9/8,5
сорт Вымпел							
Контроль		1,114	0,211	1,325	0,219	5,5	6,2
Обработка клубней	0,2%	1,241	0,246	1,487	0,214	5,2	7,2
	0,6%	1,244	0,269	1,513	0,206	4,7	7,5
	1,0%	1,223	0,262	1,486	0,205	4,7	7,3
	1,2%*	1,058/1,095	0,176/0,214	1,234/1,309	0,196/0,188	6,0/5,1	6,6/7,0
Обработка растений	0,2%	1,203	0,242	1,448	0,208	5,0	7,1
	0,6%	1,226	0,273	1,499	0,201	4,6	7,6
	1,0%	1,215	0,279	1,494	0,201	4,5	7,6
	1,2%*	1,058/1,112	0,176/0,236	1,234/1,347	0,196/0,184	6,0/4,7	6,6/7,5

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

И на сорте Вымпел, и на сорте Варяг некорневое опрыскивание растений кремнийсодержащим препаратом по накоплению пигментов оказалось сравнимым с предпосадочной обработкой клубней.

В менее благоприятных климатических условиях (2021 г.) отмечено более высокое накопление каротиноидов в листьях всех вариантов опыта. Получено подтверждение данных о том, что в засушливые годы концентрация хлорофиллов падает.

Выявлена сортоспецифичность в содержании пигментов. Сорт Варяг за все три года исследований характеризовался более высоким содержанием хлорофиллов (1,561-1,790 мг/г) и каротиноидов (0,187-0,249 мг/г) и более широким их соотношением (6,6-8,5) по сравнению с сортом Вымпел, показавшим результаты: 1,309-1,513 мг/г, 0,184-0,219 мг/г и 6,2-7,6, соответственно. Можно утверждать, что количество пигментов в листьях находится под контролем генетической программы.

Урожайность картофеля, структура урожая, количество и масса клубней в зависимости от доз и способов применения кремнийсодержащего удобрения. В среднем за 2020-2022 годы в вариантах с предпосадочной обработкой клубней сорта Варяг кремнийсодержащим препаратом получены прибавки урожайности от 0,6 т/га до 3,6 т/га или 2,3-13,7%. При этом от действия 0,2% раствора наблюдалась только тенденция повышения урожайности независимо от способа обработки (таблица 4). Практически идентичные и наиболее высокие прибавки урожайности клубней этого сорта как в блоке вариантов с обработкой клубней (*плюс* 3,5-3,6 т/га), так и в блоке с листовой обработкой (*плюс* 3,5-4,0 т/га) были в вариантах с 0,6-1,0 % концентрациями препарата. Таблица 4 – Урожайность и товарность картофеля сорта Варяг, 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га				Прибавка к фону		Товарность среднее, %
		2020	2021	2022	среднее	т/га	%	
Сорт Варяг								
Контроль		35,5	18,3	25,1	26,3	-	-	89,7
Обработка клубней	0,2%	36,5	19,1	25,1	26,9	0,6	2,3	90,4
	0,4%	38,7	22,0	26,3	29,0	2,7	10,3	92,9
	0,6%	39,9	22,9	26,6	29,8	3,5	13,3	93,1
	0,8%	40,6	23,0	26,1	29,9	3,6	13,7	93,3
	1,0%	40,7	23,1	25,8	29,9	3,6	13,7	92,7
	1,2%*	-	22,3	25,2	21,7/23,8	2,1	9,7	90,4/90,8
Обработка растений	0,2%	37,8	18,3	25,1	27,1	0,8	2,9	90,4
	0,4%	42,2	20,9	25,7	29,6	3,3	12,5	92,2
	0,6%	42,0	21,5	26,5	30,0	3,7	14,1	93,1
	0,8%	41,7	22,0	27,2	30,3	4,0	15,2	92,6
	1,0%	40,9	21,1	27,3	29,8	3,5	13,3	92,8
	1,2%*	-	20,6	27,0	21,7/23,8	2,1	9,7	90,4/93,7
сорт Вымпел								
Контроль		27,4	21,8	26,3	25,2	-	-	94,7
Обработка клубней	0,2%	28,2	23,6	27,2	26,3	1,1	4,4	93,9
	0,4%	29,9	24,2	28,3	27,5	2,3	9,1	95,5
	0,6%	30,0	24,6	28,8	27,8	2,6	10,2	94,7
	0,8%	30,4	23,5	28,3	27,4	2,2	8,9	94,8
	1,0%	30,9	21,3	27,5	26,6	1,4	5,5	94,9
	1,2%*	-	20,7	27,2	24,0/24,0	0	-	93,8/92,5
Обработка растений	0,2%	29,6	23,4	27,5	26,8	1,7	6,7	94,5
	0,4%	31,9	23,3	28,3	27,8	2,7	10,6	95,4
	0,6%	32,3	23,0	29,0	28,1	2,9	11,7	94,4
	0,8%	32,6	23,0	29,4	28,3	3,1	12,3	94,2
	1,0%	32,7	21,1	30,3	28,0	2,8	11,1	94,4
	1,2%*	-	21,2	29,2	24,0/25,2	1,2	5,0	93,8/92,6
НСР ₀₅		1,61	1,31	1,10				
Точность опыта, %		1,64	2,13	1,30				

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

На сорте Вымпел в среднем за три года прибавки урожайности от предпосадочной обработки клубней составили 1,1-2,6 т/га или 4,4-10,2% (таблица 4).

Лучшие и близкие результаты (27,4-27,8 т/га) получены от действия концентраций 0,4, 0,6 и 0,8%. Значительное снижение средней урожайности от концентраций 1,0% и 1,2% произошло за счет снижения урожайности в этих вариантах в 2021

году. Листовая обработка Si-препаратом привела к увеличению урожайности сорта Вымпел на 1,7-3,1 т/га или на 6,7-12,3%. Лучшие показатели (28,1-28,3 т/га) отмечены при использовании 0,6-1,0% концентраций Si-препарата, как и в случае сорта Варяг.

И на сорте Вымпел, и на сорте Варяг некорневое опрыскивание растений кремнийсодержащим препаратом по эффективности оказалось сравнимым с предпосадочной обработкой клубней.

В части влияния агрохимиката на структуру урожая и, соответственно, товарность, опять же отмечена сортоспецифичная реакция. Так, товарность урожая сорта Варяг в среднем за 2020-2022 гг. в разрезе всего опыта возростала на 0,4-3,6%, достигая максимальных относительно контроля значений при обработке концентрациями 0,6 и 0,8% по клубням и 0,6% - по листу. На товарность же сорта Вымпел проведенные обработки практически не влияли. Стоит отметить наличие отрицательной динамики относительно контролей по показателю товарности у сорта Вымпел при применении концентрации 1,2% по клубням и 1,0-1,2% по листу.

В 2022 и 2023 г были протестированы варианты с комбинированным применением удобрения, объединяющим предпосадочную обработку клубней и двукратное некорневое опрыскивание растений (таблица 5).

Таблица 5 – Урожайность и товарность картофеля, 2022-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га			Прибавка к фону		Товарность среднее, %
		2022	2023	среднее	т/га	%	
сорт Варяг							
Контроль		25,1	37,6	31,4	-	-	94,4
Обработка клубней	0,4%	26,3	38,7	32,5	1,1	3,5	95,1
	0,6%	26,6	40,5	33,6	2,2	7,0	95,5
Обработка растений	0,4%	25,7	38,8	32,3	0,9	2,9	95,2
	0,6%	26,5	40,0	33,3	1,9	6,1	96,3
Комбинированная	0,4% клуб. + 0,4% раст.	25,8	40,3	33,1	1,7	5,4	96,2
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	27,7	41,5	34,6	3,2	10,2	96,0
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	27,3	42,4	34,9	3,5	11,1	94,7
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	28,0	41,8	34,9	3,5	11,1	95,5
сорт Вымпел							
Контроль		26,3	32,5	29,4	-	-	94,4
Обработка клубней	0,4%	28,3	33,1	30,7	1,3	4,4	95,1
	0,6%	28,8	33,4	31,1	1,7	5,8	95,5
Обработка растений	0,4%	28,3	34,0	31,2	1,8	6,1	95,9
	0,6%	29,0	34,7	31,9	2,5	8,5	95,5
Комбинированная	0,4% клуб. + 0,4% раст.	29,6	35,9	32,8	3,4	11,6	95,2
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	30,1	35,6	32,9	3,5	11,9	95,5
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	29,2	36,5	32,9	3,5	11,9	95,4
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	29,6	36,3	33,0	3,6	12,2	94,9
НСР ₀₅		1,10	1,66				
Точность опыта, %		1,30	1,57				

Установлено, что прибавки урожайности в 2022-2023 года, вызванные комбинированным применением Si-препарата, были в большинстве случаев выше средних прибавок, обусловленных применением препарата только по клубням или только по ботве, но не всегда превышали НСР₀₅, а также были на уровне максимальных прибавок, отмеченных от применения препаратов каким-либо одним способом в среднем за 2020-2022 гг.

Статистическая обработка экспериментальных данных продуктивности сортов показала, что в формировании урожайности картофеля доля влияния факторов изменялась в зависимости от климатических условий года: влияние сорта (А) колебалось от 20,4 до 80,0%, влияние способов применения кремнийсодержащего препарата (В) – от 2,2 до 4,5%, а концентраций рабочего раствора (С) – от 13,7 до 31,0%; взаимодействие факторов АВ было в диапазоне от 0 до 1,1%, факторов АС – от 0,5 до 27,3%, факторов ВС – от 0,7 до 11,2%, суммарно АВС – от 0,2 до 1,3% (таблица 6). В менее благоприятные по метеоусловиям годы (2021 и 2022 года) влияние фактора С (концентрации) значительно возрастало.

Таблица 6 – Доля влияния изучаемых факторов на урожайность картофеля

Годы	Доля влияния факторов и их сочетаний на урожайность картофеля, %						
	А	В	С	АВ	АС	ВС	АВС
2020	80,0	2,2	13,7	0,0	0,5	0,7	0,2
2021	20,4	4,5	31,0	1,1	27,3	1,5	1,3
2022	44,5	4,3	25,5	1,0	1,6	11,2	0,7

Качество клубней картофеля в зависимости от доз и способов применения кремнийсодержащего удобрения. В среднем за 2020-2022 гг. предпосадочная обработка клубней и некорневое опрыскивание растений сорта Варяг Si-препаратом в концентрациях от 0,2 до 1,2% способствовали повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,6-1,3/0,5-1,1% относительно значений необработанного контроля. Содержание витамина практически не изменялось под действием обработок, хотя прослеживалась некоторая тенденция снижения этого показателя (таблица 7).

Большее содержание нитратов в мякоти клубней было характерно для сорта Варяг (106-143 мг/кг) и меньшее – для сорта Вымпел (44-60 мг/кг). В целом, содержание нитратов практически не изменялось под влиянием обработок. Содержание редуцирующих сахаров в клубнях сорта Варяг имело тенденцию снижения при применении всех способ обработки и концентраций препарата.

Изменение биохимического состава клубней сорта Вымпел в зависимости от применения Si-препарата была несколько иной. Предпосадочная обработка клубней и некорневое опрыскивание растений сорта Вымпел всеми концентрациями Si-препарата практически не изменяли содержание сухого вещества/крахмала и витамина С. Содержание нитратов незначительно снижалось под действием обработок. Содержание редуцирующих сахаров также либо снижалось от обработки, либо не изменялось.

В вариантах с комбинированной обработкой (по клубням и ботве) в среднем за 2022 и 2023 годы наблюдалась тенденция повышения содержания сухого вещества и крахмала на уровне с применением только одного из способов обработки, причем более существенно на сорте Вымпел. Интервалы содержания витамина С, нитратов и редуцирующих сахаров тоже были сопоставимы с отдельным применением препарата и не демонстрировали результатов, обращающих на себя внимания.

Выход биологически ценных веществ с единицы площади – основная характеристика при условии выращивания картофеля для промышленной переработки на картофелепродукты. В результате повышения урожайности и товарности в вариантах с применением кремнийсодержащего удобрения повышался сбор питательно ценных компонентов. Максимальный выход питательно ценных веществ с единицы площади (среднее за 2020-2022 гг.) по сорту Варяг получен в вариантах с концентрациями 0,6-1,0% (по клубням)/ 0,4-1,0% (по ботве): сухого вещества 57-59 ц/га (или + 20,8-25,2%), крахмала 41-43 ц/га (или + 22,3-28,2%), витамина С 3,7-3,9 кг/га (или + 10,5-18,0%); по

сорту Вымпел – в вариантах с концентрациями 0,4-0,8% (оба способа применения): сухого вещества 53-54 ц/га (или + 8,1-9,9%), крахмала 38-39 ц/га (или +7,0-9,2%), витамина С 3,9-4,1 кг/га (или +6,7-11,3%).

Таблица 7 – Биохимические показатели качества клубней картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Сухое вещ-во, %	Крахмал, %	Витамин С, мг%	Нитраты, мг/кг	Редуцир. сахара, %
сорт Варяг						
Контроль		20,0	14,3	14,1	106	0,34
Обработка клубней	0,2%	21,1	15,4	14,4	118	0,30
	0,4%	20,7	15,0	14,1	112	0,31
	0,6%	21,2	15,5	14,1	119	0,26
	0,8%	21,3	15,5	14,0	111	0,32
	1,0%	21,2	15,5	14,2	113	0,31
	1,2%*	19,1/20,1	13,4/14,4	15,0/14,0	139/143	0,35/0,24
Обработка растений	0,2%	21,0	15,2	14,4	136	0,32
	0,4%	20,9	15,1	13,5	129	0,27
	0,6%	21,0	15,3	13,7	127	0,24
	0,8%	20,8	15,1	13,9	117	0,27
	1,0%	20,7	14,9	14,1	115	0,28
	1,2%*	19,1/19,7	13,4/13,9	15,0/15,4	139/120	0,35/0,33
сорт Вымпел						
Контроль		20,7	15,0	15,5	60	0,41
Обработка клубней	0,2%	20,6	15,0	15,0	46	0,24
	0,4%	20,5	14,9	15,3	47	0,26
	0,6%	20,7	14,9	15,2	44	0,27
	0,8%	20,6	14,8	15,2	45	0,27
	1,0%	20,6	15,0	15,1	44	0,36
	1,2%*	20,1/20,3	14,5/14,5	14,7/14,1	73/57	0,47/0,39
Обработка растений	0,2%	20,1	14,3	15,1	48	0,32
	0,4%	20,4	14,5	15,6	45	0,32
	0,6%	20,2	14,5	15,4	48	0,30
	0,8%	20,3	14,6	15,6	46	0,30
	1,0%	19,7	14,2	15,6	45	0,37
	1,2%*	20,1/19,9	14,5/14,2	14,7/14,8	73/57	0,47/0,47

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

На кулинарные показатели качества клубней картофеля применения изучаемого препарата также проявлялось во все годы исследований (таблица 8).

По среднераннему сорту Варяг наибольшим суммарным баллом кулинарной оценки (24,0-27,3 балла против 20,7 баллов в контроле) характеризовалась продукция вариантов с применением 0,4-0,8% растворов Si-препарата (оба способа применения): вкус выше среднего-хороший (6,5-7,3 балла), отсутствие потемнения вареной мякоти (9 баллов) и слабое потемнение сырой мякоти (5,7-6,7 балла), слабая разваримость клубней (2,3-4,3 балла).

Таблица 8 – Кулинарные качества клубней картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Вкус	Разваримость	Потемнение мякоти через 24 ч.		Σ баллов
				сырой	вареной	
сорт Варяг						
Контроль		6,5	1,7	4,2	8,3	20,7
Обработка клубней	0,2%	7,0	1,0	4,7	9,0	21,7
	0,4%	7,2	2,3	6,0	9,0	24,5
	0,6%	7,3	4,3	6,7	9,0	27,3
	0,8%	6,5	3,0	6,0	9,0	24,5
	1,0%	6,3	1,7	6,0	9,0	23,0
	1,2%*	7,2/6,3	2,0/1,0	3,3/5,0	8,0/8,0	20,9/20,3
Обработка растений	0,2%	6,9	1,0	5,3	9,0	22,2
	0,4%	7,0	2,3	5,7	9,0	24,0
	0,6%	6,9	2,6	5,7	9,0	24,2
	0,8%	6,9	2,3	6,7	9,0	24,9
	1,0%	6,1	1,0	6,7	9,0	22,8
	1,2%*	7,2/6,0	2,0/1,0	3,3/5,3	8,0/7,4	20,9/19,7
сорт Вымпел						
Контроль		7,4	3,0	3,9	8,5	22,8
Обработка клубней	0,2%	7,4	3,0	4,0	8,6	23,0
	0,4%	8,2	4,0	4,3	9,0	25,5
	0,6%	7,3	3,0	4,3	9,0	23,6
	0,8%	7,3	2,3	5,2	9,0	23,8
	1,0%	7,0	2,0	5,0	9,0	23,0
	1,2%*	7,4/6,7	3,0/2,0	3,4/4,0	8,3/9,0	22,1/21,7
Обработка растений	0,2%	7,3	3,7	4,3	9,0	24,3
	0,4%	7,8	3,3	5,0	9,0	25,1
	0,6%	7,0	3,0	5,2	9,0	24,2
	0,8%	7,8	3,0	5,2	9,0	25,0
	1,0%	7,3	1,7	5,0	9,0	23,0
	1,2%*	7,4/6,7	3,0/1,0	3,4/5,0	8,3/9,0	22,1/21,7

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

Наилучший суммарный результат по сорту Вымпел (23,6-25,5 балла против 22,8 баллов в контроле) получен в вариантах с обработкой клубней 0,4-0,8% раствором препарата: вкус хороший-отличный (7,3-8,2 балла), отсутствие потемнения вареной мякоти (9 баллов) и слабое потемнение сырой мякоти (4,3-5,2 балла), слабая разваримость (2,3-4,0 балла), а также в вариантах с обработкой растений 0,2-0,8% концентрациями рабочего раствора: вкус хороший (7,0-7,8 балла), отсутствие потемнения вареной мякоти (9 баллов) и слабое потемнение сырой мякоти (4,3-5,2 балла), слабая разваримость (3,0-3,3 балла).

В годы проведения исследований некоторые периоды вегетации, а именно июль 2021 и 2022 годов, характеризовались исключительной жарой и засухой, что дало возможность определить влияние проведенных обработок на **водоудерживающую способность** листьев. Дефицит влажности листьев сорта Варяг в среднем за эти два года в контрольном варианте составил 8,5%, тогда как в вариантах с обработкой клубней снижался до 6,6-7,6%, а в вариантах с опрыскиванием листьев еще существеннее – до 4,5-6,7%, причем наименьший дефицит влаги отмечен в варианте с максимальной дозой препарата. Такая же тенденция наблюдалась и по сорту Вымпел: в контроле дефицит

листьев составил 7,9%, в вариантах с некорневым опрыскиванием растений снижался до 4,3-7,0% и в вариантах с обработкой клубней – до 6,1-7,3% (рисунок 1).

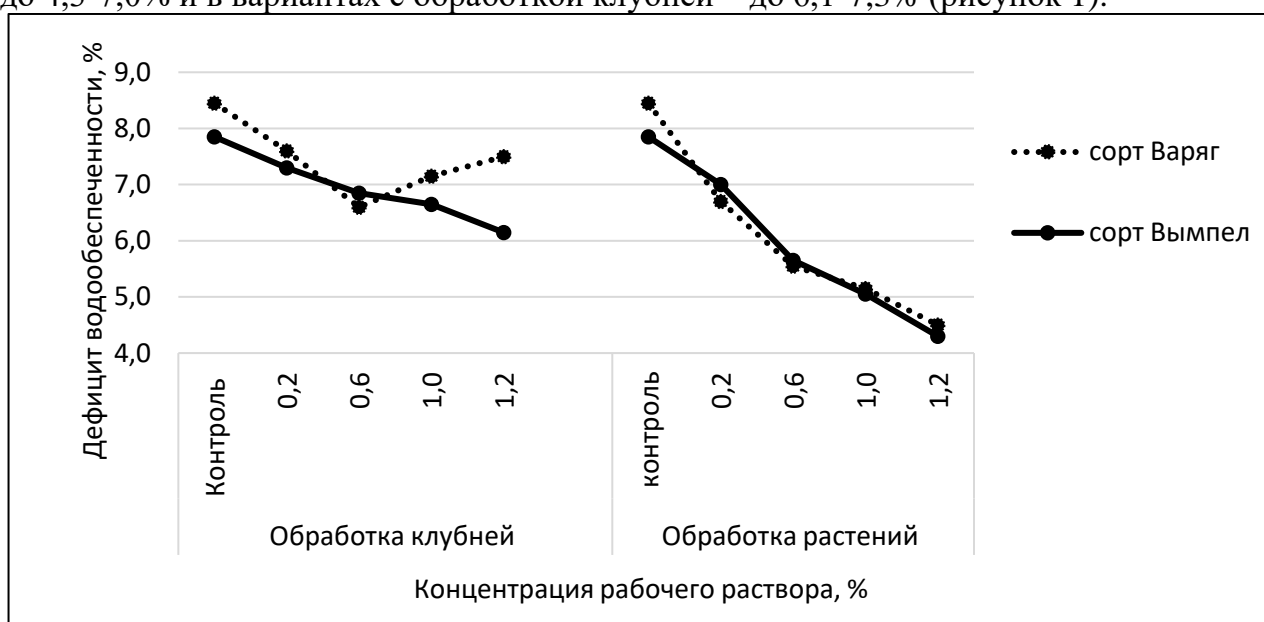


Рисунок 1 – Дефицит водообеспеченности листьев картофеля, среднее 2021-2022 гг.

Лежкость продукции в зависимости от доз и способов применения кремний-содержащего удобрения. Установлено положительное действие проводимых обработок на лежкость продукции. Оно проявилось в снижении общих отходов до 8,1-10,1% против 11,3% в контроле на сорте Варяг и до 9,5-13,9% против 14,3% в контроле на сорте Вымпел (таблица 9). При этом больший интервал снижения на каждом из сортов отмечен в вариантах с листовой обработкой.

Из двух изучаемых сортов большая амплитуда колебаний общих отходов была характерна для сорта Вымпел, следовательно, на лежкость именно сорта Вымпел внесение Si-удобрения имело большее влияние. Величины технической гнили были достаточно близкими у контрольных и опытных вариантов. Отклонения по сорту Варяг были как в большую, так и в меньшую сторону, а по сорту Вымпел – только в меньшую. Показатель абсолютной гнили однозначно снижался у сорта Варяг в разрезе опыта, у сорта Вымпел тоже была положительная, но менее выраженная динамика. Влияние на количество ростков под влиянием препарата не зафиксировано.

В целом сорт Вымпел вел себя более нестабильно при хранении, что проявилось в более сильном прорастании клубней и в целом меньшим выходом здоровых клубней (85,7-90,5%) по сравнению с сортом Варяг (88,7-91,9%).

Преимущество по величине выхода здоровых клубней после длительного хранения у сорта Варяг имели 0,6-1,2% концентрации кремниевого препарата независимо от способа применения (90,7-91,9%); у сорта Вымпел – 0,6-1,2% концентрации по клубням и 0,6-1,0% концентрации по ботве (88,6-90,5%), при этом дозировка в 1,2% оказывала влияние на уровне дозировки в 1,0% или даже ниже.

Таблица 9 – Выход здоровых клубней картофеля за осенне-весенний период, среднее за три сезона хранения

Способ обработки	Концентрация препарата	Здоровые клубни, %	Общие отходы, %	в том числе:			
				естеств. убыль массы	технич. гниль	абсолют. гниль	ростки
сорт Варяг							
Контроль		88,7	11,3	8,2	1,6	1,3	0,2
Обработка клубней	0,2%	90,6	9,4	7,6	0,9	0,7	0,2
	0,4%	90,4	9,6	7,1	1,9	0,5	0,1
	0,6%	90,9	9,1	6,9	2,1	0,0	0,1
	0,8%	91,7	8,3	7,1	1,1	0,0	0,1
	1,0%	90,9	9,1	7,2	1,0	0,8	0,1
	1,2%*	88,7/90,7	11,4/9,4	8,4/7,6	1,2/1,0	1,5/0,6	0,3/0,1
Обработка растений	0,2%	89,9	10,1	7,8	1,5	0,7	0,1
	0,4%	90,8	9,2	7,3	1,6	0,2	0,1
	0,6%	91,2	8,8	6,9	1,8	0,0	0,1
	0,8%	91,7	8,3	6,9	1,1	0,3	0,1
	1,0%	91,9	8,1	7,0	0,9	0,1	0,1
	1,2%*	88,7/91,4	11,4/8,6	8,4/6,7	1,2/0,8	1,5/1,0	0,3/0,2
сорт Вымпел							
Контроль		85,7	14,3	7,7	4,8	1,2	0,6
Обработка клубней	0,2%	86,1	13,9	8,2	3,2	2,0	0,5
	0,4%	87,7	12,3	7,9	3,0	1,1	0,2
	0,6%	88,6	11,4	8,1	2,4	0,7	0,3
	0,8%	89,4	10,6	7,1	2,4	0,9	0,6
	1,0%	90,3	9,7	7,0	1,5	0,9	0,6
	1,2%*	84,7/90,3	15,4/9,7	7,9/7,1	5,7/1,6	1,0/0,5	0,9/0,7
Обработка растений	0,2%	87,4	12,6	7,6	3,6	0,7	0,7
	0,4%	88,2	11,8	7,4	3,5	0,4	0,5
	0,6%	90,5	9,5	6,6	1,9	0,5	0,5
	0,8%	90,0	10,0	6,5	2,5	0,3	0,7
	1,0%	89,6	10,4	6,9	1,9	1,0	0,6
	1,2%*	84,7/87,8	15,4/12,2	7,9/7,0	5,7/2,8	1,0/1,4	0,9/1,1

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/экспериментальные данные

Результаты производственных опытов, полученные в условиях ООО «АПК «Александровский» (2022 г.) и КФХ «Ягудин Н.В.» (2023 г.) Коломенского района Московской области на площади 10 и 16 га, подтвердили положительное действие некорневых подкормок Si-препаратом.

На среднеспелом сорте Мадейра (ООО «АПК «Александровский») прибавка урожайности от двукратного некорневого опрыскивания 0,4% раствором кремниевого препарата составила 3,5 т/га или 5,7%, товарность увеличилась на 3,5%, крахмалистость – на 0,9%, сбор крахмала вырос на 11,7%, условный доход повысился на 38,5 тыс. руб./га.

Урожайность картофеля в КФХ «Ягудин Н.В.» (2023 г.) под влиянием двукратного некорневого опрыскивания Si-препаратом в трех концентрациях (0,4, 0,6 и 0,8%) была выше значений контроля на 3,2-10,0% (сорт Варяг) и 5,4-8,7% (сорт Аустин); товарность урожая увеличилась у сорта Варяг на 1,3-2,4% и у сорта Аустин на 1,5-2,1%. Некорневое опрыскивание практически не изменяло крахмалистость клубней, но за счет повышения урожайности и товарности на опытных вариантах увеличение выхода крахмала с единицы площади составило 7,8-12,9% на сорте Варяг и 9,8-11,2% на сорте Аустин. Общая прибыль от опрыскиваний Si-препаратом картофеля на площади 16 га составила 340,7 тыс. руб. на сорте Варяг и 263,2 тыс. руб. на сорте Аустин.

Экономическая эффективность возделывания картофеля в зависимости от доз и способов применения кремнийсодержащего удобрения. Проявленная отзывчивость картофеля на применение предпосадочной обработки клубней или двукратного опрыскивания растений Si-препаратом обеспечила высокие показатели экономической эффективности этих агротехнических приемов (таблица 12).

Установлено, что в среднем за 2020-2022 гг. наиболее выигрышные экономические показатели производства среднераннего сорта картофеля Варяг получены в вариантах с применением 0,6-0,8% раствора Si-препарата по клубням. При дополнительных затратах 4,72-5,05 тыс. руб./га получена самая низкая себестоимость продукции – 5,95-5,91 руб./кг (против 6,78 руб./кг в контроле) и высокая окупаемость затрат – 11,8-12,0, что обеспечило наибольший условный доход от полученного дополнительного урожая – 56,78-59,45 тыс. руб./га при наибольшей рентабельности производства – 152-153%.

В блоке вариантов с двукратным некорневым опрыскиванием Si-агрохимикатом сорта Варяг в концентрациях 0,4-0,8% дополнительные затраты увеличились по сравнению с аналогичными концентрациями по клубням, в результате себестоимость в этих вариантах стала выше – 6,05-6,10 руб./кг, а условный доход ниже – 48,81-56,52 тыс. руб./га, окупаемость составила 6,0-7,3, а рентабельность производства – 146-148%.

Экономически значимые показатели производства среднеспелого сорта картофеля Вымпел получены в вариантах с применением 0,4-0,6% раствора Si-препарата по клубням: при дополнительных затратах 3,05-3,19 тыс. руб./га получена самая низкая себестоимость продукции – 6,18 руб./кг (против 6,69 руб./кг в контроле) и высокая окупаемость затрат – 10,3-10,8, что обеспечило наибольший условный доход от полученного дополнительного урожая – 32,81-32,95 тыс. руб./га при наибольшей рентабельности производства – 142%.

В блоке вариантов с двукратным некорневым опрыскиванием Si-препаратом сорта Вымпел в дозах 0,4-0,8% себестоимость составила 6,25-6,29 руб./кг, условный доход примерно на том же уровне, что и в блоке с клубневой обработкой 0,4-0,6% раствором – 33,3-34,0 тыс. руб./га, при окупаемости 5,84-4,22 и практически идентичной рентабельности производства – 138-140%.

Таблица 12 – Экономические показатели производства картофеля на продовольственные цели, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный доход от доп. продукции, тыс. руб./га	Окупаемость затрат доп. продукцией	Себестоимость, руб./кг	Рентабельность, %
сорт Варяг						
Контроль		-	-	-	6,78	121
Обработка клубней	0,2%	1,37	9,13	6,7	6,64	126
	0,4%	3,86	45,64	11,8	6,09	146
	0,6%	4,72	56,78	12,0	5,95	152
	0,8%	5,05	59,45	11,8	5,91	153
	1,0%	5,01	56,49	11,3	5,96	152
	1,2%*	3,26	26,74	8,2	8,16/7,56	84/99
Обработка растений	0,2%	3,09	10,41	3,4	6,66	125,3
	0,4%	6,69	48,81	7,3	6,10	145,7
	0,6%	8,22	54,78	6,7	6,05	147,9
	0,8%	9,48	56,52	6,0	6,05	147,8
	1,0%	10,29	51,21	5,0	6,15	144,0
	1,2%*	10,02	28,98	2,9	8,16/7,66	84/96
сорт Вымпел						
Контроль		-	-	-	6,69	124
Обработка клубней	0,2%	1464	10,54	7,2	6,51	130
	0,4%	3048	32,95	10,8	6,18	142
	0,6%	3192	32,81	10,3	6,18	142
	0,8%	3066	28,43	9,3	6,25	139
	1,0%	2490	17,01	6,8	6,43	133
	1,2%*	1464	-1,46	-1,0	7,11/7,28	-
Обработка растений	0,2%	3540	17,46	4,9	6,46	132
	0,4%	5700	33,30	5,8	6,25	140
	0,6%	6690	32,31	4,8	6,29	139
	0,8%	8040	33,96	4,2	6,29	138
	1,0%	8850	28,65	3,2	6,39	135
	1,2%*	8400	3,60	0,4	7,11/7,23	108

* данные за 2021г и 2022г.: контроль/ экспериментальные данные

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За годы исследований (2020-2023 гг.) получены научные результаты, подтверждающие значимый рост продуктивности картофеля от применения кремнийсодержащего препарата. Положительное действие агрохимиката объясняется улучшением фотосинтетической деятельности посадок, выразившейся в снижении деградации хлорофиллов, росте фотосинтетического потенциала (ФП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧФП). Это обеспечило опосредованное увеличение показателей роста и развития растений, а именно надземной биомассы, величины листовой поверхности, массы и количества клубней, а также повышение пластичности растений в стрессовых условиях.

Выявлены сортовые особенности по изучаемым показателям: накоплению пигментов, продуктивности, качеству клубней, в т.ч. их лежкости. Так, например, среднеранний сорт Варяг характеризовался более высоким содержанием хлорофиллов – 1,561-1,790 мг/г и каротиноидов – 0,187-0,249 мг/г, по сравнению со среднеспелым сортом Вымпел, показавшим результаты 1,309-1,513 мг/г и 0,183-0,219 мг/г, соответственно. Доля влияния сорта в формировании урожайности зависела от метеоусловий вегетационного периода и варьировала от 20 до 80%. Большую отзывчивость на изучаемый препарат проявлял сорт Варяг.

Установлено, что по комплексу хозяйственно ценных признаков для среднераннего сорта Варяг лучшими оказались варианты с 0,6-0,8% концентрациями Si-препарата независимо от способа обработки, в которых повышение основных показателей составило: урожайности на 3,5-4,0 т (14-15%), сбора крахмала на 9-9,5 ц (25-28%) и витамина С на 0,6 кг (17%), кулинарной оценки продукции на 3,8-6,6 балла, условного дохода на 55-57 тыс. руб. Для среднеспелого сорта Вымпел лучшими стали варианты с обработкой клубней 0,6% концентрацией препарата или двукратным листовым опрыскиванием концентрациями 0,4-0,8%, в которых урожайность повышалась на 2,6-3,1 т (10-12%), сбор крахмала – на 3 ц (7-9%), витамина С – на 0,3-0,4 кг (8-11%), кулинарная оценка – на 2,2-2,7 балла, условный доход – на 28-34 тыс. руб.

ВЫВОДЫ

1. Использование жидкого кремнийсодержащего агрохимиката способствовало повышению роста и развития растений картофеля. Высота растений повышалась в разрезе всего опыта, но наиболее заметно при некорневом использовании 0,4-1,0% концентраций препарата: на 6-9 см у сорта Варяг и на 8-12 см у сорта Вымпел. Обработки Si-препаратом клубней/растений в концентрациях 0,2→1,2% способствовали росту массы ботвы на 15-67 г/куст или 3,9-17,2% у сорта Варяг и 17-64 г/куст или 4-15,5% у сорта Вымпел. Увеличение массы клубней отмечено при обработке клубней/растений в вариантах с применением Si-препарата в концентрациях 0,4→1,0%: по сорту Варяг – на 61-91 г/куст или 10,2-15,2%; по сорту Вымпел – на 32-72 г/куст или 5,6-12,6%.

2. Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в среднем за три года у растений сорта Варяг росла при обработке клубней/ботвы 0,2-1,0% концентрациями препарата: до 2,63-2,91 г/м² в сутки. У растений сорта Вымпел максимальная ЧПФ составила 2,55-2,56 г/м² в сутки при обработке клубней концентрациями 0,4-0,6% и 2,57 г/м² в сутки при обработке ботвы концентрацией 0,4%. Окупаемость 1 тысячи единиц ФП урожаем клубней сорта Варяг повышалась в вариантах с 0,4 и 0,6% концентрациями Si-препарата до 14,0-14,4 кг/1 тыс. ед. ФП; сорта Вымпел – до 12,9-13,2 кг/1 тыс. ед. ФП от применения концентраций 0,2-0,6% Si-препарата при обработке клубней/ботвы.

3. Установлены тенденции увеличения концентрации суммы хлорофиллов *a* и *b* в листьях картофеля: максимально до 1,760-1,790 мг/г (*плюс* 11-13%) по сорту Варяг и до 1,499-1,513 мг/г (*плюс* 13-14%) по сорту Вымпел при применении 0,6% концентрации препарата. Одновременно происходило снижение содержания каротиноидов: максимально до 0,223-0,226 мг/г на сорте Варяг и до 0,201-0,205 мг/г на сорте Вымпел при концентрации 1,0% независимо от способа применения. В менее благоприятных климатических условиях (2021 г.) отмечено снижение содержания хлорофиллов и повышенное накопление каротиноидов в листьях всех вариантов опыта.

4. Прибавки урожайности картофеля сорта Варяг в разрезе всего опыта составили 2,1-4,0 т (или 9,7-15,2%); сорта Вымпел – 1,1-3,1 т (или 4,4-12,3%). На сорте Варяг лучшие результаты отмечены при обработке клубней и растений концентрациями 0,6-1,0% препарата – *плюс* 3,5-3,6 т (или 13,3-13,7%) и 3,5-4,0 т (или 13,3-15,2%), соответственно. На сорте Вымпел лучшие результаты отмечены при обработке клубней концентрацией 0,6% – *плюс* 2,6 т (или 10,2%) и от обработки растений концентрациями 0,6 и 0,8% – *плюс* 2,9-3,1 т (или 11,7-12,3%).

5. Товарность урожая сорта Варяг в разрезе всего опыта возростала на 0,4-3,6%, достигая максимальных значений при обработке концентрациями 0,6 и 0,8% по клубням и 0,6% – по листу. Товарность урожая сорта Вымпел практически не изменялась под влиянием проводимых обработок.

6. В среднем за три года обработка клубней и ботвы сорта Варяг Si-препаратом в концентрациях от 0,2 до 1,2% способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,6-1,3/0,5-1,1%. На сорте Вымпел проводимые обработки не оказывали существенного влияния на эти показатели.

7. По сорту Варяг наибольшим суммарным баллом кулинарной оценки – 24,0-27,3 балла против 20,7 баллов в контроле – характеризовалась продукция вариантов с применением 0,4-0,8% растворов Si-препарата как по клубням, так и по ботве. Наибольший суммарный балл по сорту Вымпел – 23,6-25,5 против 22,8 баллов в контроле – получен в вариантах с обработкой клубней концентрациями 0,4-0,8% или обработкой растений концентрациями 0,2-0,8%.

8. Максимальный выход питательных веществ с гектара по сорту Варяг получен в вариантах с 0,6-1,0% (по клубням) / 0,4-1,0% (по ботве): сухого вещества – 57-59 ц (*плюс* 21-25%), крахмала – 41-43 ц (*плюс* 22-28%), витамина С – 3,7-3,9 кг (*плюс* 10-18%); по сорту Вымпел – в вариантах 0,4-0,8% (оба способа применения): сухого вещества – 53-54 ц (*плюс* 8-10%), крахмала – 38-39 ц (*плюс* 7-9%), витамина С – 3,9-4,1 кг (*плюс* 8-11%).

9. В формировании урожайности картофеля доля влияния факторов изменялась в зависимости от климатических условий года: влияние сорта (А) колебалось от 20,4 до 80,0%, влияние способов применения кремнийсодержащего препарата (В) – от 2,2 до 4,5%, а концентраций рабочего раствора (С) – от 13,7 до 31,0%; взаимодействие факторов АВ – от 0 до 1,1%, АС – от 0,5 до 27,3%, ВС – от 0,7 до 11,2%, АВС – от 0,2 до 1,3%.

10. Кремнийсодержащий агрохимикат уменьшал дефицит влажности листьев картофеля. На сорте Варяг зафиксировано снижение значения этого показателя в вариантах с обработкой клубней/растений до 6,6-7,6/4,5-6,7% (контроль – 8,5%); на сорте Вымпел – соответственно до 4,3-7,0/6,1-7,3% (контроль – 7,9%).

11. Установлено положительное действие кремнийсодержащего агрохимиката на лежкость продукции, проявившееся в снижении общих отходов при хранении, в том числе естественной убыли заложенной массы клубней, абсолютной и технической

гнили. Преимущество по величине выхода здоровых клубней после длительного хранения по сорту Варяг (90,7-91,9%) и по сорту Вымпел (88,6-90,5%) имели дозы препарата 0,6-1,2% независимо от способа применения.

12. Наилучшие экономические показатели производства среднераннего сорта картофеля Варяг получены в вариантах с применением 0,6-0,8% раствора Si-препарата по клубням: при дополнительных затратах в 4,72-5,05 тыс. руб./га получена низкая себестоимость продукции – 5,95-5,91 руб./кг и высокая окупаемость затрат – 11,8-12,2, что обеспечило наибольший условный доход – 56,78-59,45 тыс. руб./га при наибольшей рентабельности производства – 152-153%. В вариантах с двукратным некорневым опрыскиванием Si-агрохимикатом концентрациями 0,4-0,8% экономические показатели составили: себестоимость продукции – 6,05-6,10 руб./кг, условный доход – 48,81-56,52 тыс. руб./га, окупаемость – 6,0-7,3 и рентабельность производства – 146-148%.

Экономически-значимые показатели производства среднеспелого сорта Вымпел получены в вариантах с применением 0,4-0,6% раствора Si-препарата по клубням: при дополнительных затратах в 3,05-3,19 тыс. руб./га получена низкая себестоимость продукции – 6,18 руб./кг и высокая окупаемость затрат – 10,3-10,8, что обеспечило условный доход – 32,81-32,95 тыс. руб./га при наибольшей рентабельности производства – 142%. В вариантах с двукратным некорневым опрыскиванием Si-агрохимикатом концентрациями 0,4-0,8% экономические показатели составили: себестоимость продукции – 6,25-6,29 руб./кг, условный доход – 32,3-34,0 тыс. руб./га, окупаемость – 4,2-5,8 и рентабельность производства – 138-140%.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для повышения урожайности сортов картофеля различных групп спелости, экономической эффективности производства и их агроэкологической устойчивости к неблагоприятным факторам среды для хозяйств всех форм собственности в условиях Центрального Нечерноземья РФ рекомендуется:

– предпосадочная обработка клубней жидким кремнийсодержащим агрохимикатом (100 г/л SiO₂) в концентрациях 0,6-0,8%. Расход агрохимиката – 60-80 мл/10л воды, расход рабочего раствора – 10 л/т.

– или двукратное некорневое опрыскивание в фазу полных всходов и фазу бутонизации-начала цветения жидким кремнийсодержащим агрохимикатом (100 г/л SiO₂) в концентрации 0,6-0,8%. Расход агрохимиката – 60-80 мл/10л воды, расход рабочего раствора – 300 л/га.

Правила разведения Si-препарата:

1. Не добавляйте Si-препарат непосредственно в резервуар опрыскивателя.
2. Всегда разводите Si-препарат отдельно!
3. После того как предварительно разведенный Si-препарат (например, в 10 л воды) добавили в резервуар опрыскивателя, проконтролируйте уровень pH с помощью доступных индикаторов.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Углубить научные исследования теоретических основ действия кремнийсодержащих препаратов на продуктивность отечественных и зарубежных сортов картофеля.
2. Изучить некоторые другие виды жидких кремнийсодержащих препаратов и вопросы их совместимости с наиболее часто применяемыми действующими веществами средств защиты картофеля и удобрениями в баковых смесях.
3. Изучить влияние обработки клубней картофеля кремнийсодержащими препаратами перед закладкой на хранение на выход здоровой продукции весной.

Список публикаций по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Безручко Е.В. Кремний – недооцененный элемент питания растений / Е.В. Безручко // Земледелие, 2020. – №4. – С. 40-46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411.
2. Безручко Е.В. Кремнийсодержащие удобрения на картофеле в центральном регионе России / Л.С. Федотова, С.В. Жевора, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева, Е.В. Безручко, С.Н. Голосов // Плодородие, 2020, – №1. – С. 58-61.
3. Безручко Е.В. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля / Е.В. Безручко, Л.С. Федотова // Агрехимия, 2021. – № 8. – С. 70-81. DOI: 10.31857/S0002188121080032.

Публикации в других изданиях:

4. Безручко Е.В. Агроэкологическая эффективность применения жидких кремнийсодержащих удобрений на картофеле в условиях дерново-подзолистой супесчаной почвы / Л.С. Федотова, Е.В. Безручко, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева, И.А. Арсентьев // Рекомендации. ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», 2023. – С. 30.
5. Безручко Е.В. Недооцененный элемент / Л.С. Федотова, Е.В. Безручко // Агробизнес, 2023. – № 6. – С. 34-40.
6. Безручко Е.В. Влияние некорневых подкормок жидким кремнийсодержащим удобрением на продуктивность картофеля / Л.С. Федотова, Е.В. Безручко, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева // Материалы научно-практической онлайн-конференции. «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур». Под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – М.: ООО «Плодородие», 2020. – С. 173-178. DOI 10.25680/VNIIA.2019.68.11.134.
7. Безручко Е.В. Кремниевые удобрения в технологии выращивания картофеля / Е.В. Безручко, Л.С. Федотова, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева, И.А. Арсентьев // Научные труды по агрономии, 2023. – №1-2. – С. 5-16. DOI: 10.35244/2658-7963-2023-8-1-5-15.
8. Безручко Е.В. Опыт применения кремниевых удобрений при выращивании картофеля в условиях Нечерноземной зоны России / Е.В. Безручко, Л.С. Федотова, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева, А.О. Гранкина, А.Ф. Пэлий // Сборник материалов научно-практической конференции ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова «Анапа-2021» по теме «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты растений и регуляторов роста в агротехнологиях сельскохозяйственных культур». М.: ВНИИА, 2021. – С. 18-22.

Подписано в печать 07.05.2024. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 37

Типография ВНИИСТРОМ
140050 Московская область
Люберецкий район
п. Красково, ул. К. Маркса, д. 117, к. 107