

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КАРТОФЕЛЯ
ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА»
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. ЛОРХА»)

На правах рукописи

БЕЗРУЧКО ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

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

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор с.-х. наук, профессор
Федотова Л.С.

Москва – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	9
1.1 Распространенность картофеля в мире	9
1.2 Пищевая ценность картофеля	9
1.3 Состояние производства картофеля в России и мире	10
1.4 Роль кремния в жизнедеятельности растений	13
1.5 Источники кремния	15
1.6 Реакция картофеля на дозы и способы применения различных кремнийсодержащих препаратов	17
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	38
2.1 Место проведения и схема опыта	38
2.2 Методы исследований	42
2.3 Почвенно-климатические условия проведения опыта	44
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	55
ГЛАВА 3 РОСТ И РАЗВИТИЕ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ	55
3.1 Биометрические показатели роста и развития растений картофеля	55
3.2 Показатели фотосинтетической деятельности растений картофеля	63
3.3 Содержание пигментов: хлорофилла и каротиноидов – в листьях картофеля	69
3.4 Водоудерживающая способность листьев картофеля	80
ГЛАВА 4 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ	85
4.1 Урожайность и товарность клубней картофеля	85
4.2 Структура урожая, количество и масса клубней картофеля	100

ГЛАВА 5 КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ	113
5.1 Содержание сухого вещества, крахмала, витамина С, нитратов и редуцирующих сахаров в клубнях картофеля	113
5.2 Кулинарная оценка клубней картофеля	120
ГЛАВА 6 ЛЕЖКОСТЬ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ	123
ГЛАВА 7 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА	128
ГЛАВА 8 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
ВЫВОДЫ	139
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	144
ПРИЛОЖЕНИЯ	162

ВВЕДЕНИЕ

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 (100 мг/л) [5, 8]. Поэтому для восполнения запаса подвижного кремния в почвах надо рационально использовать кремнийсодержащие удобрения.

Отечественные и зарубежные исследования демонстрируют повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почв под влиянием кремнийсодержащих агроруд и отходов промышленности [16, 17, 33, 52, 125, 139]. Однако, учитывая, что процесс растворения кремния из мелиорантов является сложным, многофазовым процессом, зависящим от внешних условий [8], а отходы производства могут содержать тяжелые металлы [104, 105], 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.

Для Российской Федерации несомненным является актуальность разработки 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 способов применения и доз жидкого кремнийсодержащего агрохимиката в условиях дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Задачи исследований:

1. Выявить влияние отдельной (обработка клубней или ботвы) и комплексного применения (обработка и клубней, и ботвы) 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.

Верхний предел изменчивости биометрических показателей под влиянием препарата зафиксирован на уровне 14,0-19,0% – по высоте растений, 15,5-17,2% – по массе ботвы, 12,6-15,2% – по массе клубней, 13,7-15,2% – по урожайности. Водоудерживающая способность листьев повышалась на 0,9-4,0% по сорту Варяг и 0,6-3,6% – по сорту Варяг. Стимулирование фотосинтетической деятельности кар-

тофеля 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 ЧПФ 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).

Отмечена четко выраженная сортоспецифичность в реакции растений картофеля по изучаемым показателям.

Практическая значимость состоит в том, что установлены наиболее эффективные концентрации и способы внесения Si-удобрения по комплексу хозяйственно ценных признаков. 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).

Реализация результатов исследований была осуществлена проведением производственной проверки на трех сортах картофеля: Мадейра, Варяг и Аустин – суммарно на площади 26 га в двух хозяйствах Коломенского района Московской

области. Общая прибыль от применения опрыскиваний Si-препаратом трех сортов картофеля составила 988,9 тыс. рублей.

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 161 странице 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.

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.

Личный вклад автора. Автором лично проведено обобщение литературы, планирование научных исследований, разработка программы и методик, схем полевых и лабораторных опытов и участие в их выполнении; 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» (№ госрегистрации: FNRZ-2019-0006).

Благодарности. Диссертационная работа выполнена в лаборатории агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Неоценимую помощь автору диссертации в выборе темы исследований, в обобщении и научном обосновании полученных экспериментальных данных оказала научный руководитель, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федотова Л.С. Автор выражает искреннюю признательность заведующей лабораторией, кандидату сельскохозяйственных наук, Тимошиной Н.А. и научным сотрудникам Князевой Е.В. и Арсентьеву И.А. за помощь в организации и проведении полевых экспериментов и лабораторных исследованиях.

Глава 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Распространенность картофеля в мире

Картофель – одна из важнейших продовольственных культур в мире. В общемировом списке выращиваемых культур он занимает 4 место после пшеницы, риса, кукурузы и, соответственно, 1 место среди незерновых продовольственных товаров. Картофель – культура многофункционального применения. Помимо непосредственного использования на пищевые цели (в том числе кормовые), он имеет и неаграрные сферы применения: является сырьем для производства крахмала, спирта, клея.

Короткая продолжительность вегетационного периода и широкая климатическая адаптируемость способствовали широкому распространению картофеля по всему миру. Сегодня он возделывается в 66% странах (более чем в 130 из 197). В то же время картофель, в отличие от основных зерновых, не является предметом мировой торговли. Лишь небольшая часть общего объема продукции поступает во внешнюю торговлю, а цены на картофель обычно определяются затратами местного производства, а не капризами международных рынков. Таким образом, эта культура настоятельно рекомендуется для обеспечения продовольственной безопасности, которая может помочь фермерам с низкими доходами и уязвимым потребителям пережить экстремальные явления, связанные с мировым спросом и предложением продовольствия [86].

1.2 Пищевая ценность картофеля

Картофель – это пищевая культура, имеющая благодаря своему составу потенциал прокормить населяющий мир. Это благодаря своему составу. Картофель быстрее, на меньшем количестве земли и в более суровом климате может дать более питательную пищу по сравнению с другими потенциальными продовольственными культурами.

К положительным характеристикам картофеля как продукта питания следует отнести легкую усвояемость и высокую питательность. По химическому составу

он состоит на 72-75% из воды, 16-20% – крахмала, 2-2,5% – белка, 1-1,8% – пищевых волокон и 0,15% – жирных кислот. Другими словами, картофель является продуктом питания богатым углеводами, сухое вещество которого по содержанию белка существенно превосходит другие корнеплоды и клубнеплоды, а также отличается низким содержанием жиров. Кроме того, в картофеле есть необходимые для поддержания здоровья населения микроэлементы и витамины – С, В1, В3 и В6, фолат, пантотеновая кислота и рибофлавин, а также минералы – железо, калий, фосфор и магний. Один клубень картофеля среднего размера содержит около половины рекомендуемой дневной нормы витамина С и содержит пятую часть рекомендуемой дневной нормы калия. В нем содержатся и пищевые антиоксиданты, играющие важную роль в профилактике заболеваний, связанных со старением, а также клетчатка, благотворно влияющая на здоровье [48].

Все эти характеристики обусловили популярность и распространенность картофеля во всем мире, а также глобальную роль, которую он играет в достижении продовольственной безопасности в условиях роста численности населения и повышения рисков голода.

1.3 Состояние производства картофеля в России и мире

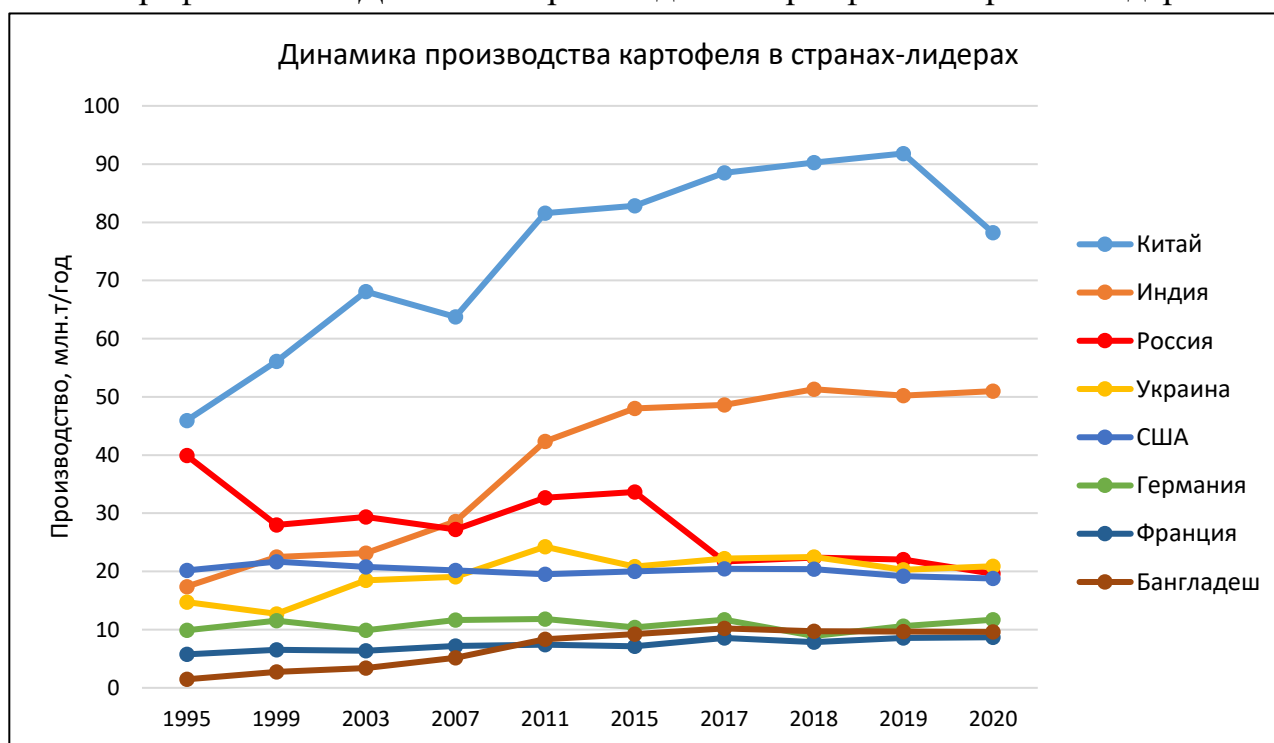
Картофель – основной источник энергии для большей части населения мира, особенно многонаселенных развивающихся стран. Общее мировое производство картофеля за последние 50 лет выросло примерно в 1,5 раза. Ведущими производителями картофеля являются Китай, Индия, Россия, Украина, США, Германия, Франция, Бангладеш (таблица 1.3.1). Однако по праву едущими странами-производителями можно считать только 5 стран из этого списка, поскольку, например, занимающая 6-е место Германия уже существенно уступает по валовому сбору этой культуры. Общий объем производства картофеля в развивающихся странах впервые превысил сложившиеся показатели производства картофеля в странах развитых экономик в 2005 году.

Таблица 1.3.1 – Ведущие производители картофеля, 2020.

Страна	Валовый сбор картофеля, млн. т
Китай	78,2366
Индия	51,0
Украина	20,89399
Россия	19,60736
США	18,78997
Германия	11,7151
Франция	8,6919
Бангладеш	9,606

Анализ динамики производства картофеля в разрезе 25 лет (с 1995 по 2020 годы) показывает стремительный рост его производства в Китае (на 70%) и Индии (на 193%). Китай и Индия производят почти 40% всего картофеля в мире. Интересен в этом плане Бангладеш: не входя в 1990 году даже в 20-ку производителей, в 2000 году он занял уже 18 место, а в 2015 взлетел на 7 место в мировом рейтинге, показав рост в 215% за 15 лет, и продолжает удерживать занятую позицию. США, Германия и Франция демонстрируют стабильный уровень производства. Украина – рост до 2011 года с некоторой дальнейшей стабилизацией (график 1.3.1).

График 1.3.1 – Динамика производства картофеля в странах-лидерах.



Хотя производство сместилось из развитых стран в развивающиеся, более высокая урожайность при этом (более 40 т/га) отмечается в развитых странах: Франции, Бельгии, США, Новой Зеландии, Германии, Дании, Нидерландах [86].

Несмотря на то, что в России картофель стал культивироваться менее 200 лет назад, в народе его уже долгое время называют «вторым хлебом». Уровень душевого потребления картофеля в России является одним из самых высоких в мире (130 кг в год по данным ФАО ООН и 111 кг – по данным российских источников, при среднеевропейском уровне в 90 кг) и уступает только соответствующему показателю в Беларуси (181 кг), Киргизии (143 кг) и Украине (139 кг).

После Китая и Индии, Россия – третий (в некоторые периоды – четвертый) крупнейший в мире производитель картофеля (до 10% от мирового производства) [86].

В России производство картофеля в последние 25 лет было неравномерным: снижение наблюдалось в период с 1998 до 2007 года, в следующие 8 лет обозначился рост, снова сменившийся падением в 2016 году. С 2016 года производство сохраняется примерно на достигнутом уровне. Между тем, уровень урожайности (в среднем около 14-16 т/га) – один из самых низких в европейском сообществе. При этом, в 2021 году уровень самообеспечения (продовольственной независимости) по картофелю составил 90,4%, что на 4,6 % ниже порогового значения (не менее 95%) и планового значения проекта «Развитие отраслей АПК» (95%) [36].

Среди ключевых регионов выращивания можно выделить Брянскую, Тульскую, Нижегородскую, Воронежскую, Московскую, Липецкую области, а также Чувашскую Республику. По предложению раннего картофеля на рынке лидируют Астраханская, Ростовская области, Краснодарский и Ставропольский край, Кабардино-Балкарская Республика.

При этом на долю хозяйств населения приходится примерно 50% производимого картофеля. Расширение доли посадок картофеля в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) с 66,1% в 1990 г. до 92,4% в 2000 г. являлось вынужденной мерой, так как картофель являлся важнейшим источником для выживания населения страны в

условиях кризиса в агропромышленном комплексе страны. В последние годы в картофелеводстве страны имеет место снижение удельного веса ЛПХ в валовых сборах картофеля: в 2010 году его доля снизилась с 81,7% до 63,9%. Примерно 22,2% на сегодня производят сельхозорганизации и 13,9% – крестьянские (фермерские) хозяйства [18, 38].

Смещение производства картофеля на уровень домохозяйств, недостаточное количество современных машин и хранилищ, низкий уровень логистики, а также первичной и глубокой переработки, удручающее положение в семеноводстве – причины утраты индустриального типа развития отрасли, которое бы позволяло внедрять инновационные и технологические приемы возделывания.

Существенна доля ввозимого в Россию картофеля. Импортные поставки формируются в основном за счет Египта, Беларуси, Азербайджана, Пакистана, Ирана и Китая. Также в относительно крупных объемах картофель поступает в РФ из Грузии, Израиля, Турции и Сербии. Импортные поставки носят ярко выраженный сезонный характер: основной объем ввоза продовольственного картофеля в РФ приходится на период с марта по июнь. В этот период обычно сокращается предложение картофеля собственного производства.

Объем экспортных поставок картофеля из России приходится в основном на период с сентября по декабрь. Российский картофель главным образом поставляется в Украину, Азербайджан, Узбекистан, Молдову, Туркмению. В условиях снижения производства, а также высоких цен на российский картофель в 2021 году произошло существенное сокращение экспорта. По итогам января-августа 2021 года экспортные поставки картофеля из РФ, по отношению к аналогичному периоду 2020 года, снизились на 68,5% [95].

1.4 Роль кремния в жизнедеятельности растений

Признание кремния как необходимого и существенного элемента для сельскохозяйственных культур осуществилось относительно недавно. Статус кремния

как «функционального» питательного вещества для растений позволяет рассматривать его применение с точки зрения повышения устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам.

Значительное внимание в работе различных авторов к роли кремния в смягчении разного вида стресса у растений объясняется тем, что это одно из наиболее серьезных экологических ограничений для роста и продуктивности растений, зачастую вызывающее серьезные изменения в морфологии, физиологии и биохимии растений, например, снижение скорости фотосинтеза, разрушение пигментов, дисбаланс поглощения воды и питательных веществ, окислительное повреждение клеточных компонентов.

Опосредованная кремнием устойчивость растений к стрессам обеспечивается несколькими путями. Благоприятное действие Si, во-первых, связано с его высоким отложением в тканях растений, что повышает их жесткость. Механическая прочность уменьшает полегание и вероятность инвазии со стороны насекомых и патогенов, улучшает ориентацию растения относительно света (архитектонику), и, следовательно, эффективность использования солнечной энергии. Высказываются также предположения, что осаждение кремния в тканях растения уменьшает кутикулярную транспирацию, тем самым повышая устойчивость к низким и высоким температурам, радиации, ультрафиолетовому излучению и стрессу от засухи. Вторым путем защиты от неблагоприятных факторов является активация кремнием внутриклеточного синтеза специфических органических соединений, определяющих эндогенный защитный ответ самого растения [103, 107, 115, 150].

Годичное потребление кремния растениями на Земле по расчетам российских ученых составляет 210-224 млн. т, что в 1,5 раза выше потребления растениями фосфора [57]. Недооцененность кремния как элемента питания основана на наличии большого количества SiO₂ и силикатов в большинстве почв и, соответственно, на уверенности в его достатке для культур. Между тем у большинства растений наблюдается дефицит этого элемента. Причины этой проблемы заключаются в следующем:

1. Растениям нужна кремниевая кислота, а не сам «кремний»,
2. Концентрация монокремниевой кислоты в почве очень низкая,
3. Превращение силикатов и оксидов кремния в кремниевую кислоту является очень ограниченным процессом,
4. Кремниевая кислота является нестабильной молекулой с высокой склонностью к агрегации/полимеризации,
5. Из-за существенного выноса кремния сельскохозяйственными культурами ежегодно отчуждается значительное количество доступного кремния с пахотных территорий [5, 8, 150].

1.5 Источники кремния

Существует много источников кремния пригодных для использования в растениеводстве. Однако целесообразность их применения зависит от многих факторов: их реакционной способности, общего и биодоступного содержания в них кремния, содержания потенциально опасных примесей, стоимости и технологичности [107, 119].

Изначально исследованиям подвергались кремнийсодержащие природные породы и отходы промышленности (цеолиты, силикаты, диатомовая земля, шлаки) как наиболее доступные в период отсутствия коммерческих кремниевых продуктов. В большинстве исследований фигурирует внутрипочвенное применение этих агроруд. При внесении в почву кремний связывает почвенные частицы, что повышает их агрегатированность, влагоемкость и буферность. Коагуляция почвенных коллоидов увеличивает водопроницаемость почв, а сорбирующие свойства позволяют уменьшать вымывание основных элементов питания и пролонгировать их действие.

Однако, несмотря на техническую необходимость утилизации шлаков и высокое содержание в них кремния, важным ограничением их применения является возможный высокий уровень в них тяжелых металлов, связанный с происхождением или переработкой [104]. Тяжелые металлы не только токсичны для растений,

но и несут в себе риск загрязнения почв и природных вод. Точно так же отходы цементного производства могут содержать тяжелые металлы [103, 139].

Поэтому более перспективными источниками кремния являются природные мелиоранты: цеолит и диатомовая земля (диатомит), а также силикаты калия, кальция и магния. Именно их изучению посвящено большое количество исследований. Преимуществом диатомита перед цеолитом является их большая биодоступность, поскольку он представляет из себя аморфный кремнезем, который растворяется легче, чем кристаллический. Кроме этого, диатомит проявляет свойства адсорбента и влагоудерживающего агента без вероятности заболачивания в условиях избыточного увлажнения [148].

При составлении рекомендаций по почвенному применению кремнийсодержащих туков или мелиорантов следует принимать во внимание их мелиоративную (нейтрализующую) способность. Ценность повышения содержания Si в почве может быть перевешена негативным воздействием увеличения pH почвы до уровня, который может поставить под угрозу доступность других питательных веществ (в том числе микроэлементов), необходимых для растений. Это особо важно для почв с нейтральным или щелочным показателем pH. Однако там, где необходимо известкование, источники Si можно использовать в качестве альтернативного метода повышения pH почвы при одновременном увеличении содержания Si.

Несмотря на значительную эффективность описанных кремнийсодержащих добавок их высокая стоимость в совокупности с высокой нормой применения и дорогой логистикой является ограничением к масштабному использованию.

В связи с установленным положительным эффектом применения кремниевых удобрений в растениеводстве и ограничениями, касательно почвенного использования кремнийсодержащих туков или мелиорантов, растет интерес к использованию альтернативных, чаще жидких, кремниевых составов, поскольку они более технологичны и могут применяться в крупномасштабных системах растениеводства. В качестве источника доступного кремния все более часто рассматривают водные растворы силиката калия и натрия. Однако, препараты на основе силикатов

тоже имеют свои недостатки. Они обладают высоким рН, что является ограничивающим фактором, поскольку провоцирует щелочной гидролиз совместно применяемых с ними средств защиты растений. В настоящее время эту проблему пытаются решать с помощью препаратов, получаемых из стабилизированной концентрированной кремниевой кислоты и обладающих нейтральным или кислым рН [135], а также с помощью вспомогательных технических жидкостей для коррекции кислотности рабочего раствора.

В последние годы активно изучается возможность применения нанокремния. В нанометровом масштабе возникают качественно новые эффекты, свойства и процессы, позволяющие увеличивать активность и коэффициент использования элементов растениями. Такая особая форма позволяет применять его в более низких, даже по сравнению с жидкими удобрениями, дозировках. При этом стоит помнить, что низкая норма расхода нанокремниевых препаратов влечет за собой необходимость четкого соблюдения рекомендованной дозы во избежание передозировки и связанного с ней токсического действия агрохимиката.

1.6 Реакция картофеля на дозы и способы применения различных кремнийсодержащих препаратов

Урожайность многих сельскохозяйственных культур часто является недостаточной и неустойчивой из-за различных негативных факторов. Отсутствие севооборота, нерациональное питание растений, неэффективные меры контроля болезней и вредителей, ограниченность ресурсов усугубляют проблемы растениеводства в целом и картофелеводства в частности.

Картофель накапливает относительно небольшое количество кремния в тканях, относительно других культур [144]. Однако, поскольку эта культура обладает высокой урожайностью основной и побочной продукции, суммарный вынос кремния получается значительным: урожай картофеля в 200 ц/га выносит из почвы более 250 кг кремния [52]. В связи с этим кремниевые удобрения на сегодняшний день позиционируются как дополнительный элемент технологии возделывания этой культуры.

Культура	Содержание кремния в побегах, % на сухой вес
Сахарный тростник	1,51
Кукуруза	0,83
Рис	4,17
Пшеница	2,46
Картофель	0,4
Соя	1,40
Сахарная свекла	2,34
Ячмень	1,82
Томат	1,55

Анализ научной литературы демонстрирует различные данные относительно влияния кремния на рост и развитие картофеля и на его устойчивость к неблагоприятным факторам [7].

Так в эксперименте, проведенном в Бразилии, не было подтверждено влияние силиката калия на снижение поражаемости картофеля фитофторой [102]. Аналогично не было выявлено достоверных различий в интенсивности инвазии тлей и жуками (*Diabrotica. speciosa* и *Myzus persicae*) между необработанными и обработанными кремнием растениями картофеля [157].

Однако большинство источников информирует о достоверном положительном влиянии кремниевых удобрений на различные показатели: рост, развитие, урожайность, качество, поражение болезнями и вредителями, засухо- и солеустойчивость картофеля. Далее обзорно приведем достижения ученых в этом направлении [7].

В ЮАР была проведена серия экспериментов по отслеживанию влияния на рост и продуктивность картофеля кремнийсодержащих мелиорантов, а именно пыли, шлака, золы.

В первом опыте была проверена реакция растений картофеля, выращиваемых в теплице в контейнерах, на применение в качестве почвенной добавки извести и трех видов кремнийсодержащих отходов (с содержанием кремния 30%, 50%, 99%) в двух дозировках: 2 и 4 т/га. Растения, обогащенные кремнием, демонстрировали увеличение массы клубней и более высокое накопление сырого и сухого вещества в сравнении с контролем и производственным вариантом [152].

Следующий эксперимент имел целью оценку развития возбудителя вертициллеза картофеля на фоне почвенного внесения этих же кремнийсодержащих мелиорантов. Было выявлено снижение количества микросклероций в стеблевом материале на 50, 96 и 100%, соответственно вариантам, в то время как параллельный вариант с обработкой растений известью продемонстрировал увеличение этого показателя на 91%. Клубни, полученные в варианте с внесением кремниевой пыли, при дальнейшем выращивании имели на 57% меньше симптомов пожелтения и увядания по сравнению с необработанным контролем [150].

Еще одно исследование было проведено с целью изучения фенолообразования в клеточных стенках картофельной кожуры, опосредованное кремнием, и связанную с этим устойчивость клубней к бактериальной инфекции мокрой гнили (возбудитель *Pectobacterium carotovorum subsp. Brasiliensis*). Были протестированы следующие варианты: 1 – контроль с патогеном и без него, 2 – добавление в почву кремнийсодержащего шлака с патогеном и без него, 3 – добавление в почву извести (в качестве контроля pH) с патогеном и без него. Было обнаружено, что клубни растений 2-го варианта, имели значительно более высокие уровни общих фенольных соединений. Авторами был сделан вывод об отсутствии роли pH в производстве фенола [138].

Рост урожайности посадок картофеля, вызванный применением силикатно-кальциевого шлака и извести под посадки, был оценен в США. Увеличение урожайности в разные годы составило 591-666 ц/акр при применении извести и 640-718 ц/акра – при применении силикатно-кальциевого силикатного шлака. Кроме этого, внесение шлака оказало благоприятное последствие на высаженные после картофеля томаты и огурцы, что проявилось в увеличении их общей урожайности и количестве плодов [159].

Совместная американско-китайская научная работа показала рост обеспечения растений биодоступным кремнием при одновременном увеличении поглощения углерода почвой за счет применения биоугля, получаемого путем пиролиза из богатой кремнием биомассы отходов [169].

В Бразилии ученые подтвердили большую эффективность в увеличении доступного для растений фосфора на фоне дефицита воды при добавлении в почву силиката кальция-магния по сравнению с доломитовым известняком. Влияние на остальные элементы питания было незначительным. Также было обнаружено, что полегание картофеля было на 72% меньше в варианте с применением силиката в сравнении с применением известняка при полноценном водообеспечении и на 31% – в условиях нехватки воды. Большая высота растений в сочетании с их лучшей архитектурой, отмеченная в варианте с силикатом, по мнению авторов, привела к большей продуктивности, поскольку более крупные и вертикальные растения обеспечивали большую площадь листьев и были более эффективны в улавливании света. Эта гипотеза подкрепляется тем фактом, что увеличение урожайности в основном было связано с большим средним весом клубней как следствием большего продуцирования фотоассимилятов, а не с увеличением их количества. Преимущество в урожайности, под влиянием кремния, составило 17% при отсутствии стресса и 11,4% – при моделировании засухи. Величина сухого вещества по вариантам оставалась неизменной. Концентрация пролина в листьях повышалась как при засухе, так и при высоком уровне кремния, что свидетельствует о влиянии кремния на осмотическую регуляцию растений [112, 153].

Внесение порошка аморфного кремнезема в работе бразильских ученых также выявило кремнийопосредованное повышение эффективности использования фосфора за счет увеличения доступности этого элемента в почве и изменения его метаболизма в растении [141].

В России и Белоруссии накоплен значительный опыт применения цеолитов. Самым обширным месторождением в РФ является Хотынецкое (г. Орел). Изучение его действия на картофель было проведено в нескольких регионах. Были получены положительные отзывы.

Так, в Белоруссии зафиксировано повышение урожайности трех сортов картофеля в среднем на 19% и 27% на фоне осеннего внесения вразброс хотынецкого цеолита в дозах 3,0 и 6,0 ц/га соответственно. При локальном внесении цеолитов в дозах 3,0 и 3,3 ц/га урожайность пяти сортов повышалась в среднем на 12,5%.

Также было отмечено действие цеолита в улучшении товарных и биохимических показателей качества продукции [51].

В республике Татарстан внесение дополнительно к минеральным удобрениям цеолита в дозе 900 кг/га снизило плотность почвы, по сравнению с контролем. В этом же варианте площадь листьев увеличилась в 1,28 раза, а содержание тяжелых металлов в клубнях снизилось: свинца – на 28,0; цинка – на 33,9; меди – на 9,1; мышьяка – на 30,5 и кадмия – на 50%. Наибольшая урожайность продовольственного картофеля также была зафиксирована в этом варианте (*плюс* 12,6 т/га к контролю). Использование 600-900 кг/га цеолита на фоне минеральных удобрений повысило содержание крахмала на 0,43%, сухого вещества на 0,77-0,93%, количество нитратов снизилось на 5,6-8,3 мг/кг [17].

В Татарстане же было показано подавление фитофтороза, фузариоза и серой пятнистости благодаря обработки клубней перед закладкой на хранение суспензией диатомита (60 кг/га). Добавление к диатомиту Ризоплана дополнительно обеспечивало еще и защиту клубней от мокрой гнили [12].

В соседнем регионе, Ульяновской области, было зафиксировано повышение урожайности картофеля от внесенного аморфного диоксида кремния (АДК) в трех дозах 100, 250, 500 кг/га и пиролизата – 100, 300, 600 кг/га, за счет улучшения питательного режима почвы. и сохранения эффективного плодородия почвы. Прибавка урожайности клубней от АДК составила 7,20-10,7 т/га, от пиролизата – 5,03-8,75 т/га. Кроме того, кремнийсодержащие препараты способствовали улучшению качества клубней картофеля: рост содержания крахмала составил 1,1-1,6%, а витамина С – 4-14% [13].

Интересные данные увеличения урожайности под влиянием разных способов доставки кремния получены в этом же регионе и другими учеными. Так, урожайность клубней увеличивалась на 39% (в отдельные годы на 50%) при внесении диатомита в почву (доза 2,5 т/га) и на 42% – при опудривании посадочного материала (доза 300 кг/га). При этом в продукции накапливалось больше фосфорных и калийных соединений и снижалось поступление тяжелых металлов (свинца на 14 %). Значительно улучшилось качество продукции: увеличилось содержание крахмала и

витамина С относительно контроля, причем не только в годы применения удобрения, но и даже более значительно при его последствии [46].

В Нижегородской области научными сотрудниками также выявлено стимулирующее влияние цеолита Хотынецкого месторождения (содержание кремния не менее 20%) и диатомита Инзенского месторождения (доля аморфного кремния – более 62%). В схему опыта также включен вариант с нанокремниевым комплексом. Согласно схеме опыта, посадочный материал опудривали цеолитом и диатомитом в дозе 30 г/т, в почву препараты вносили в дозе 1 т/га. Внесение мелиорантов в почву дало явное преимущество в сравнении с предпосадочным опудриванием клубней картофеля: прибавки урожайности в вариантах с заделкой цеолита и диатомита (44-56%) значительно превысили прибавки от обработки клубней перед посадкой (17-20%). Прибавка урожая клубней при нанесении на клубни наноконкомпозитного кремниевого комплекса также была высокой и достоверной (22%). На второй год ведения опыта при выращивании яровой пшеницы наблюдали последствие внесенных в почву цеолита и диатомита, проявившееся в достоверных схожих прибавках урожая зерна и соломы (21-23% и 50-53% соответственно) [33].

С этим опытом согласуется исследование, проведенное в Брянске, показавшее повышение урожайности на 13,8% при предпосадочном опудривании клубней картофеля аморфным кремнеземом. Помимо продуктивности, было отмечено стимулирующее действие препарата на параметры роста и чистую продуктивность фотосинтеза картофеля [11].

Работа, проведенная в Московском регионе, выявила повышение продуктивности картофеля на 17,5% при применении обогащенной цеолитом марки комплексного удобрения и одновременном снижении на 20% основных питательных элементов, по сравнению с чисто минеральным удобрением [16].

Похожий эксперимент был поставлен индийскими учеными. Они продемонстрировали, что применение диатомита (150 кг/га) на фоне 50%-ного снижения рекомендованной дозы NPK дало прибавку урожая картофеля в 38,7%, а на фоне полной рекомендованной дозы NPK – 12,9%. Снижение эффективности во втором случае ученые связали с более высокой заболеваемостью фитофторозом, вызванной

внесением высокой дозы азотных удобрений. Применение диатомита значительно снизило заболеваемость фитофторозом картофеля: от 37,72 % до 9,41 % по различным вариантам [125].

В Египте изучение влияния внекорневой обработки картофеля силикатом калия (2, 4 и 6 г/л), диатомитом (10, 15 и 20 г/л) и экстрактом морских водорослей (3, 4 и 5 мл/л) показало, что наибольшие значения таких показателей роста и развития, как длина стебля, количество стеблей и листьев, сырая и сухая масса листьев, были получены при применении диатомита в дозе 20 г/л и силиката калия в дозе 6 г/л. Эти же дозировки диатомита и силиката калия обеспечили самый высокий общий и товарный выход клубней. Средняя масса клубней, удельный вес, содержание хлорофилла, азота, фосфора и калия в листьях и крахмала в клубнях были максимальными при использовании диатомита в дозе 20 г/л [128].

В Бразилии применение диатомовой земли при поливе и опрыскивании картофеля в лабораторных условиях выявило ее инсектицидную активность в отношении тыквенного жука (*Diabrotica speciose*). Было протестировано 3 варианта: 1 – контроль; 2 – внесение сухой диатомовой земли (0,5 г/горшок) и 3 – листовая обработка 1% раствором DE. Картофель обрабатывали через 30 дней после посадки. В результате было отмечено снижение количества повреждений листьев через 24 и 48 часов после обработки независимо от способа применения препарата. Через 72 часа снижение наблюдалось только при применении порошкообразной препаративной формы [102].

Знания о том, что кремний укрепляет клеточные стенки за счет усиления синтеза лигнина и суберина, легли в основу предположения, что поскольку кожура картофеля состоит из этих компонентов, то возможен вклад кремния в улучшение качества кожуры, а значит и в улучшение товарности и лежкости клубней. Это было экспериментально проверено в Израиле. Растения картофеля выращивали в теплице в горшках. В опытные варианты помимо общего питательного раствора вносили 100 мг/л раствора силиката натрия. Через определенный период после появления всходов собирали образцы тканей: листья, стебли, корни, столоны, кожуру и мякоть клубней. Имитацию засухи проводили отключением полива до

увядания листьев. Образцы собирали через два дня после повторного подключения системы орошения. Были получены следующие результаты. В геноме картофеля был идентифицирован ген, кодирующий белок-переносчик Si (StSi). Экспрессия этого гена, т.е. непосредственная выработка закодированного в нем функционального белка, была обнаружена только в тканях корней и листьев, при чем ее уровень увеличивался в 2 раза относительно контроля у растений, удобренных силикатом натрия в варианте с поливом, и в 5 раз – у растений, которые были удобрены Si на фоне имитации засухи. Кожура клубней картофеля, удобренного силикатом натрия, отличалась изменением морфологии (площадь клеток кожуры была больше), а также высоким содержанием кремния и сухого вещества. В образцах, обработанных Si, наблюдали активацию генов биосинтеза суберина – стенки клеток кожи были обогащены окисленными ароматическими фрагментами, что свидетельствует об усилении лигнификации и суберизации. В мякоти клубней обработанных растений не было обнаружено кремния, равно как и изменений в сухом веществе [153, 156].

Египетские специалисты показали рост площади листьев и флуоресценции хлорофилла, увеличение сырого и сухого веса ботвы, общего количества растворимых углеводов и белков, а также свободных аминокислот в листьях растений под влиянием опрыскивания растений картофеля силикатом калия в дозировке 2 г/л, возделываемых на орошении и находящихся в умеренном стрессе от засухи [111].

Увеличение содержания хлорофилла и каротиноидов, сахара и белка в листьях картофеля, вызванное обработкой силикатом калия в концентрации 5 мМ, описано и в работе иранских ученых [161].

Похожие эффекты (улучшение ростовых параметров, увеличение содержания фотосинтетических пигментов, урожайности, качества клубней), наблюдаемые после обработки силикатом калия (0, 1,5 и 3 мл/л), но уже на фоне снижения влагообеспеченности, получены и в институте Египта [129].

Изменения в архитектуре растений картофеля, накоплении хлорофилла и урожайности, оценивалось в опыте, проведенном в Бразилии с фолиарным применением пяти доз силиката калия: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 и 1.0%. По результатам,

содержание хлорофилла *a*, *b* падало до дозы 0,4%, затем увеличивалось и при 1% K_2SiO_3 было больше, чем в контроле без опрыскивания. Соотношение *a/b* хлорофиллов не обнаруживало значительных вариаций. Увеличение дозы препарата коррелировало с уменьшением угла отхождения листьев картофеля, что улучшало их светоулавливающую способность. Эти параметры имели достоверные отличия от контроля только в период вегетативного роста (оценка на 49 и 64 день после посадки), но не в период клубнеобразования (оценка на 78 день). Также было зафиксировано увеличение урожайности картофеля экстра- и товарного классов на 22,4% при применении 1% K_2SiO_3 по сравнению с контролем без опрыскивания. Значительных отклонений в накоплении сухой массы, а также в выходе остальных фракций картофеля по вариантам отмечено не было [123, 156].

Работы, проведенные в Китае, показали усиление защитных реакций клубней картофеля от сухой гнили, вызванной *Fusarium spp*, при обработке их силикатом натрия в концентрации 100 мМ. Активность пероксидазы, полифенолоксидазы, фенилаланинаммониазиы и β -1,3-глюканазы, выработка общего фенола и флаваноидов в тканях клубней после заражения *F. sulphureum*. резко возросла именно в обработанных клубнях. Увеличение содержания ферментов указанной группы является важнейшим элементом антиоксидантной защиты организма в ответ на повреждающее воздействие стресса и вызываемого им выработку АФК (активных форм кислорода) [137].

Есть данные по изучению совместного применения кремнийсодержащих соединений со средствами защиты с целью возможности снижения дозировок последних.

Опыт российских ученых продемонстрировал, что обработка клубней осенью перед закладкой на хранение 0,3%-ным раствором кремнийсодержащего препарата тетраэтоксисилана (ТЭС) снизила количество больных клубней до 7,9% (против 11,4% в контроле), а смесью фунгицида метаксила с ТЭС – до 2,5%. Эффективность одного фунгицида была выше, чем ТЭС (4,9 % больных клубней), но ниже его смеси с ТЭС. Следовательно, обработка клубней данной смесью была наиболее ре-

зультативной. Весенняя обработка клубней давала схожие результаты. Объединение обработки клубней (30 мл/т) с листовой подкормкой (0,6 л/га) кремнийсодержащим препаратом на основе силиката калия в дальнейшем позволило получить прибавку урожая в 31,7% и 34,2% соответственно при осенней и весенней обработке клубней. В этом же опыте оценили эффективность кремнийсодержащего удобрения при применении по листу совместно с фунгицидом. Обработка клубней кремнием увеличивала урожайность картофеля на 21,2% на фоне опрыскивания вегетирующих растений рекомендованной нормой фунгицида. Использование баковой смеси фунгицид (двукратное снижение дозы) + Si было более результативным, чем применение одного фунгицида в рекомендованной норме. В этом варианте сбор клубней был значительно выше, прибавка составила 37,9%. Однако максимальная урожайность (+65,8%) была получена в варианте с проведением трех обработок: две - баковой смесью [фунгицид + Si] и третья - одним Si. Хорошие результаты (+54,8%) получены и в варианте с однократным опрыскиванием баковой смесью и двукратном – Si. Использование кремнийсодержащего препарата и для обработки клубней, и в период вегетации положительно отразилось на товарности (увеличение с 70 до 83%) и на качестве клубней (снижение количества больных клубней в 1,7-2 раза) [73].

В другом опыте, тот же кремнийсодержащий препарат, примененный совместно с фунгицидом в предпосадочной обработке клубней, обеспечил дополнительную прибавку в 13,4% по сравнению с вариантом, где был применен только фунгицид [97].

В эксперименте индийских ученых была показана инсектицидная активность силиката калия: популяция белокрылки сократилась на 53,3% и 61,4% через 3 и 7 дней после некорневой обработки, соответственно, а популяция тли – на 57,8% и 49,0%, соответственно. Заболеваемость вирусом (проявление мозаики, скручивание листьев и завиток верхушек) на участках, обработанных силикатом калия, была намного ниже контрольной [98].

Польские ученые показали увеличение высоты, надземной биомассы, площади листьев растений картофеля, а также числа и массы клубней на растение при

применении листовой обработки препаратом на основе силиката натрия. Эффект агрохимиката коррелировал с интенсивностью водного дефицита в период роста картофеля. Так, применение препарата увеличивало среднюю массу клубня с растения на 23% при периодическом дефиците воды в период роста картофеля и на 13% – при засухе [163].

В работе группы ученых из Бразилии было отмечено снижение распространенности фитофтороза на картофеле на 24,7-44,2% (в зависимости от сорта, ярусности листьев и сопутствующего минерального фона) и черной ножки – на 47-51%, а также повышение урожайности клубней и содержания сухого вещества в них при четырехкратном применении концентрированной стабилизированной кремниевой кислоты (0,8% растворимого Si) [171].

Итальянские исследователи отметили положительное влияние на фоне засоленности на следующие показатели роста и развития картофеля: содержание каротиноидов, активность удаления радикалов, количество клубней на растение, урожай клубней и процент сухого вещества клубней, произошедшее под влиянием некорневой обработки диоксидом кремния и особенно наночастицами силиката натрия [147].

Опыт, проведенный в Индии на трех сортах, состоял в обработке клубней картофеля ортокремниевой кислотой и ее листовом применении. Анализ полученных данных показал, что погружение клубней в препарат перед посадкой (концентрация препарата 1 мл/л) увеличило урожайность на 15%, а внекорневое применение – максимально на 50% в зависимости от дозы. Увеличение урожайности было связано с улучшением физиологических параметров: увеличением содержания хлорофилла, размера листьев, повышением поглощения питательных веществ. Интересно, что процент прироста урожайности после внекорневого внесения кремнийсодержащего препарата оказался больше при отсутствии фоновых удобрений, что подтверждает определенную роль кремния в улучшении использования питательных веществ. В дополнение ученые оценили косвенные выгоды, связанные с улучшением качества клубней (уменьшение количества ростовых трещин и внут-

ренных полостей в клубнях), а также снижение заболеваемости болезнями и вредителями. Расчет показал, что соотношение затрат и выгод при применении препарата в дозе 4 мл/л составило примерно 1:6 [134].

В Нидерландах увеличение урожайности клубней на 6,2% и снижение заболеваемость растений фитофторой было достигнуто путем применения некорневого опрыскивания олигомерной кремниевой кислотой [133].

Улучшение усвоения питательных веществ растениями картофеля под действием некорневой обработки метасиликатом натрия было показано в опыте в Польше. Применение кремния снижало концентрацию железа и повышало концентрацию меди и марганца в клубнях картофеля раннего урожая в условиях водного дефицита, но не влияла на концентрацию в них цинка и бора [166].

Опыт в Бразилии показал увеличение площади листьев картофеля и концентрации в них пигментов, скорости фотосинтеза и транспирации хорошо увлажненных растений картофеля при внесении стабилизированной кремниевой кислоты независимо от способа применения (листовое и почвенное). При высокой интенсивности света, которая часто встречается в природе, растения могут поглощать больше световой энергии, чем необходимо для фотосинтеза. Перевозбуждение хлорофилла может привести к излишнему образованию синглетного кислорода, который, имея высокую реакционную способность, вызывает повреждения, снижающие эффективность фотосинтеза за счет фотоингибирования. Каротиноиды способны получать энергию возбуждения хлорофилла и тем самым предотвращать образование синглетного кислорода. Следовательно, внесение кремния благодаря увеличению концентрации каротиноидов в листьях картофеля улучшает состояние растений при избыточной инсоляции [145].

Этой же группой ученых был поставлен тепличный эксперимент с целью оценки накопления Si, концентрации питательных веществ и пигментов, а также на газообмен и рост растений картофеля под действием почвенного и фолиарного внесения стабилизированной кремниевой кислоты. Опыт состоял из нескольких вариантов: 1 – контроль, 2 – стресс-дефицит воды без внесения Si, 3 – стресс-дефицит

воды с внесением в почву растворимого Si, 4 – стресс от дефицита воды с нанесением на листья растворимого Si. Результаты показали, что внесение Si привело к более высокому его накоплению во всем растении, при чем внекорневая подкормка Si привела к концентрации Si в листьях, а обработка почвы увеличила концентрацию Si во всех частях растения. Кремний независимо от способа применения снижал содержание в тканях перекиси водорода. При этом площадь листьев, содержание пролина, активность каталазы, сухой вес клубней, концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов, соотношение хлорофиллов *a* : *b* и урожайность клубней, наоборот, увеличивались, выравниваясь до значений контрольных растений, не испытывавших дефицит воды. Сухая масса листьев и стеблей концентрация фосфора в листьях, активность супероксиддисмутазы повышались только при некорневой подкормке кремнием [118].

Опять же в Бразилии, получены результаты, доказывающие смягчение токсического действия алюминия на растения картофеля как Al-толерантного, так и Al-чувствительного сортов, вызванное силикатом натрия, содержащимся в питательном растворе [157].

Еще одна группа бразильских ученых в ряде опытов доказала инсектицидный эффект применения кремниевой кислоты на картофеле. Первый опыт был проведен в отношении персиковой тли (*Myzus persicae*). Были опробованы четыре варианта обработки: 1 – внекорневые опрыскивания кремниевой кислотой, 2 – почвенное применение кремниевой кислоты, 3 – внекорневая + корневая подкормка кремниевой кислотой, 4 – контроль. Через пятнадцать дней после применения обработок оценивали кормовое предпочтение тлей в зависимости от способов применения кремниевой кислоты. Кремниевая подкормка не повлияла на предпочтения тли, однако, снизила плодовитость и скорость роста популяции насекомых. Дополнительно было отмечено, что в листьях увеличилось содержание лигнина под действием как корневой, так и некорневой обработки, а содержание дубильных веществ – только под действием комбинированного применения [164].

В следующем опыте этими же учеными была исследована эффективность кремниевой кислоты, примененной совместно с половинной рекомендуемой нормой имидаклоприда. В этом варианте предотвращение колонизации картофеля персиковой тлей было на уровне полной дозировки имидаклоприда без добавления кремния [122].

Несколько позже эта же группа исследователей изучила инсектицидное действие кремния в отношении тыквенного жука (*Diabrotica speciosa*) и листовой минирующей мухи (*Liriomyza spp.*). Были протестированы пять вариантов: 1 – контроль, 2 – почвенное внесение кремниевой кислоты, 3 – листовое нанесение кремниевой кислоты, 4 – почвенное внесение кремниевого порошка, 5 – опудривание растений кремниевым порошком. Обработки совершали через 20 дней после посадки картофеля. Растения, удобренные кремнием, независимо от способа его применения и источника, имели меньшее количество листьев, поврежденных вредителями, по сравнению с контрольными [121].

Тоже в Бразилии, но другими учеными, также было проведено сравнение двух источников кремния (кремниевая кислота и диатомовая земля) с необработанным контролем и обработкой пестицидом (ацибензолар-S-метил) с позиции их влияния на поражаемость растений картофеля тыквенными жуками (*Diabrotica speciosa*). Существенных различий в присутствии хищных жуков в надземной растительной массе и окружающей почве по вариантам выявлено не было. Однако растения, обработанные кремнеземом, были менее предпочтительны для вредителей. Опрыскивание всеми препаратами приводило к значительному увеличению диаметра и высоты растений, не влияя на продуктивность. Авторами был сделан вывод, что применение кремниевой кислоты, инсектицида или диатомита равнозначно повышало защиту от насекомых и уменьшало повреждение клубней [130].

В Польше сравнивали влияние на картофель внекорневой подкормки комплексным минеральным удобрением с микроэлементами и препаратом на основе кремниевой кислоты. Были исследованы контроль (без обработок) и три варианта внекорневой подкормки: 1 – комплексное жидкое удобрение, 2 – препарат на основе

кремниевой кислоты, 3 – комплексное жидкое удобрение + Si. Внекорневая подкормка не оказала существенного влияния на урожайность клубней, однако значительно уменьшила долю мелких клубней (диаметром менее 30 мм) и увеличила долю крупных клубней (диаметром более 60 мм): в варианте с использованием только кремниевого удобрения на 23%, а в варианте с сочетанием его с комплексным удобрением на 10%. Использование оцениваемых удобрений не затронуло качественные показатели клубней (потемнение сырой мякоти, уровни фосфора, калия, магния и кальция), но значительно ограничивало накопление нитратов в клубнях, особенно в случае объединения комплексного удобрения с кремниевым: содержание нитратов в этой обработке было ниже почти на 60% [167].

Опять же в Польше двухлетнее некорневое применение ортокремниевой кислоты показало его большую эффективность в менее благоприятный по погодным условиям год. Общий урожай клубней в этот год увеличился в среднем на 14,8%, а товарный – на 16,4% по сравнению с контрольным объектом, тогда как в более благоприятный год прирост составил 5,5% и 7,7%, соответственно. Было показано также, что внекорневая подкормка испытываемым удобрением позволяла снизить внесение в почву минерального азота: сочетание внесения 75 кг/га (по д.в.) азота с внекорневой подкормкой дало такой же урожай клубней, как и при дозе 100 кг/га азота без внекорневой подкормки Si. Внекорневая подкормка положительно повлияла на размер клубней: доля клубней диаметром 50-60 мм увеличилась на 2%, а доля клубней диаметром более 60 мм – на 4% по сравнению с контрольной обработкой. На содержание крахмала, нитратов и сухого вещества в клубнях внекорневая подкормка существенно не повлияла [163].

Интересен опыт, проведенный в Кении. В нем в качестве источника кремния использовали гранулированный водорастворимый кремний в форме ортокремниевой кислоты (0,4% Si) с добавлением фульвокислоты (5%). У растений картофеля наблюдалась значительно более высокая плотность корней на фоне внесения кремния, как на глубине 0-0,3, так и на глубине 0,3-0,9 м. В независимости от системы возделывания (три варианта) при добавлении кремния в значительной степени уве-

личивались следующие показатели: площадь листовой поверхности (+ 18-33%), содержания азота в листьях (+ 51%), содержание общих растворимых углеводов (+ 110%) и пролина (+ 104-194%), электролитная проводимость листа (+ 36-111%), содержание хлорофилла и воды в листьях. Применение кремния значительно повысило эффективность использования растениями воды и радиации, перехват света, накопление биомассы и, как результат, индекс продуктивности земель (+ 5-21%) [114].

Исследования по изучению влияния кремния на картофель изучалось не только в полевых, но и в лабораторных условиях.

В Китае, растения картофеля, выращенные через культуру тканей, имели более высокие побеги с большей массой и более длинными корнями при условии добавления кремниевой кислоты в культуральную питательную среду. Оптимальные результаты были достигнуты при расходе кремниевой кислоты в 5 мл/л. Воздействие кремния привело к повышению соотношения связанной и свободной воды в тканях, увеличению содержания хлорофилла и целлюлозы при одновременном снижении интенсивности дыхания и содержания пектина [117].

В ЮАР *in vitro* был исследован эффект силиката калия на развитие патогена, вызывающего фузариозное увядание картофеля. В декстрозный агар вносили различные концентрации силиката калия (0, 5, 10, 20, 40 и 80 мл/л агара). Это увеличивало рН растворов с 5,2 до 8,8, 9,6, 10,2, 10,6 и 10,8, соответственно. Чтобы определить влияние фактора рН на рост *Fusarium oxysporum*, в исследование были включены варианты сравнения с этими же значениями рН, но достигнутыми с помощью гидроксида калия. Расчёт процента ингибирования *F. oxysporum* проводили через семь дней после инокуляции. В варианте с внесением 80 мл/л силиката калия рост *F. oxysporum* был ингибирован на 92%, в то время как дозировка 40 мл/л показала только 5%-ное ингибирование роста. Интересно, что при концентрациях 5, 10 и 20 мл/л рост патогена усиливался на 44,5%, 44,5% и 30,9% соответственно. Поскольку в контрольных вариантах с тем же рН ингибирования роста не наблюдалось, был сделан вывод, что именно кремний полностью отвечает за ингибирование роста патогена [142].

Тестирование в условиях *in vitro* по влиянию кремния на возбудителя сухой гнили картофеля (*Fusarium sulphureum*) было проведено в Китае. Для этого конидиальную суспензию высевали на питательную среду, содержащую различные концентрации (0, 25, 50, 100, 200 мМ) силиката натрия. Силикат натрия заметно ингибировал рост мицелия *F. sulphureum* с большим эффектом при более высоких концентрациях (до 90% при 200 мМ на 7 день после инокуляции). Ученые отметили нарушение морфологии гиф в вариантах с применением кремния: наблюдалась разреженность и искажение мицелия, его асимметрия, скручивание; новые гифы имели шероховатую поверхность, были набухшими и раздутыми по краям; мицелий выглядел взорванным, сморщенным и купированным.

Эксперимент был продублирован *in vivo*. Травмированные клубни сначала были инокулированы суспензией *F. sulphureum*, после чего через два часа погружены в раствор с силикатом натрия в различных концентрациях (0, 25, 50, 100 и 200 мМ). Обработанные клубни хранили при комнатной температуре. Анализ, проведенный через 30 дней после обработки, показал прямую корреляцию между концентрацией силиката натрия и усилением его способности контролировать сухую гниль. Максимальное ингибирование составило 45% [100].

В исследовании в ЮАР *in vitro* отследили торможение развития болезней, вызванных *Phytophthora cinnamomi*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium F-группы*, *Mucor pusillus*, *Drechslera sp*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Alternaria solumani*, *Colletotrich. coccodes*, *Verticillium theobromae*, *Curvularia lunata* и *Stemphylium herbarum*. в зависимости от доз растворенного в культуральной среде силиката калия: 0, 5, 10, 20, 40, 80 мл/л агара. Процент угнетения патогенов положительно коррелировал с дозировками. Дозировка 80 мл/л вызывала 100% блокировку роста всех протестированных патогенов. Развитие *Sclerotinia sclerotiorum* и *Phytophthora cinnamomi* полностью приостанавливалось при всех концентрациях силиката калия, в то время как все другие грибы только частично подавлялись при концентрациях в 5, 10 и 20 мл/л. Растворимый силикат калия ожидаемо повышал pH используемого агара. Исследование влияния pH в отсутствие силиката калия показали, что рост грибов только частично подавлялся при аналогичных значениях pH. Из этого был

сделан вывод, что силикат калия оказывает ингибирующее действие на рост грибов *in vitro* в большей степени за счет прямого фунгицидного действия, нежели за счет эффекта подщелачивания (увеличения pH) [135].

К противоположному выводу пришли китайские специалисты. Их результаты показали, что рост четырех изолятов грибов: *Rhizoctonia solani*, *Pestalotiopsis clavispora*, *Fusarium oxysporum* и *Fusarium oxysporum f. sp. Fragariae*, был значительно подавлен в вариантах с добавкой силиката калия. Однако, при снижении pH среды, модифицированной силикатом калия, до уровня немодифицированной, разницы в росте грибов между двумя вариантами зафиксировано не было. Из этого авторы сделали вывод, что ингибирование роста грибов было вызвано влиянием pH [131].

Значителен интерес к изучению эффективности наночастиц кремния.

В России результаты вегетационных и полевых экспериментов показали, что предпосадочная обработка клубней кремнезёмом в наноформе на начальных этапах способствовала торможению роста растений, но к концу экспозиции и в вегетационном, и в полевом опыте оказывала стимулирующее действие на рост как надземных, так и подземных органов растений при дозе 180 мг/ 500мл воды. Доза же в 360 мг/ 500 мл воды оказалась ингибирующей. Рассчитанный на основе ростовых характеристик индекс толерантности в целом был больше для корневой системы, чем для ростков. Авторы объясняют это тем, что у клубня картофеля процесс прорастания начинается с глазков, будущих ростков, являющихся первичной «мишенью» [3].

В Иране в эксперименте с картофелем, выращиваемом в беспочвенной культуре, получили данные о значительном улучшении скорости фотосинтеза, эффективности использования воды, проводимости мезофилла, содержании каротиноидов, хлорофилла *a* и *b*, соотношения *a* : *b*, удаления радикалов DPPH, общего фенола, среднего веса мини-клубней и урожайности под влиянием листовой подкормки нанокремнием. При этом как скорость транспирации у растений, обработанных кремнием, по данным ученых, снизилась [109].

В исследовании в Саудовской Аравии в условиях *in vitro* и теплицы два сорта картофеля подвергались обработкам NaCl в дозировках 50 и 100 мМ и наночастицами SiO₂-NPs в дозировках 50 и 100 мг/л с целью оценки влияния кремния на солеустойчивость. Добавление NaCl в среду индуцировало значительное снижение большинства признаков роста по сравнению с контролем: наблюдалось ухудшение поглощения воды, противодействие поглощению основных элементов питания, разрушение мембранных структур. Включение в среду SiO₂-NPs в более низкой концентрации снижало пагубный эффект засоления. При этом SiO₂-NPs в дозе 100 мг/л в сочетании с каждой из дозровок NaCl оказывал токсическое действие на растения картофеля [102].

В Египте тоже получены данные, подтверждающие смягчение негативного влияния засоления почвы, на рост растений картофеля, физиологию и урожайность клубней в ответ на применение наночастиц Si, Zn, В и цеолита (одиночное и комбинированное). Действуя как самостоятельно, так и совместно, эти компоненты значительно усиливали удержание воды и потребление питательных веществ, увеличивали фотосинтетические параметры, индуцировали ферментативную антиоксидантную активность в растениях картофеля, подвергшихся воздействию соли. Эти эффекты способствовали более высокой толерантности к засолению, что закономерно способствовало росту урожайности. Самые высокие показатели были получены при комбинировании активных компонентов. Из вариантов с одиночным применением изучаемых компонентов лучше остальных проявил себя вариант с использованием цеолита [162].

В исследовании, проведенном в Иране, было протестировано влияние четырех различных соединений кремния (нанокремния, силиката натрия, наноглины и бентонита) в двух концентрациях (1 и 2 г/л) на рост растений картофеля. Все соединения, за исключением силиката натрия, улучшали сухой вес листьев (до 18% при применении бентонита 1 г/л) и увеличивали диаметр стебля (до 17% в варианте с наноглиной и бентонитом 1 г/л). Площадь корней была улучшена во всех вариантах с кремниевым удобрением (максимально до 54% при применении силиката

натрия 1 г/л). Хотя обработка кремнием не повлияла на урожай клубней, их качественные характеристики были улучшены в сравнении с контролем [113].

Еще один вид кремнийсодержащих соединений, постепенно набирающий популярность, это кремнийорганические соединения.

Например, в России, в Тверской области, были протестированы кремне-гуминовые препараты с точки зрения его влияния на урожайность картофеля и изменение почвенных характеристик. Препараты применяли для обработки клубней и двукратной некорневой подкормки вегетирующих растений картофеля. Было показано, что агрохимикаты способствовали повышению урожайности картофеля, преимущественно из-за увеличения массы товарных клубней. Прибавка урожайности в среднем за три года составила 4,5-10,6% в зависимости от марки препарата. При использовании препаратов количество подвижного фосфора увеличилось в среднем на 9-19 мг/кг почвы [77].

В Ленинградской области увеличению урожайности картофеля (*плюс* 6 ц/га или 17,2%) и сдерживанию развития фитофтороза (на 21-37%) в вегетационный сезон и снижению поражаемости фитопатогенами при хранении (на 22% при оценке через 6 месяцев) способствовало листовое применение органоминерального препарата, представляющего комплекс метасиликата калия с гуматами [45].

Кремнийорганическое соединение на основе древесно-лигноцеллюлозного комплекса (LSi) испытывали в Латвии. Выяснили, что LSi оказывает благоприятное действие на урожайность и качество клубней при использовании для предпосадочной обработки клубней картофеля в низких нормах внесения (20-40 кг/га): по сравнению с контролем дополнительная урожайность, составила 18-20%. При этом содержание сухого вещества и крахмала увеличилось на 18%, а содержание нитратов в клубнях снизилось в 1,6 раза [136].

Подводя итог, можно сказать, что результаты значительного количества экспериментов с использованием разных видов кремниевых удобрений, очевидно демонстрируют роль кремния в улучшении роста и развития, урожайности картофеля и его качества. При этом способность кремния подавлять поглощение тяжелых ме-

таллов, улучшать метаболизм культур, повышать устойчивость к избыточному засолению, засухе, атакам патогенов представляет значительные возможности для совершенствования производства сельскохозяйственных культур, повышения экономики и экологии возделывания, в том числе за счет снижения норм расхода основных удобрений и СЗР.

Знания о пользе кремниевых подкормок должны быть доступны не только научным специалистам, но и должны быть переведены в практическую плоскость и получить широкое распространение. Кремниевые удобрения должны занять достойное место в интегрированной системе питания и защиты картофеля. При выборе способов применения и доз кремниевых удобрений наряду с их технологичностью и эффективностью, необходимо учитывать отсутствие в них загрязняющих веществ [119].

Будущая цель науки будет заключаться в генетическом манипулировании поглощения кремния для улучшения урожайности и качества клубней, а также способности картофеля преодолевать стрессы [146]. Это многообещающее направление позволит выйти на новый уровень устойчивого и адаптивного земледелия.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Место проведения и схема опыта

Опыты проводили в 2020-2023 гг. на экспериментальной базе «Коренево» ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (Московская область), которая располагается в зоне распространения дерново-подзолистых почв.

Агротехника возделывания картофеля соответствовала зональным рекомендациям [15]. Весной проводили культивацию зяби (МТЗ-80/82, КПС-4), перед нарезкой гребней (КОН-2,8). Минеральные удобрения вносили локально при нарезке гребней по «Методике проведения агротехнических опытов, учетов и наблюдений на культуре картофеля» [58] из расчета 563 кг/га в физ. массе нитроаммофоски 16:16:16, что соответствовало по д. в. $N_{90}P_{90}K_{90}$. Посадка клубней проводилась в предварительно нарезанные гребни клоновой сажалкой (КСКН-4) на глубину 6-8 см. Масса семенного материала – 50-70 г. Далее – два довсходовых боронования (МТЗ-80/82, КОН-2,8 ПМ), две после всходов культивации (МТЗ-80/82, КОН-2,8) и одно окучивание перед смыканием ботвы (МТЗ-80/82, КОН-2,8 ПМ).

Предпосадочную обработку клубней проводили за 2-3 дня до посадки картофеля из ранцевого опрыскивателя концентрациями Si-препарата согласно схеме опыта.

Некорневое опрыскивание растений проводили из ранцевого опрыскивателя концентрациями Si-препарата, согласно схеме опыта, в фазу полных всходов и в фазу бутонизации – начала цветения картофеля.

Во время вегетации растений картофеля проводилось опрыскивание ботвы (МТЗ-80/82, ОН-600) инсектицидами и фунгицидами. Против личинок колорадского жука применяли препараты: Регент, 20 г/га; Актара, ВДГ, 60 г/га; Биская, МД, 200 мл/га. Против фитофтороза применяли системные препараты: Инфинито 1,4 л/га, Ридомил Голд – 2,5 кг/га, Сектин Феномен 1,0 кг/га и контактные препараты:

Дитан М-45, Манкоцеб, СП – 1,2-1,6 кг/га. Посадки картофеля на опыте обрабатывались гербицидами: Лазурит, Зенкор 1,5 л/га (до всходов) и «Титус» 50 г/га + ПАВ Тренд-90 200 г/га (по всходам).

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

Площадь деланки – 28 м², повторность трехкратная, расположение рендомизированное внутри повторений.

Сорта картофеля – Варяг, Вымпел.

Агротехнические паспорта сортов [72]

Сорт ВАРЯГ

Код сорта: 8558883

Включён в Госреестр по Центральному (3) и ЦЧО (5) регионам в 2018 году.

Среднеспелый, столового назначения.

Растение средней высоты, промежуточного типа, полупрямостоячее. Лист среднего размера, открытый, зелёный. Интенсивность антоциановой окраски внутренней стороны венчика от слабой до средней.

Товарная урожайность – 138-409 ц/га на уровне стандартов Колобок, Луговской. Клубень удлиненно-овальный, с очень мелкими глазками. Кожура желтая. Мякоть кремовая. Масса товарного клубня – 97-129 г. Содержание крахмала – 14,7-15,6%. Вкус хороший и отличный. Товарность – 83-97%. Лёжкость – 95%.

Устойчив к возбудителю рака картофеля, восприимчив к золотистой картофельной цистообразующей нематодe. По данным оригинатора устойчив к морщинистой полосчатой мозаике.

Авторы: Мелешин А.А., Мелешина О.В.

Сорт ВЫМПЕЛ

Код сорта: 8756998

Включен в Госреестр по Северо-Западному (2), Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам в 2016 году.

Среднеспелый, столового назначения.

Растение средней высоты до высокого, промежуточного типа, полупрямостоячее. Лист среднего размера, закрытый, зеленый. Венчик среднего размера. Интенсивность антоциановой окраски внутренней стороны венчика отсутствует или очень слабая.

Товарная урожайность – 241-430 ц/га, на уровне и выше на 85 ц/га стандарта Луговской.

Клубень овально-округлый с глазками средней глубины. Кожура желтая. Мякоть светло-желтая. Масса товарного клубня – 96-140 г. Содержание крахмала – 13,2-16,6%. Вкус хороший. Товарность – 82-98%. Лежкость – 93%.

Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематоды. По данным ВНИИ фитопатологии, умеренно-восприимчив к возбудителю фитофтороза по ботве и клубням.

Авторы: Симаков Е.А., Бойко В.В., Салюков С.С., Григорьев Г. В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Овечкин С.В.

Схема опыта:

2020 год

1. Контроль. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$. Обработка водой.

2-6. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание клубней 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% р-ром Si-препарата (SiO_2 – 100 г/л). Расход агрохимиката – 20, 40, 60, 80 и 100 мл/10л воды соответственно, расход раб. раствора – 10,0 л/т.

7-11. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание растений 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% р-ром Si-препарата дважды за сезон: 1-я – фаза полных всходов, 2-я – бутонизация-начало цветения. Расход агрохимиката – 20, 40, 60, 80 и 100 мл/10л воды соответственно, расход раб. раствора – 300 л/га.

2021 год

1. Контроль. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$. Обработка водой.

2-7. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание клубней 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% и 1,2% р-ром Si-препарата (SiO_2 – 100 г/л). Расход агрохимиката – 20, 40, 60, 80, 100 и 120 мл/10л воды соответственно, расход раб. раствора – 10,0 л/т.

8-13. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание растений 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% и 1,2% р-ром Si-препарата дважды за сезон: 1-я – фаза полных всходов, 2-я – бутонизация-начало цветения. Расход агрохимиката – 20, 40, 60, 80, 100 и 120 мл/10л воды соответственно, расход раб. раствора – 300 л/га.

2022 год

1. Контроль. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$. Обработка водой.

2-7. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание клубней 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% и 1,2% р-ром Si-препарата (SiO_2 – 100 г/л). Расход агрохимиката – 20, 40, 60, 80, 100 и 120 мл/10л воды соответственно, расход раб. раствора – 10,0 л/т.

8-13. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание растений 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% и 1,2% р-ром Si-препарата дважды за сезон: 1-я – фаза полных всходов, 2-я – бутонизация-начало цветения.

14-17. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Комбинированная обработка растений 0,4% + 0,4%, 0,4% + 0,6%, 0,6% + 0,4%, 0,6% + 0,6%.

Расход агрохимиката и рабочего раствора см. схему 2021 г.

2023 год

1. Контроль. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$. Обработка водой.

2-3. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание клубней 0,4% и 0,6% р-ром Si-препарата (SiO_2 – 100 г/л).

4-5. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Опрыскивание растений 0,4% и 0,6% р-ром Si-препарата дважды за сезон: 1-я – фаза полных всходов, 2-я – бутонизация-начало цветения.

6-9. Фон $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Комбинированная обработка растений 0,4% + 0,4%, 0,4% + 0,6%, 0,6% + 0,4%, 0,6% + 0,6%.

Расход агрохимиката и рабочего раствора см. схему 2021 г.

2.2 Методы исследований

При постановке опыта ежегодно проводили необходимые учеты и наблюдения.

Агрохимическая оценка почвы до внесения удобрений: гумус – по ГОСТ 26213-91 [21]; азот общий – по ГОСТ 26107-84 [19]; P_2O_5 и K_2O – по ГОСТ Р 54650-2011 [32]; рН(сол) – по ГОСТ 26483-85 [22]; гидролитическая кислотность – по ГОСТ 26212-91 [20]; сумма поглощенных оснований – по ГОСТ 27821-2020 [25]; степень насыщенности почвы основаниями – расчетным способом $[V, \% = S \times 100: (S+H_r)]$; определение обменных Са и Mg – по ГОСТ 26487-85 [23]; определение монокремниевой кислоты в почве – по методике Матыченкова В.В. [56] (при посадке и во время уборки урожая).

Метеоусловия – по данным метеостанции ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», пос. Коренево. Рассчитывался гидротермический коэффициент Селянинова.

Биометрические показатели (измерение высоты растений, число стеблей на куст, площадь ассимиляционной поверхности листьев) определяли в фазу цветения по «Методике проведения агротехнических опытов, учетов и наблюдений на культуре картофеля» [58].

Учет площади ассимиляционной поверхности листьев – методом высечек с помощью сверла (или пробойника) определенного радиуса [58].

$$S = \frac{P * S_1}{P_1 * n}$$

где: S – площадь листьев 1-го растения, см²;

P – вес листьев всех растений в пробе, г;

S_1 – площадь 100 дисков, см²;

P_1 – вес 100 дисков, г;

n – количество отобранных растений, составляющих одну пробу, шт.

Расчет фотосинтетического потенциала – по методике А.А. Ничипорович и др. [90].

Выделение пластидных пигментов в листьях картофеля и дальнейший расчет их концентрации осуществляли в соответствии с «Практикумом по физиологии растений» [69].

Водоудерживающую способность листьев в соответствии с «Практикумом по физиологии растений» [69].

Урожай и его структуру (товарность) определяли вручную с 10 типичных растений на делянке (или 30 растений с варианта) и взвешиванием клубней по фракциям: мелкая фракция – клубни по поперечному диаметру меньше 28-30 мм; средняя (семенная) – от 28-30 до 60 мм по поперечному диаметру; продовольственная – клубни по поперечному диаметру более 60 мм, согласно ГОСТ 7176-2017 [30] и ГОСТ 33996-2016 [29].

В уборочной пробе по всем вариантам опыта определяли следующие показатели качества клубней:

- а) содержание крахмала – по ГОСТ 7194-81 [31];
 - б) определение сухого вещества – по ГОСТ 31640-2012 [28];
 - в) содержание нитратов – по ГОСТ 29270-95 [27];
 - г) содержание витамина «С» – по И.К. Мурри [74];
 - д) содержание редуцирующих сахаров – по методу Самнера [58];
 - е) определение кулинарных качеств клубней [60] по 9-ти бальной шкале: вкус вареного картофеля – 9-отличный, 7-хороший, 5-удовлетворительный, 3-пресный, 1-плохой (неприятный, горьковатый)]; потемнение мякоти (сырой и после варки): 9-цвет не изменился, 7- слабое изменение цвета, 5-среднее окрашивание, 3-сильное окрашивание, 1- очень сильное темное окрашивание;
- разваримость: 9 - очень сильно разваривается; 7 – сильно разваривается; 5 – средне разваривается; 3 – слабо разваривается; 1 – не разваривается.

Лежкость клубней в период осенне-зимнего хранения с вычленением из общих отходов естественной убыли массы, абсолютной, технической гнили, потерь на ростки определяли по методике Пшеченкова К.А. [71];

Экономическая эффективность применения агроприемов определялась по «Методическим указаниям» под редакцией Полунина Г.А. [59];

Математическая обработка данных урожая – методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову на ПЭВМ с использованием приложения к Excel CXSTAT [34].

Лабораторные исследования выполняли в лаборатории агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» на сертифицированном оборудовании.

2.3 Почвенно-климатические условия проведения опыта

Нечерноземная зона объединяет таежно-лесную зону с северными районами лесостепной зоны. Природные условия зоны в связи с громадной протяженностью ее с запада на восток и с севера на юг чрезвычайно разнообразны. Тепловые ресурсы и влагообеспеченность региона вполне достаточны для возделывания традиционных культур умеренного пояса, в т.ч. картофеля. Климат занимает как бы промежуточное положение между мягким приморским и резко-континентальным сибирским и оценивается как умеренно континентальный.

В центральном регионе (в т.ч. Московской области) осадков за год выпадает 350-700 мм, продолжительность периода с температурой выше 10°C составляет 40-155 дней, сумма температур за это время – 400-2450°C. Продолжительность безморозного периода от 90 до 140 дней, вегетационного – от 90-100 до 130-150 дней.

Примерно 70% осадков выпадает в теплое время года. Это создает благоприятные условия для роста и развития картофеля. Годовое количество осадков превышает испаряемость в 1,10-1,33 раза. Поэтому в целом рассматриваемая территория по количеству осадков, выпадающих в течение года, относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения.

Дерново-подзолистые почвы разной степени окультуренности северо-запада и центра нечерноземной полосы, расположенные в 15 областях, являются основным сельскохозяйственным фондом Российской Федерации и при правильных агротехнических приемах: известковании, внесении удобрений, рациональном чередовании культур и др., дают высокие устойчивые урожаи [35].

В пахотных дерново-подзолистых почвах, или антропогенно измененных, присутствует горизонт $A_{\text{пах}}$, который образован обычно из горизонта A_1 и припаханной к нему части подзолистого горизонта A_2 . Поэтому морфологические свойства $A_{\text{пах}}$ зависят от соотношения образовавших его горизонтов, а также от интенсивности использования почв в сельском хозяйстве, степени ее окультуренности [91].

Площадь песчаных и супесчаных подзолистых почв составляет 72 млн. га, в том числе пахотных 11,5 млн. га [72]. В отличие от суглинистых почв песчаные и супесчаные дерново-подзолистые почвы лучше прогреваются в теплый период. Зимой же они обычно сильнее промерзают. Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы характеризуются пониженным содержанием гумуса (0,9-2,4%), обменных оснований, подвижных P_2O_5 и K_2O . Кислотность верхних горизонтов повышенная (3,9-4,5 ед. рН) и с глубиной мало изменяется. По содержанию микроэлементов песчаные и супесчаные почвы беднее, чем суглинистые и глинистые [92].

В севооборотах с картофелем на песчаных и супесчаных почвах растения часто страдают от повышенной кислотности и недостатка микроэлементов, серы, магния (реже кальция), поэтому здесь большой эффект получают от внесения известковых материалов, содержащих магний (доломит, доломитизированные известняки и магнезит) [35, 52]. Опыты с кремнийсодержащими агрорудами также показали их высокую эффективность при выращивании картофеля [16, 51].

В настоящее время антропогенное влияние привело к тому, что леса неоднократно менялись местами с пашнями, а состав леса изменялся продолжительными выборочными порубками. В результате вспашки дерново-подзолистых почв происходят глубокие изменения в строении и свойствах верхнего слоя. Дерновый горизонт разрыхляется и смешивается с подзолистым, что приводит к образованию нового, пахотного слоя, который имеет более низкое содержание гумуса и азота по сравнению с дерниной. В дальнейшем общие запасы гумуса и азота в процессе окультуривания почвы постепенно увеличиваются.

Целинные дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию, значительную обменную кислотность (1-2 м-экв на 100 г), 90% ЕКО (емкости катионного обмена) приходится на обменный Al, а также гидролитическую кислотность (3-6 м-экв на 100 г), низкую емкость поглощения (5-15 м-экв) и степень насыщенности основаниями (30-70%). Большая часть этих почв нуждается в известковании [2].

Почва опытного участка характеризовалась как дерново-подзолистая супесчаная нормального увлажнения, средне окультуренная со следующими агрохимическими показателями пахотного горизонта (таблица 2.3.1).

Почва опытных участков в среднем за годы исследований характеризовалась высокой актуальной и гидролитической кислотностью ($pH_{KCl} = 4,27-4,47$; $Hг = 3,6-3,9$ мг-экв/100г почвы); низкой суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими ($S = 1,9-2,3$ мг-экв/100г почвы; $V = 33,7-38,8$ %); средним содержанием общего минерального азота (728-756 мг/кг почвы), высоким содержанием подвижного фосфора (356-374 мг/кг почвы); пониженным содержанием обменного калия (91-104 мг/кг почвы); низкой гумусированностью почвы (1,84-1,91 %); низким содержанием подвижных форм кремния (10,3-14,5 мг/100 г почвы) (таблица 2.3.1, 2.3.2). Наиболее высоким плодородием характеризовался опытный участок в 2020 году, а самым низким – в 2023 году.

Таблица 2.3.1 – Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы опытного участка

Год	pH_{KCl}	Hг	S	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O	V	Гумус
		мг-экв /100 г почвы	мг/кг почвы			%		
2019	4,5-4,7	3,2-3,4	2,1-2,7	743-760	357-366	90-95	38,2-45,8	1,92-1,98
2020	4,4-4,7	3,3-3,6	2,0-2,6	736-768	350-368	107-130	37,7-41,9	1,85-1,93
2021	4,15-4,30	3,9-4,1	2,0-2,2	728-754	343-358	93-110	32,8-36,1	1,83-1,90
2022	4,40-4,50	4,0-4,1	1,9-2,1	716-758	378-395	70-80	31,7-34,4	1,80-1,91
2023	3,90-4,15	3,4-4,1	1,6-1,9	718-740	351-384	94-107	28,1-35,8	1,78-1,82
Среднее	4,27-4,47	3,6-3,9	1,9-2,3	728-756	356-374	91-104	33,7-38,8	1,84-1,91

В пахотном слое пашни за последние пять лет интенсивного её использования наблюдается отчётливый тренд подкисления почвенной среды: увеличение ак-

туальной и гидролитической кислотности (Нг), уменьшение степени насыщенности (V) и суммы обменных оснований (S). Такая деградация дерново-подзолистой почвы является результатом отсутствия внимания к проведению известкования. И сам А.Г. Лорх, и его ученики – уделяли химической мелиорации дерново-подзолистых почв большое внимание и доказали ее значимость для картофеля. В длительных опытах по агротехнике (1938-1963 гг.), проводившихся при участии А.Г. Лорха и его ученика Н.С. Бацанова (1969), было установлено, что внесение извести в севообороте на вариантах с органоминеральной системой удобрений повышало урожайность картофеля в 1,5 раза (с 16,6 т/га до 25,6 т/га). От внесения извести значительно увеличивался урожай картофеля и при бессменной культуре (на 38%) [6].

Несмотря на повсеместное распространение кремния (в земной коре Si – второй после кислорода), при дефиците кремниевых кислот и уменьшении содержания аморфного кремнезема наблюдается разрушение органоминерального комплекса, ухудшается минералогический состав почв, их агрофизические свойства и ускоряется деградация почвенного органического вещества. При многократном интенсивном использовании пашни (как в случае с дерново-подзолистой почвой ЭБ «Коренево», которая была распахана в 30-х годах прошлого века) в севооборотах с высокой насыщенностью пропашными культурами (кукурузой, картофелем), наблюдается истощение пахотного слоя подвижными формами кремния. Наши исследования подтвердили деградацию пашни по содержанию подвижных форм кремния, которая наиболее существенно происходила на фоне минеральных удобрений (таблица 2.3.2).

Таблица 2.3.2 – Динамика подвижных формы кремния (Si) в $A_{\text{пах}}$ дерново-подзолистой супесчаной почвы при выращивании картофеля, ЭБ «Коренево»

Варианты	Подвижные формы кремния (Si), мг/кг почвы								
	2020 г.			2021 г.			2022		
	5.05.	23.08.	± Δ	5.05.	23.08.	± Δ	5.05.	23.08.	± Δ
Без удобрений	145	128	-17	121	119	-2	127	120	-7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	149	116	-33	117	96	-21	132	103	-29
НСП ₀₅	5,8	6,3		4,7	4,5		5,2	5,6	

Нами было установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве во все годы исследований отмечался дефицит подвижных форм кремния, который усиливался в годы с недостатком осадков в весенний период – март-апрель-май (2021 и 2022 гг.) и ежегодно к концу вегетации, после выращивания картофеля.

Картофель – культура умеренного климата, но благодаря своей пластичности и селекционным достижениям ученых распространена по всей территории страны.

Клубни начинают интенсивно прорастать при температуре почвы от 7 до 12°C, наиболее быстро клубни прорастают при температуре почвы около 20°C. По данным А. Г. Лорха, при температуре 11-12°C всходы появляются на 23-й день, при 14-15°C – на 17-18 день, при 18-25°C – на 12-13 день и при высокой температуре 27-28°C – на 6-7 день [53]. После появления на поверхности ростки продолжают развиваться при температуре 6-8°C, но первые листья активно формируются лишь при 11-13°C.

Наиболее благоприятная температура почвы для клубнеобразования 16-19°C, что соответствует температуре воздуха 21-25°C. Повышение температуры почвы особенно вредно для формирования урожая картофеля в засушливые периоды лета. В условиях жары и засухи рост клубней прекращается, и растения картофеля существуют за счет запасующих питательных веществ ранее образовавшихся молодых клубней, наблюдается эффект «израстания» [14].

Ассимиляционная деятельность растений почти прекращается при продолжительной температуре выше 30°C и вместо ассимиляции может происходить усиление интенсивности дыхания. Значительное влияние температура оказывает на число завязавшихся клубней (с повышением температуры увеличивается их число, но размер уменьшается) [14, 53].

Оптимальная температура для роста стеблей, листьев и цветения находится в диапазоне от 16 до 22°C. При температуре 6°C стебли перестают расти. Интенсивный прирост клубней наблюдается при прогревании почвы от 16 до 19°C, понижение температуры почвы до 6-7°C равно как и повышение ее до 23-25°C задерживают прирост, а при температуре 29-30°C клубнеобразование прекращается.

Клубни картофеля при отсутствии или недостатке света прорастают этиолированными ростками, с длинными междоузлиями, которые легко обламываются. При ослабленном освещении ростки длинные и окрашенные, на полном свете – короткие, толстые и зеленые. При недостатке света растения вытягиваются, развитие их замедляется, листья теряют способность к ассимиляции углекислого газа. Поэтому очень важно правильно расположить рядки картофеля. При северо-южном их направлении растения в течение дня освещаются равномернее по сравнению с западно-восточным расположением.

Надземные органы картофеля лучше растут и развиваются на длинном световом дне, а клубни интенсивнее образуются при коротком дне. В условиях продолжительного и интенсивного освещения растения хорошо растут и развиваются даже при пониженных температурах.

Растения картофеля требовательны к хорошему водоснабжению на протяжении всей вегетации, причём особенно во второй её половине. Среди факторов, определяющих колебания урожаев картофеля (при одинаковых условиях культуры земледелия), решающую роль играют количество осадков и распределение их во времени. Чем плодороднее почва, и чем больше ее влагоудерживающая способность, тем меньше воды нужно для получения хорошего урожая. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений картофеля, особенно в период интенсивного формирования клубней создаются при влажности почвы 60-80 % от ППВ [67, 85]. Недостаток влаги в период клубнеобразования снижает урожай за счет уменьшения количества и массы клубней под кустом.

Критическим периодом в потребности к воде у картофеля считается конец бутонизации – начало цветения. Недостаток влаги перед цветением не компенсируется поздним влажным периодом. Дожди мая и июня определяют число клубней, а дожди июля и августа – вес клубней [53, 66].

Для оценки влагообеспеченности региона широко пользуются гидротермическим коэффициентом (ГТК). Гидротермический коэффициент Селянинова представляет собой частное от деления суммы осадков (R , мм) за определенный период времени на сумму температур воздуха выше 10°C за тот же период, уменьшенную

в 10 раз: $K = R/\Sigma t:10$. Селянинов выделял следующие зоны в соответствии со значениями ГТК: $> 1,3$ – зона избыточного увлажнения, $1-1,3$ – зона достаточного увлажнения, $0,7-1$ – засушливая зона, $0,5-0,7$ – острозасушливая зона. $ГТК \leq 0,8$ в период клубнеобразования приводит к снижению урожая картофеля. При более высоких значениях ГТК урожай повышается, но лишь до определённого уровня, а именно 2,5 для позднеспелых сортов и 3,0 – для ранних. Переувлажнение почвы для ранних сортов менее опасно в виду более поверхностной корневой системы, столонов и клубней.

В зависимости от влажности и температуры почвы и биологических особенностей сортов картофеля одно растение за период вегетации испаряет примерно 60-70 л воды, что составляет около 3000 т/га и соответствует 300 мм атмосферных осадков. Для формирования высокого урожая картофеля необходимо следующее количество осадков: на супесях в июне 85 мм, июле 150 мм, августе 115 мм, за всё лето 370 мм; на суглинках соответственно 70 мм, 120 мм, 90 мм и за всё лето 300 мм. В мае на период до появления всходов и в сентябре до отмирания ботвы достаточно 20 мм естественных осадков. Обложные дожди лучше используются растениями, чем ливневые. При выпадении 20-30 мм на суглинках почва сильно сплывается, ухудшается аэрация, вода размывает борозды; на супесях излишек влаги вымывает легкорастворимые и потому наиболее доступные для растений азотистые соединения. В результате таких обильных осадков или поливов урожай снижается [1].

Метеоусловия сильно влияют на продуктивность картофеля. Во многих работах установлена корреляция между условиями произрастания и урожайностью картофеля [64, 92]. Отмечено, что наиболее значимая связь между ГТК и продуктивностью существует для среднеспелых сортов [84].

В исследованиях последних лет отмечено, что влияние гидротермических условий увеличилось и составило 40-85%, корреляция становится сильной ($r=0,7$ и выше). Урожайность картофеля сильно варьирует по годам исследований (коэффициент вариации колебался от 41-60%) и, следовательно, роль сорта, независимо от

группы спелости, проявляется в благоприятные годы и снижается в неблагоприятные.

Метеорологические условия в годы исследований носили разнообразный характер, что позволило всесторонне оценить агрохимикат. Сдерживающим фактором оптимального накопления урожая являлось неравномерное распределение тепла и влаги по периодам роста и развития растений (таблица 2.3.3, графики 2.3.1 и 2.3.2).

Метеорологические условия вегетационного периода 2020 года характеризовались несколько пониженной температурой воздуха в мае и во II и III декадах июля и одновременно избытком дождей в течение всей вегетации, за исключением III декады июня. Средняя температура воздуха за вегетационный период 2020 г. была близка к норме ($17,1^{\circ}\text{C}$ при норме $16,7^{\circ}\text{C}$). Количество же осадков за вегетационный период выпало $395,7$ мм или $149,7\%$ от нормы. ГТК₂₀₂₀ (гидротермический коэффициент) составил $2,35$ (влажный год).

Метеоусловия вегетационного периода 2021 года в целом были неудовлетворительными для роста, развития и продуктивности картофеля, в отличие от предыдущего вегетационного периода. Средняя температура воздуха за вегетационный период составила $19,7^{\circ}\text{C}$ при норме $16,5^{\circ}\text{C}$. Всего осадков за вегетационный период выпало $258,0$ мм или 99% от нормы. ГТК₂₀₂₁ составил $1,096$ (слабозасушливый год). Погода в мае 2021 года была в основном теплая и влажная. Среднесуточная температура воздуха ($14,4^{\circ}\text{C}$) была на $1,37^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы. Осадков за этот месяц выпало более чем в $1,5$ раза больше нормы – $79,9$ мм. Погода в июне и июле была в основном жаркая и сухая. Июньская среднесуточная температура воздуха была выше климатической нормы на $4,1^{\circ}\text{C}$, а июльская – на $3,8^{\circ}\text{C}$. Осадков за июнь выпало на $6,6$ мм меньше нормы, за июль – в $2,8$ раз меньше нормы, при этом более 50% из них выпало во второй декаде. ГТК_{июнь} = $0,91$. ГТК_{июль} = $0,40$. Так тепло не было с 2011 года и сухо – с 2014 года. Погода в августе была в основном жаркая и влажная. Среднесуточная температура воздуха ($19,8^{\circ}\text{C}$) была выше нормы на $2,5^{\circ}\text{C}$. Осадков за месяц выпало в $1,4$ раза больше нормы – $90,9$ мм. ГТК_{август} = $1,49$.

Средняя температура воздуха за вегетационный период 2022 года составила 18,5°C. Всего осадков за вегетационный период выпало 203,5 мм или 78,1% от нормы. ГТК всей вегетации составил 0,93 (засушливый). Погода в мае была холодная и влажная. Среднесуточная температура воздуха в мае составила 10,8°C, что на 2,23°C ниже климатической нормы. Осадков за месяц выпало в пределах климатической нормы (норма 52,3 мм), при этом 55% из них выпало в третьей декаде мая и 38,9% - во второй. За июль месяц выпало 96,9 мм осадков, что в 1,2 раза больше нормы, при этом более 57% из них выпало в первой декаде (55,9 мм) и 28% во второй – 27,4 мм. ГТК_{июля} = 1,48 (влажный). Погода в августе – жаркая и сухая (ГТК_{август} = 0,24). Осадков за месяц выпало практически в 4 раза меньше нормы – 16,9 мм, из них более 94% выпало в первой декаде или еще точнее 77,5% осадков за месяц выпало за один день – 9 августа. Так жарко в августе не было с 2010 года.

Метеоусловия вегетационного периода 2023 года можно характеризовать как удовлетворительные для роста, развития и формирования продуктивности картофеля. Средняя температура воздуха за вегетацию составила 17,2°C при норме 16,5°C. Всего осадков за вегетационный период выпало 251,0 мм или 96,4% от нормы. ГТК составил 1,18 (слабозасушливый).

Оптимальный гидротермический коэффициент для картофеля составляет 1,4-1,6. Среднемноголетнее значение ГТК 2020-2023 гг. составило 1,29.

Таблица 2.3.3 – Метеоусловия вегетационных периодов 2020-2023 гг.

Месяц	Температура воздуха, °С		Осадки, мм		ГТК
	средняя за месяц	среднемного- летнее	текущего года	среднемного- летнее	
2020 год					
май	11,9	13,0	113,5	52,3	4,27
июнь	19,5	17,3	125,4	65,2	2,46
июль	19,3	19,3	120,3	79,3	2,00
август	17,6	17,3	36,5	67,5	0,65
Средн. за вегетацию	17,1	16,7	395,7	264,3	2,35
2021 год					
май	14,4	13,0	79,9	52,3	2,04
июнь	21,4	17,3	58,6	65,2	0,91
июль	23,0	19,3	28,6	79,3	0,40
август	19,8	17,3	90,9	67,5	1,49
Средн. за вегетацию	19,7	16,7	258,0	264,3	1,096

<i>2022 год</i>					
май	10,7	13,0	51,6	52,3	2,09
июнь	19,5	17,3	38,1	65,2	0,65
июль	21,1	19,3	96,9	79,3	1,48
август	22,4	17,3	16,9	67,5	0,24
Средн. за вегетацию	18,4	16,7	203,5	264,3	0,93
<i>2023 год</i>					
май	13,1	13,0	23,7	52,3	0,66
июнь	17,1	17,3	81,7	65,2	1,62
июль	19,0	19,3	86,6	79,3	1,47
август	19,5	17,3	59,0	67,5	0,98
Средн. за вегетацию	17,2	16,7	251,0	264,3	1,18

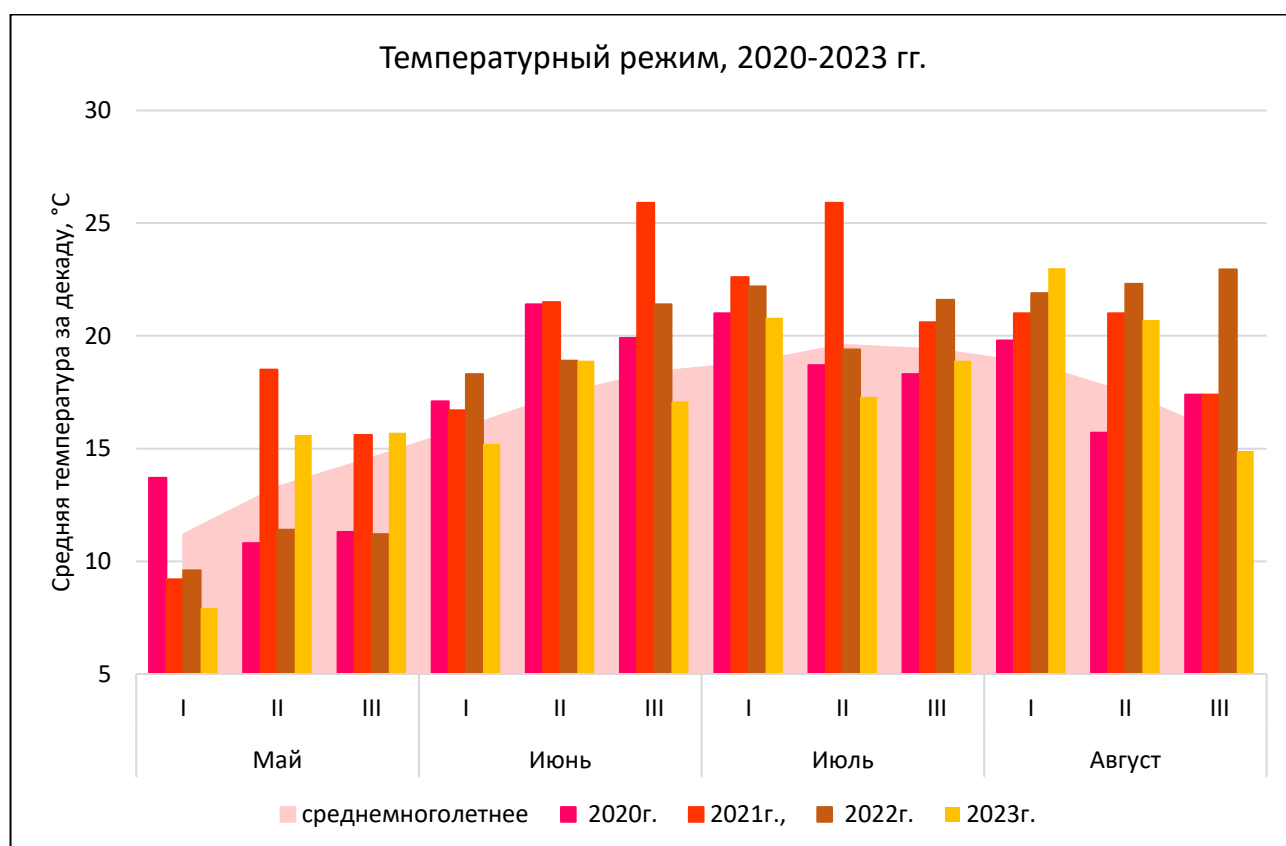


График 2.3.1 – Температура воздуха за вегетационные периоды 2020-2023 гг.

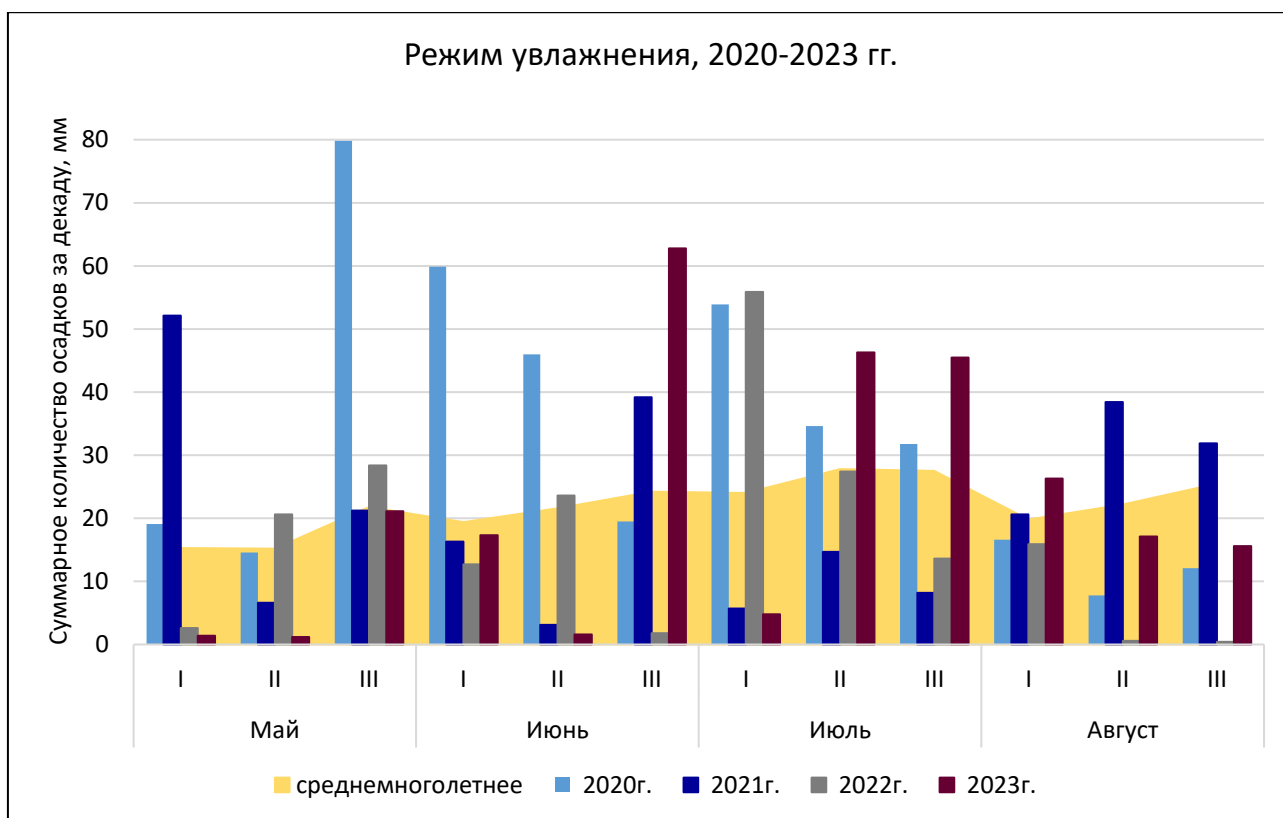


График 2.3.2 – Количество осадков за вегетационные периоды 2020-2023 гг.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА 3 РОСТ И РАЗВИТИЕ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ

Интенсивный рост и развитие растений картофеля определяют высокую урожайность культуры. Поэтому в агрономической практике вся деятельность направлена на создание оптимальных условий роста и развития с.-х. культур, которые можно регулировать, воздействуя на те или иные управляемые факторы. В нашем опыте было отмечено, что влияние кремнийсодержащего препарата на рост и развитие картофеля проявлялось во все годы проведения опыта.

3.1 БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ

По годам максимальные показатели развития надземной массы картофеля и массы клубней обоих сортов наблюдались во влажном 2020 году, минимальные значения отмечены в засушливом 2021 году (таблицы 3.1.1-3.1.3).

В 2020 году на обоих сортах высота растений достоверно повышалась при применении концентраций препарата от 0,4 до 1,0% независимо от способа применения: 5-12 см на сорте Варяг и 8-16 на сорте Вымпел. Более заметное увеличение показателя, особенно у сорта Вымпел, было при листовом применении.

В 2020 года биомасса ботвы картофеля сорта Варяг колебалась от 459 г/куст в контроле до 479-553 г/куст в вариантах с обработкой клубней (прибавка 20-94 г/куст или 4,3-20,5% к контролю) и до 490-556 г/куст в вариантах с некорневым опрыскиванием Si-препаратом (прибавка 31-97 г/куст или 6,7-21,1% к контролю). Порог наименьшей существенной разницы был превышен в вариантах с концентрацией препарата 0,6% и выше при обработке клубней и 0,4% и выше – при листовой обработке.

На среднеспелом сорте Вымпел в 2020 году применение Si-препарата в увеличивающихся концентрациях также способствовало росту массы ботвы: при обработке клубней – на 23-80 г/куст или 4,7-16,5%, при некорневом опрыскивании – на 30-85 г/куст или 6,2-17,6% к значению контрольного варианта. Достоверная прибавка отмечена от действия концентрации препарата 0,4% и выше независимо от способа применения.

Таблица 3.1.1 – Влияние обработок на биометрические показатели роста и развития растений картофеля, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт./куст	Масса ботвы, г/куст	Кол-во клубней шт./куст	Масса клубней, г/куст
сорт Варяг						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		65	3,7	459	14,9	807
Обработка клубней	0,2%	68	3,5	479	15,7	830
	0,4%	70	3,7	495	15,1	880
	0,6%	73	3,8	516	15,1	907
	0,8%	74	4,0	550	16,3	923
	1,0%	73	4,1	553	17,0	925
Обработка растений	0,2%	68	4,0	490	16,6	860
	0,4%	70	4,0	531	17,1	959
	0,6%	77	4,3	535	18,7	955
	0,8%	76	4,3	556	17,8	948
	1,0%	73	4,3	550	18,5	930
сорт Вымпел						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		67	2,9	484	9,4	623
Обработка клубней	0,2%	70	3,0	507	9,6	641
	0,4%	73	3,3	523	10,1	680
	0,6%	75	3,3	545	10,3	682
	0,8%	76	3,2	550	10,6	690
	1,0%	70	3,1	564	10,3	702
Обработка растений	0,2%	71	3,1	514	10,3	673
	0,4%	75	3,1	530	10,5	726
	0,6%	80	3,3	555	10,8	735
	0,8%	83	3,3	564	10,9	740
	1,0%	80	3,4	569	10,9	743
NCP ₀₅		4,5	0,3	39	3,1	37

Эти же закономерности в изменении величин изучаемых показателей наблюдались в 2021 и 2022 годах (таблицы 3.1.2, 3.1.3).

В 2021 году на сорте Варяг применение Si-препарата в увеличивающихся концентрациях также способствовало росту массы ботвы. Существенно отличались

от контроля варианты с концентрацией 0,6% и выше. На сорте Варяг при обработке клубней достоверная прибавка составила 43-52 г/куст или 12,7-15,3%, при некорневом опрыскивании- 42-56 г/куст или 12,4-16,5%. На сорте Вымпел: при обработке клубней – 32-43 г/куст или 8,6-11,5%, при некорневом опрыскивании – на 36-47 г/куст или 9,7-12,6%.

В 2022 году достоверное увеличение массы ботвы было в вариантах с применением концентрации 0,8% и выше независимо от сорта и способа применения. Так, по сорту Варяг рост составил 44-48 г/куст или 11,9-13,0% при обработке клубней и 45-57 г/куст или 4,5-15,4% при опрыскивании ботвы. По сорту Вымпел: 44-50 г/куст или 11,4-12,9% при обработке клубней и 51-59 г/куст или 13,2-15,3% при опрыскивание ботвы).

Количество главных стеблей в наибольшей степени зависело от биологических особенностей сорта: на сорте Варяг сформировалось 3,5-4,3 шт./куст в 2020 году, 4,3-4,5 шт./куст в 2021 году и 4,0-4,3 шт./куст в 2022 году; на сорте Вымпел – 2,9-3,4 шт./куст в 2020 году, 4,0-5,0 шт./куст в 2021 году и 3,9-4,4 шт./куст в 2022 году.

В целом, масса клубней картофеля сорта Варяг в 2020 году колебалась от 807 г/куст в контроле до 830-925 г/куст в вариантах с обработкой клубней (прибавка 2,8-14,6%) и до 860-959 г/куст в вариантах с 2-х кратным некорневым опрыскиванием Si-препаратом (прибавка 6,6-18,8%). Масса клубней картофеля сорта Вымпел (2020 г.) в вариантах с обработкой клубней превышала контроль на 18-79 г/куст (+2,9-12,7%), в вариантах некорневым опрыскиванием Si-препаратом – на 50-120 г/куст (+8,0-19,3%). Все варианты, кроме 0,2% по клубням, существенно отличались от контроля.

В 2021 году увеличение массы клубней в разрезе всего опыта по сорту Варяг составило 16-108 г/куст или 3,8-25,9% (обработка клубней) и 51-83 г/куст или 12,2-19,9% (опрыскивание ботвы); по сорту Вымпел – на 40-63 г/куст или 8,1-12,7% и на 27-37 г/куст или 5,4-7,5%. В этот год существенной разницы у сорта Вымпел была в вариантах с концентрациями 0,6-1,0%, а у сорта Варяг – с концентрациями 0,2-0,8% по клубням и 0,2-0,4% по листу.

Таблица 3.1.2 – Влияние обработок на биометрические показатели роста и развития растений картофеля, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт./куст	Масса ботвы, г/куст	Кол-во клубней шт./куст	Масса клубней, г/куст
сорт Варяг						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		63	4,3	339	12,9	417
Обработка клубней	0,2%	65	4,3	355	13,7	433
	0,4%	65	4,5	366	13,5	500
	0,6%	69	4,5	382	14,1	520
	0,8%	68	4,5	393	14,4	523
	1,0%	69	4,5	391	14,7	525
	1,2%	65	4,3	386	14,5	506
Обработка растений	0,2%	65	4,3	345	13,0	417
	0,4%	67	4,4	364	13,5	476
	0,6%	68	4,5	395	13,6	488
	0,8%	70	4,5	395	13,9	500
	1,0%	70	4,5	392	13,5	480
	1,2%	68	4,4	381	13,7	468
сорт Вымпел						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		64	4,0	373	11,9	495
Обработка клубней	0,2%	65	4,6	391	13,9	537
	0,4%	69	4,6	400	13,9	550
	0,6%	70	5,0	409	15,1	558
	0,8%	73	5,0	416	14,9	535
	1,0%	69	4,6	405	14,0	485
	1,2%	67	4,3	405	12,3	470
Обработка растений	0,2%	66	4,7	393	14,3	532
	0,4%	73	4,7	402	14,3	530
	0,6%	73	4,5	409	14,1	522
	0,8%	73	4,7	411	13,9	523
	1,0%	71	4,5	420	13,5	480
	1,2%	69	4,6	418	13,7	482
НСР ₀₅		3,7	0,5	33	2,3	30

В 2022 году масса клубней в разрезе всего опыта по сорту Варяг увеличилась на 2,0-35,0 г/куст или 0,4-6,1% (обработка клубней) и 15,0-50,0 г/куст или 2,6-8,8% (опрыскивание ботвы); по сорту Вымпел: на 21,0-57,0 г/куст или 3,5-9,5% при обработке клубней и 28,0-90,0 г/куст или 4,7-15,0% при опрыскивании ботвы (таблица 3.1.3).

Таблица 3.1.3 – Влияние обработок на биометрические показатели роста и развития растений картофеля, 2022 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт./куст	Масса ботвы, г/куст	Кол-во клубней шт./куст	Масса клубней, г/куст
сорт Варяг						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		63	4,0	370	14,1	570
Обработка клубней	0,2%	65	4,0	379	14,3	570
	0,4%	69	4,1	387	14,9	598
	0,6%	69	4,1	402	14,5	605
	0,8%	70	4,0	414	14,3	594
	1,0%	69	4,1	414	14,5	586
	1,2%	66	4,2	418	14,8	572
Обработка растений	0,2%	66	4,0	383	14,3	570
	0,4%	72	4,0	387	14,2	585
	0,6%	71	4,1	403	14,2	602
	0,8%	73	4,2	415	14,9	619
	1,0%	73	4,3	427	14,8	620
	1,2%	72	4,2	423	14,4	614
сорт Вымпел						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		58	3,9	386	13,6	598
Обработка клубней	0,2%	60	4,0	396	14,1	619
	0,4%	63	4,1	405	14,4	643
	0,6%	65	4,1	412	14,4	655
	0,8%	63	4,0	430	14,2	644
	1,0%	65	4,0	436	14,1	625
	1,2%	67	4,1	432	14,3	619
Обработка растений	0,2%	61	3,9	401	13,7	626
	0,4%	66	4,1	402	14,4	643
	0,6%	69	4,4	411	15,2	660
	0,8%	69	4,2	437	15,0	669
	1,0%	68	4,3	445	15,0	688
	1,2%	69	4,1	442	14,4	664
НСР ₀₅		3,3	0,6	41	2,6	38

Количество клубней по вариантам имело тенденцию к увеличению, однако достоверно превышали контроль только варианты с листовым применением концентраций 0,6 и 1,0% на сорте Варяг в 2020 году. Сорт Варяг был более многоклубневым, у него количество клубней составляло диапазон от 12,9 (2021 г.) до 18,7 шт. (2020 г.), тогда как у сорта Вымпел – от 9,4 шт. (2020 г.) до 15,2 шт. (2022 г.).

Обобщенная за три года динамика изученных параметров представлена в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3 – Влияние обработок на биометрические показатели роста и развития растений картофеля, среднее за 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 – фон N₉₀P₉₀K₉₀		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	677
	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 – фон N₉₀P₉₀K₉₀		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

В среднем за три года более существенные и близкие величины роста массы клубней от действия Si-препарата отмечены по сорту Варяг от действия концентраций 0,4-1,0%: 61-82 г/куст или 10,2-13,7% (обработка клубней) и 75-91 г/куст или 12,5-15,2% (опрыскивание ботвы). По сорту Вымпел наибольшее действие оказали концентрации препарата 0,4-0,8% (до 1,0% по листу): плюс 51-60 г/куст или 8,9-

10,5% при обработке клубней и 61-72 г/куст или 10,7-12,6% при опрыскивании ботвы.

В среднем за три года более существенные и близкие величины роста массы ботвы от действия Si-препарата отмечены от действия концентраций 0,6-1,0% независимо от сорта и способа обработки. Рост массы ботвы в вариантах с этим диапазоном концентрация составил при обработке клубней сорта Варяг – 15-64 г/куст или 3,9-16,5%, сорта Вымпел – 17-54 г/куст или 4,1-13,0%; при некорневом опрыскивании растений сорта Варяг – 17-67 г/куст или 4,4-17,2%, сорта Вымпел – 22-64 г/куст или 5,3-15,5% к значениям контрольных вариантов. На обоих сорта преимущество по темпам увеличения биомассы ботвы оставалось за 2-х кратным некорневым опрыскиванием по сравнению с предпосадочной обработкой клубней.

В среднем за три года увеличение количества клубней на одно растение от действия Si-препарата по сорту Варяг составило 0,5-1,4 шт./куст или 3,6-10% при обработке клубней и 0,5-1,6 шт./куст или 3,7-11,4% при опрыскивании ботвы; по сорту Вымпел – 0,5-1,7 шт./куст или 3,9-14,7% при обработке клубней и 1,2-2,4 шт./куст или 9,4-20,7% при опрыскивании ботвы.

Площадь листьев по сорту Варяг в целом за сезон 2020 года была примерно в 1,2-1,4 раза больше по сравнению с её величиной в менее благоприятных 2021 и 2022 годах (прил. 1).

В 2020 году увеличение площади листьев на сорте Варяг при обработке клубней Si-препаратом составляло 1,4-6,2 тыс. м²/га или 4,6-20,0%, при некорневом опрыскивании – 2,2-6,6 тыс. м²/га или 7,2-20,9%; на сорте Вымпел при обработке клубней – 1,6-5,4 тыс. м²/га или 5,0-16,8%, при некорневом опрыскивании – 2,0-5,8 тыс. м²/га или 6,2-18,0% к контролю. Все примененные концентрации обеспечили достоверный рост показателя.

В 2021 году на сорте Варяг от применения Si-препарата рост листовой поверхности достигал при обработке клубней 1,0-4,5 тыс. м²/га или 4,4-15,9%, при некорневом опрыскивании – 1,6-3,8 тыс. м²/га или 7,1-16,8%; на сорте Вымпел при обработке клубней – 1,2-3,0 тыс. м²/га или 4,8-12,1%, при некорневом опрыскивании – 1,4-3,2 тыс. м²/га или 5,6-12,9% к контролю. Достоверные прибавки на сорте

Варяг были в вариантах с концентрацией препарата 0,4% и выше, на сорте Вымпел – на всех концентрациях.

Июльская засуха 2022 года также привела к формированию более низкой площади листьев на обоих сортах картофеля относительно значений 2020 года. На сорте Варяг от применения Si-препарата она увеличивалась при обработке клубней на 0,6-3,2 тыс. м²/га или 2,4-13,0%, при некорневом опрыскивании – на 1,0-3,8 тыс. м²/га или 4,1-15,4%; на сорте Вымпел при обработке клубней – на 0,6-3,2 тыс. м²/га или 2,3-12,4%, при некорневом опрыскивании – на 1,0-3,8 тыс. м²/га или 3,9-14,7% к контролю. Достоверные прибавки в этом году и на сорте Варяг, и на сорте Вымпел были в вариантах с концентрацией препарата 0,4% и выше.

График динамики площади листьев в среднем за три года наглядно демонстрирует линейный рост этого показателя в зависимости от примененных концентрации (график 3.2.1): при концентрации 1,0% достигнутый рост показателя тормозится, а концентрация 1,2% вызывает его падение до уровня близкого к значению, соответствующему применению концентрации 0,2%.

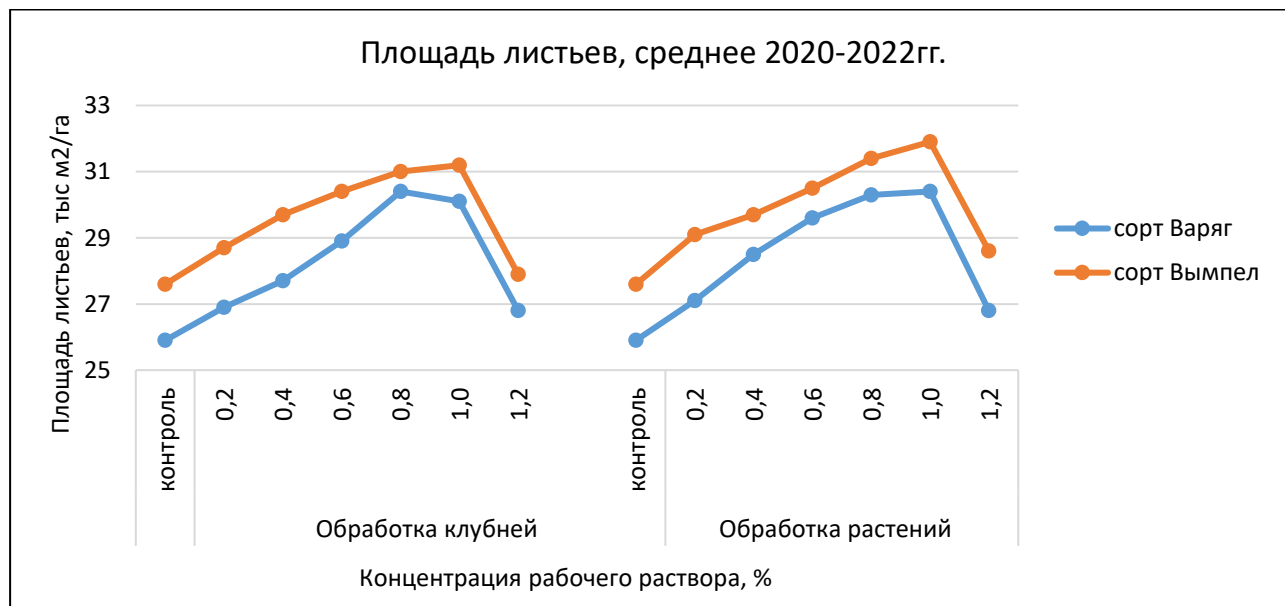


График 3.2.1 – Влияние обработок на площадь листьев, среднее за 2020-2022 гг.

3.2 Показатели фотосинтетической деятельности растений картофеля

Работами отечественных и зарубежных учёных установлено, что урожайность картофеля определяется размерами листовой поверхности и продолжительностью её работы, т.е. фотосинтетическим потенциалом (ФП). По данным А.А. Ничипоровича [90] оптимальным значением ФП является 2,2-3,0 млн. м²/га сутки, средним – 1,0-1,5 млн. м²/га сутки и плохим – 0,5-0,7 млн. м²/га сутки.

Фотосинтетический потенциал посадок картофеля складывается из величины и продолжительности работы ассимиляционной поверхности листьев. В 2020 году продолжительность периода активной вегетации растений картофеля: от всходов до уборки, составила 71 дней, а в 2021 году – 75 дней; в 2022 – 69 дня, что также повлияло на величину ФП (таблица 3.2.1).

В нашем опыте максимальный фотосинтетический потенциал за три года был достигнут в 2020 году. На сорте Варяг его величина достигала 2,60-2,63 млн. м²/га сутки в вариантах с 0,8 и 1,0% концентрациями препарата; по сорту Вымпел достигала 2,58-2,70 млн. м²/га сутки в вариантах с концентрацией 0,6-1,0% Si-препарата (оба способа обработки), что является, практически, оптимальным значением.

По обоим изучаемым сортам ФП увеличивался в зависимости от роста доз Si-препарата. По сорту Варяг в 2020 г. рост показателя относительно контроля при обработке клубней составлял интервал 4,6-20,7%, при некорневом опрыскивании – 7,4-21,2%; в 2021 г. при обработке клубней – 1,2-20,1%, при некорневом опрыскивании – 2,4-17,1%; в 2022 году при обработке клубней – 2,3-13,5%, при некорневом опрыскивании – 4,1-15,9%.

Рост величины ФП на сорте Вымпел тоже был дозозависимым: в 2020 г. при обработке клубней – на 4,6-16,6%, при некорневом опрыскивании – на 6,1-17,9%; в 2021 при обработке клубней – на 4,8-12,4%, при некорневом опрыскивании – на 5,9-12,9%; в 2022 году при обработке клубней – на 2,2-12,4%, при некорневом опрыскивании – на 3,8-14,6% к контролям.

Таблица 3.2.1 – Влияние обработок на фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и окупаемость ФП урожайностью картофеля, 2020-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	ФП, млн. м ² /га сутки			ЧПФ, г/м ² сутки			Окупаемость 1 тыс. ед. ФП, кг клубней		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
сорт Варяг										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		2,17	1,69	1,70	3,13	1,66	2,88	16,4	10,8	14,8
Обработка клубней	0,2%	2,27	1,71	1,74	3,30	1,75	2,99	16,1	11,2	14,4
	0,4%	2,34	1,83	1,78	3,55	1,97	3,09	16,5	12,0	14,8
	0,6%	2,44	1,90	1,85	3,48	2,05	3,19	16,3	12,0	14,9
	0,8%	2,60	2,03	1,90	3,42	1,92	3,00	15,6	11,3	13,7
	1,0%	2,62	1,96	1,90	3,36	1,89	2,84	15,5	11,8	13,6
	1,2%	-	1,92	1,93	-	1,87	2,64	-	11,6	13,0
Обработка растений	0,2%	2,33	1,73	1,77	3,30	1,68	2,99	16,2	10,6	14,2
	0,4%	2,51	1,81	1,78	3,49	1,82	3,03	16,8	11,5	14,4
	0,6%	2,53	1,93	1,85	3,44	1,81	3,08	16,6	11,1	14,3
	0,8%	2,63	1,98	1,90	3,22	1,82	3,05	15,9	11,1	14,3
	1,0%	2,60	1,93	1,97	3,19	1,81	2,89	15,7	10,9	13,9
	1,2%	-	1,90	1,95	-	1,84	2,77	-	10,8	13,8
сорт Вымпел										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		2,29	1,86	1,78	2,53	2,04	2,98	12,0	11,7	14,8
Обработка клубней	0,2%	2,40	1,95	1,82	2,42	2,10	3,02	11,8	12,1	14,9
	0,4%	2,47	2,04	1,86	2,43	2,11	3,12	12,1	11,9	15,2
	0,6%	2,58	2,05	1,89	2,36	2,10	3,23	11,6	12,0	15,2
	0,8%	2,60	2,09	1,97	2,38	1,96	2,99	11,7	11,3	14,4
	1,0%	2,67	2,03	2,00	2,40	1,82	2,80	11,6	10,5	13,7
	1,2%	-	2,03	1,99	-	1,77	2,71	-	10,2	13,7
Обработка растений	0,2%	2,43	1,97	1,85	2,35	2,03	3,03	12,2	11,9	14,9
	0,4%	2,51	2,01	1,85	2,43	2,14	3,13	12,7	11,6	15,3
	0,6%	2,63	2,04	1,89	2,36	1,96	3,17	12,3	11,3	15,3
	0,8%	2,67	2,05	2,01	2,36	1,95	2,99	12,2	11,2	14,6
	1,0%	2,70	2,10	2,04	2,30	1,67	3,04	12,1	10,0	14,9
	1,2%	-	2,09	2,03	-	1,67	2,96	-	10,1	14,4

В среднем за три года увеличение ФП в диапазоне концентраций Si-препарата 0,2-1,2% составило по сортам: Варяг при обработке клубней/ботвы – на 0,06-0,33/0,09-0,32 млн. м²/га сутки или на 3,2-17,8/4,9-17,3%; Вымпел при обработке клубней/ботвы – на 0,08-0,25/0,10-0,30 млн. м²/га сутки или на 4,0-12,6/5,0-

15,1%. Минимальные величины роста ФП соответствовали вариантам с наименьшей концентрацией, а максимальные – наибольшим концентрациям Si-препарата (0,8-1,2%).

Еще один показатель фотосинтетической деятельности посадок – чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) – показывает накопление сухого вещества в биомассе клубней в граммах за определенный промежуток времени, отнесенный к единице листовой поверхности.

По раннеспелому сорту Варяг в 2020 году ЧПФ значительно увеличивалась на фоне применения Si-препарата концентрацией 0,4 и 0,6%: с 3,13 г/м² сутки (контроль) до 3,48-3,55 г/м² сутки или на 11,1-13,4% при обработке клубней, и до 3,44-3,49 г/м² сутки или на 9,9-11,5% при некорневом опрыскивании. В 2021 году при обработке клубней с 1,66 г/м² сутки до 1,97-2,05 г/м² сутки или на 18,7-23,5% (от доз препарата 0,4-0,6%), при некорневом опрыскивании – до 1,81-1,84 г/м² сутки или на 9,0-10,8% в вариантах с 0,4-1,2% концентрацией препарата. В 2022 году с 2,88 (контроль) до 3,09-3,19 г/м² сутки или на 7,3-10,8% при обработке клубней 0,4-0,6% концентрацией препарата, и до 3,03-3,08 г/м² сутки или на 5,2-6,9% при некорневом опрыскивании в вариантах с 0,4-0,8% концентрацией препарата (таблица 3.2.1).

Максимальная величина ЧПФ на сорте Варяг в 2020 году составляла 3,44-3,55 г/м² сутки и по клубням, и по ботве; в 2021 году – 1,97-2,05 г/м² сутки – в варианте с обработкой клубней; в 2022 году – 3,09-3,19 г/м² сутки также в вариантах с обработкой клубней. Эти величины были получены при действии 0,4-0,6% концентрации рабочего раствора. Это объясняется наиболее благоприятным соотношением площади листовой поверхности к занимаемой общей площади под культурой (ИЛП), сложившемся в этих вариантах (прил. 3, график 3.2.2, 3.2.3). В 2021 г. ЧПФ посадок сорта Варяг увеличивалась до 2,10-2,11 г/м² сутки или на 2,9-3,4% при обработке клубней концентрациями препарата 0,2-0,6% и до 2,14 г/м² сутки или на 4,9 % при некорневом опрыскивании концентрацией препарата 0,4%. В 2022 году увеличение ЧПФ при обработке клубней составило 4,7-8,4% и при некорневом опрыскивании – 5,0-6,4% от концентраций препарата 0,4-0,6%.

По среднеспелому сорту Вымпел в 2020 году наблюдалось снижение ЧПФ на фоне применения всех концентраций Si-препарата, наиболее сильно при увеличении концентрации выше 0,4%: при обработке клубней – до 2,36-2,40 г/м² сутки или на 6,7-5,1%, при некорневом опрыскивании – до 2,30-2,36 г/м² сутки или на 9,1-6,7%. Это можно объяснить отставанием процесса накопления сухого вещества клубнями среднепозднего сорта Вымпел от мощного развития надземной массы. В 2021 году при обработке клубней ЧПФ увеличилась до 2,1-2,11 г/м² сутки от некорневого опрыскивания концентрациями 0,2-0,6% и до 21,14 от листовой обработки концентрацией 0,4 %. В 2022 году ЧПФ посадок возрастала до 2,99-3,23 при применении концентраций 0,2-0,6% для обработки клубней и до 2,99-3,17 при обработке ботвы концентрациями 0,2-1,0%.

В среднем за три года ЧПФ у растений сорта Варяг максимально отличались от контроля варианты с концентрацией препарата 0,2-1,0% (по клубням/ботве) находилась в диапазоне 2,68-2,91/2,63-2,78 г/м² в сутки. У растений сорта Вымпел выше контроля были только варианты с концентрациями препарата 0,4-0,6% по клубням – 2,55-2,56 и в варианте с концентрацией 0,4% по листу – 2,57 г/м² в сутки (прил. 3, 4, графики 3.2.4, 3.2.5).

Индекс листовой поверхности во все годы исследований демонстрировал дозозависимый рост на каждом из сортов. На сорте Варяг ИЛП увеличивался в среднем за годы исследований до 2,68-3,04 независимо от способа обработки. На сорте Вымпел ИЛП возрастал до 2,79-3,12 при обработке клубней и до 2,86-3,19 при обработке ботвы. Образование плата значений или нисходящая направленность показателя фиксировалось на уровне концентраций в 0,6-1,2%, что указывает на формирование площади листьев, которая могла бы работать неэффективно (приложения 3, 4, графики 3.2.2, 3.2.3).

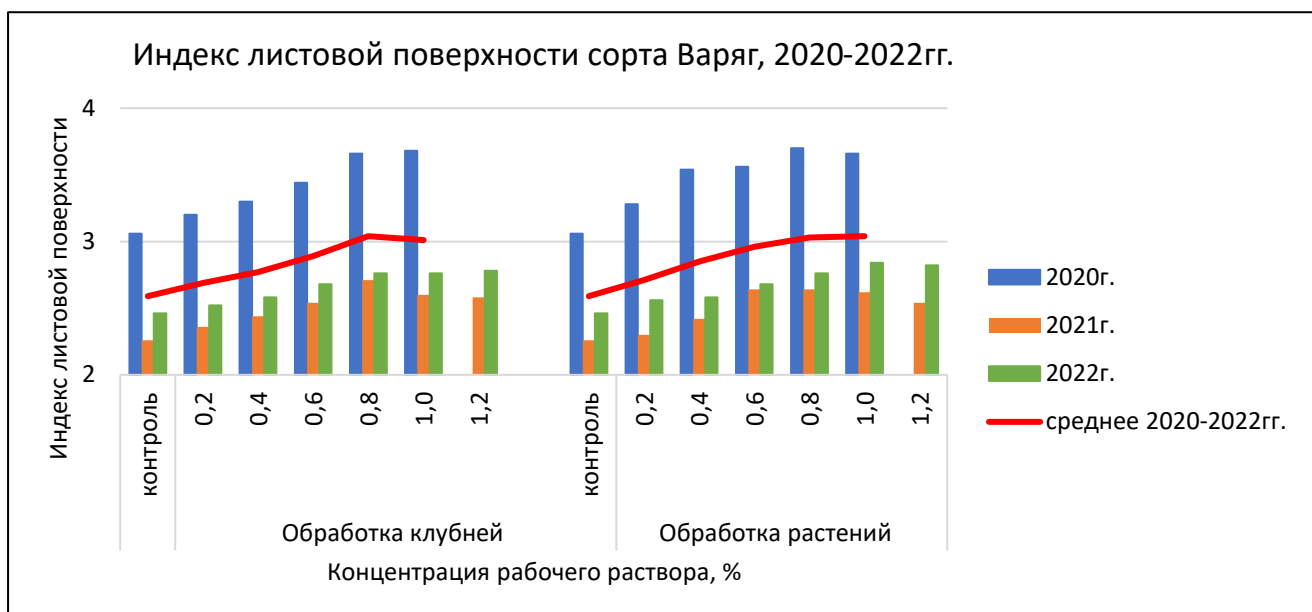


График 3.2.2 – Влияние обработок на ИЛП сорта Варяг, 2020-2022 гг.

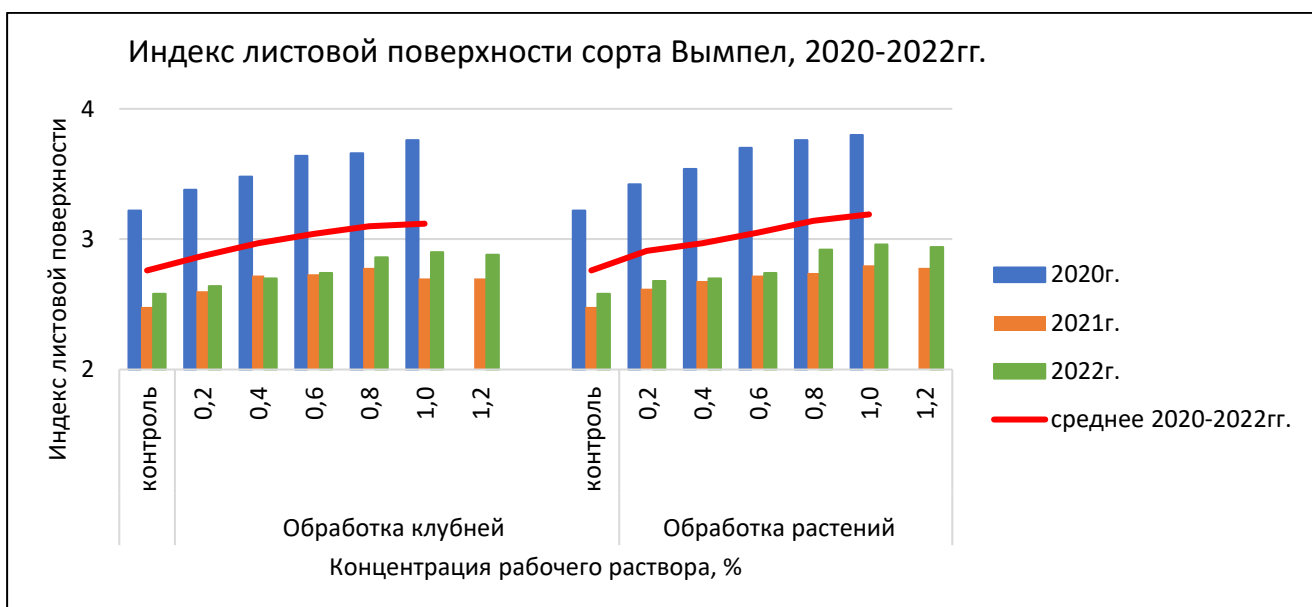


График 3.2.3 – Влияние обработок на ИЛП сорта Вымпел, 2020-2022 гг.

Чем больше затрачивается ресурсов на увеличение урожая, тем ниже окупаемость ФП вследствие того, что наращиваемая вегетативная масса и листовая поверхность не может иметь 100% эффективность.

Наибольшая величина окупаемости ФП урожаем клубней наблюдалась у сорта Варяг в 2020 году и составляла 16,5-16,8 кг клубней на 1 тыс. ед. ФП, а у сорта Вымпел в 2022 году – 13,7-15,3 кг/ 1 тыс. ед. ФП (таблица 3.2.1). В сложный по климатическим условиям 2021 год этот показатель снизился наиболее заметно у сорта Варяг: до 10,6-12,0 кг или примерно на 30% от показателей 2020 года.

Окупаемость сорта Вымпел в 2021 году составила 10,0-12,1 кг/ 1 тыс. ед. ФП, причем минимальная граница интервала окупаемости соответствовала вариантам с высокой концентрацией препарата – 1,0 и 1,2%, а в контроле и вариантах с небольшой (0,2%) и оптимальной концентрацией (0,4 и 0,6%) препарата показатели были практически одного уровня, сопоставимого с показателями 2020 года.

В среднем за три года окупаемость ФП урожаем клубней сорта Варяг была наиболее высокой по сравнению с контролем в вариантах с предпосадочной обработкой семенного материала концентрациями 0,4 и 0,6% Si-препарата – 14,4 кг/1 тыс. ед. ФП, а также в варианте с некорневым опрыскиванием растений концентрацией 0,4% – 14,2 кг. Окупаемость сорта Вымпел в среднем за три года была наиболее высокой в вариантах с концентрацией 0,4% (оба способа применения) – 13,1-13,2 кг/1 тыс. ед. ФП (приложения 3, 4, графики 3.2.4, 3.2.5).

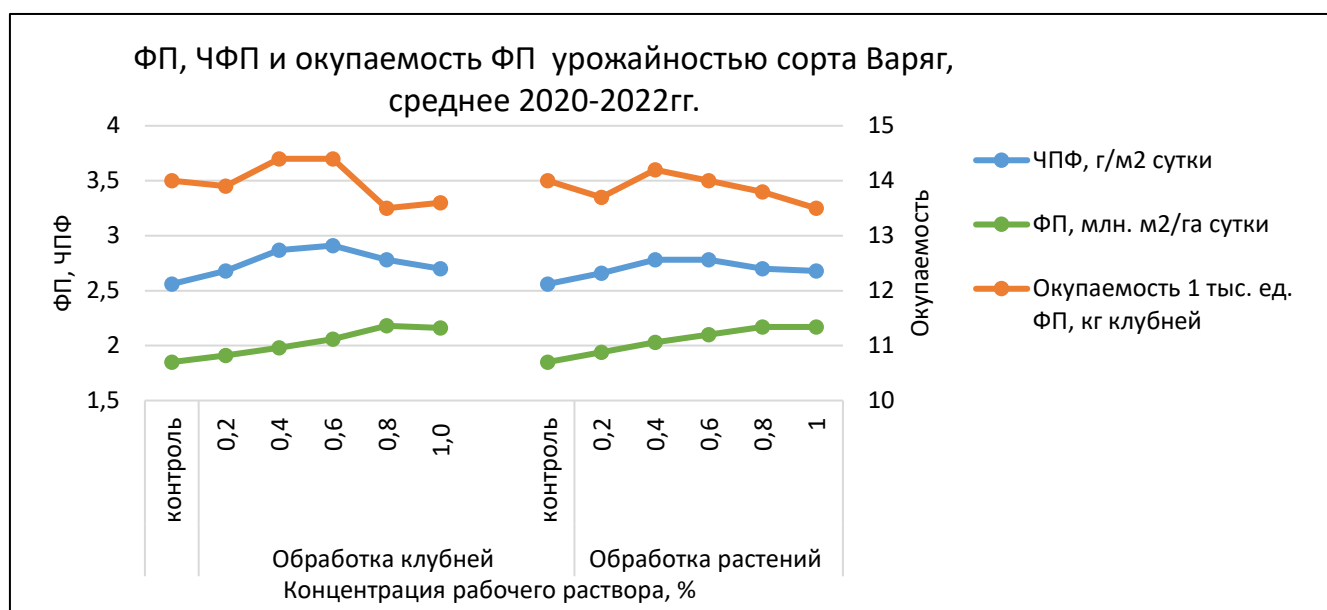


График 3.2.4 – Влияние обработок на фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и окупаемость ФП урожайностью картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 гг.

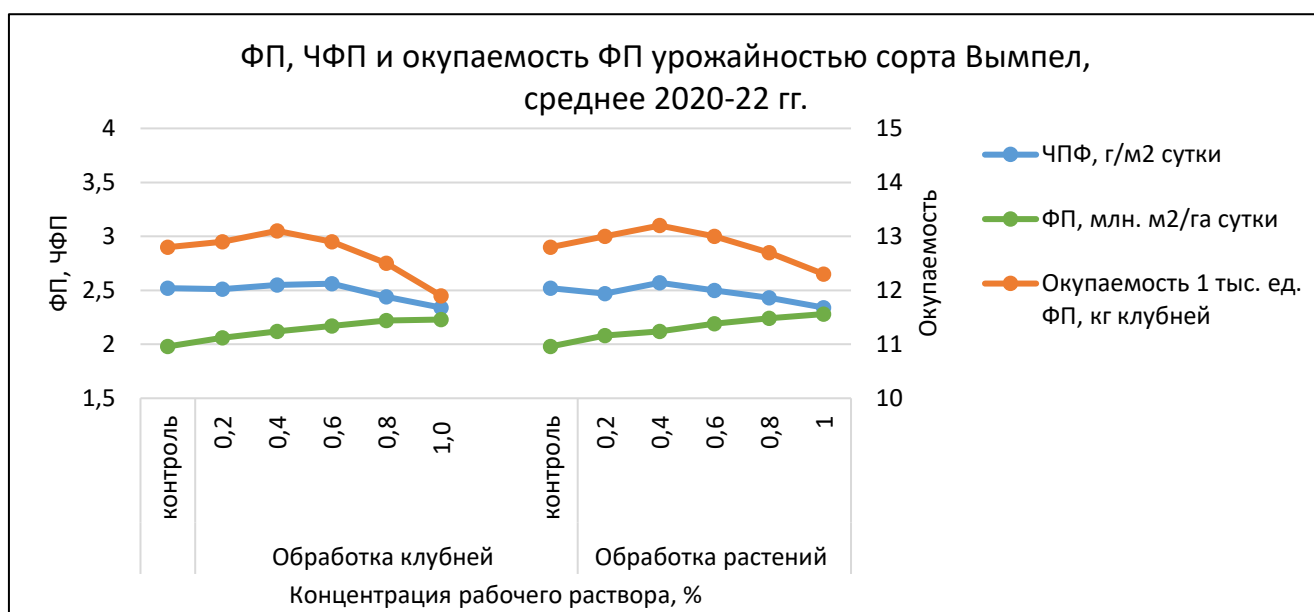


График 3.2.5 – Влияние обработок на фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и окупаемость ФП урожайностью картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 гг.

3.3 Содержание пигментов: хлорофиллов и каротиноидов – в листьях картофеля

Листья – основной ассимилирующий орган растений. Они обеспечивают все функциональные процессы организма пластическими веществами, а окружающую среду – кислородом. Осуществляя фотосинтез, листовой аппарат приспособляется к многообразным условиям среды, отличаясь существенными адаптационными возможностями. Рост сельскохозяйственных растений очень чувствителен к стрессовым воздействиям, его активность тесно связана с интенсивностью фотосинтеза и перераспределением ассимилянтов. Нарушение температурного и водного режимов, освещения, а также другие стрессовые параметры требуют выработки определённых адаптивных реакций, в том числе и на уровне пигментной системы.

Снижение концентрации хлорофилльных пигментов в тканях растений чревато нарастающим нарушением метаболических процессов в клетке. В условиях интенсивного земледелия очень важно применять способы воздействия на этот показатель с целью коррекции продукционных процессов в агроценозах.

Фотосинтезу принадлежит ведущая роль в получении возобновляемого урожая всех сельскохозяйственных культур, так как в процессе его образуется новое

органическое вещество, используемое для формирования репродуктивных и вегетативных запасующих органов [78, 82, 89].

Для того чтобы свет мог быть использованным в процессе фотосинтеза, необходимо его поглощение фоторецепторами-пигментами. Важнейшую роль в этом играют зеленые пигменты – хлорофиллы, поглощающие красные и синие лучи спектра. Хлорофилл *a* и *b* являются двумя основными типами хлорофилла. Главное отличие между ними в их роли в фотосинтезе: хлорофилл *a* является основным пигментом, тогда как хлорофилл *b* – вспомогательным пигментом, собирающим энергию для перехода в хлорофилл *a* [4, 89]. Имеются данные об участии хлорофилла *b* в энергетическом обмене у растений, а также в регуляции фаз онтогенеза, не связанной с фотосинтетической функцией пигмента [78, 82].

Наряду с зелеными пигментами в хлоропластах содержатся каротиноиды – вспомогательные желтые, оранжевые и красные пигменты, которые поглощают кванты света в коротковолновой области спектра и затем передают энергию лучей на хлорофилл, тем самым способствуя использованию лучей, которые хлорофиллом не поглощаются. При высокой интенсивности света растения могут поглощать больше световой энергии, чем необходимо для фотосинтеза. Перевозбуждение хлорофилла может привести к излишнему образованию синглетного кислорода, который, имея высокую реакционную способность, вызывает повреждения, снижающие эффективность фотосинтеза за счет фотоингибирования. В этом случае каротиноиды способны получать энергию возбуждения хлорофилла и тем самым предотвращать образование синглетного кислорода. Следовательно, более высокое содержание каротиноидов в листьях картофеля позволяет улучшать состояние растений при избыточной инсоляции. К дополнительным физиологическим функциям каротиноидов можно отнести их участие в процессе разложения воды и выделения кислорода при фотосинтезе, а также их роль в генеративных процессах (способствуют прорастанию пыльцы) и в осуществлении реакций фототропизма – способности органов растений занимать определенное положение по отношению к источнику света [82].

Физиологические возможности растений определяются структурной и биохимической организацией пигментного аппарата. Изменения в количественном содержании фотосинтетических пигментов ведут к изменению фотохимических показателей, которые коррелируют с хозяйственным урожаем культур. Хорошо сформированный фотосинтетический аппарат растений обеспечивает активный синтез углеводов, от содержания которых зависит формирование клубней [4].

Максимум содержания хлорофиллов и каротиноидов отмечается в фазе бутонизации. Самыми высокими концентрациями хлорофиллов отличаются листья среднего и верхнего ярусов. В период формирования массы клубней листья содержат в 2-3 раза меньше пигментов, что свидетельствует о снижении скорости их обновления [44].

Содержание хлорофиллов в листьях картофеля сортоспецифично. Минимальное содержание хлорофиллов отмечено у примитивных культурных видов. Установлена тесная связь между содержанием хлорофиллов в листьях и крахмалистостью клубней [44].

Детальные исследования пигментного фонда различных культурных растений выявили, что соотношение содержания хлорофиллов к каротиноидам является показателем устойчивости к внешним неблагоприятным факторам и может служить для оценки экологической пластичности и прогнозирования продуктивности агроценозов [37, 76, 78].

Одним из факторов, влияющих на фотосинтез, является минеральный фон. Кремниевые препараты давно получили положительную оценку благодаря их влиянию на стрессоустойчивость и урожайность различных сельскохозяйственных культур. Практические наблюдения показывают, что кремний наряду с основными элементами питания влияет на ряд физиологических параметров растения: под его влиянием формируется более мощная корневая система, увеличивается площадь листьев, возрастает количество ценных компонентов в плодах и т.д. Во многих работах отмечено и положительное влияние различных кремниевых препаратов на содержание пластидных пигментов в картофеле [109, 111, 112, 118, 134, 145, 161].

Полученные нами в ходе опыта экспериментальные данные выявили значительную реакцию растений на обработку исследуемым Si-препаратом. При этом был отмечен сортоспецифический ответ. Различия в реакции сортов картофеля на эндогенный кремний отмечали и другие исследователи [120].

В относительно благоприятный 2020 год суммарное содержание хлорофиллов в листьях картофеля сорта Варяг составляло 1,919-2,298 мг/г (0,19-0,23%) (приложение 5, график 3.3.1), в листьях сорта Вымпел – 1,507-1,810 мг/г сырой массы (0,15-0,18%) (приложение 5, график 3.3.2). Предпосадочная обработка клубней и некорневое опрыскивание листьев Si-препаратом повышали содержание хлорофилла *a*, *b* и их сумму в листьях картофеля. Максимальные значения были отмечены и у сорта Варяг, и у сорта Вымпел при использовании 0,6% раствора агрохимиката независимо от способа применения.

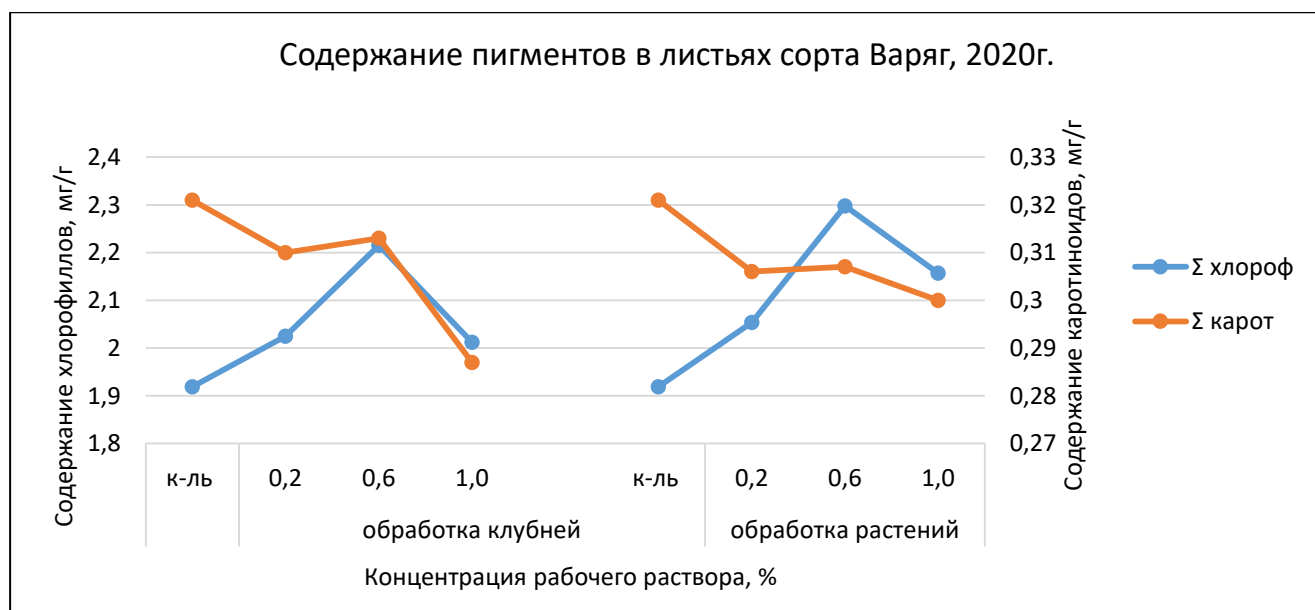


График 3.3.1 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Варяг, 2020 г.

По содержанию каротиноидов в листьях сорта Варяг была отмечена тенденция обратная содержанию хлорофиллов, а именно снижение значений показателя в зависимости от увеличения доз Si-препарата: с 0,321 мг/г (контроль) до 0,287 мг/г – при обработке клубней и до 0,300 мг/г сырых листьев – при некорневом опрыскивании. Минимальные значения были в вариантах с концентрацией 1,0% независимо от способа применения.

Соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – тоже информативный признак, указывающий на степень приспособленности растений к неблагоприятным условиям. Минимальное соотношение концентраций хлорофиллов *a* и *b* специалисты рассматривают как косвенный показатель адаптированности к повышенным температурам воздуха и недостаточному увлажнению [80, 126, 127].

Стресс вызывает снижение соотношения [хлорофиллы *a* и *b* /каротиноиды] и рост соотношения [хлорофилл *a*/ хлорофилл *b*] [99, 126, 127, 149]. Соответственно, чем более широкое соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам, тем устойчивость сорта выше, в том числе к повышенным температурам воздуха и недостаточному увлажнению [37, 49, 68].

Соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* на сорте Варяг сужалось с 4,10 (контроль) до 3,77 на вариантах с обработкой клубней и до 3,95 при листовом применении Si-препарата. Самые узкие соотношения хлорофиллов *a:b* соответствовали применению концентрации 0,6% при предпосадочной обработке клубней и 1,0% при фолитарной обработке.

Соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам расширялось в листьях сорта Варяг под влиянием Si-препарата с 5,97 (контроль) до 7,09 при обработке клубней и до 7,49 – при некорневом опрыскивании. Максимальные значения отмечены при применении дозировки 0,6 % независимо от способа применения.

На среднеспелом сорте Вымпел отмечены те же векторы изменения содержания пигментов, что и на сорте Варяг (приложение 5, график 3.3.2). При этом суммарное содержание хлорофиллов (0,15-0,18%) и каротиноидов (0,03%) было ниже соответствующих показателей сорта Варяг.

Дозировка 0,6% максимально стимулировала рост содержания хлорофиллов *a* и *b* на сорте Вымпел (1,228→1,453/1,450 и 0,280→0,347/0,360 соответственно способу обработки), а также расширение отношения хлорофиллы/каротиноиды (5,64→7,06/7,46). Минимальное соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* было

при использовании концентраций 0,2 и 0,6% при предпосадочной обработке (4,19) и при использовании 1,0% – при листовом применении (3,97).

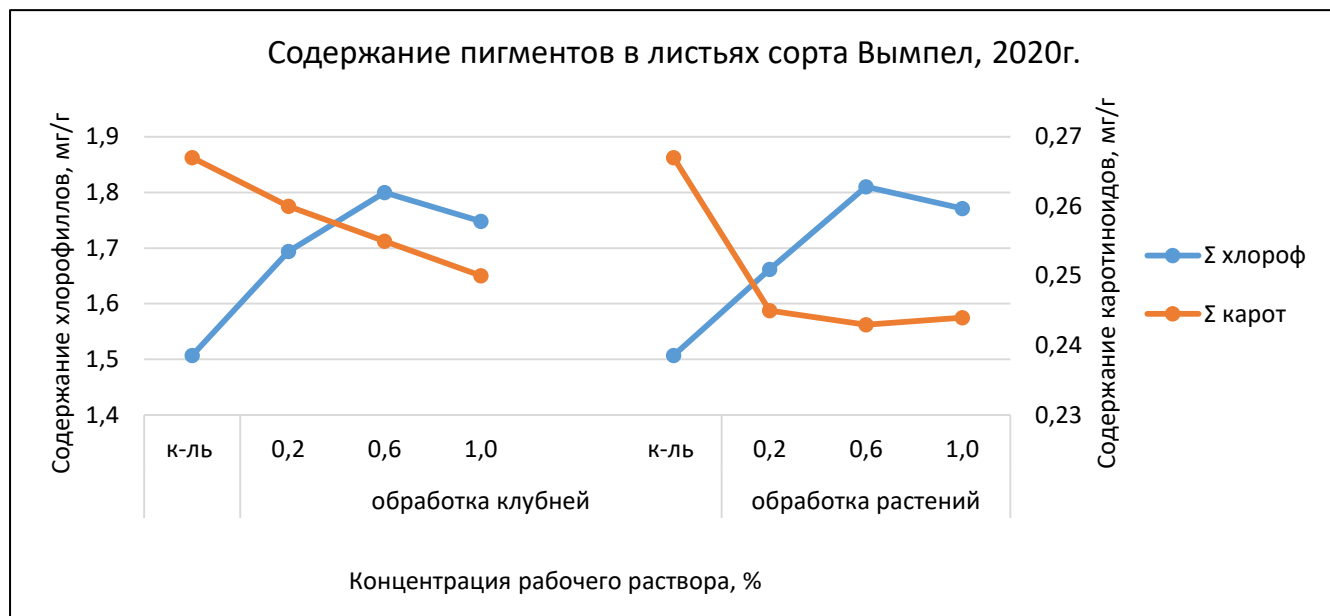


График 3.3.2 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Вымпел, 2020 г.

Тенденции изменения содержания пигментов под влиянием проведенных обработок, выявленные в 2020 году, сохранялись и в 2021 году.

Так, обработка клубней и некорневое опрыскивание Si-препаратом в возрастающих дозах увеличивали концентрацию хлорофиллов *a* и *b* и одновременно снижали содержание каротиноидов в листьях картофеля. Однако, в отличие от 2020 года применение высоких дозировок (1,0 и 1,2%) продемонстрировало стабилизацию содержания суммы хлорофиллов на сорте Вярэг в варианте с предпосадочным применением агрохимиката. В остальных вариантах содержание суммы хлорофиллов имело практически линейный дозозависимый рост без образования плато независимо от способа применения препарата. Так, в 2021 г. в листьях сорта Вярэг при предпосадочной обработке клубней концентрация хлорофилла *a* максимально повышалась до 1,306 мг/г (0,6% концентрация Si-препарата), хлорофилла *b* – до 0,432 мг/г (при концентрации 1,2%), сумма *a+b* – до 1,717 мг/г (концентрация 1,2%). В блоке вариантов с некорневым опрыскиванием отмечено повышение концентрации хлорофиллов при увеличении доз Si-препарата с 0 до 1,2%: концентрация хлорофилла *a* повышалась с 1,206 мг/г (контроль) до 1,351 мг/г, хлорофилла *b* – с 0,263

(контроль) до 0,396 мг/г, сумма $a+b$ – с 1,470 (контроль) до 1,746 мг/г свежих листьев. Соотношение хлорофиллов $a : b$ сужалось с 4,58 до 2,97 при опрыскивании клубней (1,2%) и до 3,42 - при листовой обработке (1,2%).

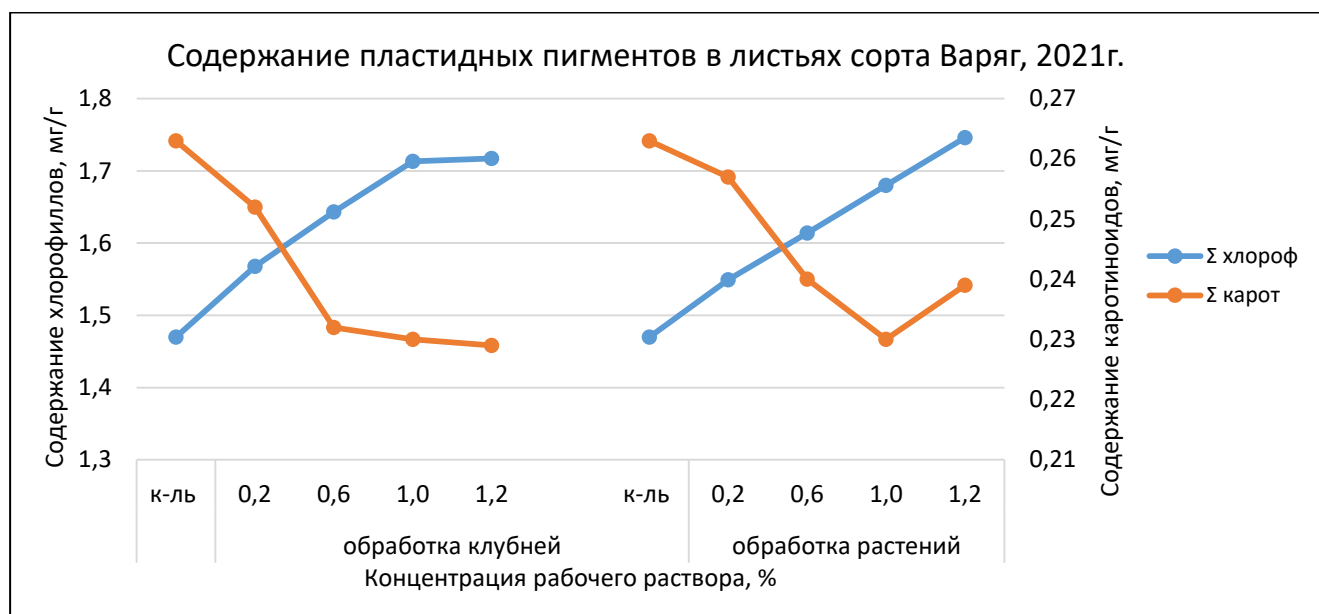


График 3.3.3 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Варяг, 2021 г

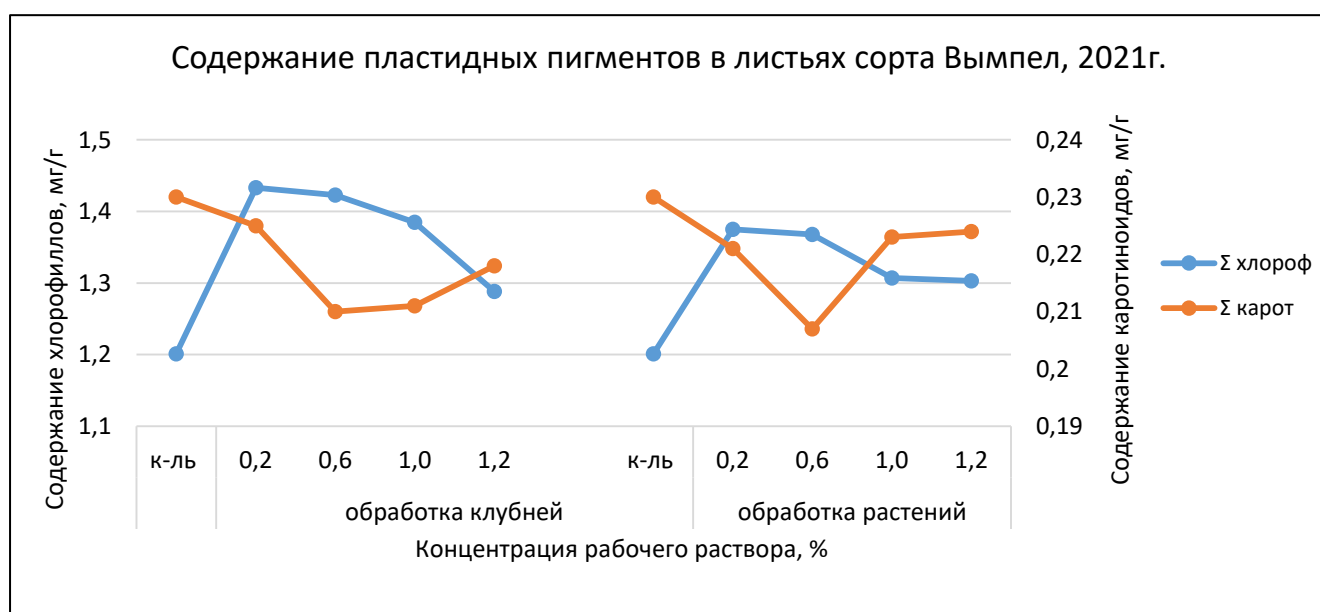


График 3.3.4 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Вымпел, 2021 г.

Суммарное содержание хлорофиллов $a+b$ (0,12-0,14%) и каротиноидов (0,02%) в листьях сорта Вымпел было ниже аналогичных значений сорта Варяг (0,15-0,17% и 0,02-0,03%, соответственно), как и в 2020 году.

В засушливом 2021 году концентрация пигментов в листьях обоих сортов была ниже соответствующих показателей 2020 года (приложение 6, графики 3.3.3 и 3.3.4). То, что содержание пигментов падает под влиянием температурного стресса, отмечено и в работах других исследователей [99].

Максимальные и близкие показатели суммы хлорофиллов в листья сорта Вымпел были зафиксированы при применении 0,2 и 0,6% концентраций независимо от способа применения.

В 2021 году, как и в 2020 году, на обоих сортах наблюдалась обратная зависимость содержания каротиноидов в листьях от роста доз Si-препарата. Так, у сорта Варяг этот показатель при увеличении доз Si-препарата снижался в диапазоне от 0,263 мг/г (контроль) до 0,229 мг/г – при обработке клубней и до 0,230 мг/г сырых листьев – при некорневом опрыскивании (минимально при концентрации 1,2% по клубням и 1,0% по ботве). У сорта Вымпел соответствующие величины составляли интервал 0,230→0,210 мг/г – при предпосадочной обработке семенного материала и 0,230→0,207 мг/г сырых листьев – при некорневом опрыскивании растений (минимально при концентрации 0,6% независимо от способа).

Вследствие этого соотношения \sum хлорофиллов: \sum каротиноидов максимально расширялось с 5,58 (контроль) до 7,5/7,3 у сорта Варяг и с 5,21 (контроль) до 6,78/6,62 у сорта Вымпел.

В 2022 году показатели содержания всех пластидных пигментов оказались самыми низкими за три года исследований (приложение 7, графики 3.3.5 и 3.3.6).

Это можно объяснить, обратившись к рисункам, отображающим погодные условия (графики 2.3.1 и 2.3.2). Анализ на содержание пластидных пигментов проводили 7 июля 2022 года. Исключительно засушливую (количество осадков в 13,4 раз меньше нормы) последнюю декаду июня сменили залповые осадки первой декады июля на фоне температуры, немного превышающей среднемноголетние значения. Количество осадков, выпавшее в этот период, в 2,3 раза превысило среднемноголетнее. Т.е. сначала растения картофеля испытывали глубокий и продолжительный стресс от дефицита осадков, который, как было показано ранее, приводит к значительному снижению содержания пластидных пигментов. Потом, при

наступлении благоприятных условий роста, растения картофеля начали активно поглощать воду и наращивать вегетативный аппарат. Это, по всей видимости, привело к значительному повышению содержания клеточного сока и эффекту разбавления содержания хлорофиллов и каротиноидов в нем.

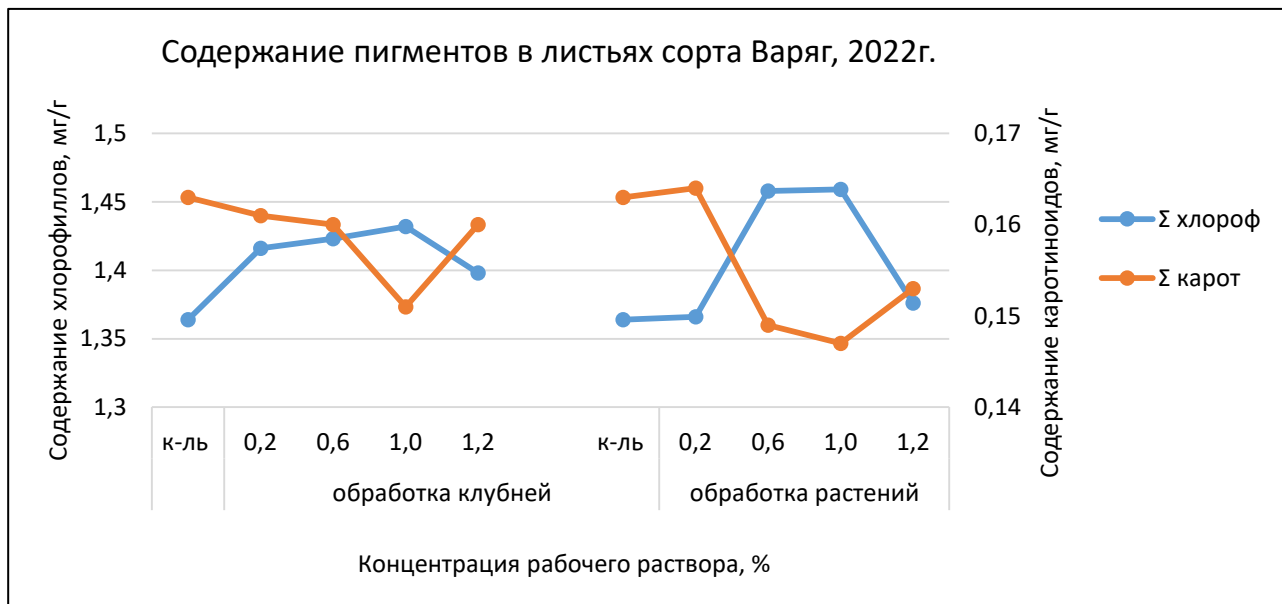


График 3.3.5 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Варяг, 2022 г.

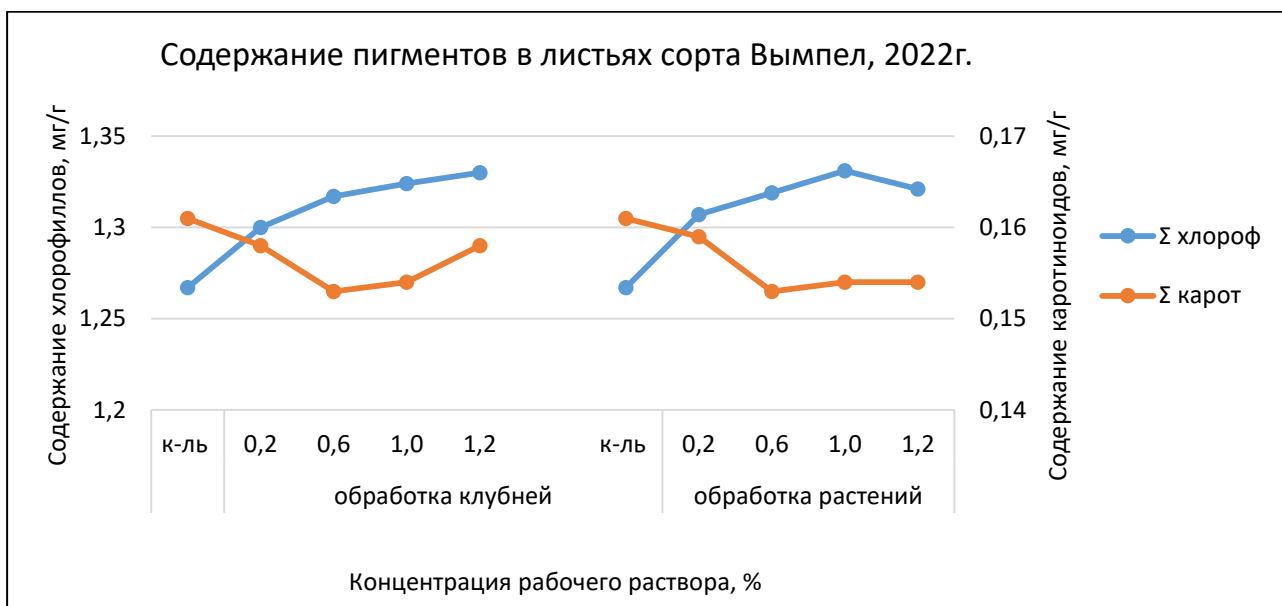


График 3.3.6 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Вымпел, 2022 г.

Тенденция изменения содержания пластидных пигментов, выявленная в 2020 и 2021 годах, сохранилась: количество хлорофиллов повышалось, а каротиноидов падало с ростом концентрации рабочего раствора.

На сорте Варяг наибольшие суммарные значения показателей содержания хлорофилла a и b были при использовании дозировки 1,0% независимо от способа применения кремнийсодержащего препарата. На сорте Вымпел сумма хлорофиллов была максимальной при действии концентрации 1,2% по клубням и концентраций 1,0 и 1,2% по листу.

Соотношение \sum хлорофиллов: \sum каротиноидов у сорта Варяг расширилось с 8,37 (контроль) до 9,49/9,95 (максимально при концентрации 1,0% по клубням/по листу), и у сорта Вымпел с 7,89 (контроль) до 8,62/8,65 (максимально при концентрации 0,6% по клубням и 1,0% по листу).

Показатели содержания хлорофиллов и каротиноидов в вариантах с комбинированным применением препарата укладывались в общую тенденцию опыта, но не демонстрировали значительных отклонений от описанных максимальных значений содержания хлорофиллов или минимальных значений каротиноидов в разрезе всего опыта. То есть синергизма от комбинированного применения (по клубням + по ботве) выявлено не было.

В 2022 году, как и в предыдущие года, сорт Варяг отличался более высокими значениями содержания хлорофиллов и каротиноидов, чем сорт Вымпел.

В среднем за 2020-2022 гг. и по сорту Варяг, и по сорту Вымпел сумма хлорофиллов a и b достигала максимального значения от действия изучаемого агрохимиката в концентрации 0,6% (приложение 8, графики 3.3.7 и 3.3.8.) Концентрация каротиноидов снижалась практически линейно под влиянием обработок вплоть до вариантов с 1,2% концентрацией агрохимиката (оба способа применения).

Для подтверждения гипотезы о том, что соотношение содержания хлорофиллов $a : b$, а также соотношение содержания \sum хлорофиллов к \sum каротиноидов может быть использовано в качестве маркера адаптированности к стрессам, был проведен корреляционный анализ этих величин с урожайностью. Расчеты показали, что коэффициент корреляции между урожайностью и соотношением хлорофиллов $a : b$ в среднем за три года составил *минус* 0,71 (обратная и сильная корреляция), а коэф-

коэффициент корреляции между урожайностью и соотношением Σ хлорофиллов : Σ каротиноидов составил 0,81 (прямая и сильная корреляция). Это подтверждает выдвинутое предположение.

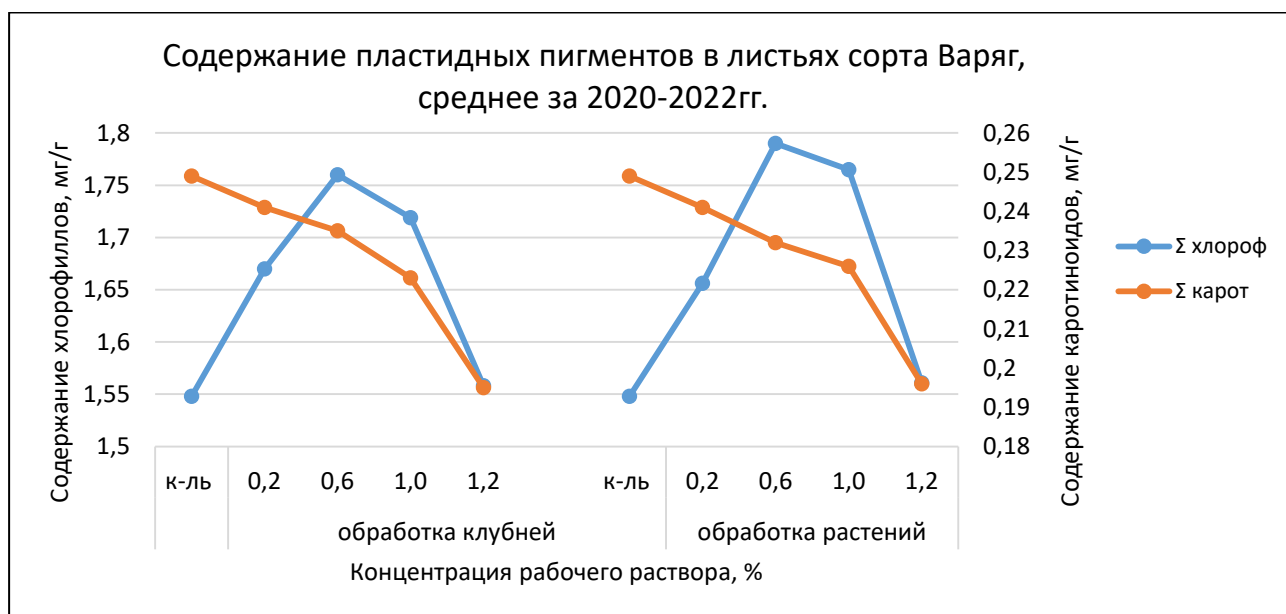


График 3.3.7 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 г.

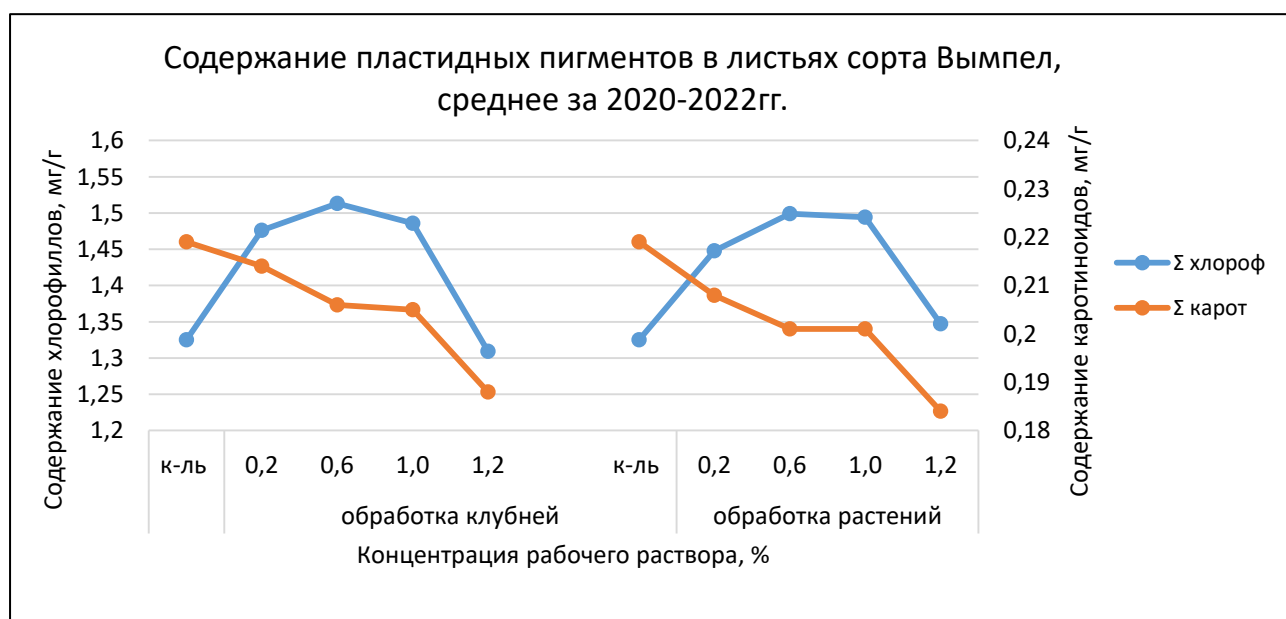


График 3.3.8 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 г.

3.4 Водоудерживающая способность листьев картофеля

Водный стресс является лимитирующим физиологическим фактором, препятствующим выращиванию картофеля во многих странах мира. Рост и развитие картофеля, накопление урожая клубней в значительной степени зависят от влажности почвы. Эта зависимость у картофеля выражена намного сильнее, чем у других видов сельскохозяйственных культур. Одним из объяснений сильной чувствительности картофеля к засухе может быть большая площадь листовой поверхности и относительное поверхностное расположение корневой системы [94].

В годы проведения исследований некоторые интервалы вегетации (июль 2021, 2022гг.) характеризовались жарой и засухой, что дало возможность провести определение водоудерживающей способности листьев по методу Третьякова Н.Н. [69].

На момент проведения исследований в 2021 году (8 июля) отсутствие осадков фиксировалось на протяжении практически 9 дней (в этот период суммарно выпало менее 4 мм осадков). На момент проведения анализа в 2022 году (4 июля) ситуация складывалась еще более напряженно: осадков не было в течении 12 дней (суммарно 0,4 мм).

По результатам двух лет установлено снижение дефицита влажности листьев, что синонимично повышению водоудерживающей способности листьев, обоих сортов картофеля, как от предпосадочной обработки клубней, так и от некорневых опрыскиваний Si агрохимикатом в возрастающих дозах (таблица 3.4.1).

Дефицит влажности листьев сорта Варяг в среднем за 2021-2022 гг. в контрольных вариантах без обработки Si-агрохимикатом составлял 8,5%. В вариантах с обработкой клубней этот показатель снижался до 6,6-7,6%, наименьший дефицит влаги отмечен в варианте с дозировкой 0,6%. В вариантах с опрыскиванием листьев снижение дефицита влаги было еще существеннее – до 4,5-6,7%, наименьшая величина отмечена в варианте с максимальной дозой препарата (1,2%).

Таблица 3.4.1 – Влияние обработок на дефицит водообеспеченности листьев картофеля

Способ обработки	Концентрация препарата	Дефицит влажности листьев, %		
		08.07.2021	04.07.2022	среднее
сорт Варяг				
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		7,1	9,8	8,5
Обработка клубней	0,2%	6,1	9,1	7,6
	0,6%	5,8	7,4	6,6
	1,0%	6,7	7,6	7,2
	1,2%	7,0	8,0	7,5
Обработка растений	0,2%	4,6	8,8	6,7
	0,6%	4,2	6,9	5,6
	1,0%	4,0	6,3	5,2
	1,2%	3,3	5,7	4,5
сорт Вымпел				
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		7,0	8,7	7,9
Обработка клубней	0,2%	7,0	7,6	7,3
	0,6%	6,7	7,0	6,9
	1,0%	6,5	6,8	6,7
	1,2%	6,0	6,3	6,2
Обработка растений	0,2%	5,9	8,1	7,0
	0,6%	4,4	6,9	5,7
	1,0%	3,8	6,3	5,1
	1,2%	3,6	5,0	4,3
НСР ₀₅		0,9	1,8	

Такая же тенденция наблюдалась и по среднеспелому сорту Вымпел. Так, в контрольном варианте дефицит листьев составлял в среднем 7,9%, в вариантах с некорневым опрыскиванием растений он снижался до 4,3-7,0% (максимально при дозировке 1,2%), а в вариантах с обработкой клубней – до 6,2-7,3% (максимально при дозировке 1,2%).

Выводы к 3 главе. Проведенные трехлетние исследования с применением различных концентраций кремнийсодержащего препарата для предпосадочной обработки клубней и некорневого опрыскивания вегетирующих растений показали, что Si оказывал существенное влияние на рост и развитие отечественных сортов картофеля. Под его влиянием увеличивалась высота растений, масса ботвы, асси-

миляционная поверхность листьев, ФП, масса и количество клубней на одно растение и изменялись другие показатели. Получены следующие основные результаты и выводы:

1. Высота растений повышалась наиболее заметно при некорневом опрыскивании Si-препаратом в дозах от 0,4% до 1,0%, увеличение высоты составило: в 2020 году 5-12 см на сорте Варяг и 8-16 см на сорте Вымпел; в 2021 году – 4-7 см (Варяг) и 5-9 см (Вымпел); в 2022 году – 6-10 см (Варяг) и 5-11 см (Вымпел).

2. В среднем за три года применение Si-препарата в нарастающих концентрациях (0,2→1,0%) способствовало росту массы ботвы: при обработке клубней сорта Варяг – на 15-64 г/куст или 3,9-16,5%; сорта Вымпел – на 17-54 г/куст или 4-13%; при некорневом опрыскивании растений сорта Варяг – на 16-67 г/куст или 9,4-17,2%; сорта Вымпел на 22-64 г/куст или 5,3-15,5% к значениям контрольных вариантов. На обоих сортах преимущество по темпам увеличения биомассы ботвы оставалось за 2-х кратным некорневым опрыскиванием растений по сравнению с предпосадочной обработкой клубней.

3. Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в среднем за три года у растений сорта Варяг в вариантах 0,2-1,0% препарата (по клубням) составила 2,68-2,91 г/м² в сутки, а в вариантах с некорневым опрыскиванием дозами препарата 0,4-0,6% – 2,78 г/м² в сутки, что выше контроля – 2,56 г/м²; у растений сорта Вымпел в вариантах с дозами 0,4-0,6% Si препарата (оба способа применения) ЧПФ была 2,50-2,57 г/м² в сутки, что на уровне контроля – 2,52 г/м² в сутки.

4. В среднем за три года окупаемость ФП урожаем клубней сорта Варяг была наиболее высокой в вариантах с предпосадочной обработкой клубней дозами 0,4 и 0,6% Si препарата – 14,4 кг/1 тыс. ед. ФП, а также в варианте с некорневым опрыскиванием растений дозой 0,4% – 14,2 кг; окупаемость сорта Вымпел была наиболее высокой в вариантах с концентрациями 0,2-0,6% Si-препарата (оба способа применения) – 12,9-13,2 кг/1 тыс. ед. ФП, против соответствующих контролей – 14,0 кг сорта Варяг и 12,8 кг/1 тыс. ед. ФП сорта Вымпел.

5. Индекс листовой поверхности повышался при увеличении концентрации препарата с 0,2% до 1,0% независимо от способа применения на обоих сортах. Оптимальные значения ИЛП сформировались при концентрации 0,4-0,6% независимо от способа применения: для сорта Варяг эта величина составила 2,77-2,89 в блоке с предпосадочной обработкой клубней и 2,85-2,96 в блоке вариантов с некорневыми обработками растений; для сорта Вымпел – 2,97-3,05 при обоих способах обработки. Более высокие значения ИЛП в вариантах с повышенными концентрациями Si-препарата (1,0-1,2%) снижали ЧПФ и окупаемость 1 тыс. ед. ФП.

6. У обоих сортов картофеля отмечено увеличение массы и количества клубней в зависимости от применения Si-препарата. В среднем за три года увеличение массы клубней от действия Si препарата по сорту Варяг составило 61-91 г/куст или 10,2-15,2% (обработка клубней или растений 0,4-1,0%); по сорту Вымпел: 27-72 г/куст или 4,7-12,6% (обработка клубней или растений 0,2-1,0%). Увеличение количества клубней на одно растение от действия Si препарата по сорту Варяг составило: 0,5-1,6 шт./куст или 3,6-11,4% (обработка клубней или растений 0,2-1,0%); по сорту Вымпел: 0,9-1,8 шт./куст или 7,7-15,5% (обработка клубней или растений 0,2-1,0%).

7. Установлены тенденции в изменении содержания пластидных пигментов листьев двух сортов картофеля: увеличение концентрации хлорофилла *a* и *b* при одновременном снижении содержания каротиноидов в зависимости от обработки клубней и некорневого опрыскивания Si-препаратом в возрастающих дозах. В среднем за три года и на сорте Варяг, и Вымпел сумма хлорофиллов была максимальной при концентрации 0,6% независимо от способа обработки – 1,760/1,790 и 1,513/1,499, соответственно. Минимальные значения каротиноидов и на сорте Вымпел, и на сорте Варяг были при концентрации 1,2% независимо от способа обработки – 0,195/0,187 и 0,188/0,184, соответственно.

Рост концентрации хлорофиллов в вариантах с применением кремния, можно объяснить снижением деградации под его воздействием. Депрессия синтеза каротиноидов в растениях, получивших экзогенный кремний, может говорить о том, что

кремний снижал физиологическую потребность в них, как в источнике дополнительной фотосинтетической и антиоксидантной функции. Т.е. опытные растения в меньшей степени испытывали потребность в компенсационных светособирающих и защитных (антиоксидантных) способностях каротиноидов, т.е. демонстрировали менее глубокий стресс.

8. Преимущества в накоплении хлорофильных пигментов в зависимости от способа применения агрохимиката выявлено не было. 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 снижается.

9. Выявлены сортовые особенности содержания пигментов. Сорт Варяг за все три года исследований характеризовался более высоким содержанием хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с сортом Вымпел. Сорт Варяг во все годы испытаний характеризовался большее широким соотношением суммы хлорофиллов к каротиноидам, по сравнению с аналогичными значениями сорта Вымпел, следовательно, проявлял большую отзывчивость на проводимые обработки.

10. Получены данные о кремнийопосредованном улучшении водоудерживающей способности листьев, свидетельствующие о его адаптационной роли в защите растений от обезвоживания. Требуется дальнейшее изучение в этом направлении исследований.

Полученные выводы доказывают роль кремния в увеличении стрессоустойчивости растений картофеля и позволяют расценивать его как элемент прямого воздействия на физиологию растений.

ГЛАВА 4 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙ- СОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ

Урожайность является важнейшим интегрированным показателем эффективности возделывания любой сельскохозяйственной культуры. Урожайность картофеля состоит из двух составляющих – это густота стояния растений и продуктивность одного куста. Густота стояния растений определяется технологией возделывания и, в первую очередь, густотой посадки. Продуктивность одного куста зависит от сортовых особенностей культуры, технологии возделывания, почвенно-климатических условий.

4.1 Урожайность и товарность клубней картофеля

В условиях дождливого и холодного климата 2020 года в первой половине вегетации (май, июнь, июль) и засушливого в конце (август) урожайность средне-раннего сорта картофеля Варяг колебалась от 35,5 т/га в контроле до 36,5-42,2 т/га в вариантах с кремнийсодержащим препаратом (таблица 4.1.1).

Таблица 4.1.1 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Варяг и его товарность, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		35,5	-	-	88,4
Обработка клубней	0,2%	36,5	1,0	2,9	88,9
	0,4%	38,7	3,2	9,0	93,7
	0,6%	39,9	4,4	12,4	93,7
	0,8%	40,6	5,1	14,4	94,6
	1,0%	40,7	5,2	14,6	94,7
Обработка растений	0,2%	37,8	2,3	6,6	90,9
	0,4%	42,2	6,7	18,9	94,3
	0,6%	42,0	6,5	18,3	93,3
	0,8%	41,7	6,2	17,5	92,6
	1,0%	40,9	5,4	15,2	92,7
НСР ₀₅		1,61			1,9

Листовая обработка более существенно нежели предпосадочная обработка клубней отразилась на урожайности: достоверная прибавка урожайности при этом

способе применения составила от 6,6 до 18,9 %, тогда как при предпосадочной обработке – от 9,0 до 14,6%, при этом от действия препарата этим способом в концентрации 0,2% получена недостоверная прибавка.

Максимальной урожайность сорта Варяг (42,2 и 42,0 т/га) была в вариантах с двукратным некорневым опрыскиванием посадок кремнийсодержащим препаратом в дозировке 0,4 и 0,6%, соответственно.

Сорт Вымпел демонстрировал меньшую урожайность. На контроле она составила 27,4 т/га, по вариантам с различными концентрациями и способами применения препарата – от 28,2 до 32,7 т/га (таблица 4.1.2).

Таблица 4.1.2 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Вымпел и его товарность, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		27,4	-	-	96,6
Обработка клубней	0,2%	28,2	0,9	2,9	97,5
	0,4%	29,9	2,5	9,1	97,6
	0,6%	30,0	2,6	9,5	98,1
	0,8%	30,4	2,9	10,8	97,7
	1,0%	30,9	3,5	12,8	97,9
Обработка растений	0,2%	29,6	2,2	8,1	95,5
	0,4%	31,9	4,5	16,6	97,2
	0,6%	32,3	4,9	18,0	97,3
	0,8%	32,6	5,2	18,8	97,3
	1,0%	32,7	5,3	19,3	97,7
НСР ₀₅		1,61			1,3

Так же, как и на сорте Варяг, листовая обработка была более эффективной, а дозировка 0,2% при обработке клубней не обеспечила существенной прибавки.

Максимальная урожайность на сорте Вымпел (32,6 и 32,7 т/га) была достигнута в вариантах с дозировкой препарата 0,8 и 1,0% при двукратном фолитарном опрыскивании.

В экстремальных условиях 2021 года продуктивность обоих сортов картофеля значительно снизилась по всем вариантам относительно предыдущего года (таблицы 4.1.3, 4.1.4).

Урожайность сорта картофеля Варяг в 2021 году колебалась от 18,3 т/га в контроле до 19,1-23,1 т/га в вариантах с обработками кремнийсодержащим препаратом. Но в этот год предпосадочная обработка клубней оказалась более продуктивной, чем листовая обработка. Так, достоверная прибавка при этом способе оказалась в пределах 20,2-25,9%, а при листовой – в пределах 14,4-20,2%. Эффективность дозировки 0,2% при обработке клубней, как и в 2020 году, была ниже НСР₀₅.

Максимальная урожайность (22,9-23,1 т/га) была достигнута в вариантах с предпосадочной обработкой клубней кремнийсодержащим препаратом в дозировке от 0,6 до 1,0%. Дозировка 0,8% была лучшей в блоке вариантов с двукратным некорневым опрыскиванием (урожайность 22,0 т/га).

Таблица 4.1.3 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Варяг и его товарность, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		18,3	-	-	88,2
Обработка клубней	0,2%	19,1	0,7	3,8	88,0
	0,4%	22,0	3,7	20,2	90,8
	0,6%	22,9	4,6	25,1	91,0
	0,8%	23,0	4,7	25,7	90,4
	1,0%	23,1	4,8	25,9	90,3
	1,2%	22,3	3,9	21,3	90,3
Обработка растений	0,2%	18,3	0	0,3	87,1
	0,4%	20,9	2,6	14,4	89,1
	0,6%	21,5	3,2	17,3	91,6
	0,8%	22,0	3,7	20,2	90,8
	1,0%	21,1	2,8	15,4	91,7
	1,2%	20,6	2,3	12,5	92,1
НСР ₀₅		1,31			1,6

На сорте Вымпел в 2021 году тоже обработка клубней оказалась более эффективной в сравнении с фоллиарной: прибавка составила 7,8-12,8%, тогда как при листовом способе применения – 5,5-7,3%.

Лучшим оказались варианты с предпосадочной обработкой клубней кремнийсодержащим препаратом в дозировке 0,4-0,6% (урожайность составила 24,2-24,6 т/га). В блоке вариантов с листовой обработкой практически одинаково высокие результаты были достигнуты при использовании 4-х концентраций: 0,2-0,4-0,6-0,8% (урожайность 23,0-23,4 т/га, соответственно).

Таблица 4.1.4 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Вымпел и его товарность, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		21,8	-	-	93,5
Обработка клубней	0,2%	23,6	1,8	8,3	90,3
	0,4%	24,2	2,4	11,0	94,0
	0,6%	24,6	2,8	12,8	90,5
	0,8%	23,5	1,7	7,8	91,6
	1,0%	21,3	-0,5	-2,3	92,6
	1,2%	20,7	-1,1	-5,0	92,8
Обработка растений	0,2%	23,4	1,6	7,3	92,7
	0,4%	23,3	1,5	6,9	94,3
	0,6%	23,0	1,2	5,5	92,0
	0,8%	23,0	1,2	5,5	91,8
	1,0%	21,1	-0,7	-3,2	91,7
	1,2%	21,2	-0,6	-2,8	90,7
НСР ₀₅		1,31			1,2

Жара и засуха стали ограничивающими в эффективности возрастающих дозровок на сорте Вымпел. Увеличение концентрации свыше 0,8% независимо от способа применения привело к снижению урожайности до уровня контрольного значения.

Ситуацию с тем, что в 2021 году предпосадочная обработка оказалась более эффективной, можно объяснить погодными условиями этого года. Как видно из рисунков 1 и 2, начало лета отличилось значительным превышением температурных показателей относительно среднемноголетних, особенно во II декаду мая и II декаду июня. Количество же осадков в этот период было значительно ниже нормы. Т.е. на лицо был жесткий стресс. Можно предположить, что именно снижение возникшего абиотического стресса у растений благодаря заблаговременному влиянию кремния, позволило вариантам с предпосадочной обработкой клубней проявить себя. Первая листовая обработка была проведена позже наблюдаемых неблагоприятных явлений начального периода и, по всей видимости, смогла только частично погасить воздействие стресса, возникшего уже во второй половине вегетации. Но длительность и глубина первой «стрессовой волны» сильнее повлияла на снижение продуктивности тех посадок, которые не получили кремний посредством обработки клубней.

Погодные условия 2022 года тоже оказались неблагоприятными для роста и развития картофеля, что естественно повлияло на урожайность. Но в сравнении с 2021 годом негативные влияния климата проявились позже, во второй половине вегетации. Урожайность в 2022 год была ожидаемо ниже, чем в благоприятный 2020 год, и выше, чем в экстремальный 2021 год (таблицы 4.1.5, 4.1.6). И хотя гидротермический коэффициент в сумме за вегетацию был в 2022 году даже ниже, чем в 2021 году, однако, в понижении его значения существенный вклад внесла погода конца августа, когда картофель сформировал урожай и был уже убран.

Таблица 4.1.5 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Варяг и его товарность, 2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		25,1	-	-	92,6
Обработка клубней	0,2%	25,1	0	0	94,2
	0,4%	26,3	1,2	4,8	94,0
	0,6%	26,6	1,5	6,0	94,7
	0,8%	26,1	1,1	4,2	94,9
	1,0%	25,8	0,7	2,8	93,0
	1,2%	25,2	0,1	0,4	91,3
Обработка растений	0,2%	25,1	0	0	93,3
	0,4%	25,7	0,6	2,4	93,3
	0,6%	26,5	1,4	5,6	94,4
	0,8%	27,2	2,1	8,4	94,5
	1,0%	27,3	2,2	8,8	94,0
	1,2%	27,0	1,9	7,6	95,3
НСР ₀₅		1,10			1,8

В сезон 2022 года листовая обработка сорта Варяг дала лучшие результаты при применении концентрации 0,8 и 1,0%: прибавка урожайности составила 2,1-2,2 т/га или 8,4% и 8,8% к контролю, соответственно. При обработке клубней наиболее благоприятной стала дозировка 0,6%: прибавка составила 1,5 т/га или 6,0% к контролю (таблица 4.1.5.). Дозировка 0,2% при применении по клубням, как и в 2020 году, оказалась неэффективной.

На сорте Вымпел выявленные закономерности повторились (таблица 4.1.6).

Некорневое опрыскивание на сорте Вымпел в 2022 году, как в 2020 году, оказалось более продуктивным приёмом, чем обработка клубней: максимальная при-

бавка зафиксирована на варианте с дозировкой 1,0% – прибавка урожайности составила 4,0 т/га или 15,1% к контролю. Обработка клубней препаратом в дозировке 0,2% хоть и незначительно, но привела к достоверной прибавке урожайности.

Таблица 4.1.6 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Вымпел и его товарность, 2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %
			т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		26,3	-	-	94,1
Обработка клубней	0,2%	27,2	0,9	3,5	93,9
	0,4%	28,3	2,0	7,5	95,0
	0,6%	28,8	2,5	9,5	95,4
	0,8%	28,3	2,0	7,7	95,2
	1,0%	27,5	1,2	4,5	94,1
	1,2%	27,2	0,9	3,5	92,1
Обработка растений	0,2%	27,5	1,2	4,7	95,4
	0,4%	28,3	2,0	7,5	94,6
	0,6%	29,0	2,7	10,4	93,9
	0,8%	29,4	3,1	11,9	93,6
	1,0%	30,3	4,0	15,1	93,9
	1,2%	29,2	2,9	11,0	94,4
НСР ₀₅		1,10			1,3

Максимальная прибавка урожайности в блоке с предпосадочной обработкой клубней была при применении дозировки агрохимиката 0,6% – прибавка составила 2,5 т/га или 9,5%.

Интересна ситуация со снижением урожайности в вариантах с концентрациями препарата 1,0 и 1,2% относительно более низких дозировок в блоке вариантов с предпосадочным применением по клубням в 2021 и 2022 годах, тогда как в 2020 году такого эффекта не наблюдалось. Если опять же обратиться к графикам, отражающим метеоусловия, то мы увидим, что именно только 2020 год был благоприятным по температурным и влажностным условиям в период от посадки до полных всходов. Возможно именно более влажные почвенные условия 2020 года, а также более быстрый начальный рост способствовали эффекту «разбавления» высоких концентраций агрохимиката, нанесенного на клубень, что позволило избежать депрессии продуктивности в этих вариантах. Глазки, по мнению ряда авторов, имеют меньшую толерантность к повышенной концентрации кремния [3].

Средняя урожайность сортов за три года отображена в таблицах 4.1.7, 4.1.8.

В среднем за три года в вариантах с предпосадочной обработкой клубней сорта Варяг кремнийсодержащим препаратом получены увеличивающиеся прибавки урожайности клубней от 0,6 т/га до 3,6 т/га (2,3-13,7%), коррелирующие с повышением концентрации рабочего раствора с 0,2% до 1,0% (таблица 4.1.7). При этом от действия 0,2% раствора наблюдалась только тенденция повышения, а прибавки на вариантах с 0,8 и 1,0 % концентрациями рабочего раствора были равными и практически одного уровня, полученного от действия рабочего раствора 0,6% концентрации препарата.

Таблица 4.1.7 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га				Прибавка к фону, среднее за 2020-2022 гг.		Товарность, среднее за 2020-2022 гг., %
		2020	2021	2022	среднее	т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		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*
НСР ₀₅		1,61	1,31	1,10				
Точность опыта, %		1,64	2,13	1,30				

Примечание* в варианте 1,2% данные за два года: контроль/ экспериментальные данные

В блоке вариантов с обработкой растений урожайность увеличивались с 0,8 т/га (0,2% раствор) до 4,0 т/га (0,8% раствор). Максимальные прибавки урожайности примерно одного порядка получены от действия 0,6 и 0,8 % концентраций рабочего раствора Si-препарата: 3,7 и 4,0 т/га или 14,1 и 15,2% к минеральному фону, соответственно.

В целом, за три года на сорте картофеля Варяг некорневое опрыскивание кремнийсодержащим препаратом по эффективности оказалось сравнимым с предпосадочным применением препарата.

На сорте Вымпел в среднем за три года прибавка урожайности от предпосадочной обработки клубней составила 1,1-2,6 т/га или 4,4-10,2% (таблица 4.2.8.). Лучшие и близкие результаты (27,4-27,8 т/га, прибавки 2,2-2,6 т/га или 8,9-10,2%) получены от действия обработки концентрациями 0,4, 0,6 и 0,8%. Значительное снижение средней урожайности при действии дозировок 1,0 и 1,2% произошло за счет снижения урожайности и фотосинтетической активности в этих вариантах в 2021 году.

Таблица 4.1.8 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га				Прибавка к фону, среднее за 2020-2022гг.		Товарность, среднее за 2020-2022 гг., %
		2020	2021	2022	среднее	т/га	%	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		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				

Примечание* в варианте 1,2% данные за два года: контроль/ экспериментальные данные

Листовая обработка Si-препаратом привела к увеличению урожайности сорта картофеля Вымпел на 1,7-3,1 т/га или на 6,7-12,3%. Лучшие показатели (27,8-28,3 т/га, прибавки 2,7-3,1 т/га или 10,6-12,3%) отмечены при использовании кремниевого препарата в концентрациях 0,4, 0,6, 0,8 и 1,0%.

В целом, за три года на сорте картофеля Вымпел, как и на сорте Варяг, некорневое опрыскивание Si-препаратом по эффективности оказалось сопоставимым с предпосадочным применением препарата.

В 2022 и 2023 г были протестированы варианты с комбинированным применением удобрения, объединяющим предпосадочную обработку клубней и двукратное опрыскивание растений (таблицы 4.1.9, 4.1.10, графики 4.1.1, 4.1.2).

При сравнении способов обработки (предпосадочная по клубням и некорневая по растениям) следует сказать, что в 2023 году чуть более эффективной была обработка по клубням. Это согласуется с данными 2021 года, когда неблагоприятными условиями были первые декады после посадки картофеля. В 2023 году в этот период (I и II декада мая) температурные условия были относительно приемлемыми, а вот осадков критически не хватало.

Из данных таблиц и графиков видно, что относительно соответствующих контролей (только обработка клубней или только обработка ботвы) прослеживается увеличение эффективности при комбинировании двух способов обработки. Причем разные сочетания дозировок (0,4+0,6%, 0,6+0,4%, 0,6+0,6%) были практически идентичны по проявленному результату.

Однако, средние за 2022 и 2023 года прибавки, вызванные комбинированным применением препарата (по клубням + по ботве), оказались сопоставимыми с прибавками, обусловленными применением дозировок 0,4 и 0,6% в среднем за 2020-2023 года независимо от способа применения, как в случае только с обработкой клубней или только опрыскиванием ботвы (таблица 4.1.11), и на уровне прибавок, отмеченных от применения повышенных дозировок более 0,6% в среднем за 2020-2022 года (таблицы 4.1.7, 4.1.8).

Таблица 4.1.9 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Варяг, 2022-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га			Прибавка к фону, среднее за 2022-2023гг.		Товарность, %	
		2022	2023	среднее	т/га	%	2022	2023
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		25,1	37,6	31,4	-	-	92,6	96,1
Обработка клубней	0,4%	26,3	38,7	32,5	1,1	3,5	94,0	96,2
	0,6%	26,6	40,5	33,6	2,2	7,0	94,7	96,2
Обработка растений	0,4%	25,7	38,8	32,3	0,9	2,9	93,3	97,1
	0,6%	26,5	40,0	33,3	1,9	6,1	94,4	98,1
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% раст.	25,8	40,3	33,1	1,7	5,4	95,6	96,7
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	27,7	41,5	34,6	3,2	10,2	95,5	96,5
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	27,3	42,4	34,9	3,5	11,1	94,6	94,8
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	28,0	41,8	34,9	3,5	11,1	95,0	95,9
НСР ₀₅		1,10	1,66				1,8	1,2
Точность опыта, %		1,30	1,57					

Таблица 4.1.10 – Влияние обработок на урожайность картофеля сорта Вымпел, 2022-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га			Прибавка к фону, среднее за 2022-2023гг.		Товарность, %	
		2022	2023	среднее	т/га	%	2022	2023
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		26,3	32,5	29,4	-	-	94,1	94,7
Обработка клубней	0,4%	28,3	33,1	30,7	1,3	4,4	95,0	95,2
	0,6%	28,8	33,4	31,1	1,7	5,8	95,4	95,6
Обработка растений	0,4%	28,3	34,0	31,2	1,8	6,1	94,6	97,2
	0,6%	29,0	34,7	31,9	2,5	8,5	93,9	97,0
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% раст.	29,6	35,9	32,8	3,4	11,6	95,3	95,1
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	30,1	35,6	32,9	3,5	11,9	94,6	96,3
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	29,2	36,5	32,9	3,5	11,9	95,0	95,7
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	29,6	36,3	33,0	3,6	12,2	94,8	94,9
НСР ₀₅		1,10	1,66				1,3	0,9
Точность опыта, %		1,30	1,57					

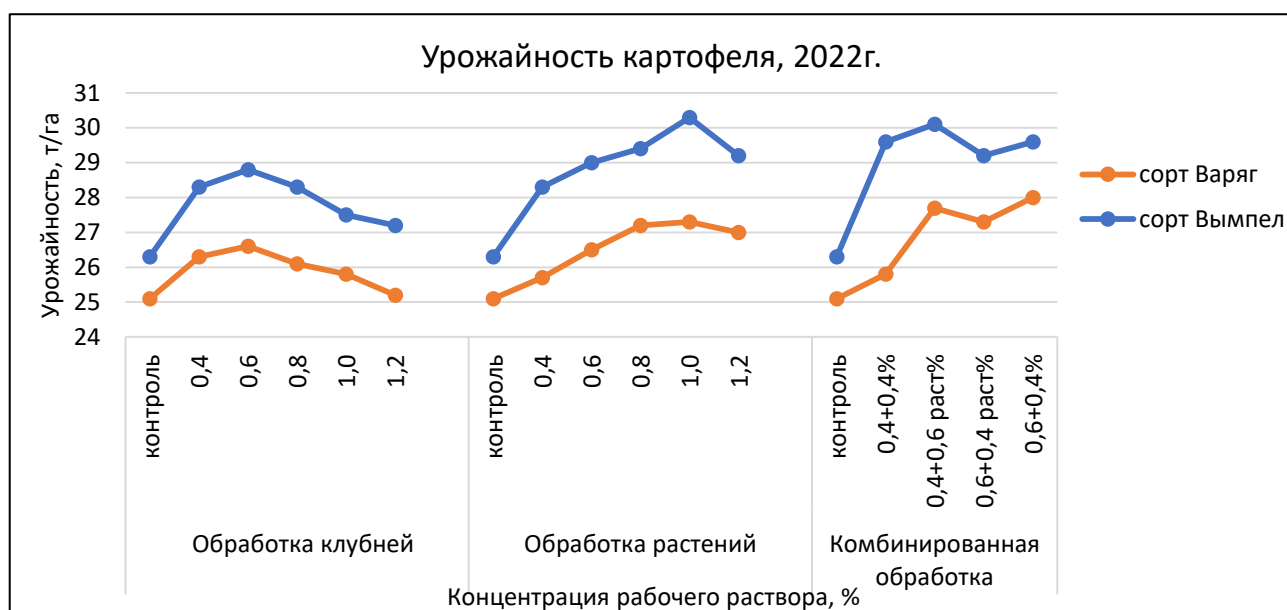


Рисунок 4.1.1 – Влияние обработок Si-препаратом на урожайность картофеля, 2022 г.

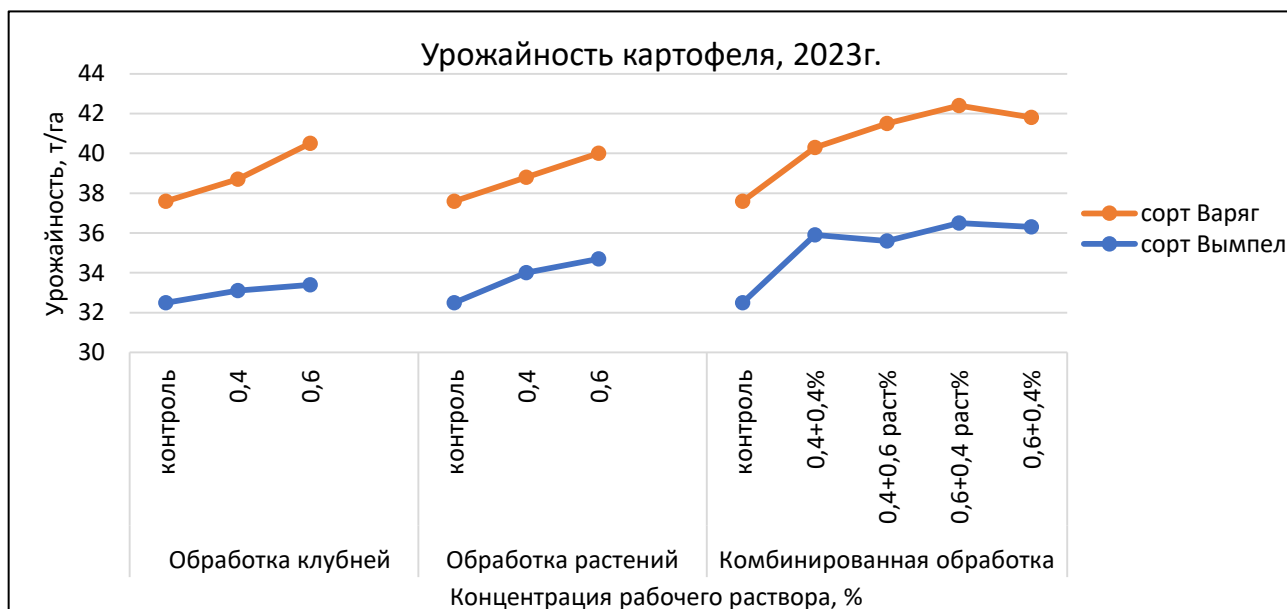


График 4.1.2 – Влияние обработок Si-препаратом на урожайность картофеля, 2023г.

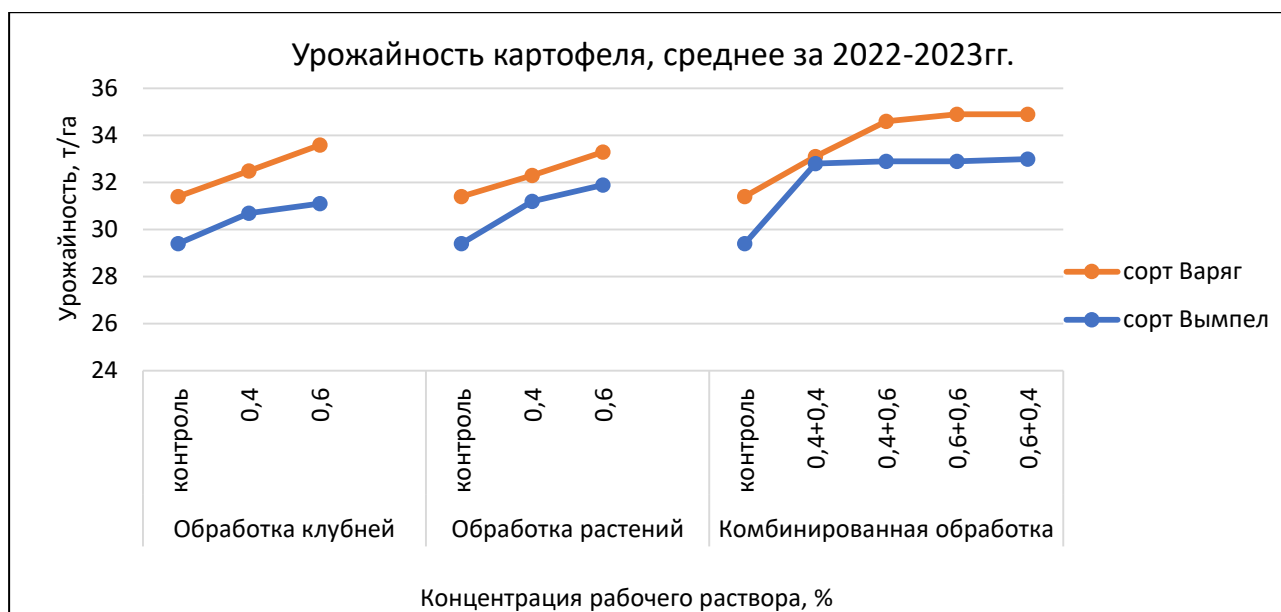


График 4.1.3 – Влияние обработок Si-препаратом на урожайность картофеля, среднее за 2022-2023 гг.

Таблица 4.1.11 – Влияние обработок на урожайность картофеля, среднее за 2020-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность, т/га					Прибавка к фону	
		2020	2021	2022	2023	среднее	т/га	%
сорт Варяг								
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		35,5	18,3	25,1	37,6	29,1	-	-
Обработка клубней	0,4%	38,7	22,0	26,3	38,7	31,4	2,3	7,9
	0,6%	39,9	22,9	26,6	40,5	32,5	3,4	11,7
Обработка растений	0,4%	42,2	20,9	25,7	38,8	31,9	2,8	9,6
	0,6%	42,0	21,5	26,5	40,0	32,5	3,4	11,7
сорт Вымпел								
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		27,4	21,8	26,3	32,5	27,0	-	-
Обработка клубней	0,4%	29,9	24,2	28,3	33,1	28,9	1,9	7,0
	0,6%	30,0	24,6	28,8	33,4	29,2	2,2	8,1
Обработка растений	0,4%	31,9	23,3	28,3	34,0	29,4	2,4	8,9
	0,6%	32,3	23,0	29,0	34,7	29,8	2,8	10,4
НСР ₀₅		1,61	1,31	1,10	1,66			
Точность опыта, %		1,64	2,13	1,30	1,57			

Поскольку кремнийсодержащий препарат, применявшийся в опыте, кроме кремния содержит в небольшом количестве калийную щелочь в качестве стабилизатора, в 2023 году был протестирован вариант, содержащий в роли действующего вещества гидроокись калия в молярности эквивалентной варианту с 0,6 % концентрацией Si-препарата. Полученный раствор применили при обработке и клубней, и

ботвы. Учитывая, что содержание калия в изучаемом кремнийсодержащем препарате составляет 150 г/л, в варианте с 0,6% концентрацией на гектар попадает около 150 грамм при предпосадочной обработке клубней и 540 грамм K_2O – при двукратной листовой подкормке. Урожайность на этих вариантах составила у сорта Варяг 37,7 т/га и 38,3 т/га, у сорта Вымпел 32,4 т/га и 32,9 т/га, соответственно способу обработки. Все полученные прибавки не выходили за пределы НСР₀₅, и, соответственно, влиянием этого фактора можно пренебречь. Данные ученых [12] сводятся к тому, что биологическая эффективность калийных удобрений при некорневом опрыскивании наблюдается при применении их в дозировке, обеспечивающей 0,7-1,0% концентрацию в рабочем растворе оксида калия. В нашем же случае содержание K_2O в рабочем растворе составляла 0,09%, что более чем в 10 раз меньше и является недостаточной для ощутимого влияния на растения.

Неотъемлемой характеристикой собранного урожая является его товарность. Товарность урожая определяется массой всех клубней свыше размера мелкой фракции, установленного соответствующим ГОСТ и выраженным в процентах от общей массы урожая. Оба исследуемые сорта картофеля имеют округло-овальную форму клубня, поэтому согласно ГОСТ 7176-2017 «Картофель продовольственный», товарными являлись клубни более 28-30 мм в поперечном диаметре, т.е. сумма двух фракций: >60 мм + 30-60 мм.

Экспериментальные данные показывают, что способы и дозы кремнийсодержащего агрохимиката влияли на структуру урожая обоих сортов.

Так, в 2020 году одновременно с ростом урожайности сорта Варяг увеличивалась и его товарность (таблица 4.1.1, приложение 9). От предпосадочной обработки клубней дозами препарата 0,4-1,0% товарность урожая повышалась с 88,4% (контроль) до 93,7-94,7% (на 5,3-6,3%), а от некорневого опрыскивания теми же дозами (0,4-1,0%) товарность росла более медленно: до 92,3-94,3% (или на 3,9-5,9%).

На сорте Вымпел (таблица 4.1.2, приложение 10) влияние обработки на товарность по вариантам была выражена менее заметно. При обработке клубней этого сорта товарность максимально возрастала с 96,6% (контроль) до 98,1% (или

на 1,5%) при обработке клубней концентрацией 0,6% и до 97,7% (или на 1,1%) при обработке ботвы концентрацией 1,0%.

В 2021 году также наблюдалось повышение товарности урожая в вариантах с применением кремнийсодержащего агрохимиката. Однако, в этом году отмечена самая низкая товарность клубней как у сорта Варяг, так и у сорта Вымпел за все годы исследования. Вероятно, это связано с неблагоприятными погодными условиями для роста и развития растений.

На сорте Варяг (таблица 4.1.3, приложение 2) от предпосадочной обработки клубней концентрациями препарата 0,4-1,2% товарность урожая возрасла до 90,3-91,0% (на 2,1-2,8%), а от некорневого опрыскивания теми же концентрациями препарата – до 89,1-92,1% (или на 0,9-3,9%), против контроля 88,2%.

На среднеспелом сорте Вымпел от предпосадочной обработки клубней и некорневого опрыскивания товарность урожая, опять же, как и в 2020 году, повышалась менее значительно: на 0,5-0,8% в отдельных вариантах (таблица 4.1.4, приложение 2).

В 2022 году повышение товарности урожая отмечено на обоих сортах картофеля в вариантах с применением кремнийсодержащего агрохимиката (таблица 4.1.5 и 4.1.6, приложение 13 и 14). На раннем сорте Варяг товарность урожая ощутимо повышалась при обработке клубней дозами препарата 0,6-1,0% – до 94,7-94,9% (или на 2,1-2,3%) и при некорневом опрыскивании дозами препарата 0,6-1,2% – до 94,4-95,3% (или на 1,8-2,7%), против контроля 92,6%.

На среднеспелом сорте Вымпел лучшая товарность была отмечена при применении предпосадочной обработки клубней дозами препарата 0,4-0,8% (увеличение до 95,0-95,4% или на 0,9-1,3%) и от некорневого опрыскивания 0,2% концентрацией препарата (повышение до 95,4% или на 1,3%) против контроля 94,1%.

В среднем за три года наибольшая товарность урожая сорта Варяг (93,1-93,3%) получена в вариантах с предпосадочной обработкой клубней дозами препарата 0,6-0,8%, где получен и наибольший рост урожайности (на 2,7-3,8 т/га или 10,3-14,4%), в вариантах с некорневой обработкой большая товарность отмечена

при концентрации 0,6% (93,1%) относительно контроля (89,7%) (таблица 4.1.7 и 4.1.8, график 4.1.4).

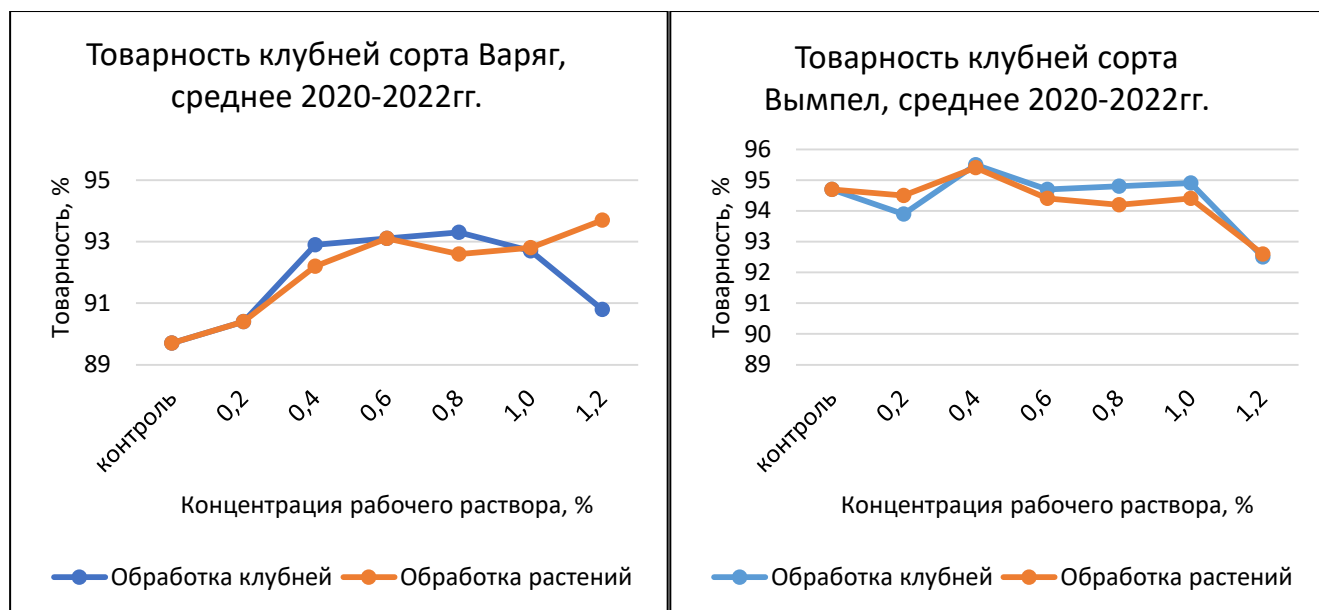


График 4.1.4 – Влияние обработок на товарность клубней картофеля сорта Варяг и Вымпел в среднем за 2020-2022 гг.

Товарность клубней сорта Вымпел (93,9-95,6%) в среднем за три года в вариантах с предпосадочной обработкой и некорневым опрыскиванием дозами 0,2-1,0% была на уровне или немного выше значения контроля (94,7%). Самые высокие значения показателя были при применении концентрации 0,4% как при предпосадочной обработке (95,5%), так и при листовой (95,4%). Максимальная концентрация препарата (1,2%) приводила к снижению товарности независимо от способа применения. В целом, по показателю товарности в силу своих биологических особенностей среднеспелый сорт Вымпел более сдержанно реагировал на применение агрохимиката, нежели сорт Варяг (таблица 4.1.8, график 4.1.4).

Положительное влияние кремнийсодержащего препарата на продуктивность картофеля можно объяснить данными, полученными при определении роста и развития растений, содержания пигментов в листьях растений (глава 3) и водообеспеченности листьев (глава 6).

Статистическая обработка экспериментальных данных по продуктивности показала, что в формировании урожайности картофеля доля влияния факторов из-

менялась в зависимости от климатических условий года: влияние сорта (А) колебалось от 20,4 до 80,0%, доля влияния способов применения кремнийсодержащего препарата (В) – от 2,2 до 4,5%, а концентраций рабочего раствора (С) – от 13,7 до 31,0%; взаимодействие АВ – от 0 до 1,1%, АС – от 0,5 до 27,3%, ВС – от 0,7 до 11,7%, АВС – от 0,2 до 1,3% (таблица 4.1.9).

Таблица 4.1.9 – Сводная информация о влиянии изучаемых факторов на урожайность двух сортов картофеля: Варяг и Вымпел

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	46,9	4,5	26,9	1,0	1,6	11,7	0,7

В менее благоприятные по метеоусловиям годы (2021 и 2022 года) влияние фактора С (концентрации) возрастало с 13,7% до 31,0%.

4.2 Структура урожая, количество и масса клубней картофеля

Для более детального изучения структуры урожая вся собранная масса клубней в уборочной пробе делилась на три фракции согласно ГОСТ 7176-2017 «Картофель продовольственный» и ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной» (таблицы 4.2.1, 4.2.3, приложения 9-15).

В 2020 году оптимальная структура урожая сорта Варяг на продовольственные цели, а именно с наибольшей долей крупных и средних клубней, сформировалась в вариантах с предпосадочной обработкой клубней четырьмя концентрациями (0,4-0,6-0,8-1,0%) препарата: доля крупной фракции составила 16,6-23,3%, средней фракции – 70,5-78,1 %, мелкой фракции – 5,3-6,9%, тогда как в контроле было 11,6% мелких (нестандартных) клубней.

На сорте Вымпел изменение структуры урожая клубней в сторону увеличения массы клубней крупной фракции (до 18,4-22,1%) при одновременном снижении доли мелких клубней наблюдалось в вариантах с предпосадочной обработкой клубней дозами 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8%, а при опрыскивании ботвы высокими концентрациями препарата – 0,8 и 1,0% – доля крупной фракции составила 15,5-30,0%,

средней – 67,7-82,4% при одновременном снижении доли мелких клубней до 2,0-2,3%.

Таблица 4.2.1 – Влияние обработок на структуру урожая картофеля, количество и массу клубней, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./1 куст			Масса 1 клубня, г		
		> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	> 60 мм	30-60 мм
сорт Варяг										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		11,5	76,8	11,6	14,9	0,7	9,6	4,6	133	65
Обработка клубней	0,2%	13,3	75,6	11,1	15,7	0,8	10,2	4,7	138	62
	0,4%	23,3	70,5	6,3	15,1	1,3	10,0	3,8	158	62
	0,6%	19,8	73,9	6,3	15,1	0,9	10,0	4,2	200	67
	0,8%	16,6	78,1	5,3	16,3	1,4	11,4	3,5	109	63
	1,0%	19,2	74,9	5,9	17,0	1,4	11,0	4,6	127	63
Обработка растений	0,2%	10,8	80,1	9,1	16,6	0,6	11,5	4,5	112	60
	0,4%	12,8	81,4	5,7	17,1	0,7	11,5	4,9	123	68
	0,6%	12,7	79,6	7,7	18,7	0,9	12,7	5,1	126	60
	0,8%	17,7	74,9	7,4	17,8	1,2	11,1	5,5	127	64
	1,0%	11,8	80,9	7,3	18,5	0,8	12,5	5,2	175	60
сорт Вымпел										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		14,9	81,7	3,4	9,4	0,8	7,6	1,0	116	67
Обработка клубней	0,2%	19,2	78,3	2,5	9,6	1,1	7,5	1,0	112	67
	0,4%	19,9	77,8	2,4	10,1	1,1	8,4	0,6	123	63
	0,6%	22,1	76,0	1,9	10,3	1,2	7,6	1,5	126	68
	0,8%	18,4	79,3	2,3	10,6	1,0	8,1	1,5	127	68
	1,0%	15,0	82,9	2,1	10,3	0,6	8,3	1,4	175	70
Обработка растений	0,2%	16,9	78,6	4,5	10,3	0,7	7,9	1,7	163	67
	0,4%	19,3	78,0	2,8	10,5	0,9	8,0	1,6	156	71
	0,6%	22,9	73,9	3,3	10,8	0,9	8,0	1,9	187	68
	0,8%	15,5	82,4	2,0	10,9	0,8	8,7	1,4	144	70
	1,0%	30,0	67,7	2,3	10,9	1,2	7,7	2,0	186	65
HCP ₀₅		-	-	-	1,5	0,4	0,9	0,2	12	5

В 2021 году наиболее оптимальная структура урожая сорта Варяг сформировалась в вариантах с предпосадочной обработкой 0,4-1,2% концентрациями препарата: доля крупных клубней составила 5,8-10,9%, средних – 79,5-85,2%, нестандартных клубней – 9,0-9,7%; в блоке вариантов с фоллиарной – обработкой концентрациями 0,6-1,2%: доля крупных клубней составила 4,8-7,8%, средних – 83,8-86,9% и нестандартных – 8,3-9,2%.

На сорте Вымпел в разрезе всего опыта четкой направленности действия кремния на структуру урожайности не выявлено. Можно только отметить, что в варианте с обработкой семенного материала концентрацией 0,4% и в варианте с некорневым опрыскиванием концентрацией 0,6% наблюдалось минимальное количество мелких клубней – 5,7-6,2%, против контроля 6,5%.

Таблица 4.2.2 – Влияние обработок на структуру урожая картофеля, количество и массу клубней, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./1 куст			Масса 1 клубня, г		
		> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	> 60 мм	30-60 мм
сорт Варяг										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		0,0	88,2	11,8	12,9	0	8,3	4,6	0	44
Обработка клубней	0,2%	3,2	84,8	12,0	13,7	0,1	8,7	4,9	140	42
	0,4%	7,4	83,4	9,2	13,5	0,3	9,1	4,1	123	46
	0,6%	5,8	85,2	9,0	14,1	0,2	9,7	4,2	150	46
	0,8%	10,9	79,5	9,6	14,4	0,4	9,2	4,8	143	45
	1,0%	9,0	81,3	9,7	14,7	0,4	9,5	4,8	118	45
	1,2%	7,3	83,0	9,7	14,5	0,3	9,3	4,9	123	45
Обработка растений	0,2%	3,1	83,9	12,9	13,0	0,1	8,0	4,9	130	44
	0,4%	7,1	81,9	10,9	13,5	0,3	8,9	4,3	113	44
	0,6%	7,8	83,8	8,4	13,6	0,3	8,8	4,5	127	46
	0,8%	4,8	86,0	9,2	13,9	0,2	9,3	4,4	120	46
	1,0%	4,8	86,9	8,3	13,5	0,2	9,3	4,0	115	45
	1,2%	4,9	86,3	8,8	13,7	0,2	9,2	4,3	115	44
сорт Вымпел										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		5,3	88,3	6,5	11,9	0,2	8,8	2,9	130	50
Обработка клубней	0,2%	5,6	84,7	9,7	13,9	0,2	9,4	4,3	150	48
	0,4%	9,3	84,5	6,2	13,9	0,4	10,0	3,5	128	47
	0,6%	8,1	82,4	9,5	15,1	0,3	9,9	4,9	150	46
	0,8%	7,1	84,5	8,4	14,9	0,3	10,1	4,5	127	45
	1,0%	3,5	89,1	7,4	14,0	0,2	9,4	4,4	85	46
	1,2%	4,9	87,9	7,2	12,3	0,2	8,8	3,3	115	47
Обработка растений	0,2%	3,2	89,5	7,3	14,3	0,1	9,8	4,4	170	49
	0,4%	7,5	86,8	5,7	14,3	0,3	9,9	4,1	133	46
	0,6%	5,4	86,6	8,0	14,1	0,2	9,8	4,1	140	46
	0,8%	6,7	85,1	8,2	13,9	0,3	9,4	4,2	117	47
	1,0%	3,5	88,1	8,3	13,5	0,1	9,4	4,0	170	45
	1,2%	4,6	86,1	9,3	13,7	0,2	8,9	4,6	110	47
HCP ₀₅		-	-	-	1,1	0,3	0,7	0,1	8	3

В 2022 году оптимальная структура урожая сорта Варяг на продовольственные цели сформировалась в вариантах с предпосадочной обработкой клубней 0,2-0,8% концентрациями препарата: фракция крупных клубней составила 3,7-6,1%, фракция средних клубней – 88,5-90,5%, доля нестандартных клубней – 5,0-6,0%; в блоке вариантов с фолитарной обработкой – от концентраций препарата 0,6-1,2%: фракция крупных клубней составила 7,3-8,9%, фракция средних клубней была максимальной – 85,6-87,0%, доля нестандартных клубней – 5,5-6,8%.

На среднеспелом сорте Вымпел в блоке вариантов с предпосадочной обработкой оптимальная структура урожая была в вариантах с концентрациями 0,4-0,8% Si-препарата: фракция крупных клубней составила 7,5-8,4%, фракция средних клубней – 87,0-87,6%, доля нестандартных клубней – 4,6-4,9%; в блоке вариантов с фолитарной обработкой в вариантах с концентрациями препарата 0,2-0,4%: фракция крупных клубней составила 6,1-6,2%, фракция средних клубней – 88,3-89,3%, доля нестандартного – 4,6-5,5%.

В 2022 и 2023 году была проведена оценка влияния кремниевого препарата на фракционный состав клубней картофеля при комбинированном способе применения (таблица 4.2.4 и 4.2.5, приложения 13-15).

Сочетание предпосадочной обработки клубней с некорневым опрыскиванием дважды за сезон Si-препаратом в оба года исследований увеличивала продуктивность изучаемых сортов картофеля, товарность урожая, количество и массу одного клубня.

В 2022 году улучшение структуры урожая было достигнуто по сорту Варяг во всех вариантах; по сорту Вымпел стоит выделить варианты [0,4+0,6] и [0,6+0,4], где доля крупных клубней составила 6,3-13,0%, средних – 82,1-88,3%, мелких – 5,0-5,4% (таблица 4.2.4).

В 2023 году при комбинированной обработке доля крупных клубней возросла во всех вариантах (19,0-22,2 % против 13,9 в контроле на сорте Варяг; 9-9-16,9% против 9,0% на сорте Вымпел), доля средних везде сократилась (73,9-76,9% против 82,2% на сорте Варяг; 78,1-85,4% против 85,7%), мелких – была относительно стабильна (таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.3 – Влияние обработок на структуру урожая картофеля, количество и массу клубней, 2022 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./1 куст			Масса 1 клубня, г		
		> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	> 60 мм	30-60 мм
сорт Варяг										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		4,0	88,6	7,4	14,1	0,2	10,6	3,3	115	48
Обработка клубней	0,2%	3,7	90,5	5,8	14,3	0,1	11,2	3,0	210	46
	0,4%	5,4	88,6	6,0	14,9	0,2	11,4	3,3	160	46
	0,6%	5,1	89,6	5,3	14,5	0,2	11,3	3,0	160	50
	0,8%	6,1	88,9	5,0	14,3	0,3	11,1	2,9	120	48
	1,0%	3,9	88,9	7,2	14,5	0,2	11,0	3,3	115	47
	1,2%	4,5	86,7	8,7	14,8	0,2	10,8	3,8	130	46
Обработка растений	0,2%	5,1	88,2	6,7	14,3	0,2	10,8	3,3	145	47
	0,4%	8,5	84,8	6,7	14,2	0,4	10,4	3,4	125	48
	0,6%	7,3	87,0	5,6	14,2	0,2	10,6	3,4	220	49
	0,8%	8,9	85,6	5,5	14,9	0,3	11,5	3,1	183	46
	1,0%	7,9	86,1	6,0	14,8	0,3	10,9	3,6	163	49
	1,2%	8,1	85,0	6,8	14,4	0,3	11,4	2,7	167	46
сорт Вымпел										
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		5,0	89,1	5,9	13,6	0,2	10,7	2,8	146	50
Обработка клубней	0,2%	8,6	85,3	6,1	14,1	0,3	10,4	3,4	157	51
	0,4%	7,5	87,6	4,9	14,4	0,4	11,1	2,9	134	51
	0,6%	8,4	87,0	4,6	14,4	0,4	11,2	2,8	127	51
	0,8%	8,2	87,0	4,8	14,2	0,4	10,8	3,0	145	52
	1,0%	9,6	84,5	5,9	14,1	0,4	10,2	3,5	154	52
	1,2%	2,7	89,3	7,9	14,3	0,1	10,7	3,5	125	52
Обработка растений	0,2%	6,1	89,3	4,6	13,7	0,3	10,8	2,6	112	52
	0,4%	6,2	88,3	5,5	14,4	0,3	11,2	2,9	132	51
	0,6%	6,2	87,7	6,1	15,2	0,3	11,1	3,8	130	50
	0,8%	5,4	88,2	6,4	15,0	0,3	11,1	3,6	120	53
	1,0%	5,5	88,4	6,1	15,0	0,3	11,0	3,7	127	53
	1,2%	8,1	86,3	5,6	14,4	0,4	11,0	3,2	128	52
НСР ₀₅		-	-	-	1,2	0,3	0,8	0,1	11	6

Таблица 4.2.4 – Влияние обработок на структуру урожая картофеля, количество и массу клубней, 2022 г.

Концентрация и способ применения препарата	Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./1 куст			Масса 1 клубня, г		
	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	> 60 мм	30-60 мм
сорт Варяг									
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀	4,0	88,8	7,4	14,1	0,2	10,6	3,3	150	48
0,4% клуб. + 0,4% раст.	3,8	91,8	4,4	14,0	0,2	11,3	2,5	115	46
0,4% клуб. + 0,6% раст.	7,7	87,8	4,5	14,7	0,3	11,4	3,0	171	49
0,6% клуб. + 0,4% раст.	7,7	86,9	5,3	14,7	0,3	11,5	2,9	167	48
0,6% клуб. + 0,6% раст.	8,3	86,6	5,0	15,1	0,3	11,7	3,1	157	47
сорт Вымпел									
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀	5,0	89,1	5,9	13,6	0,2	10,7	2,8	146	50
0,4% клуб. + 0,4% раст.	4,9	90,3	4,8	14,7	0,2	11,7	2,8	183	55
0,4% клуб. + 0,6% раст.	6,3	88,3	5,4	15,9	0,3	12,2	3,4	150	51
0,6% клуб. + 0,4% раст.	13,0	82,1	5,0	15,7	0,7	11,4	3,6	145	50
0,6% клуб. + 0,6% раст.	3,6	91,2	5,2	15,0	0,2	11,7	3,1	170	55
НСР ₀₅				1,2	0,1	0,9	0,2	13	6

Таблица 4.2.5 – Влияние комбинированного способа применения различных доз кремнийсодержащего агрохимиката на структуру урожая картофеля, количество и массу клубней, 2023 г.

Концентрация и способ применения препарата	Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./1 куст			Масса 1 клубня, г		
	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	> 60 мм	30-60 мм	<30 мм	> 60 мм	30-60 мм
сорт Варяг									
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀	13,9	82,2	3,9	15,9	0,9	12,4	2,6	144	59
0,4% клуб. + 0,4% раст.	22,2	74,5	3,3	15,4	1,5	11,8	2,1	145	61
0,4% клуб. + 0,6% раст.	21,8	74,7	3,5	16,1	1,5	11,5	3,1	146	64
0,6% клуб. + 0,4% раст.	20,9	73,9	5,2	17,3	1,6	11,9	3,8	152	63
0,6% клуб. + 0,6% раст.	19,0	76,9	4,1	17,0	1,3	12,7	3,0	149	60
сорт Вымпел									
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀	9,0	85,7	5,3	15,5	0,5	11,9	3,1	137	56
0,4% клуб. + 0,4% раст.	16,9	78,1	5,0	16,8	1,1	12,4	3,3	135	54
0,4% клуб. + 0,6% раст.	16,9	79,5	3,6	16,0	1,1	12,1	2,8	134	55
0,6% клуб. + 0,4% раст.	9,9	85,4	4,7	16,7	0,6	13,1	3,0	153	56
0,6% клуб. + 0,6% раст.	12,8	82,1	5,1	17,0	0,8	12,8	3,4	132	55
НСР ₀₅				1,3	0,3	0,8	0,2	11	5

Количество клубней и их масса. Количество клубней одного растения имело положительную дозозависимую тенденцию.

В 2020 году на сорте Варяг от предпосадочной обработки клубней всеми изучаемыми дозами препарата количество клубней одного растения повышалось с 14,9 шт. (контроль) до 15,1-17,1 шт./раст. (на 0,3-2,2 шт.), а от некорневого опрыскивания теми же дозами количество выросло более заметно – до 16,3-17,7 шт./раст. (на 1,4-2,8 шт.), что и объясняет понижение товарности в этих вариантах (приложение 9).

На среднеспелом сорте Вымпел в 2020 году увеличение количества клубней от применения различных концентраций Si-препарата было не так ярко выражено. От предпосадочной обработки клубней дозами препарата 0,4-0,8% и от листовой обработки концентрациями 0,4-1,0% количество клубней одного растения повышалось одинаково, а именно с 10,3 шт. (контроль) до 10,5-10,9 шт./раст. (на 0,2-0,7 шт.) (приложение 10). Применение доз кремниевого препарата в нарастающих дозах (0,2→1,0%) способствовало ускорению формирования товарного урожая сортом Вымпел независимо от способа.

В неблагоприятном 2021 году на сорте Варяг от предпосадочной обработки клубней всеми изучаемыми дозами препарата количество клубней одного растения повышалось менее существенно, а именно: с 12,9 (контроль) до 13,5-14,8 шт./раст. (на 0,6-1,9 шт.); от некорневого опрыскивания дозами 0,4-1,2% количество клубней выросло только до 13,3-13,9 шт./растение (на 0,4-1,0 шт.) (приложение 11).

На сорте Вымпел в 2021 году количество клубней на одно растение под влиянием предпосадочной обработки клубней Si-препаратом увеличивалось с 11,9 шт. (контроль) до 13,9-15,1 шт. при росте концентраций с 0,2% до 1,0% (максимально при 0,6%), дальнейшее повышение концентрации препарата до 1,2% приводило к снижению количества клубней на 2,1 шт. от максимального значения (15,1 шт.). От некорневого опрыскивания наиболее значительный рост количества клубней, до 14,0 шт./растение (на 2,1 шт.), был в вариантах с концентрациями препарата 0,6-0,8% (приложение 12).

В 2022 году на сорте Варяг от предпосадочной обработки клубней всеми изучаемыми дозами препарата количество клубней одного растения повышалось с 14,1 шт./растение (контроль) до 14,3-15,1 шт./растение, при этом наиболее существенно от концентраций 0,4 и 1,2% – до 14,9-15,1 шт./растение, соответственно. От некорневого опрыскивания наиболее существенный рост количества клубней, до 14,6-14,9 шт./раст., был в вариантах с дозами 0,8 и 1,0%.

На сорте Вымпел в блоке вариантов с предпосадочной обработкой семенного материала закладывалось меньшее количество клубней: до 14,1-14,4 шт./раст. при контроле в 13,6 шт./раст., при этом более существенно увеличивалась масса клубня (до 134-157 г.). В блоке вариантов с некорневым опрыскиванием количество клубней росло более заметно, до 14,4-15,2 шт./растение, от доз 0,4-1,2%, но масса одного продовольственного клубня была ниже, чем в предыдущем блоке – 120-137 г/клубень.

Как видно из данных графиков 4.2.6 и 4.2.7, кривые средних за три года значений массы отдельных фракций в зависимости от способа обработки практически идентичны, т.е. воздействие предпосадочной и некорневой обработок кремниевым препаратом на смещение массы клубней той или иной фракции очень близкое.

Четко выражено снижение массы товарных фракций клубней при применении дозировки 1,2% независимо от сорта и способа обработки.

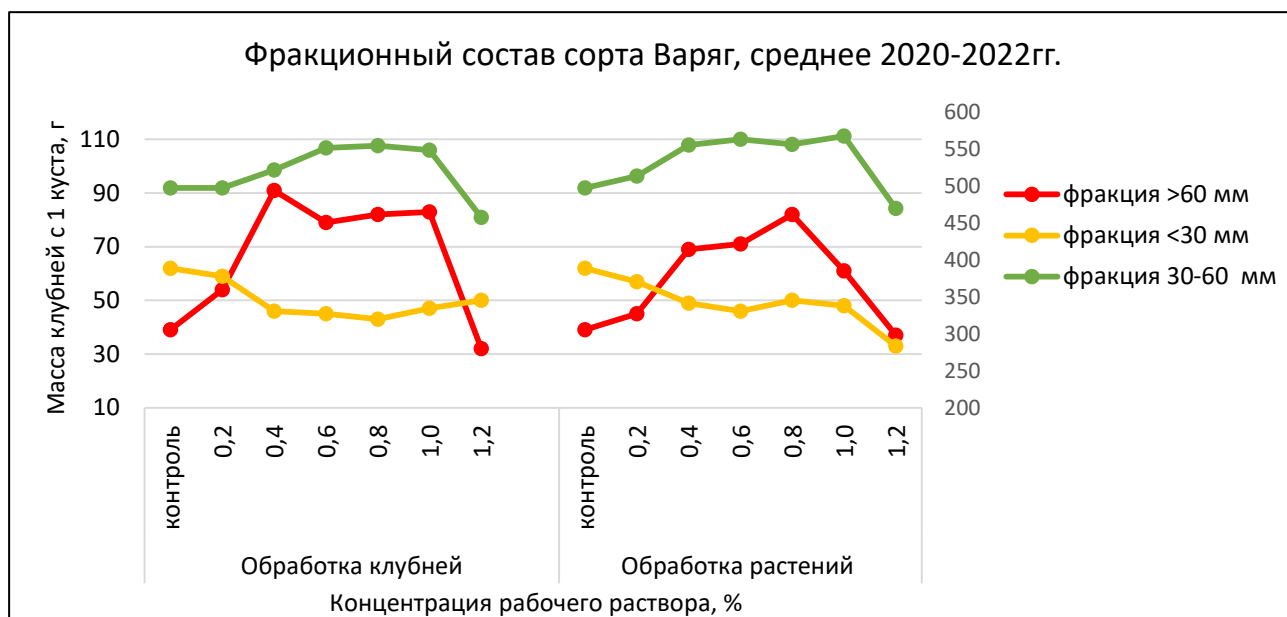


График 4.2.6 – Влияние обработок на фракционный состав клубней картофеля сорта Варяг, среднее 2020-2022 гг.

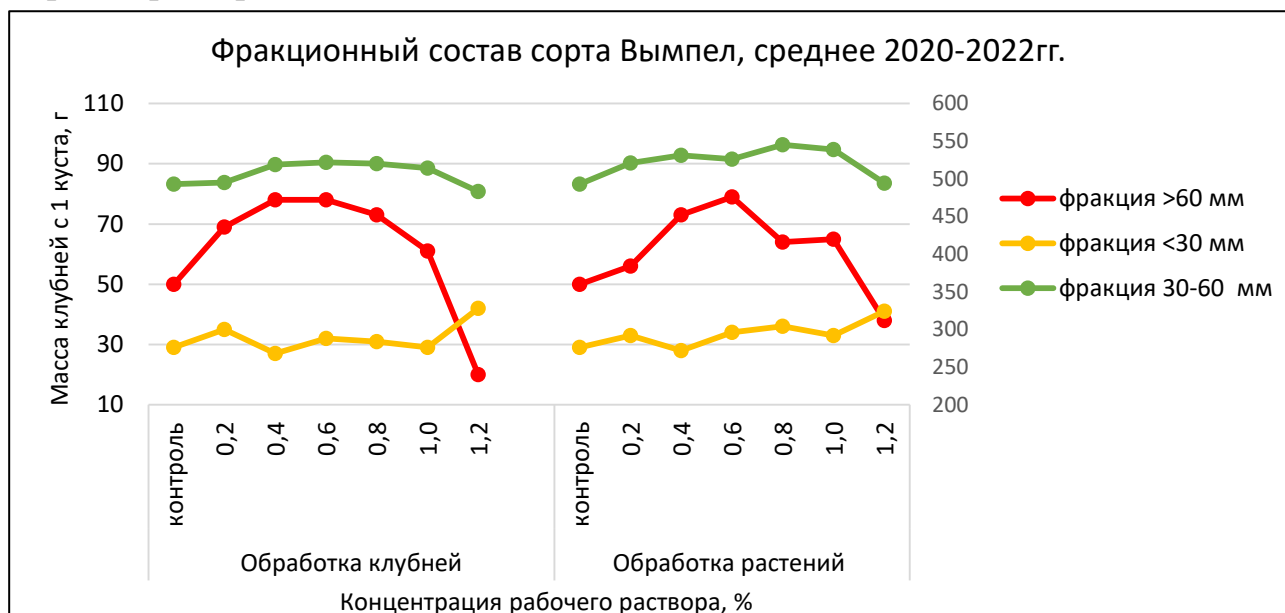


График 4.2.7 – Влияние обработок на фракционный состав клубней картофеля сорта Вымпел, среднее 2020-2022 гг.

Нельзя сказать, что применение комбинированной обработки (в среднем за два года) давало большие преимущества в формировании структуры урожайности картофеля. Количество клубней средней фракции росло, а крупной было сопоставимой или меньшей в сравнении с применением какого-то одного из способов (графики 4.2.8, 4.2.9).

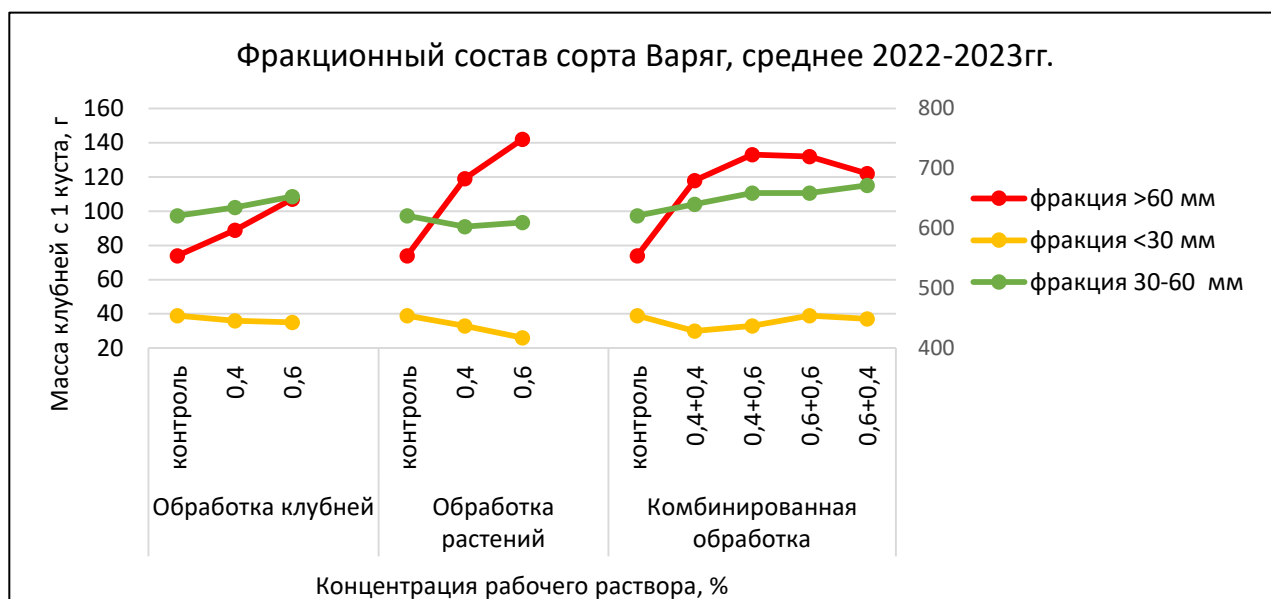


График 4.2.8 – Влияние обработок на фракционный состав клубней картофеля сорта Варяг, среднее 2022-2023 гг.

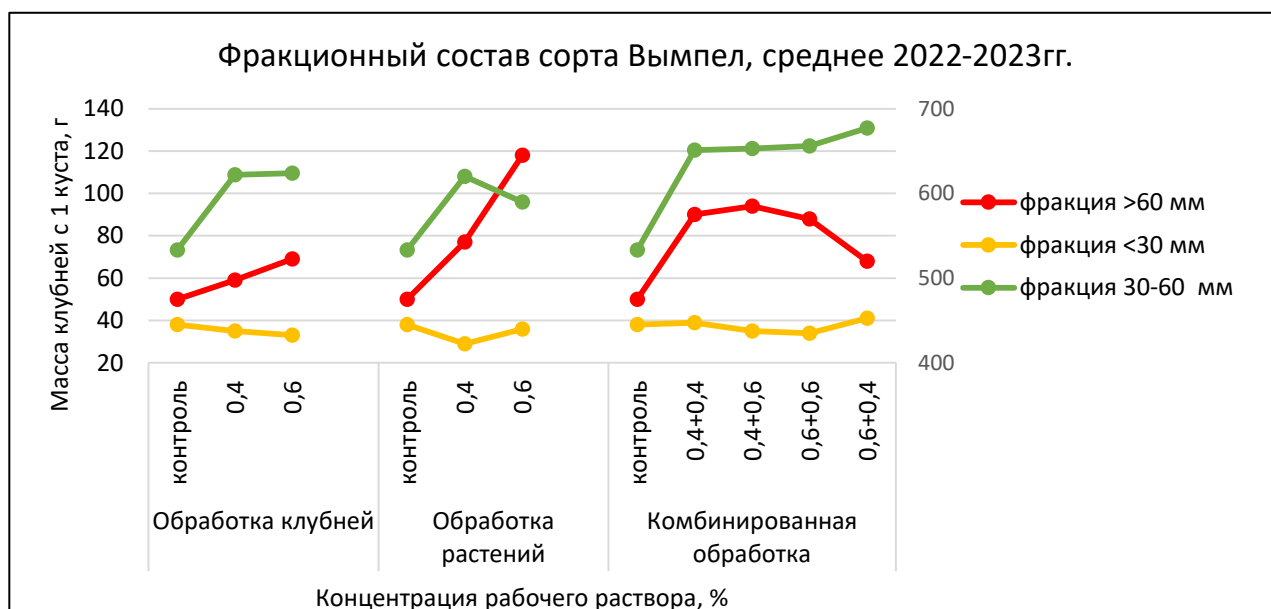


График 4.2.9 – Влияние обработок на фракционный состав клубней картофеля сорта Вымпел, среднее 2022-2023 гг.

Графики 4.2.10-4.2.11 наглядно демонстрируют плавный рост продуктивности растений обоих сортов картофеля: до 522-564 г/куст у сорта Варяг против 508 г/куст в контроле (прибавка 2,78-11,0%) и до 514-545 г/куст у сорта Вымпел против 493 г/куст в контроле (прибавка 4,3-10,6%) при применении дозировок Si-препарата от 0,2% до 0,8% и ее снижение при применении дозировок 1,0 и 1,2%.

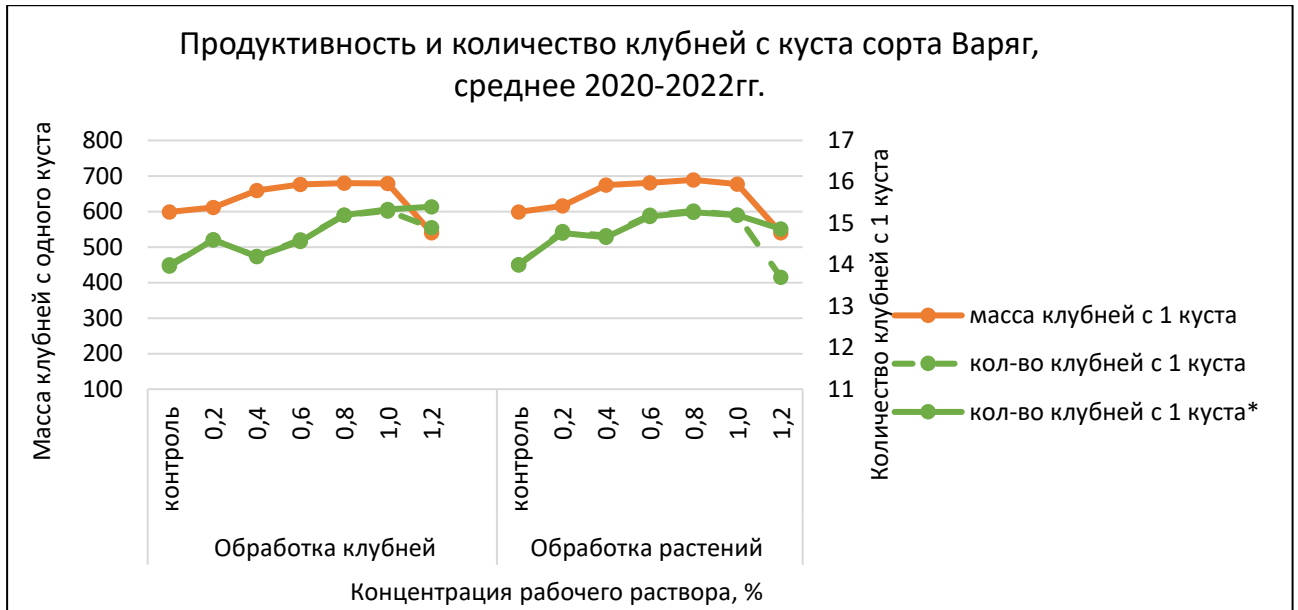


График 4.2.10 – Влияние обработок на продуктивность и количество клубней картофеля сорта Варяг, среднее 2020-2022

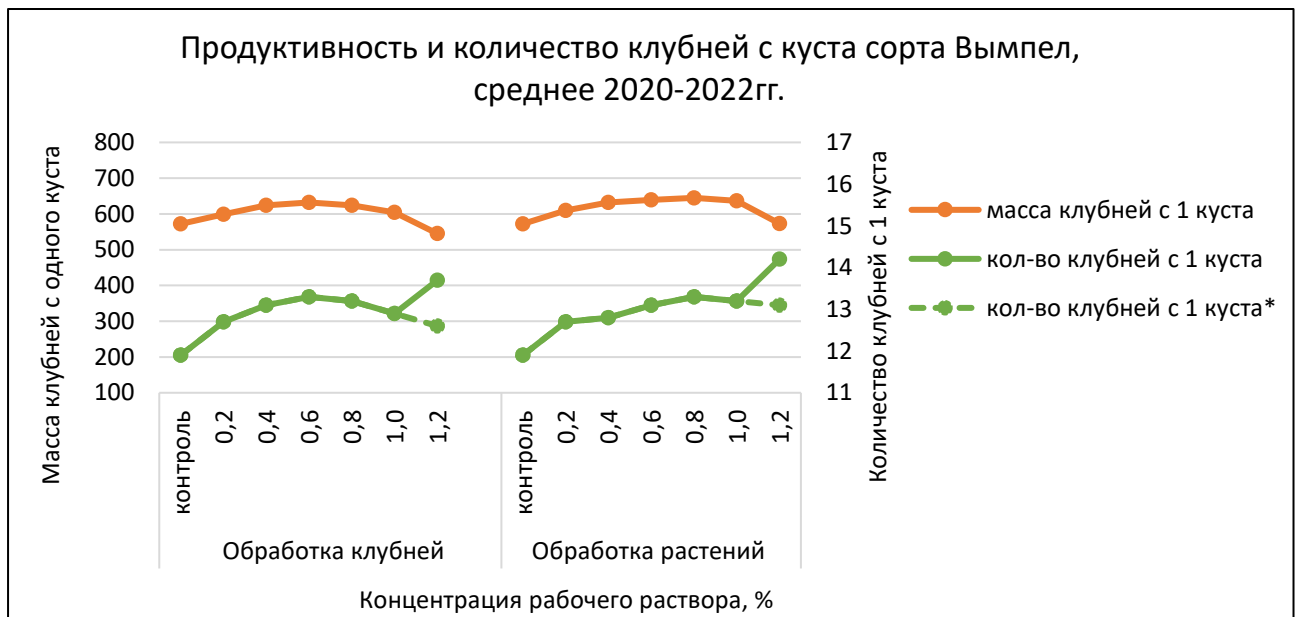


График 4.2.11 – Влияние обработок на продуктивность и количество клубней картофеля сорта Вымпел, среднее 2020-2022 гг.

Пунктир на графике 4.2.11 отображает прогнозируемое среднее количество клубней с 1 куста за 2020-2022 гг., учитывающую тенденцию изменения этого показателя в 2021-2022 гг., поскольку отсутствие варианта 1,2% в 2020 году ощутимо меняет кривизну графика.

В 2022 году на сорте Варяг в вариантах с комплексной обработкой продуктивность колебалась от 586 до 636 г/куст против контроля 570 г/куст (прибавка 2,8-

11,6%), на сорте Вымпел – от 664 до 684 г/куст против контроля 598 г/куст. (прибавка 11,0-14,4%) (приложения 13, 14). Такова же была направленность и в 2023 году: на сорте Варяг в вариантах с комплексной обработкой продуктивность колебалась от 960 до 1019 г/куст против контроля 895 г/куст (прибавка 7,3-13,9%), на сорте Вымпел – от 847 до 865 г/куст против контроля 774 г/куст (прибавка 9,4-11,8%) (приложение 15). В средней продуктивности на этих вариантах была несколько выше, чем на вариантах с применением какого-то одного из способов обработки.

Выводы к главе 4: таким образом, экспериментальные данные трех лет исследований (2020-2022 гг.) показали положительную реакцию сортов картофеля на применение кремния в системе питания.

1. В среднем за три года в вариантах с предпосадочной обработкой клубней сорта Варяг кремнийсодержащим препаратом получены увеличивающиеся прибавки урожайности клубней от 0,6 т/га до 3,8 т/га (или 2,3-14,4%), коррелирующие с повышением концентрации рабочего раствора с 0,2% до 0,6%. Коэффициент корреляции до дозировки 0,8% составляет 0,93-0,84 соответственно сорту. При этом от действия 0,2% раствора наблюдалась только тенденция повышения, а прибавки урожайности на вариантах с 0,8 и 1,0 % концентрацией рабочего раствора были ниже уровня, полученного от действия раствора 0,6% концентрации. Рост урожайности картофеля сорта Варяг в блоке вариантов с обработкой растений составил от 0,8 до 4,0 т/га (от доз препарата 0,2% → 0,8%). Максимальные прибавки урожайности примерно одного порядка получены от действия двух концентраций рабочего раствора 0,6% и 0,8% Si-препарата: 3,7 и 4,0 т/га или 14,1 и 15,2% к минеральному фону, соответственно. На сорте картофеля Варяг некорневое опрыскивание кремнийсодержащим препаратом по эффективности оказалось сравнимым с предпосадочным применением препарата.

На среднеспелом сорте Вымпел в среднем за три года прибавки урожайности от предпосадочной обработки клубней 0,2-1,0% растворами Si-препарата составили 1,1-2,6 т/га или 4,4-10,2%. Лучшие и близкие результаты (27,4-27,8 т/га) получены от действия обработки концентрациями 0,4, 0,6 и 0,8%. Снижение средней

урожайности при действии дозировок 1,0 и 1,2% произошло за счет снижения продуктивности в этих вариантах в 2021 году. Некорневое опрыскивание Si-препаратом привело к увеличению урожайности на 1,7-3,1 т/га или на 6,7-12,3%; лучшие показатели (28,0-28,3 т/га) отмечены при использовании дозировок: 0,6, 0,8 и 1,0% Si-препарата.

2. От применения кремниевого препарата увеличивалась товарность урожая, при существенном снижении фракции нестандартных клубней. В среднем за три года наибольшая товарность урожая сорта Варяг (93,1-93,3%) получена в вариантах с предпосадочной обработкой клубней дозами препарата 0,6-0,8%, в вариантах с некорневой обработкой большая товарность отмечена при концентрации 0,6% (93,1%) относительно контроля (89,7%). Товарность клубней сорта Вымпел (93,9-95,6%) в вариантах с предпосадочной обработкой и некорневым опрыскиванием дозами 0,2-1,0% была на уровне или немного выше значения контроля (94,7%). Самая высокая товарность (95,5/95,4%) была при применении концентрации 0,4% как при обработке клубней/растений. Максимальная концентрация препарата (1,2%) приводила к снижению товарности независимо от способа применения.

3. Продуктивность растений обоих сортов картофеля увеличивалась при применении 0,2-0,8% Si-препарата, не зависимо от способа применения: до 522-564 г/куст (прибавка 2,78-11,0%) у сорта Варяг (508 г/куст в контроле), и до 514-545 г/куст (прибавка 4,3-10,6%) у сорта Вымпел (493 г/куст в контроле), и снижалась до уровня контроля при применении дозировок 1,0 и 1,2%

ГЛАВА 5 КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ

На состав фитонутриентов клубней картофеля влияют многие факторы: генетические особенности сорта и его группа спелости, почвенно-климатические условия, дозы и виды удобрений, степень зрелости клубней, их размерные характеристики, технологии выращивания и др. [43, 50, 61, 62, 65, 80, 81, 88, 99, 106]. Влияние кремниевых обработок на качество клубней картофеля оценивалось и зарубежными коллегами. Так, в Польше такие обработки не влияли на содержание сухого вещества, общих сахаров и моносахаридов, белка, L-аскорбиновой кислоты и нитратов в молодых клубнях картофеля, но повышали содержание крахмала в условиях водного дефицита [168].

За годы проведенных нами исследований применение Si-агрохимиката положительно влияло на физиологические процессы листьев картофеля (рост, развитие и повышение водоудерживающей способности, содержания пластидных пигментов), что приводило к повышению биохимических показателей качества клубней (приложения 16-18).

5.1 Содержание сухого вещества, крахмала, витамина С, нитратов и редуцирующих сахаров в клубнях картофеля

Применение кремнийсодержащего препарата в 2020 году положительно влияло на повышение качества клубней. Содержание сухого вещества/крахмала на сорте Варяг в блоке вариантов с обработкой клубней было на 0,9-1,4/0,8-1,3% выше, а в блоке с некорневым опрыскиванием на уровне и немного выше (максимально на 0,6/0,5) необработанного контроля. Содержание витамина С и редуцирующих сахаров было ниже, а концентрация нитратов несущественно выше контроля.

Одновременная уборка как раннего, так и среднеспелого сорта, не способствовала раскрытию полного потенциала сорта Вымпел. Т.к. применение кремниевого препарата ускорило развитие надземной биомассы, то это же обстоятельство тормозило накопление крахмала среднеспелым сортом. В результате в вариантах с применением Si-препарата на сорте Вымпел содержание сухого вещества/крахмала не достигло уровня необработанного контроля, в то время как содержание витамина С и нитратов было немного выше или на уровне контроля. Концентрация редуцирующих сахаров снижалась.

В 2021 г. предпосадочная обработка клубней сорта Варяг способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,7-1,0/0,6-1,0%, некорневые опрыскивания – на 0,7-1,0/0,6-1,0%, относительно значений необработанного контроля. Содержание витамина С плавно возрастало на 0,1-1,8 мг% при повышении концентрации рабочего раствора с 0,2% до 1,0% при предпосадочной обработке клубней и снижалось до уровня контроля в варианте с максимальной дозой препарата. Опрыскивание растений сорта Варяг в дозах 0,8-1,2% способствовало повышению содержания витамина С до уровня контроля, и эти же дозы препарата приводили к снижению концентрации нитратов до контрольного. Содержание редуцирующих сахаров при некорневом опрыскивании Si-препаратом растений сорта Варяг повышалось до 0,27-0,32% в вариантах с низкими и средними дозами препарата (0,2-0,8%) и было на уровне контроля в вариантах с максимальными концентрациями препарата (1,0-1,2%). Предпосадочная обработка клубней вызывала повышение редуцирующих сахаров в мякоти клубней картофеля только в варианте с концентрацией 0,8%.

Предпосадочная обработка клубней сорта Вымпел в 2021 году способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,5-0,9/0,4-0,8%, некорневые опрыскивания концентрациями 0,4-0,8% – на 0,3-1,2/0,2-1,0%, относительно значений необработанного контроля. Тенденция к снижению крахмалистости клубней сорта Вымпел наблюдалась от опрыскивания концентрацией препарата 1,2%. Содержание витамина С и в блоке вариантов с предпосадочной обработкой клубней и в блоке с листовой обработкой было близко к контролю на – 15,9-16,9 мг% в

вариантах 0,4-1,2% концентрации раствора, а в варианте с низкой концентрацией (0,2%) и снижалось на 1,5-2,0 мг% соответственно. Все концентрации препарата приводили к снижению концентрации нитратов с 88 мг/кг (контроль) до 44-71 мг/кг соответственно способу обработки. Предпосадочная обработка клубней сорта Вымпел существенно снижала содержание редуцирующих сахаров, а некорневое опрыскивание различными дозами Si-препарата поддерживало его на уровне контроля.

В 2022 году предпосадочная обработка клубней сорта Варяг Si-препаратом способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,8-1,7/0,9-1,7%, некорневые опрыскивания – на 0,9-1,7/0,6-1,7%, относительно значений необработанного контроля. Содержание витамина С повышалось или имело тенденцию к повышению во всех вариантах опыта.

В 2022 году на сорте Вымпел содержание сухого вещества/крахмала не повышалось, за исключением вариантов с концентрацией 0,6%, где рост составил 0,4-0,6/0,1-0,4% соответственно способу применения. Содержание нитратов, витамина С были близки к контрольным цифрам. Редуцирующие сахара в целом снижались.

В среднем за три года по сорту Варяг при применении концентраций от 0,2 до 1,0% содержание сухого вещества/крахмала в клубнях повышалось на 1,0-1,3/1,0-1,2% при предпосадочной обработке клубней и на 0,7-1,0/0,6-1,0% – при некорневом опрыскивании (приложение 16, график 5.1.1). Высокая концентрация Si-агрохимиката (1,2%) в блоке с предпосадочной обработкой клубней сорта Вымпел не влияла на крахмалистость, а в блоке с некорневым опрыскиванием достоверно снижала содержание сухого вещества/крахмала. По витамину С яркой тенденции изменения содержания не прослеживалось. Содержание редуцирующих сахаров в клубнях сорта Варяг снижалось при обработке и клубней, и листьев всеми изученными концентрациями препарата (приложение 18).

Обработка сорта Вымпел кремнийсодержащим препаратом (в среднем за три года) практически не изменяла содержание сухого вещества/крахмала и витамина С. Только максимальные концентрации агрохимиката (1,2% по клубням и 1,0-1,2% по листьям в случае содержания сухого вещества/крахмала и 1,2% независимо от

способа обработки в случае содержания витамина С) привели к тенденции снижения этих показателей. Содержание редуцирующих сахаров в клубнях сорта Вымпел снижалось во всех вариантах обработок, кроме некорневого опрыскивания концентрацией 1,2% (приложение 18).

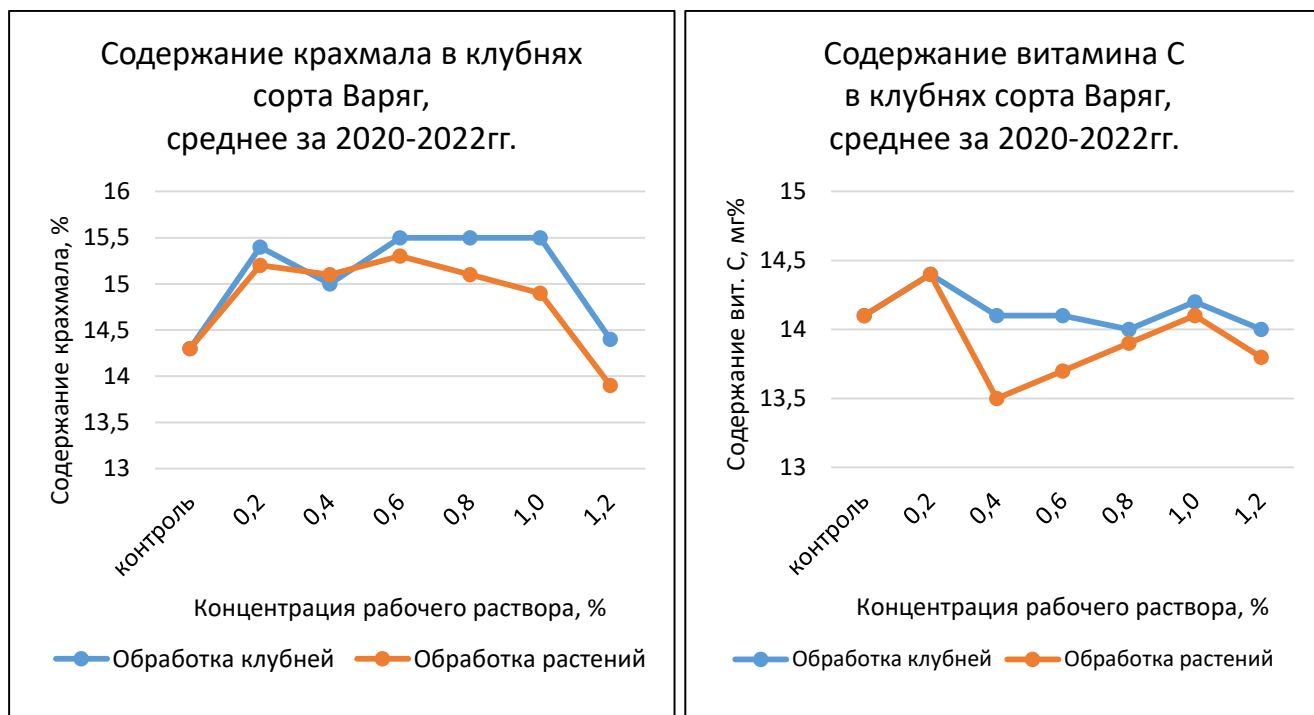


График 5.1.1 – Влияние обработок на биохимические показатели качества клубней картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 гг.

Тенденции в изменении биохимического состава клубней в зависимости от применения Si-препарата, проявившиеся на среднеспелом сорте Вымпел, были несколько иными.

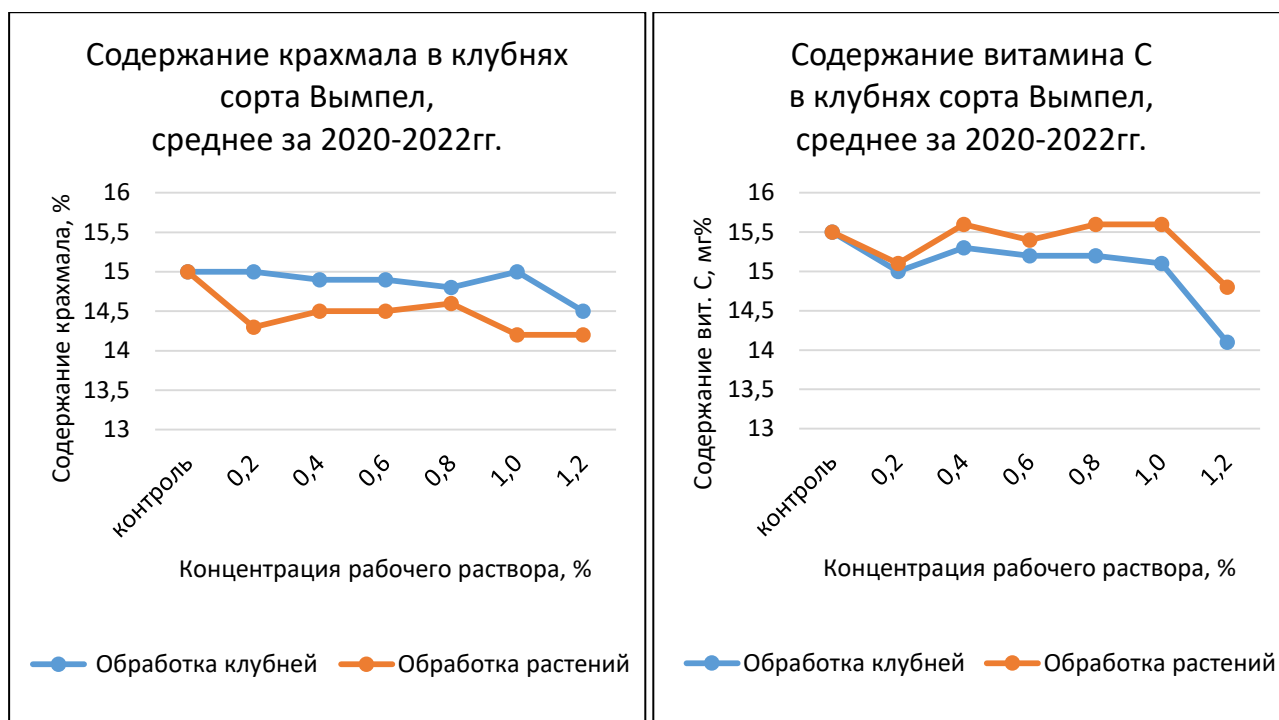


График 5.1.2 – Влияние обработок на биохимические показатели качества клубней картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 гг.

Ученым известно около 20 факторов, влияющих на поступление и накопление нитратов в растениях. Наиболее значимые из них это метеорологические условия, длина вегетационного периода, генетические особенности сорта, соотношение питательных элементов в почве и вносимых удобрениях. Большое влияние на содержание нитратов в растительной продукции оказывают условия минерального питания. Установлено, что повышенные несбалансированные дозы минеральных удобрений, особенно азотных, приводят к снижению качества продукции – уменьшению крахмала, ухудшению сохранности вследствие задержки созревания и накоплению в тканях минеральных форм азота. Применение избыточных доз азотных удобрений при несоблюдении прочих факторов (недостатке фосфора, калия, и микроэлементов, нарушении температурного режима, а также влажности почвы и воздуха) приводит к накоплению нитратов в продукции растениеводства [9, 39, 63, 79, 87, 97].

В среднем за годы исследований большее содержание нитратов было характерно для раннего сорта Варяг (от 106 до 129 мг/кг) и меньшее – для среднеспелого сорта Вымпел (от 44 до 60 мг/кг). В целом содержание нитратов в мякоти

клубней было ниже уровня ПДК (250 мг/кг), и практически, не изменялось под влиянием обработок (приложения 16-19).

Во всех вариантах аскорбат-нитратный индекс, представляющий из себя соотношение содержания аскорбиновой кислоты (мг/кг) к содержанию нитратов (мг/кг), был ниже 1, что является показателем пищевой безопасности продукции [165].

Выход биологически ценных веществ с единицы площади – основная характеристика картофеля при условии его выращивания для промышленной переработки на полуфабрикаты.

В результате повышения урожайности сорта Варяг на 2,3-13,7% и сорта Вымпел на 4,4-10,2%, а также товарности урожая в вариантах с применением кремний-содержащего удобрения повышался и выход питательно ценных компонентов (таблица 5.1.1).

Максимальный выход питательно ценных компонентов картофеля с единицы площади по сорту Варяг получен в вариантах 0,6-1,0% (по клубням)/ 0,4-1,0% (по ботве): сухого вещества 57,0-59,1 ц/га (или + 20,8-25,2%), крахмала 41,2-43,2 ц/га (или + 22,3-28,2%), витамина С 3,68-3,93 кг/га (или + 10,5-18,0%); по сорту Вымпел – в вариантах 0,4-0,8% (оба способа применения): сухого вещества 53,5-54,4 ц/га (или +8,1-9,9%), крахмала 38,4-39,2 ц/га (или +7,0-9,2%), витамина С 3,95-4,12 кг/га (или +6,7-11,3% к контролям).

Таблица 5.1.1 – Влияние обработок на выход питательно ценных компонентов картофеля с единицы площади, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожай клубней больше 30 мм, т/га	Выход с 1 гектара		
			сухого вещества, ц/га	крахмала, ц/га	витамина С, кг/га
сорт Варяг					
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		23,6	47,2	33,7	3,33
Обработка клубней	0,2%	24,3	51,3	37,4	3,50
	0,4%	26,9	55,7	40,3	3,79
	0,6%	27,7	58,7	42,9	3,90
	0,8%	27,9	59,1	43,2	3,91
	1,0%	27,7	58,7	42,9	3,93
	1,2%*	19,6/21,6	37,4/43,4	26,3/31,1	2,92/3,02
Обработка растений	0,2%	24,5	51,5	37,2	3,53
	0,4%	27,3	57,0	41,2	3,68
	0,6%	27,9	58,6	42,7	3,82
	0,8%	28,0	58,2	42,3	3,89
	1,0%	27,7	57,3	41,3	3,90
	1,2%*	19,6/22,3	37,4/43,9	26,3/31,0	2,92/3,43
сорт Вымпел					
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		23,9	49,5	35,9	3,70
Обработка клубней	0,2%	24,7	50,9	37,0	3,70
	0,4%	26,3	53,9	39,2	4,02
	0,6%	26,3	54,4	39,2	4,00
	0,8%	26,0	53,6	38,5	3,95
	1,0%	25,2	51,9	37,8	3,80
	1,2%*	22,5/22,2	45,0/45,1	32,6/32,2	3,30/3,13
Обработка растений	0,2%	25,3	50,9	36,2	3,82
	0,4%	26,5	54,1	38,4	4,13
	0,6%	26,5	53,5	38,4	4,08
	0,8%	26,4	53,6	38,5	4,12
	1,0%	26,4	52,0	37,5	4,12
	1,2%*	22,5/23,3	45,0/46,4	32,6/33,1	3,30/3,45

Примечание* в варианте 1,2% данные за два года: контроль/ экспериментальные данные

5.2 Кулинарная оценка клубней картофеля

Для продовольственного картофеля важными показателями являются: вкус варёных клубней, разваримость, устойчивость к потемнению мякоти (сырой и вареной). Эти показатели качества продовольственного картофеля определяют комплексную кулинарную оценку, зависящую от сорта картофеля, метеоусловий вегетационного периода, доз и видов применяемых удобрений (приложения 19, 20, таблица 5.2.1).

Одним из важнейших показателей высокого потребительского качества клубней является сохранение характерного для сорта цвета мякоти независимо от вида кулинарной обработки, поскольку изменение цвета сырых и вареных клубней картофеля негативно влияет на внешний вид конечного продукта, его привлекательность для покупателей. При варке очищенных клубней наблюдается, так называемое, неферментативное потемнение мякоти, связанное со взаимодействием хлорогеновой кислоты и железа [40, 62]. Потемнение мякоти сырого и вареного картофеля может быть вызвано рядом причин, в частности, избытком азота в почве и несбалансированностью его с калием, а также избытком меди и влаги [10, 140, 108].

Проведение комплексной кулинарной оценки клубней картофеля показало, что она зависела от сорта, метеоусловий вегетационного периода, концентраций и способов применения Si-препарата (приложения 19, 20, таблица 5.2.3).

По среднераннему сорту Варяг наибольшим суммарным баллом кулинарной оценки (24,0-27,3 балла) характеризовались свежесваренные клубни вариантов с применением 0,4-0,8% растворов Si-препарата как по клубням, так и по ботве: вкус выше среднего-хороший (6,5-7,3 балла); отсутствие потемнения вареной мякоти (через 24 часа) – 9 баллов и слабое потемнение сырой мякоти (5,7-6,7 балла), слабая разваримость клубней (2,3-4,3 балла), что выше NPK-контроля (20,7 балла).

Продукция среднеспелого сорта Вымпел во все годы исследований была вкуснее сорта Варяг с большей разваримостью и слабым потемнением вареной мякоти. Наибольший суммарный балл (23,6-25,5) по сорту Вымпел получен в вариан-

тах с 0,4-0,8% обработкой клубней: вкус хороший-отличный (7,3-8,2 балла), отсутствие потемнения вареной мякоти (через 24 часа) – 9 баллов и слабое потемнение сырой мякоти (4,3-5,2 балла), слабая разваримость клубней (2,3-4,0 балла) и в вариантах с 0,2-0,8% обработкой вегетирующих растений: вкус хороший (7,0-7,8 балла), отсутствие потемнения вареной мякоти (через 24 часа) – 9 баллов и слабое потемнение сырой мякоти (5,0-5,2 балла), слабая разваримость клубней (3,0-3,3 балла), что выше НРК-контроля (22,8 балла).

Таблица 5.2.1 – Влияние обработок на потребительские качества клубней картофеля в зависимости от доз и способов применения Si препарата, среднее за 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
НСР ₀₅		1,3	-	-	-	-

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

Выводы к главе 5: В среднем за три года предпосадочная обработка клубней сорта Варяг Si-препаратом в концентрациях от 0,2 до 1,0% способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала на 0,7-1,3/0,7-1,2%, в блоке вариантов с некорневыми опрыскиваниями в концентрациях от 0,2 до 1,0% содержание сухого вещества/крахмала не изменялось относительно значений необработанного контроля. Высокая концентрация Si-агрохимиката (1,2%) в блоке с предпосадочной обработкой клубней сорта Вымпел не влияла на крахмалистость, а в блоке с некорневым опрыскиванием достоверно снижала содержание сухого вещества/крахмала и приводила к тенденции снижения витамина С, в остальных вариантах применение Si-агрохимиката не оказывало влияние на содержание витамина С. По аскорбат-нитратному индексу, представляющему из себя соотношение содержания аскорбиновой кислоты (мг/кг) к концентрации нитратов (мг/кг), продукция во всех вариантах опыта характеризовалась как безопасная, т.к. индекс был ниже 1.

По среднераннему сорту Варяг наибольшим суммарным баллом кулинарной оценки (24,0-27,3 балла) характеризовалась продукция вариантов с применением 0,4-0,8% растворов Si-препарата как по клубням, так и по ботве, что выше НРК-контроля (20,7 балла). Наибольший суммарный балл (23,6-25,5) кулинарной оценки продукции сорта Вымпел получен в вариантах с 0,4-0,8% обработкой клубней/0,2-0,8% обработкой вегетирующих растений, что выше НРК-контроля (22,8 балла).

ГЛАВА 6 ЛЕЖКОСТЬ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ

Потребность в картофеле сохраняется круглый год. В связи с этим актуальным является подбор сортов, не теряющих свойства в течение периода хранения. Также важна проработка технологии выращивания и хранения картофеля, поскольку лежкость картофеля находится в прямой зависимости от агротехники выращивания и условий хранения. Лежкость продукции обусловлена сортовыми особенностями [65] и прямо коррелирует с качеством закладываемых на хранение клубней [40, 75]. Клубни картофеля после уборки с поля находятся в состоянии покоя, но являются живым организмом, которому свойственны естественные процессы жизнедеятельности с расходом запасов воды и энергии на дыхание и обмен веществ, вследствие этих процессов происходит естественная убыль массы. Основная доля естественной убыли (70-90%) приходится на испарение воды, поэтому при хранении наблюдается уменьшение содержания воды и относительное увеличение сухого вещества, но может наблюдаться и уменьшение содержания сухого вещества. Кроме того, во время хранения происходят потери части или всего клубня из-за механических повреждений, проявления и развития скрытых грибных и бактериальных инфекций – это всевозможные гнили [94].

Полностью сгнившие клубни (на 100%) – это абсолютная гниль; сгнившие частично (на 30-50%) – это техническая гниль, которую в некоторых хозяйствах используют на корм скотине. Размеры потерь массы картофеля связаны с условиями хранения и качеством клубней, заложенных на хранение. На качество клубней во время хранения, т.е. лежкость, влияют условия минерального питания. Наибольшие потери во время хранения наблюдаются при усиленном азотном и азотно-калийном питании. Клубни в этих случаях имеют низкие показатели качества: низкое содержание сухого вещества и крахмала, более высокое содержание редуцирующих сахаров и соотношение сахара/ моносахара, неокрепшую кожуру,

восприимчивую к инфекционным заболеваниям. Фосфор и калий способствуют повышению прочностных качеств клубней (прочность соединения кожицы с мякотью, коэффициент упругости и др.), а азот, как правило, оказывает обратное действие [60].

Известно, что кремний укрепляет клеточные стенки за счет усиления синтеза лигнина и суберина, и поскольку кожура картофеля состоит из этих компонентов, то возможен вклад кремния в улучшение качества кожуры, а значит и в улучшение товарности и лежкости клубней.

По данным израильских ученых, кожура клубней картофеля, удобренного силикатом натрия, отличалась изменением морфологии (площадь клеток кожуры была больше), а также высоким содержанием кремния и сухого вещества. В образцах, обработанных Si, наблюдали активацию генов биосинтеза суберина – стенки клеток кожи были обогащены окисленными ароматическими фрагментами, что свидетельствует об усилении лигнификации и суберизации. В мякоти клубней обработанных растений не было обнаружено кремния, равно как и изменений в сухом веществе [153, 155].

В наших исследованиях во все годы прослеживалась тенденция улучшения лёжкости продукции, полученной на вариантах применения Si-препарата, в процессе осенне-зимнего хранения. На лежкость картофеля влияли сортовые особенности, концентрации и способы применения препарата (приложения 21, 22).

В осенне-зимний сезон 2020/21 гг. выход здоровых клубней сорта Варяг в вариантах с обработкой клубней составил 89,9-92,5%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 90,1-92,1% при контроле – 88,8%. Общие отходы тоже снижались: максимально с 11,2% в контроле до 7,5-7,9% в вариантах с 0,8% концентрацией препарата, в основном за счет снижения естественной убыли массы (с 7,7% до 6,2-6,4%) и абсолютной гнили (до 0-0,3%).

Выход здоровых клубней сорта Вымпел в осенне-зимний сезон 2020/21 гг. в вариантах с обработкой клубней составил 89,1-93,7%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 90,3-94,1% при контроле – 87,9%. Общие отходы снижались с 12,1% в контроле до 5,9-7,1% в вариантах с 0,8% концентрацией препарата.

В следующем сезоне (2021/22 гг.) выход здоровых клубней сорта Варяг в вариантах с обработкой клубней составил 88,6-89,1%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 88,0-89,9% при контроле – 86,9%. При этом снижались общие отходы с 13,1% в контроле до 10,1-10,3% в вариантах с 0,8-1,0% концентрацией препарата, в основном за счет снижения естественной убыли массы (с 10,2% до 7,7%) и абсолютной гнили (до 0-0,6%).

Выход здоровых клубней сорта Вымпел в осенне-зимний сезон 2021/22 гг. в вариантах с обработкой клубней составил 85,7-90,6%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 87,1-89,8%, при контроле – 85,4%. В вариантах с 1,0 и 1,2% концентрациями препарата (независимо от способа обработки) общие отходы снижались заметнее остальных вариантов: с 14,6% в контроле до 9,4-10,7%, за счет снижения естественной убыли массы (с 9,7% до 7,5-8,2%), технической гнили (с 2,6% до 0,5-1,8%).

В осенне-зимний сезон 2022/23 гг. выход здоровых клубней сорта Варяг был самым высоким: в вариантах с обработкой клубней – 92,6-94,0%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 91,7-93,8% при контроле – 90,4%. Общие отходы снижались с 9,6% в контроле максимально до 6,1-6,0% в вариантах с 0,8-1,2% концентрацией препарата по клубням и до 6,2-6,5 – при концентрации 1,0-1,2% - по листу.

Выход здоровых клубней сорта Вымпел в осенне-зимний сезон 2022/23 гг. в вариантах с обработкой клубней составил 83,5-90,0%, в вариантах с фоллиарной обработкой – 84,7-89,0%, при контроле – 83,9%. В вариантах с 1,0-1,2% концентрацией препарата (при обработке клубней) общие отходы снижались с 16,1% в контроле до 10,0-10,7%, в основном за счет снижения технической гнили (с 8,7% до 1,1-1,9%). В блоке с фоллиарной обработкой в вариантах с 0,6-1,2% концентрацией препарата общие отходы снижались с 16,1% в контроле до 11,0-14,2%.

Во все сезоны хранения эффективность действия Si-препарата на лёжку сорта Вымпел была выше, чем на сорт Варяг.

Данные за три года хранения демонстрируют положительное действие кремния на лёжку картофеля (таблица 6, график 6).

Таблица 6 – Влияние обработок на выход здоровых клубней после хранения, среднее за три сезона хранения 2020/21-2022/23 гг.

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

Оно проявилось в снижение общих отходов (8,1-10,1% против 11,3% в контроле на сорте Варяг и 9,5-13,9% против 14,3% в контроле на сорте Вымпел). При этом большее снижение на каждом из сортов отмечено в вариантах с листовой обработкой. Амплитуда колебаний отходов по сорту Вымпел была больше, чем по сорту Варяг, следовательно, именно на лёжку сорта Вымпел внесение удобрения имело большее влияние.

Величины показателя технической гнили были достаточно близкими у контрольных и опытных вариантов. Но тем не менее можно говорить о некоторой тенденции ее снижения как на сорте Варяг, так и на сорте Вымпел.

Величина показателя абсолютной гнили значительно снижалась у сорта Варяг в зависимости от способа применения и концентрации. У сорта Вымпел было менее выраженное преимущество у опытных вариантов.

По количеству ростков не было отмечено влияние препарата. Можно только отметить, что в целом сорт Вымпел вел себя более нестабильно при хранении, что проявилось в более сильном прорастании клубней и в целом меньшему выходу здоровых клубней по сравнению с сортом Варяг.

Преимущество по величине выхода здоровых клубней после длительного хранения (сентябрь-апрель) имели дозы кремниевого препарата 0,6-1,0% независимо от способа применения. Дозировка в 1,2% оказывала влияние на уровне дозировки в 1,0% или даже меньше.

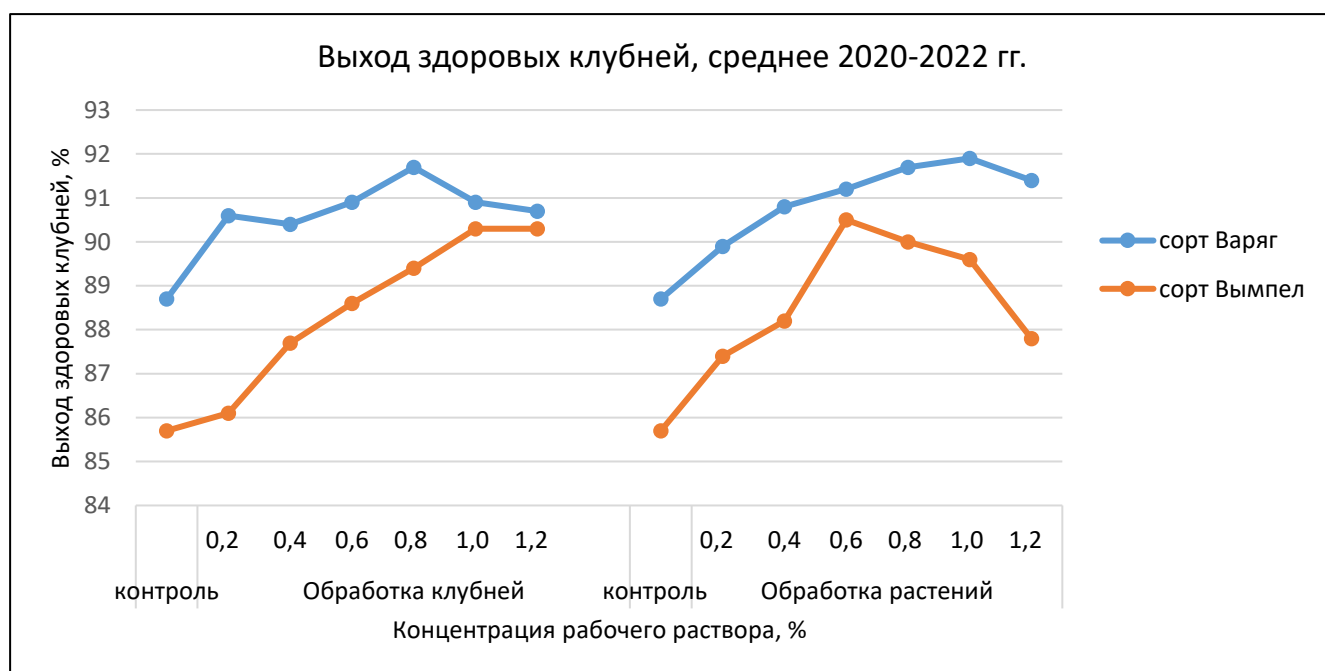


График 6 – Влияние обработок на выход товарных клубней, среднее за 2020-2022 гг.

ГЛАВА 7 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

1 мая 2022 г. на поле ООО «АПК «Александровский» (почва дерново-подзолистая среднесуглинистая) под вспашку Multi-Leader 8T KUNN разбрасывателем MXL 3000 1250 кг/га были внесены удобрения: калия хлористого – 350 кг/га, селитры аммиачной – 150 кг/га, диаммофоски – 600 кг/га, сульфата аммония – 150 кг/га (в сумме общий фон в д.в. составил $N_{140}P_{160}K_{360}$). Площадь участка для проведения производственной проверки эффективности Si-препарата составила 10 га. Предшественник – рапс масличный на семена.

Для производственного опыта из 13 вариантов основной схемы исследований был отобран вариант, демонстрирующий значительную прибавку урожайности – 0,4% рабочего раствора для двукратного некорневого опрыскивания (приложение 25).

Посадку картофеля сорта Мадейра (I репродукция) производили 11 мая в предварительно подготовленные гребни картофелесажалкой Midema СН-42 с роторным гребнеобразователем Baselier FK 380, схема посадки 30 x 90 см. Агротехника ухода за посадками картофеля была общепринятой для данной зоны. Орошение производилось с помощью оросительной системы кругового типа Reinhe 350. Оценка урожайности проводилась методом точечных копок 17 сентября 2022 г. Площадь 1 учетной точки – 10 м² (11,1 м x 0,9 м). Количество учетных точек на варианте – 4, со смещением по диагонали через 4 рядка. Для оценки качества картофеля брали объединённую пробу из 4-х точек. Валовую урожайность определяли путем пересчета на общую площадь.

Характеристика сорта Мадейра. Среднеспелый немецкий столовый сорт. Растение средней высоты, листового типа, полупрямостоячее. Лист среднего размера, промежуточный до открытого, зелёный. Клубень овальный с мелкими до средней глубины глазками. Кожура и мякоть жёлтая. Масса клубня 106-136 гр. Содержание крахмала 13,1-15,9%. Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематоде.

Опытный вариант включал двукратную листовую обработку посадок картофеля жидким препаратом Форрис (100 г/л SiO₂): в фазу полных всходов и через 3 недели после первой обработки. Опрыскивание осуществлялось штанговым опрыскивателем Сатро 3200. Дозировка препарата – 1,2 л/га. Расход рабочего раствора – 300 л/га. Соответственно концентрация рабочего раствора – 0,4%.

Результаты производственного опыта, полученные в условиях ООО «АПК «Александровский» Коломенского района Московской области на площади 10 га, подтверждают положительное действие некорневых подкормок Si-препаратом на урожайность картофеля, товарность клубней и показатели их качества (таблица 7.1 и 7.2, приложение 27).

Таблица 7.1 – Урожайность картофеля (сорт Мадейра) в зависимости от некорневых опрыскиваний, 2022г.

Вариант	Урожайность валовая, т/га	Прибавка		Товарность, %
		т/га	%	
N ₁₄₀ P ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	61,83	-	-	82,7
Фон + Форрис 0,4% (двукратно)	65,33	3,5	5,7	86,2

Таблица 7.2 – Показатели качества клубней картофеля (сорт Мадейра) в зависимости от некорневых опрыскиваний, 2022г.

Вариант	Содержание				Выход крахмала, ц/га
	крахмал, %	сухое вещ-во, %	нитраты, мг/кг	редуцирующие сахара, %	
N ₁₄₀ P ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	12,8	18,5	71	0,25	65,5
Фон + Форрис 0,4% (двукратно)	13,7	19,4	120	0,23	77,2

Урожайность картофеля на минеральном фоне в сочетании с двукратными некорневыми опрыскиваниями препаратом Форрис концентрации 0,4% была выше контроля на 5,7%. Увеличение товарности составило 3,5%. Содержание крахмала в варианте с некорневым опрыскиванием кремнийсодержащим препаратом повышало содержание крахмала и сухого вещества в клубнях на 0,9%. Содержание нитратов было выше в опытном варианте, но не превышало допустимых значений.

За счет роста показателей урожайности, товарности и содержания крахмала в опытном варианте выход крахмала с единицы площади вырос относительно контроля на 11,7%.

Была оценена рентабельность применения препарата (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Экономическая оценка применения препарата на картофеле, 2022г.

Вариант	Урожайность товарная, т/га	Стоимость дополнительной товарной продукции, тыс. руб./га	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный доход, тыс. руб./га
N ₁₄₀ P ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	51,13	-	-	-
Фон + Форрис 0,4% (двукратно)	54,18	45,75	7,21	38,54

*при цене реализации картофеля 15 руб./кг **, при розничной цене препарата – 900 руб./литр.

Полученные данные свидетельствуют об эффективности кремнийсодержащего препарата при некорневом применении на картофеле в производственных условиях. Общая прибыль от применения опрыскиваний препаратом Форрис на площади 10 га составила 385,4 тыс. руб.

В 2023 году производственные испытания кремнийсодержащего препарата были продолжены. 12 мая 2023 г. на полях КФХ «Ягудин Н.В.» Коломенского района Московской области (почва дерново-подзолистая среднесуглинистая) под обработку почвы на глубину 14-15 см вертикально-фрезерным культиватором РКЕ-400 внесено 563 кг/га сложного удобрения – нитроаммофоски (N 16– P 16 – K 16%) из расчета кг/га д.в. – N₉₀P₉₀K₉₀ (9,0 га и 7,0 га). Общая площадь производственного опыта составила 16 га (16 га + 1,0 га защита). Предшественник – рапс масличный на сидерат, запашка в фазу конец цветения (начало сентября 2022 г.).

Для производственного опыта из 13 вариантов основной схемы исследований были отобраны варианты с максимальной урожайностью в предыдущие годы (2020-2022 гг.). В результате схема производственного опыта сократилась до 3-х вариантов на двух сортах картофеля (таблица 8.4, приложение 26).

Посадку картофеля сортов Варяг и Аустин (I репродукции) проводили 23 мая 2023 г. сажалкой Nassia-СЛ-4 (4 x 75). Расположение вариантов систематическое; площадь одного варианта 2,3-3,0 га. Агротехника ухода за посадками картофеля была общепринятая для данной зоны. Учет урожая (01.09.2023 г.) проводили комбайном Мидема АВР-220Б с одновременным отбором проб картофеля с каждого варианта для фиксации урожайности, товарности и качества продукции (в 4-х кратной повторности с 13,3 м).

Характеристика сорта Варяг смотрите в главе 2, стр. 38.

Характеристика сорта Аустин. Среднеранний немецкий сорт, пригоден для производства чипсов. В Российский Государственный реестр внесен в 2020 году. Растение средней высоты до высокого, промежуточного типа, полупрямостоячее до раскидистого. Лист крупный, промежуточный до открытого, тёмно-зелёный. Венчик крупный до очень крупного размера. Интенсивность антоциановой окраски внутренней стороны венчика средняя до сильной. Клубень овально-округлый с глазками средней глубины. Кожура и мякоть жёлтые. Масса товарного клубня – 104-132 г. Урожайность – 16-44 т/га (51 т/га – max). Содержание крахмала – 16,0-18,0%. Вкус хороший и отличный. Товарность – 87-95%. Лёжкость – 95%. Сорт устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематоды, а также устойчив к морщинистой, полосчатой мозаике и скручиванию листьев.

Концентрация рабочих растворов препарата Форрис (100 г/л SiO₂): 1,2 л/га на 300 л воды (0,4% раствор), 1,8 л/га на 300 л воды (0,6% раствор), 2,4 л/га на 300 л воды (0,8% раствор) – опрыскивание ботвы: 1-я обработка в фазу полных всходов (12.06.23 – сорт Варяг и 16.06.23 сорт Аустин), 2-я – в фазу бутонизации (27.06.23 – сорт Варяг и 30.06.23 сорт Аустин).

Результаты производственного опыта, полученные в условиях КФХ «Ягудин Н.В.» Коломенского района Московской области на площади 16 га, подтверждают положительное действие некорневых подкормок Si-препаратом на урожайность сортов картофеля, товарность и содержание крахмала.

Урожайность картофеля обоих сортов на минеральном фоне в сочетании с двухкратными некорневыми опрыскиваниями препаратом Форрис в трех концентрациях (0,4, 0,6 и 0,8%) была выше соответствующих значений контроля (N₉₀P₉₀K₉₀) на 3,2-10,0% (сорт Варяг) и 5,4-8,7% (сорт Аустин). При обработках кремнийсодержащим препаратом увеличивалась товарность на 1,3-2,4% сорта Варяг и на 1,5-2,1% сорта Аустин. Некорневое опрыскивание кремнийсодержащим препаратом не снижало крахмалистость клубней (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Урожайность и качество картофеля в зависимости от некорневых опрыскиваний различными концентрациями препарата Форрис, 2023 г.

Варианты	Урожайность валовая, т/га	Прибавка к фону		Товарность, %	Крахмал, %	Выход крах- мала, ц/га
		т/га	%			
сорт Варяг						
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	33,0	-	-	87,3	12,9	37,1
Фон + Форрис 0,4%	35,0	2,0	3,2	88,0	13,0	40,0
Фон + Форрис 0,6%	36,1	3,1	9,4	88,6	13,1	41,9
Фон + Форрис 0,8%	36,3	3,3	10,0	89,7	12,8	41,7
сорт Аустин						
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	36,9	-	-	86,8	16,5	52,8
Фон + Форрис 0,4%	38,9	2,0	5,4	88,3	16,9	58,0
Фон + Форрис 0,6%	39,8	2,9	7,9	88,5	16,5	58,1
Фон + Форрис 0,8%	40,1	3,2	8,7	88,9	16,5	58,7
НСР ₀₅	1,8					

Если учесть, что за счет применения Si препарата повышалась урожайность и товарность картофеля, то применение минеральных удобрений в сочетании с Si приводило к увеличению выхода крахмала с единицы площади на 7,8-12,9% (на сорте Варяг) и на 9,8-11,2% (на сорте Аустин).

Условный доход на сорте Варяг от применения препарата Форрис в увеличивающихся концентрациях (0,4, 0,6 и 0,8%) составил 24,84-48,06 тыс. руб./га; на сорте Аустин – 29,07-44,64 тыс. руб./га (таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Экономическая эффективность некорневых обработок препаратом Форрис посадок картофеля в условиях КФХ «Ягудин Н.В.», 2023 г.

Варианты	Урожайность товарная, т/га	Стоимость доп. то- варной продукции, тыс. руб./га	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный до- ход, тыс. руб./га
сорт Варяг				
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	28,8	-	-	-
Фон + Форрис 0,4%	30,8	30,0	5,16	24,84
Фон + Форрис 0,6%	32,0	48,0	7,32	40,68
Фон + Форрис 0,8%	32,6	57,0	8,94	48,06
сорт Аустин				
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	32,0	-	-	-
Фон + Форрис 0,4%	34,3	34,5	5,43	29,07
Фон + Форрис 0,6%	35,2	48,0	7,32	40,68
Фон + Форрис 0,8%	35,6	53,4	8,76	44,64

*при цене реализации картофеля 15 руб./кг **, при розничной цене препарата – 900 руб./литр.

Результаты, полученные в производственном опыте на полях КФХ «Ягудин Н.В.» в 2023 году, подтверждают выводы диссертационной работы о существенном

и экономически значимом влиянии кремния в повышении продуктивности картофеля. Общая прибыль от применения опрыскиваний Si-препаратом двух сортов картофеля на площади 16 га составила – 340,7 тыс. руб. на сорте Варяг и 263,2 тыс. руб. на сорте Аустин.

Вывод к главе 7: для повышения продуктивности и агроэкологической устойчивости отечественных и зарубежных сортов картофеля различных групп спелости к неблагоприятным факторам среды для хозяйств всех форм собственности в условиях Нечерноземной зоны РФ **рекомендуется:**

– применение кремнийсодержащего агрохимиката (Форрис) в концентрациях 0,6-0,8% для предпосадочной обработки клубней;

– **или** двукратное некорневое опрыскивание в фазу полных всходов и фазу бутонизации с интервалом 15-20 дней 0,6-0,8% раствором кремнийсодержащего агрохимиката в утреннее или вечернее время суток.

ГЛАВА 8 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ

Экономическая эффективность рассчитывалась согласно «Методическим рекомендациям по определению годового экономического эффекта от использования НИР и ОКР в АПК» под редакцией Полунина Г.А. [59].

В расчётах использовались данные по урожайности картофеля с учётом фракционного состава, полученные на опыте в среднем за 2020-2022 годы. В основные технологические затраты входили затраты, связанные с обработкой почвы, посадкой картофеля, междурядными обработками, применением пестицидов, все операции учитывали по технологической карте (транспортировка, внесение в почву или некорневые опрыскивания). Основные технологические затраты были одинаковы для всех вариантов опыта (Приложения 23, 24). Была учтена стоимость Si-удобрения – 900 рублей/л.

Затраты на уборку и доработку дополнительной продукции включали – затраты по подготовке к уборке (скашивание ботвы), уборка технологическими средствами, перевозка с поля до хранилища, первичная переборка и загрузка в хранилище (согласно типовой технологической карты). Средняя цена реализации продовольственного картофеля [клубни двух фракций (> 60 мм) + (30-60 мм в диаметре)] за 2020-2022 годы составила 15,0 рублей/кг.

Расчёт экономической эффективности по результатам полевого опыта показал, что применение Si-агрохимиката в различных концентрациях двумя способами являлось экономически выгодным агроприёмом (таблицы 8.1, 8.2, приложения 23, 24).

В среднем за 2020-2022 гг. наиболее выигрышные экономические показатели производства среднераннего сорта картофеля Воряг получены в вариантах с применением 0,6-0,8% раствора Si-препарата по клубням: при дополнительных затратах 4,99-5,05 тыс. руб./га получена самая низкая себестоимость продукции – 5,89-5,91 руб./кг (против 6,78 руб./кг в контроле) и высокая окупаемость затрат – 11,8-

12,2, что обеспечило наибольший условный доход от полученного дополнительного урожая – 59,45-61,01 тыс. руб./га, при наибольшей рентабельности производства – 153-155%. В блоке с двукратным некорневым опрыскиванием изучаемым агрохимикатом в дозах 0,4-0,8% дополнительные затраты увеличились по сравнению с аналогичными концентрациями по клубням на 50-77%, в результате себестоимость в этих вариантах была выше – 6,03-6,07 руб./кг, а условный доход ниже – 49,69-57,07 тыс. руб./га, при повышающейся окупаемости 6,39→7,39→8,55 (от 0,8%→0,6%→0,4%) и рентабельности производства 147-149%, что также ниже на 4-6% аналогичных концентраций по клубням.

Таблица 8.1 – Влияние обработок на экономические показатели производства продовольственного картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный доход от дополнит. продукции, тыс. руб./га	Окупаемость затрат доп. продукцией	Себестоимость, руб./кг	Рентабельность, %
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		-	-	-	6,78	121
Обработка клубней	0,2%	1,37	9,13	6,66	6,64	126
	0,4%	3,86	45,64	11,82	6,09	146
	0,6%	4,99	61,01	12,23	5,89	155
	0,8%	5,05	59,45	11,77	5,91	153
	1,0%	5,01	56,49	11,27	5,96	152
	1,2%*	3,26	26,74	8,20	8,16/7,56	84/99
Обработка растений	0,2%	2,05	11,45	5,58	6,61	127
	0,4%	5,81	49,69	8,55	6,07	147
	0,6%	7,51	55,49	7,39	6,03	149
	0,8%	8,93	57,07	6,39	6,03	149
	1,0%	9,90	51,60	5,21	6,13	145
	1,2%*	9,79	29,21	2,98	8,16/7,65	84/96

Примечание* данные за два года (2021 и 2022 гг.): контроль/экспериментальные данные

На сорте Вымпел дополнительные затраты на вариантах с применением кремниевого препарата были ниже (1,46-8,46 тыс. руб./га, в среднем 4,35 тыс. руб./вариант), чем на сорте Варяг (1,37-9,90 тыс. руб./га, в среднем 5,63 тыс. руб./вариант) из-за более низких прибавок урожайности. Дополнительные затраты одного порядка (3,05-3,19 тыс. руб./га) получены от действия 0,4-0,8% концентрации по клубням, а наиболее высокие затраты (7,49-8,46 тыс. руб./га) в блоке с опрыскиванием растений 0,8-1,2% концентрацией.

Хорошие экономические 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 – 10,29-10,80, что обеспечило наибольший условный доход от полученного дополнительного урожая – 32,81-32,95 тыс. руб./га, при наибольшей рентабельности производства – 142%. В блоке с двукратным некорневым опрыскиванием изучаемым агрохимикатом в дозах 0,4-0,8% дополнительные затраты увеличились по сравнению с аналогичными концентрациями по клубням на 58-144%, в результате себестоимость в этих вариантах была выше – 6,22-6,27 руб./кг, а условный доход примерно на том же уровне что и в блоке с клубневой обработкой 0,4-0,8% раствором – 33,02-34,51 тыс. руб./га, при окупаемости 4,61-7,09 и практически той же рентабельности производства – 139-141%.

Таблица 8.2 – Влияние обработок на экономические показатели производства продовольственного картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный доход от дополнит. продукции, тыс. руб./га	Окупаемость затрат доп. продукцией	Себестоимость, руб./кг	Рентабельность, %
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		-	-	-	6,69	124
Обработка клубней	0,2%	1,46	10,54	7,22	6,51	129
	0,4%	3,05	32,95	10,80	6,18	142
	0,6%	3,19	32,81	10,29	6,18	142
	0,8%	3,07	28,43	9,26	6,25	139
	1,0%	2,49	17,01	6,83	6,43	133
	1,2%*	1,46	-1,46*	-1,00	7,11/7,28	-
Обработка растений	0,2%	2,50	18,50	7,40	6,42	133
	0,4%	4,82	34,18	7,09	6,22	141
	0,6%	5,98	33,02	5,52	6,26	139
	0,8%	7,49	34,51	4,61	6,27	139
	1,0%	8,46	29,04	3,43	6,38	135
	1,2%*	8,17	3,83*	0,47	7,11/7,22	108

Примечание* данные за два года (2021 и 2022 гг.): контроль/экспериментальные данные.

Выводы к главе 8: В среднем за 2020-2022 гг. 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 4,72-5,05 тыс. руб./га получена самая низкая себестоимость продукции – 5,91-5,95 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%.

Экономически значимые показатели производства среднеспелого сорта картофеля Вымпел получены в вариантах с применением 0,4-0,8% раствора Si-препарата по клубням: при дополнительных затратах 3,0-3,19 тыс. руб./га получена самая низкая себестоимость продукции – 6,18-6,25 руб./кг (против 6,69 руб./кг в контроле) и высокая окупаемость затрат – 9,3-10,8, что обеспечило наибольший условный доход от полученного дополнительного урожая – 32,95 тыс. руб./га, при наибольшей рентабельности производства – 142%. В блоке вариантов с двукратным некорневым опрыскиванием Si агрохимикатом в дозе 0,4-0,8% условный доход получен примерно на том же уровне, что и в аналогичных вариантах с обработкой клубней – 32-34 тыс. руб./га, при окупаемости 4,8-5,8 и практически той же рентабельностью производства 139%.

Средние прибавки урожайности двух сортов картофеля за 2022 и 2023 года – 10-12%, вызванные комбинированным применением препарата (по клубням и ботве), оказались сопоставимыми с прибавками, обусловленными применением дозирок 0,4 и 0,6% в среднем за 2020-2023 года, не зависимо от способа применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За годы исследований (2020-2023 гг.) получены научные результаты, подтверждающие значимый рост продуктивности картофеля от применения кремнийсодержащего препарата. Положительное действие Si-препарата 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 большую пластичность растений в стрессовых условиях.

Выявлены сортовые особенности по изучаемым показателям: накоплению пигментов, продуктивности, качеству, в т.ч. лежкости продукции. 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 кремнийсодержащий препарат проявлял сорт Варяг.

Установлено, что по комплексу хозяйственно ценных признаков для среднераннего сорта Варяг лучшими были варианты с 0,6-0,8% концентрациями Si-препарата как при обработке клубней, так и при двукратном некорневом опрыскивании ботвы, 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 были 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: на 6-9 см (сорт Варяг) и 8-12 см (сорт Вымпел). Обработки Si-препаратом клубней/растений в нарастающих 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 4,0-15,5% 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. В листьях картофеля установлены тенденции увеличения концентрации суммы хлорофиллов *a* и *b*, максимально до 1,760-1,790 мг/г (прибавка 11-13%) по сорту Варяг и до 1,499-1,513 мг/г (прибавка 13-14%) по сорту Вымпел при применении 0,6% концентрации препарата. Одновременно происходило снижение содержания каротиноидов 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. Способы применения и концентрации кремнийсодержащего агрохимиката влияли на структуру урожая сорта Варяг: товарность в среднем за 2020-2022 гг. 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 содержание сухого вещества, крахмала и витамина С.

7. 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 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 0,4-0,8% обработкой клубней/или 0,2-0,8% обработкой вегетирующих растений.

8. Максимальный выход питательных веществ с одного гектара по сорту Варяг получен в вариантах 0,6-1,0% (по клубням)/ 0,4-1,0% (по ботве): сухого вещества – 57-59 ц (или + 21-25%), крахмала – 41-43 ц (или + 22-28%), витамина С – 3,7-3,9 кг (или + 10-18%); по сорту Вымпел – в вариантах 0,4-0,8% (оба способа применения): сухого вещества – 53-54 ц (или + 8-10%), крахмала – 38-39 ц (или +7-9%), витамина С – 3,9-4,1 кг (или +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 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 в засушливые 2021-2022 годы на сорте Варяг в вариантах с обработкой клубней/растений до 6,6-7,6 / 4,5-6,7% (контроль 8,5%); на сорте Вымпел также с обработкой клубней/растений зафиксировано снижение до 4,3-7,0 / 6,1-7,3% (контроль 7,9%) соответственно.

11. Установлено положительное действие кремнийсодержащего агрохимиката на лежкость продукции, заключающееся в снижении общих отходов при хранении, в том числе естественной убыли заложенной массы клубней, абсолютной и технической гнили. Преимущество по величине выхода здоровых клубней по сорту Варяг (90,7-91,9%) и по сорту Вымпел (88,6-90,5%) после длительного хранения имели дозы препарата 0,6-1,2% независимо от способа применения.

12. Наилучшие экономические показатели производства среднераннего сорта картофеля Варяг (за 2020-2022 гг.) 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 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% себестоимость продукции составила 6,05-6,10 руб./кг, условный доход 48,81-56,52 тыс. руб./га, при окупаемости 6,0-7,3 и рентабельности 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 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% себестоимость продукции составила 6,25-6,29 руб./кг, условный доход 32,3-34,0 тыс. руб./га, при окупаемости 4,2-5,8 и рентабельности производства 138-140%.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для повышения урожайности отечественных сортов картофеля различных групп спелости на 10-15%, экономической эффективности производства и их агроэкологической устойчивости к неблагоприятным факторам среды для хозяйств всех форм собственности в условиях Центрального региона РФ рекомендуется:

– применение жидкого кремнийсодержащего агрохимиката (100 г/л SiO₂) в концентрациях 0,6-0,8% для предпосадочной обработки клубней. Расход агрохимиката – 60-80 мл/10л воды, расход раб. раствора – 10,0 л/т.

– **или** двукратное некорневое опрыскивание в фазу полных всходов и фазу бутонизации-начало цветения 0,6-0,8% раствором кремнийсодержащего агрохимиката (100 г/л SiO₂) в утреннее или вечернее время суток. Расход агрохимиката – 60-80 мл/10л воды, расход раб. 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, необходимо проконтролировать 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 формы жидких кремнийсодержащих препаратов и вопросы совместимости с наиболее часто применяемыми действующими веществами средств защиты картофеля и удобрениями в баковых смесях.
3. Изучить влияние обработки клубней различных сортов картофеля кремнийсодержащими препаратами перед закладкой на хранение на выход здоровой продукции весной.
4. Расширить изучение вопросов управления процессами формирования урожая и качества продукции за счет агроклиматических ресурсов и технологических приемов возделывания в биологизированном земледелии.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкиева Е. Г. Картофель и его культура. – М, Колос. – 1988. – 253с.
2. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. под ред. П. М. Смирнова, Э. А. Муравина / М.: Колос. – 1984. – 304 с.
3. Аминова, Е.В. Оптимизация применения нанокремния на *Solanum tuberosum* L. / Е.В. Аминова, А.А. Мушинский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5 (79). – ч. 1. – С. 116-118.
4. Андрианова, Ю.Е., Тарчевский, И.А. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю.Е. Андрианова, И.А. Тарчевский // М.: Наука. – 2000. – 135 с.
5. Базилевич, Н.И. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин, Н.Н. Розов // Ресурсы биосферы. – 1975. – № 1. – С. 5–33.
6. Бацанов Н.С. Повышение продуктивности растения картофеля / Н.С. Бацанов // М. – 1969. – С. 16-17.
7. Безручко Е.В. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля / Е.В. Безручко, Л.С. Федотова // Агрохимия, 2021. – № 8. – С. 70-81. DOI: 10.31857/S0002188121080032.
8. Бочарникова, Е.А. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения / Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // Агрохимия. – 2011. – № 7. – С. 84-96.
9. Бутов, А.В. Биохимические показатели и нитраты в период хранения картофеля при современных приемах возделывания / А. В. Бутов, А. А. Мандрова // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 1. – С. 127-134. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-1-127-134.
10. Власюк, П.А. Химический состав картофеля и пути улучшения его качества / П.А. Власюк, Н.Е. Власенко, В.Н. Мицко; Под общ. ред. П.А. Власюка // Киев: Наукова думка, 1979. – 195 с.
11. Влияние аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, Морфометрические и физиологические показатели овощных культур / Е.В.

Немцова, А.В. Харин, И.А. Разлуга, Т.П. Выхорь // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 21. – № 2. – 2019. – С. 95-100.

12. Влияние кремнийсодержащей породы на сохранность картофеля / Е.А. Прищепенко, Г.Ф. Рахманова, И.А. Дегтярева, В.В. Сидоров // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2022. – №2. – С. 197-200.

13. Влияние кремнийсодержащих препаратов на агрохимические свойства почвы и урожайность картофеля / Е.А. Яшин, Т.П. Алексеева, А.М. Неъматов // Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием «Кремний и жизнь. Кремний и кремнистые породы в сельском хозяйстве», Ульяновск. – 2021. – С. 153-160.

14. Влияние экстремальных условий жары и засухи на формирование урожая и показатели качества картофеля/ Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Кравченко А.В., Князева Е.В. // В сб. материалов научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы инновационного развития картофелеводства». Чебоксары, 2011. – С. 123-128.

15. Возделывание картофеля в сельскохозяйственных предприятиях и хозяйствах населения: Практик. руководство / Всерос. НИИ картофел. хоз-ва им. А.Г. Лорха и др. – М., 2005 (ПИК ВИНТИ). – 110 с.; ISBN 5-901282-10-8.

16. Возделывание картофеля с использованием минеральных удобрений на основе цеолита / С.В. Жевора [и др.] // International Agricultural Journal. – 2018. – № 4 (364). – С. 44-47. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-14061.

17. Гайнутдинов, М.Т. Продуктивность раннеспелого картофеля сорта Удача при внесении различных доз цеолита на фоне минеральных удобрений / М.Т. Гайнутдинов, П.А. Чекмарев, В.П. Владимиров // Достижения науки и техники АПК. 2014. – Т. 28. – № 11. – С. 40-43.

18. Гончаров, В. Д. Прогноз производства картофеля в России / В. Д. Гончаров, С. Г. Сальников // Инвестиции в России. – 2019. – № 9. – С. 25-31.

19. ГОСТ 26107-84 Почвы. Методы определения общего азота. Дата введения 1984-03-02 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/12/12784.htm>.

20. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Дата введения: 1993-07-01 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/10/10397.htm>

21. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. Дата введения: 1993-07-01 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/10/10564.htm>.

22. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Дата введения: 1986-07-01 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/29/29278.htm>.

23. ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Дата введения: 1986-07-01 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/20/20177.htm>.

24. ГОСТ 26832-86 Картофель свежий для переработки на продукты питания. Технические условия. Дата введения: 1987.06.01 / Межгосударственный стандарт. <https://internet-law.ru/gosts/gost/28938>

25. ГОСТ 27821-2020 Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. Дата введения: 2022-01-01/ Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

26. ГОСТ 28268-89 Почвы Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Дата введения: 1990-06-01 / Межгосударственный стандарт. <https://gost.ruscable.ru/Index/2/2095.htm>.

27. ГОСТ 29270-95 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов. Дата введения: 1997-01-01/ Межгосударственный стандарт. <https://gost.ruscable.ru/Index/9/9240.htm>.

28. ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

29. ГОСТ 33996-2016 Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. Дата введения: 2018-01-01 / Межгосударственный стандарт. <https://internet-law.ru/gosts/gost/63695>

30. ГОСТ 7176-2017 Картофель производственный. Технические условия. Дата введения: 2018-07-01 / Межгосударственный стандарт <https://gostassistant.ru/doc/5189d581-2ed9-448b-8832-bbb578cdf889>.

31. ГОСТ 7194-81 Картофель свежий. Правила приемки и методы определения качества. Дата введения: 1982-06-01 / Государственный стандарт Союза ССР. <https://gost.ruscable.ru/Index/22/22549.htm>.

32. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Дата введения: 2013-01-01 / Национальный стандарт Российской Федерации. <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>.

33. Дабахова, Е.В. Изучение кремнийсодержащих препаратов / Е.В. Дабахова, Н.В. Забегалов // Агрехимический вестник. – 2011. – № 2. – С. 26-28.

34. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат. – 1985. – 336 с.

35. Известкование почв / Е. В. Козловский [и др.] – Москва : Колос, 1983. – 286 с.

36. Итоговый доклад о результатах деятельности Минсельхоза России за 2021 год. Текст : электронный URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/aed/aed85b58433e872aa1848ad211ced148.pdf> (дата обращения 20.08.2022).

37. Калинина, А.В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы / А.В. Калинина, С.В. Лящева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 2(2).

38. Картофелеводство России: состояние и перспективы в новых условиях / Е.А. Симаков [и др.] // Картофель и овощи. 2021. – №4. – С. 3-6. DOI: 10.25630/PAV.2022.80.38.001.

39. Койка С.А., Нитраты и нитриты в продукции растениеводства / С.А. Койка, В.Т. Скоринов // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство. – 2008. – № 3. – С. 58-63.

40. Колядко, И.И. Картофель / И.И. Колядко. – Минск: Красико-Принт, 2007. – 64 с.
41. Комплексная система защиты картофеля от болезней, вредителей и сорняков (практическое руководство). М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1995г. – 68 с.
42. Коршунов, А.В. Управление урожаем и качеством картофеля / А.В. Коршунов. М.: ВНИИКХ – 2001. – 369 с.
43. Кочетков, Г. Г. Урожайность и качество клубней картофеля в зависимости от севооборота, удобрений и обработки почвы / Г. Г. Кочетков, Л. Б. Ильина // Агрфон и агротехника. — В сб. науч. трудов НИИСХЦРНЗ, М.: 1992. – С. 142-151.
44. Кошкин, Е. И. Частная физиология полевых культур / Кошкин Е. И., Гатаулина Г. Г., Дьяков А. Б. // Москва: КолосС. – 2013. – 344 с. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
45. Кремнийсодержащие микроудобрения в повышении устойчивости растений к действию стрессовых факторов / Г.Г. Панова [и др.] // Агрофизика. – 2012. – № 3 (7). – С. 31-40.
46. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. –Ульяновск, Издательство Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2013. – 176 с.
47. Куренкова, С. В. Хлорофилльный индекс как показатель аккумуляции углерода и продуктивности фитоценозов / С.В. Куренкова // 4 съезд Общества физиологов растений России Международной конференции: Физиология растений – наука 3-го тысячелетия. – Москва. – 1999. – Т. 1.
48. Кучко, А.А., Власенко, М.Ю., Мицько, В.М. Физиология и биохимия картофеля // Киев: Довира. – 1998. – 335 с.
49. Ладыгин, В. Г. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова // Журнал общей биологии. – 2006. – 67. – С. 163-189.

50. Личко, Н. М. Урожайность и качество картофеля в зависимости от условий выращивания / Н. М. Личко, В. В. Латушкин, О. В. Крылова // Известия ТСХА. – 1999. – выпуск 4. – С. 44-52.

51. Лобода, Б.П. Влияние удобрения на основе цеолитсодержащих трепелов хотынецкого месторождения на урожайность и качество картофеля / Б.П. Лобода, В.Р. Багдасаров, Д.Д. Фицуру // Агрехимия. –2014. – № 3. – С. 28-35.

52. Лобода, Б.П. Инновационные технологии применения природных кремнийсодержащих удобрений при производстве картофеля / Б.П. Лобода, К.Л. Попов // Актуальные проблемы современной индустрии производства картофеля. Конференция Катрофель-2010. Чебоксары. – 2010. – С. 138-140.

53. Лорх, А.Г. Динамика накопления урожая картофеля / А. Г. Лорх. // Москва: Сельхозгиз. –1948. – 192 с.

54. Магницкий К.П. Магниеые удобрения / К.П. Магницкий // Москва: Колос – 1967. – 200 с.

55. Малина, Р.Б. Морфо-физиологическая адаптация листьев персика сорта Коллинс к стрессовым факторам природного характера / Р.Б. Малина, Г.В. Шишкану, Н.В. Титова // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всерос. науч. конф. – М.-Берлин: Директ-Медиа, – 2015. – С. 147-149.

56. Матыченков, В.В. Определение доступного растениям кремния в почвах / В.В. Матыченков, Е. А. Бочарникова, Я.М. Аммосова // Агрехимия. – 1997. – № 1. – С. 76-80.

57. Матыченков, В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение: специальность 03.00.12 «Физиология и биохимия растений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Матыченков Владимир Викторович; Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук. – Пушкино, 2008. – 34 с. Место защиты: Институт фундаментальных проблем биологии РАН.

58. Методика проведения агротехнических опытов, учётов, наблюдений и анализов на картофеле / Жевора С.В. Федотова Л. С., Старовойтов В. И. [и др.] // МОСКВА: ФГБНУ ВНИИКХ, 2019. – 120 с. Текст: непосредственный.

59. Методические рекомендации по определению экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе / Г. А. Полунин, А. В. Гарист, Р. И. Князева. – М.: АНО «НИЦПО», 2007. – 32 с.

60. Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению / К.А. Пшеченков [и др.] // Москва: ВНИИКХ, 2008. – 39 с. 8.

61. Мокроносков, А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма / А.Т. Мокроносков // 42-е Тимирязевское чтение. – М.: Наука, – 1983. – 64 с.

62. Молявко, А.А. Экологически безопасное удобрение картофеля и пригодность клубней для картофелепродуктов / А.А. Молявко. Брянск, 1997. – 139 с.

63. Мязин Н.Г. Применение удобрений и проблема накопления нитратов в продукции растениеводства: Лекция для студентов агрохим. факультета/ Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки. – Воронеж: ВГАУ, 1992. – 22 с.

64. Определение факторов, влияющих на накопление биохимических веществ в клубнях продовольственного картофеля / Сердюков В.А. [и др.] // Картофелеводство. – 2021. – 29(1). – С. 119-127. DOI: 10.47612/0134-9740-2021-29-119-127.

65. Оценка клубней сортов картофеля на содержание редуцирующих сахаров и лежкость / Д.И. Волков, И.В. Ким, А.А. Гисюк, А.Г. Клыков // Дальневосточный аграрный вестник. – 2021. – №1 (57). – С. 5-13.

66. Пасько О.А. Зависимость урожайности картофеля от погодных условий / О.А. Пасько // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 1. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-56-61.

67. Писарев, Б. А. Книга о картофеле / Б.А. Писарев, д-р с.-х. наук. – Москва: Моск. рабочий, 1977. – 232 с.

68. Платонова, Н.Б. Фотосинтетические пигменты, как элемент формирования адаптивности растений чая / Н. Б. Платонова, О.Г. Белоус // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71) – № 3. – Р. 76-84.

69. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин [и др.] // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

70. Пузырьков, П.Е. Силиплант в технологии выращивания картофеля / П.Е. Пузырьков, Л.А. Дорожкина, Н.А. Сальников // Объединенный сборник материалов научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы инновационного развития картофелеводства». – Чебоксары: КУП Чувашской республики «Агро-Инновации». – 2011. – С. 151-153.

71. Пшеченков, К.А., Мальцев С.В. Методические указания по технологии хранения различных сортов картофеля // М.: Россельхозакадемия, ВНИИКХ, 2010. 30 с.

72. Реестр селекционных достижений – Текст: электронный. – URL: <https://gossortrf.ru> (дата обращения 20.09.2022).

73. Романенко Г.А. Земельные ресурсы России, эффективность их использования / Г.А. Романенко, Н.В. Комова, А.И. Тютюнникова // Москва: Россельхозакадемия, – 1996. – 306 с.

74. Руководство по методам контроля качества и безопасности БАД к пище (Метод И.К. Мурри) / Руководство Р 4.1.1672-03. М. – 2004. – С. 72.

75. Рылко, В.А. Влияние условий хранения семенных клубней картофеля на их лежкость и продуктивные свойства / В.А. Рылко // Вестник БГСХА. – 2018. – №1. – С. 50-55.

76. Связь между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала и урожайностью озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при повышенных температурах / Г.А. Прядкина, О.О. Стасик, Л.Н. Михальская, В.В. Швартау // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 5. – С. 88-95. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.5.88rus.

77. Смирнова Ю.Д. Применение кремне-гуминовых препаратов при возделывании картофеля / Ю. Д. Смирнова, Н.В. Фомичева, А.А. Кашкова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 4. – С. 59-62. DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/4/59-62>.

78. Содержание фотосинтетических пигментов как косвенный признак устойчивости сортов картофеля к высоким температурам воздуха и недостаточному увлажнению / А.Л. Бакунов, А.В. Милехин, С.Л. Рубцов, С.Н. Шевченко // Известия Самарской Государственной Сельскохозяйственной Академии. – Том 5. – № 2. – 2020. – С. 8-13.

79. Сопильняк, Н.Т. Удобрения и качество продукции / Н.Т. Сопильняк, Л.С. Федотова // Картофель и овощи. – 1987. – № 5. – С. 18-19.

80. Спиридонов, А.М. Влияние технологии возделывания на пригодность картофеля к переработке / А.М. Спиридонов, П.М. Бронштейн, А.И. Рачеева // NovaInfo. 2021. – № 122. – С. 30-32.

81. Тимошина, Н.А. Урожайность сортов картофеля различных сроков созревания и качество клубней в зависимости от применения макро- и микроэлементов / Н.А. Тимошина, Л.С. Федотова, Е.В. Князева // Земледелие. – 2015. – № 6. – С.40-43.

82. Третьяков, Н.Н., Кошкин, Е.И., Макрушин, Н.М. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин // М.: Колос. – 2000. – 640 с. – ISBN 5-10-002915-3. 31

83. Тютерева, Е.В. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор) / Е.В. Тютерева, В.А. Дмитриева, О.В. Войцеховская // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – 52(5). – С. 843-855. DOI: [10.15389/agrobiology.2017.5.843rus](https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.843rus).

84. Урожайность картофеля в зависимости от пластичности сорта и гидротермического коэффициента / Л.Н. Ульяненко, А.С. Филипас, П.С. Семешкина, Т.А. Амелюшкина // Плодородие. – 2011. – № 6. – С. 41-42.

85. Уроки засухи в картофелеводстве / А.В. Коршунов, Л.Н. Кутовенко, Ю.Н. Лысенко, Р.Л. Рахимов // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №3.

86. ФАО Всемирный сельскохозяйственный центр, данные сельскохозяйственной статистики. World Agricultural Centre, FAOSTAT agricultural statistic database gateway. – Текст электронный // URL: <http://faostat3.fao.org> (дата обращения 20.08.2022).

87. Федотова, Л. С. Нитраты в картофеле как показатель минерального питания и зрелости продукции / Л.С. Федотова, Н.А. Тимошина // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 8. – С. 11-13.

88. Федотова, Л.С. Продуктивность картофеля в зависимости от применения микробиологических удобрений / Л.С. Федотова, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева // Картофелеводство. – 2016. – 24(1). – С. 312-321.

89. Фотосинтез и продукционный процесс: [Сб. ст. / Редкол.: А. Т. Мокроносов (отв. ред.) и др.]. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та. – 1988. – 179 с.

90. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах: Методы и задачи учета в связи с формированием урожаев / Акад. наук СССР. Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева // А. А. Ничипорович [и др.] – М: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. – 135 с.

91. Фридланд, В.М. Индексы и определения почвенных горизонтов / В.М. Фридланд // Почвоведение. – 1982. – № 12. – С. 122-130.

92. Фридланд, В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работ по ее созданию / В.М. Фридланд // М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – 1982. – 149 с.

93. Чекмарев В.В. Погодные условия, сложившиеся в Тамбовской области в 2019-2021 годах и урожайность картофеля / В.В. Чекмарев, Н.Н. Дубровская // Сборник статей XLVI международной научно-практической конференции Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», – 2022. – 288 с.

94. Шпаар, Д. Картофель (возделывание, уборка, хранение) / Д. Шпаар, А. Быкин, Д. Дрегер // Минск: ЧУП "Орех" изд. 3-е, дораб. и дополн. – 2004. – 465 с.

95. Экспорт картофеля из России – Текст : электронный // URL: <https://vegrus.ru/page/eksport-kartofelya-iz-rossii> (дата обращения 20.08.2022).

96. Эффективность последствий осенней обработки клубней при выращивании картофеля / Г.Л. Белов [и др.] // Защита картофеля. – 2020. – № 2. – С.10-13.
97. Эффективность применения различных форм нитроаммофосок, азотных и водорастворимых NPK- удобрений при возделывании картофеля / Федотова Л.С., М.М. Визирская, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 65. – № 2 (386). – С. 200-204.
98. Abas, Shah M. Bio-efficacy of potassium silicate against aphids and whitefly in potato / M. Abas Shah, S. Sharma, J. Sharma // 2019. – Potato Journal. – 46(2). – P. 132-137.
99. Aien, A. Photosynthetic Characteristics of Potato Cultivars Grown under High Temperature / A. Aien, S. Khetarpal, M. Pal // American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. – 2011. – 11 (5) – P. 633-639.
100. Antifungal Activity of Sodium Silicate on *Fusarium sulphureum* and Its Effect on Dry Rot of Potato Tubers / Y. Li [et al] // Journal of Food Science. – 2009. – Vol. 74. – № 5. – P. 213-218. – DOI: 10.1111/j.1750-3841.2009.01154. x.
101. Artyszak, A. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality – A Literature Review in Europe/ A. Artyszak // Plants. – 2018. – Vol. 7. – № 3. – 54. – DOI: 10.3390/plants7030054.
102. Assis, F.A. Effects of diatomaceous earth on *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) in potato / F.A. Assis, J.C. Moraes, A.M. Nascimento // Ciência e Agrotecnologia. – 2011. – Vol. 35. – № 3. – P. 482-486. – DOI: 10.1590/S1413-70542011000300007.
103. Bent, E. Silicon solutions. Helping plants to help themselves / Bent, E. // Book. Sestante Edizioni, Italy. – 2014. – 184 p.
104. Berthelsen, S. Improving yield and ccs in sugarcane through the application of silicon based amendments / S. Berthelsen, A. D. Noble, A.L. Garside // SRDC Project CLW009. – 2003.
105. Berthelsen, S. Silicon research down under: past, present and future. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H. and Korndorfer, G.H. (eds) / Silicon in Agriculture. – 2001. – P. 241-255.

106. Chemical composition of potato tubers: the effect of cultivars and growth conditions / M. Leonel, E. L. do Carmo, A. M. Fernandes [et al] // *Food Sci Technol.* – 2017. – Vol. 54. – P. 2372-2378. DOI:10.1007/s13197-017-2677-6.
107. Dantoff, L.E. *Silicon in Agriculture* / L.E. Dantoff, G.H. Snyder, G.H. Korndorfer // Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. – 2001.
108. Discoloration of Raw and Cooked Potatoes: Fundamentals of Nature, Mechanisms, Causes, Measurements, and Controls / R. Hussain, Sanabil, X. Huali [et al] // *American Journal of Potato Research* – 2022. – V. 99 (4). – P. 307.
109. Effects of nano and ionized silicon on physiological and biochemical characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.) / B. Saadatian [et al] // 2021. – DOI:10.21203/rs.3.rs-781426/v1.
110. Effect of potassium silicate alone or mixed with fungicides on the control of late blight on potato / Silva, H. S. D. [et al] // *Summa phytopathol.* – 2008 – Vol. 34. – № 1. – P. 68-70.
111. Effect of Potassium Silicate on Tuber Yield and Biochemical Constituents of Potato Plants Grown Under Drought Stress Conditions. / H.G. Abd El-Gawad, [et al] // *Middle East Journal of Agriculture Research.* – 2017. – Vol. 6. – № 3. – P. 718-731.
112. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato / C.A.C. Crusciol [et al] // *Crop Science.* – 2009. – Vol. 49. – P. 949-954.
113. Effects of silicon application at nano and micro scales on the growth and nutrient uptake of potato minitubers (*Solanum tuberosum* var. Agria) in greenhouse conditions / M. Soltani [et al] // *BioNanoScience.* – 2018. – Vol. 8. – P. 218-228. –DOI: 10.1007/s12668-017-0467-2.
114. Enhancing Climate Resilience of Rain-Fed Potato Through Legume Intercropping and Silicon Application // S. Nyawade [et al] // *Food Syst.* – 2020. – DOI: 10.3389/fsufs.2020.566345.
115. Epstein, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev.* / E. Epstein // *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999. – 50. – P. 641-664. – DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.

116. Evaluation of Photosynthetic and Yield Traits in Ten Potato Clones and Cultivars Under Farming Conditions in Poland / A.J. Keutgen, N. Keutgen, E. Wszelaczyńska [et al]. *Potato Res.* – 2020. – 63. – P. 75-95. – DOI:10.1007/s11540-019-09429-w.
117. Fang, J.Y. Effect of silicon on the growth of test-tube potato plantlets and the cell wall formation / J.Y. Fang, X.L. Ma // *Acta Agron. Sinica.* – 2006. – Vol. 32. – № 1. – P. 152-154.
118. Foliar or Soil Applications of Silicon Alleviate Water-Deficit Stress of Potato Plants / C. Pilon [et al] // *Crop Ecology & Physiology.* – 2014 – Vol. 106. – № 6. – P. 2325–2334. – DOI.org/10.2134/agronj14.0176.
119. Gascho, G.J. Silicon sources for Agriculture. In – *Silicon in Agriculture* (Eds Datnoff, L.E., Snyder, G.H. and Korndorfer, G.H.) // Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands 173. – 2001.
120. Growth of potato genotypes under different silicon concentrations. / A.O.S. Dorneles, [et al] // *Adv. Hort. Sci.* – 2018. – 32. – P. 289-295.
121. Gomes, F.B. Fertilization with silicon as resistance factor to pest insects and promoter of productivity in the potato crop in an organic system / F.B. Gomes, J.C. Moraes, D.K.P. Neri // *Ciênc. agrotec.* – 2009. – Vol. 33. – № 1. – P. 18-23.
122. Gomes, F.B. Silicon and imidacloprid on plants colonized by *Myzus persicae* and on vegetative development of potato / F.B. Gomes, J.C. Moraes, G.A. Assis // *Ciência Rural, Santa Maria.* – 2008. – Vol. 38. – № 5. – P. 1209-1213.
123. Gonçalves, M.V. Arquitetura de planta, teores de clorofila e produtividade de batata, cv. Atlantic, sob doses de silicato de potássio via foliar. –2009. – 51 p.
124. Gowayed, S.M.H. Improving the Salinity Tolerance in Potato (*Solanum tuberosum*) by Exogenous Application of Silicon Dioxide Nanoparticles / S.M.H. Gowayed, H.S. Al-Zahrani, E.M.R. Metwali // *International Journal of Agriculture & Biology.* – 2017. – Vol. 19. – P. 183-194. – DOI: 10.17957/IJAB/15.0262.
125. Gundappa, K.G. Effect of diatomite as a silicon source on growth, yield and quality of potato / K.G. Gundappa, R.B. Rudresha, B.N. Prakash // *Materials of 7-th International Conference on Silicon in Agriculture.* – 2017. – P. 136.

126. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility / Daymi Camejo [et al] // *Journal of Plant Physiology*. – 2005. – Vol. 162(3):281-9. – DOI:10.1016/j.jplph.2004.07.014.
127. High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility / Cui L.J. [et al] // *Botanical Studies* – 2006. – Vol. 47 – №1 – P. 61-69. Ibrahim, N.M.
128. Effect of Spraying Some Organic and Inorganic Components on Improving Yield and Tuber Quality of Potato Plants during Late Winter Season. / N.M. Ibrahim, H.M. Ashour // *Nature and Science*. – 2017. – Vol. 15, № 10, P. 27-33. – DOI:10.7537/marsnsj151017.04.
129. Effects of prolonged restriction in water supply and spraying with potassium silicate on growth and productivity of potato / S. H. Mahmoud [et al] // *Plant Archives*. – 2019. – Vol. 19. – № 2. – P. 2585-2595.
130. Inducers of resistance in potato and its effects on defoliators and predatory insects / F.A. Assis [et al] // *Revista Colombiana de Entomología*. – 2012. – Vol. 38. – № 1. – P. 30-34.
131. Inhibitory effects of potassium silicate on five soil-borne phytopathogenic fungi in vitro. Hemmwirkung von Kaliumsilikat auf fünf bodenbürtige pflanzenpathogene Pilze in vitro / G.-H. Shen [et al] // *Journal of Plant Diseases and Protection*. – 2010 – Vol. 117. – № 4. – P. 180-184.
132. In-vitro inhibition of mycelial growth of several phytopathogenic fungi by soluble potassium silicate. / T. Bekker [et al] // *South African Journal of Plant and Soil*. – 2006. – Vol. 23. – № 3. – P. 169-172. – DOI: 10.1080/02571862.2006. 10634750.
133. Kamp, L. Gebruik van Siliciumzuur in de akkerbouw / L. Kamp (2014). // *In Silicon Solutions – Helping Plants to Help Themselves*; ed. Bent E. – 2014 – P. 37.
134. Khan, M.A. Impact of ortho silicic Acid formulation on yield and disease incidence of potatoes / M.A. Khan, V. Goya, N. Jain // *Materials of 7-th International Conference on Silicon in Agriculture*. – 2017 – P. 137.

135. Laane, H.M. (2017). The effects of the application of foliar sprays with stabilized silicic acid: An overview of the results from 2003-2014 / H.M. Laane // *Silicon*. – 2017. – Vol. 9. – P. 803-807.
136. Lebedeva G. Use of lignosilicon to improve the harvest and quality parameters of potato / G. Lebedeva [et al.] // *Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. – 2011. – T. 2. – C. 282-286.
137. Li, Y. Postharvest sodium silicate treatment induces resistance in potato against *Fusarium sulphureum* / Y. Li, Y. Bi // *Acta horticulturae*. – 2010. – 877(877). – P. 1675-1681. – DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.877.230.
138. Merwe, J.J. The effects of effect of silicon-amended soil on the phenolic content of potato tubers infected with *Pectobacterium Carotovorum* subsp. *Brasiliensis* / J.J. Merwe, J.E. Waals, J.H. Waals // *Materials of 4-th International Conference on Silicon in Agriculture Conference*. – 2008. – P.103.
139. Millard, C.P. Greenhouse evolution of effect of silicon soil applications for control of verticillium wilt of potatoes / C.P. Millard, Waals // *Materials of 4-th International Conference on Silicon in Agriculture*. – 2008. – P. 73.
140. Mondy N. Influence of nitrogen fertilization on potato discoloration in relation to chemical / Mondy N., Koch R. // *J. Agr. FoodChem*. – 1978. – № 3. – P. 666-669.
141. Muir, S. (2001). Plant available Silicon as a protectant against fungal diseases in soil-less Potting Media. Horticultural research and Development Corporation, Project number NY97046.
142. Nxumalo, N.N. The in vitro and in vivo effects of silicon on fusarium wilt on potatoe / N.N. Nxumalo, C.K Wairuri, Waals // *Materials of 4-th International Conference on Silicon in Agriculture*. – 2008 – P. 82.
143. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants / R.P. Soratto [et al.] // *Journal of Plant Nutrition*. – 2018. – Vol. 42. – № 3. – P. 218-233. – DOI: 10.1080/01904167.2018.1554072.
144. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants / M. J. Hodson [et al.] // *Ann. Bot.* – 2005. – 96. – P.1027–1046.

145. Pilon, C. Effects of Soil and Foliar Application of Soluble Silicon on Mineral Nutrition, Gas Exchange, and Growth of Potato Plants / C. Pilon, R.P. Soratto, L.A. Moreno // *Crop Sci.* – 2013. – Vol. 53. – P. 1605-1614. – DOI: 10.2135/crop-sci2012.10.0580.
146. Potato in the age of biotechnology / E. Mullins [et al] // *Trends in Plant Science.* – 2006. – Vol. 11. – № 5, – P. 254-260. – DOI.org/10.1016/j.tplants.2006. 03.002.
147. Potato response to silicone compounds (micro- and nanoparticles) and potassium as affected by salinity stress / M. Kafi [et al.] // *Ital. J. Agron.* – 2019. – Vol. 14. – P. 162-169.
148. Prentice, P. The benefits of silicon fertilizer for sustainably increasing crop productivity. / P. Prentice, R. Crooks. // *Materials of 5-th International Conference on Silicon in Agriculture Conference.* – 2011. – P. 152.
149. Reynolds, M. Photosynthesis at High Temperature in Tuber-Bearing Solanum Species : A Comparison between Accessions of Contrasting Heat Tolerance / M. Reynolds, E. E. Ewing, T. G. Owens // *Plant Physiol.* – 1990. – Vol. 93. – № 2:791-7. DOI: 10.1104/pp.93.2.791.
150. Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions / M. Wang [et al.] // *Front Plant Sci.* – 2017. – Vol. 8:701. – DOI: 10.3389/fpls.2017.00701.
151. Seome, D.G., Application of silicon to improve yield and quality of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) Dissertation (MInst(Agrar) University of Pretoria, 2013.
152. Seome, D.G., Waals, J.H., Marais, D. Potato production as influenced by soil applications of silicon. / *Materials of 4-th International Conference on Silicon in Agriculture Conference.* – 2008. – P. 92.
153. Silica fertilization of potato to improve tuber quality under changing climate / I. Ginzberg [et al] // *Materials of 19-th Triennial Conference of the European Association for Potato Research* – 2014. – Vol. S16. – P. 90.
154. Silicate and limestone effects on potato nutrition, yield and quality under drought stress / A.L. Pulz [et al.] // *R. Bras. Ci. Solo.* – 2008. – 32. – P. 1651-1659. (In Portuguese).

155. Silicon fertilization of potato: Expression of putative transporters and tuber skin quality / V.K.R. Vulavala [et al.] // *Planta*. – 2016. – Vol. 243. – № 1. – P. 217-229. – DOI: 10.1007/s00425-015-2401-6.
156. Silicon-mediated accumulation of flavenoid phytoalexins in cucumber / A. Fawe [et al.] // *Phytopathology*. – 1998. – Vol. 88. – P. 396-401. – DOI: 10.1094/PHYTO.1998.88.5.396.
157. Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth / O.S. Dorneles [et al.] // *Ciência Rural, Santa Maria*. – 2016. – V. 46. – №.3. – P. 506-512. DOI:10.1590/0103-8478cr20150585.
158. Silva, V. F. Influence of silicon on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops / V. F. Silva, J. C. Moraes, B. A. Melo // *Ciênc. agrotec.* – 2010. – Vol. 34. – № 6. – P. 1465-1469.
159. Soil Applications of Calcium Silicate Slag and the Effects on Soil pH, Crop Yield and Quality of Corn, Potatoes, Tomatoes and Cucumbers Grown in Michigan Soils / P. McGinnity, C. Benke, J. Fenslau [et al.] // *Materials of 8th International Conference on Silicon in Agriculture*. – 2022. – P. 51.
160. The effect of silicate on potatoes in minas gerais / J.M.Q Luz [et al.] // *Materials of 4-th International Conference on Silicon in Agriculture*. 2008. – P. 68.
161. The Study of Potassium Silicate effects on Qualitative and Quantitative Performance of Potato (*Solanum tuberosum* L.) / Sh. Talebi [et al.] // *Biological Forum – An International Journal*. – 2015. – 7(2). – P. 1021-1026.
162. Tolerance in Potato Plants Subjected to Salinity / A.W.M. Mahmoud [et al.] // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10. – № 19. – DOI:10.3390/agronomy10010019.
163. Trawczyński, C. The effect of foliar fertilization with Herbagreen on potato yielding / C. Trawczyński // *Ziemi. Polski*. – 2013. – Vol. 2. – P. 29-33
164. Use of silicon the inductor of the resistance in potato to *Myzus persicae* (Sulzer) (*Hemiptera: Aphididae*) / Gomes, F.B. [et al.] // *Neotrop. Entomol.* – 2008. – Vol. 37. – № 2. – P. 185-190.

165. Wadas W. Assessment of the nutritional safety of new potatoes imported to Poland using an ascorbate-nitrate index / W. Wadas, J. Raczuk // *Rocz Panstw Zakl Hig.* – 2018. – 69(3). – P. 243-249.
166. Wadas, W. Effect of Silicon on Micronutrient Content in New Potato Tubers W. Wadas, T. Kondraciuk // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2023 – 24(13):10578. –DOI: 10.3390/ijms241310578
167. Wadas W. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth in Response to Foliar Silicon Application / W. Wadas // *Agronomy.* – 2021. – 11(12): 2423. DOI: 10.3390/agronomy11122423.
168. Wadas W. Nutritional Value and Sensory Quality of New Potatoes in Response to Silicon Application / W. Wadas // *Agriculture, MDPI/* – 2023. – Vol. 13(3). – P. 1-11.
169. Wang J.J. Alkali-Enhanced Biochar as a Soil Amendment for Providing Plant Available Si/ J.J. Wang, M. Wang // *Materials of 8th International Conference on Silicon in Agriculture.* – 2022. – P. 59.
170. Wróbel, S. 2012. Effects of fertilization of potato cultivar Jelly with foliar fertilizers YaraVita. *Biul. IHAR.* 266. P. 295-305.
171. Yield, tuber quality, and disease incidence on potato crop as affected by silicon leaf application/ R.P. Surratt [et al.] // *Pesq. agropec. bras.* – 2012. – Vol. 47. – № 7. – P. 1000-1006. – DOI: 10.1590/S0100-204X2012000700017.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Влияние обработок на биомассу ботвы и товарной фракции клубней (в пересчете на сухое вещество) картофеля и ассимиляционную поверхность листьев, сорт Варяг 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней, т/га						Масса ботвы, т/га			Площадь листьев, тыс. м ² /га		
		товарный урожай			в пересчете на сух. в-во			2020	2021	2022	2020	2021	2022
		2020	2021	2022	2020	2021	2022						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		31,4	16,1	23,2	6,8	2,8	4,9	20,2	14,9	16,3	30,6	22,6	24,6
Обработка клубней	0,2%	32,4	16,8	23,6	7,5	2,0	5,2	21,1	15,0	16,7	32,0	23,6	25,2
	0,4%	36,3	20,0	24,7	8,3	3,6	5,5	21,8	16,1	17,0	33,0	24,4	25,8
	0,6%	37,4	21,7	26,0	8,5	3,9	5,9	22,7	16,8	17,7	34,4	25,4	26,8
	0,8%	38,4	21,7	24,8	8,9	3,9	5,7	24,2	17,3	18,2	36,6	27,1	27,6
	1,0%	38,3	20,9	24,0	8,8	3,7	5,4	24,3	17,2	18,2	36,8	26,0	27,6
	1,2%	-	20,0	23,0	-	3,6	5,1	-	16,9	18,4	-	25,8	27,8
Обработка растений	0,2%	34,5	15,9	23,4	7,7	2,9	5,3	21,6	15,2	16,9	32,8	23,0	25,6
	0,4%	39,8	18,6	24,0	8,8	3,3	5,4	23,4	16,0	17,0	35,4	24,2	25,8
	0,6%	38,8	19,7	25,0	8,7	3,5	5,7	23,5	17,0	17,7	35,6	26,4	26,8
	0,8%	38,6	20,0	25,7	8,5	3,6	5,8	24,5	17,4	18,3	37,0	26,4	27,6
	1,0%	37,9	19,3	25,7	8,3	3,5	5,7	24,2	17,0	18,8	36,6	26,2	28,4
	1,2%	-	19,3	25,7	-	3,5	5,4	-	16,8	18,6	-	25,4	28,2
НСР05								1,72	1,45	1,80	1,2	1,2	1,1

Приложение 2 – Влияние обработок на биомассу ботвы и товарной фракции клубней (в пересчете на сухое вещество) картофеля и ассимиляционную поверхность листьев сорт Вымпел, 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней, т/га						Масса ботвы, т/га			Площадь листьев, тыс. м2/га		
		товарный урожай			в пересчете на сух. в-во			2020	2021	2022	2020	2021	2022
		2020	2021	2022	2020	2021	2022						
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		26,5	20,4	24,7	5,8	3,8	5,3	21,3	16,7	17,0	32,2	24,8	25,8
Обработка клубней	0,2%	27,5	21,3	25,5	5,8	4,1	5,5	22,3	17,2	17,4	33,8	26,0	26,4
	0,4%	29,2	22,7	26,9	6,0	4,3	5,8	23,0	18,0	17,8	34,8	27,2	27,0
	0,6%	29,4	22,3	27,5	6,1	4,3	6,1	24,0	18,2	18,1	36,4	27,3	27,4
	0,8%	29,7	21,6	26,9	6,2	4,1	5,9	24,2	18,3	18,9	36,6	27,8	28,6
	1,0%	30,3	19,7	25,9	6,4	3,7	5,6	24,8	17,8	19,2	37,6	27,0	29,0
	1,2%	-	19,2	25,1	-	3,6	5,4	-	17,8	19,0	-	27,0	28,8
Обработка растений	0,2%	28,3	21,7	26,2	5,7	4,0	5,6	22,6	17,3	17,6	34,2	26,2	26,8
	0,4%	31,0	22,0	26,7	6,1	4,3	5,8	23,3	17,7	17,7	35,4	26,8	27,0
	0,6%	31,2	21,2	27,0	6,1	4,0	6,0	24,4	18,0	18,1	37,0	27,2	27,4
	0,8%	31,9	21,1	27,5	6,3	4,0	6,0	24,8	18,1	19,2	37,6	27,4	29,2
	1,0%	31,9	19,3	28,5	6,2	3,5	6,2	25,0	18,5	19,6	38,0	28,0	29,6
	1,2%	-	19,2	27,6	-	3,5	6,0	-	18,4	19,4	-	27,8	29,4
НСР05								1,68	1,33	1,60	1,0	0,8	0,9

Приложение 3 – Влияние обработок на фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), индекс листовой поверхности (ИЛП) и окупаемость ФП урожайностью картофеля сорта Варяг, среднее за 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
				2020	2021	2022	среднее	
Контроль – фон N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀		1,85	2,56	3,06	2,26	2,46	2,59	14,0
Обработка клубней	0,2%	1,91	2,68	3,20	2,36	2,52	2,69	13,9
	0,4%	1,98	2,87	3,30	2,44	2,58	2,77	14,4
	0,6%	2,06	2,91	3,44	2,54	2,68	2,89	14,4
	0,8%	2,18	2,78	3,66	2,71	2,76	3,04	13,5
	1,0%	2,16	2,70	3,68	2,60	2,76	3,01	13,6
	1,2%*	1,7/1,93	2,27/2,25	-	2,58	2,78	2,36/2,68	12,8/12,3
Обработка растений	0,2%	1,94	2,66	3,28	2,30	2,56	2,71	13,7
	0,4%	2,03	2,78	3,54	2,42	2,58	2,85	14,2
	0,6%	2,10	2,78	3,56	2,64	2,68	2,96	14,0
	0,8%	2,17	2,70	3,70	2,64	2,76	3,03	13,8
	1,0%	2,17	2,63	3,66	2,62	2,84	3,04	13,5
	1,2%*	1,7/1,93	2,27/2,30	-	2,54	2,82	2,36/2,68	12,8/12,3

Примечание *данные за два года (2021 и 2022 гг.): контроль/экспериментальные данные

Приложение 4 – Влияние обработок на фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), индекс листовой поверхности (ИЛП) и окупаемость ФП урожайностью картофеля сорта Вымпел, среднее за 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
				2020	2021	2022	среднее	
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,98	2,52	3,22	2,48	2,58	2,76	12,8
Обработка клубней	0,2%	2,06	2,51	3,38	2,60	2,64	2,87	12,9
	0,4%	2,12	2,55	3,48	2,72	2,70	2,97	13,1
	0,6%	2,17	2,56	3,64	2,73	2,74	3,04	12,9
	0,8%	2,22	2,44	3,66	2,78	2,86	3,10	12,5
	1,0%	2,23	2,34	3,76	2,70	2,90	3,12	11,9
	1,2%*	1,82/2,01	2,51/2,24	-	2,70	2,88	2,53/2,79	13,3/11,9
Обработка растений	0,2%	2,08	2,47	3,42	2,62	2,68	2,91	13,0
	0,4%	2,12	2,57	3,54	2,68	2,70	2,97	13,2
	0,6%	2,19	2,50	3,70	2,72	2,74	3,05	13,0
	0,8%	2,24	2,43	3,76	2,74	2,92	3,14	12,7
	1,0%	2,28	2,34	3,80	2,80	2,96	3,19	12,3
	1,2%*	1,82/2,06	2,51/2,31	-	2,78	2,94	2,53/2,86	13,3/12,3

Примечание *данные за два года (2021 и 2022 гг.): контроль/экспериментальные данные

Приложение 5 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г	<i>a+b</i> , мг/г	<i>a/b</i>	Σ каротиноидов, мг/г	Σхл/Σкарот
сорт Варяг							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,542	0,376	1,919	4,10	0,321	5,97
Обработка клубней	0,2%	1,628	0,397	2,025	4,10	0,310	6,54
	0,6%	1,751	0,464	2,215	3,77	0,313	7,09
	1,0%	1,601	0,412	2,012	3,89	0,287	7,01
Обработка растений	0,2%	1,643	0,411	2,054	4,00	0,306	6,70
	0,6%	1,835	0,463	2,298	3,97	0,307	7,49
	1,0%	1,721	0,435	2,157	3,95	0,300	7,19
Сорт Вымпел							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,228	0,280	1,507	4,39	0,267	5,64
Обработка клубней	0,2%	1,368	0,326	1,694	4,19	0,260	6,52
	0,6%	1,453	0,347	1,800	4,19	0,255	7,06
	1,0%	1,414	0,335	1,748	4,22	0,250	7,00
Обработка растений	0,2%	1,346	0,316	1,662	4,26	0,245	6,79
	0,6%	1,450	0,360	1,810	4,03	0,243	7,46
	1,0%	1,415	0,357	1,771	3,97	0,244	7,27

Приложение 6 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г	<i>a+b</i> , мг/г	<i>a/b</i>	Σ каротиноидов, мг/г	Σхл/Σкарот
сорт Варяг							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,206	0,263	1,470	4,58	0,263	5,58
Обработка клубней	0,2%	1,266	0,302	1,568	4,19	0,252	6,23
	0,6%	1,306	0,337	1,643	3,88	0,232	7,08
	1,0%	1,286	0,427	1,713	3,01	0,230	7,45
	1,2%	1,284	0,432	1,717	2,97	0,229	7,50
Обработка растений	0,2%	1,272	0,278	1,549	4,57	0,257	6,03
	0,6%	1,314	0,300	1,614	4,39	0,240	6,73
	1,0%	1,333	0,347	1,680	3,84	0,230	7,30
	1,2%	1,351	0,396	1,746	3,42	0,239	7,31
сорт Вымпел							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,022	0,179	1,201	5,72	0,230	5,21
Обработка клубней	0,2%	1,169	0,264	1,433	4,44	0,225	6,36
	0,6%	1,172	0,251	1,423	4,68	0,210	6,78
	1,0%	1,147	0,237	1,385	4,84	0,211	6,56
	1,2%	1,082	0,206	1,288	5,26	0,218	5,90
Обработка растений	0,2%	1,155	0,221	1,375	5,23	0,221	6,21
	0,6%	1,120	0,248	1,368	4,53	0,207	6,62
	1,0%	1,138	0,169	1,307	6,74	0,223	5,87
	1,2%	1,139	0,164	1,303	6,96	0,224	5,83

Приложение 7 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля, 2022 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г	<i>a+b</i> , мг/г	<i>a/b</i>	Σ каротиноидов, мг/г	Σхл/Σкарот
сорт Варяг							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,189	0,175	1,364	6,81	0,163	8,37
Обработка клубней	0,2%	1,206	0,211	1,416	5,73	0,161	8,82
	0,6%	1,211	0,212	1,423	5,72	0,160	8,87
	1,0%	1,211	0,221	1,432	5,48	0,151	9,49
	1,2%	1,186	0,212	1,398	5,58	0,160	8,74
Обработка растений	0,2%	1,188	0,177	1,365	6,71	0,160	8,54
	0,6%	1,246	0,212	1,458	5,88	0,149	9,79
	1,0%	1,246	0,213	1,459	5,85	0,147	9,95
	1,2%	1,186	0,190	1,376	6,24	0,153	9,02
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% раст.	1,212	0,209	1,421	5,789	0,152	9,36
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	1,214	0,231	1,445	5,266	0,149	9,70
сорт Вымпел							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,093	0,173	1,267	6,30	0,161	7,89
Обработка клубней	0,2%	1,111	0,190	1,300	5,85	0,158	8,23
	0,6%	1,107	0,210	1,317	5,27	0,153	8,62
	1,0%	1,109	0,214	1,324	5,18	0,154	8,59
	1,2%	1,108	0,222	1,330	4,99	0,158	8,44
Обработка растений	0,2%	1,109	0,199	1,307	5,58	0,159	8,21
	0,6%	1,109	0,210	1,319	5,29	0,153	8,61
	1,0%	1,113	0,218	1,331	5,12	0,154	8,65
	1,2%	1,104	0,217	1,321	5,09	0,154	8,56
Комбинированная обработка	0,4% клуб.+ 0,4% раст.	1,109	0,215	1,323	5,17	0,154	8,61
	0,6% клуб.+ 0,6% раст.	1,115	0,211	1,326	5,28	0,150	8,84

Приложение 8 – Влияние обработок на содержание пластидных пигментов в листьях картофеля, среднее 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г	<i>a+b</i> , мг/г	<i>a/b</i>	Σ каротиноидов, мг/г	Σхл/Σкарот
сорт Варяг							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,312	0,271	1,584	5,2	0,249	6,6
Обработка клубней	0,2%	1,367	0,303	1,670	4,7	0,241	7,2
	0,6%	1,423	0,338	1,760	4,5	0,235	7,7
	1,0%	1,366	0,353	1,719	4,1	0,223	8,0
	1,2%*	1,198/1,235	0,219/0,322	1,417/1,558	5,70/4,3	0,213/0,195	7,0/8,1
Обработка растений	0,2%	1,368	0,289	1,656	5,1	0,241	7,1
	0,6%	1,465	0,325	1,790	4,7	0,232	8,0
	1,0%	1,433	0,328	1,765	4,5	0,226	8,1
	1,2%*	1,198/1,269	0,219/0,293	1,417/1,561	5,70/4,8	0,213/0,196	7,0/8,2
сорт Вымпел							
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		1,114	0,211	1,325	5,5	0,219	6,2
Обработка клубней	0,2%	1,216	0,260	1,476	4,8	0,214	7,0
	0,6%	1,244	0,269	1,513	4,7	0,206	7,5
	1,0%	1,223	0,262	1,486	4,7	0,205	7,4
	1,2%*	1,058/1,095	0,176/0,214	1,234/1,309	6,01/5,1	0,196/0,188	6,6/7,2
Обработка растений	0,2%	1,203	0,242	1,448	5,0	0,208	7,1
	0,6%	1,226	0,273	1,499	4,6	0,201	7,6
	1,0%	1,215	0,279	1,494	4,5	0,201	7,6
	1,2%*	1,058/1,112	0,176/0,236	1,234/1,347	6,01/4,7	0,196/0,184	6,6/7,5

Примечание *данные за два года (2021 и 2022 гг.): контроль/экспериментальные данные

Приложение 8А – Урожайность картофеля по повторениям с математической обработкой, 2020 год

Факторы		Повторения			
		1	2	3	
Варяг	Клубни	0	36,1	37,0	33,4
		0,2	37,4	35,6	36,5
		0,4	39,4	38,1	38,7
		0,6	37,6	42,2	39,9
		0,8	40,3	41,5	40,0
		1	41,0	40,7	40,4
	Ботва	0	36,1	37,0	33,4
		0,2	36,1	39,6	37,7
		0,4	41,6	42,5	42,5
		0,6	41,7	42,1	42,2
		0,8	41,3	41,8	42,0
		1	41,1	40,3	41,3
Вымпел	Клубни	0	27,5	27,3	27,7
		0,2	27,8	29,0	27,9
		0,4	28,7	30,1	30,9
		0,6	30,4	29,7	29,9
		0,8	31,2	29,7	30,3
		1	30,8	30,2	31,7
	Ботва	0	27,5	27,3	27,7
		0,2	28,6	30,6	29,6
		0,4	31,0	32,8	31,9
		0,6	31,2	33,4	32,3
		0,8	33,0	32,2	32,6
		1	31,5	33,6	33,0

Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Общее	1840	71				100
Повторений	5,16	2				0,280
Вариантов	1789	23	77,80	79,2	1,80	97,3
Случайное	45,2	46	0,982			2,45
	Ош.ср.=	0,572	Точ.опыта%=	1,64	Ош. разности=	0,807
	Кр.Стьюдента=	2	НСР=	1,61		
В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа						
Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095.	Влияние %
Фактор А	1471	1	1471	1499	4	80
Фактор В	39,7	1	39,7	40,5	4	2,2
Фактор С	251	5	50,3	51,2	2,4	13,7
Вз.д.АВ	0,30	1	0,3	0,3	4	0
Вз.д.АС	8,9	5	1,8	1,8	2,4	0,5
Вз.д.ВС	13,7	5	2,7	2,8	2,4	0,7
Вз.д.АВС	4,2	5	0,8	0,9	2,4	0,2

Приложение 8 Б - Урожайность картофеля по повторениям с математической обработкой, 2021 год

Факторы		Повторения											
		1	2	3									
Варяг	Клубни	0	18,0	19,8	17,2								
		0,2	18,5	19,4	19,4								
		0,4	21,8	22,4	21,9								
		0,6	22,5	22,4	23,8								
		0,8	23,0	22,9	23,1								
		1	24,0	22,4	22,9								
		1,2	21,6	23,4	21,9								
	Ботва	0	18,0	19,8	17,2	Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фтаб095.	Влияние %	
		0,2	17,6	19,8	17,6	Общее	278	83				100	
		0,4	21,8	19,8	21,0	Повторений	0,941	2				0,338	
		0,6	21,6	21,1	21,8	Вариантов	242	27	8,97	13,8	1,70	87,1	
		0,8	22,4	21,6	22,1	Случайное	35,0	54	0,648			12,6	
		1	20,5	22,0	20,9								
		1,2	20,8	19,8	21,1								
Вымпел	Клубни	0	21,1	20,9	23,3		Ош.ср.=	0,465	Точ.опыта%=	2,13	Ош. разности=	0,655	174
		0,2	23,5	24,0	23,3		Кр.Стьюдента=	2	НСР=	1,31			
		0,4	24,3	24,2	24,1	В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!							
		0,6	24,4	24,2	25,1	Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа							
		0,8	23,1	23,8	23,6	Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фтаб095.	Влияние %	
		1	21,8	21,3	20,9	Фактор А	56,8	1	56,80	87,70	4,00	20,40	
		1,2	20,8	21,1	20,2	Фактор В	12,4	1	12,40	19,20	4,00	4,50	
	Ботва	0	21,1	20,9	23,3	Фактор С	86,2	6	14,40	22,20	2,30	31,00	
		0,2	23,8	23,3	23,2	Вз.д.АВ	2,9	1	2,90	4,50	4,00	1,10	
		0,4	23,1	23,1	23,8	Вз.д.АС	76	6	12,70	19,50	2,30	27,30	
		0,6	22,6	22,9	23,5	Вз.д.ВС	4,1	6	0,70	1,10	2,30	1,50	
		0,8	22,0	24,2	22,9	Вз.д.АВС	3,7	6	0,60	1,00	2,30	1,30	
		1	21,6	19,8	22,0								
		1,2	20,7	21,1	21,8								

Приложение 8 В – Урожайность картофеля по повторениям с математической обработкой, 2022 год

Факторы		Повторения										
		1	2	3								
Варяг	Клубни	0	24,6	24,9	25,9							
		0,2	25,3	25	26,5							
		0,4	26,3	25,7	26,9							
		0,6	28,1	26,9	27,5							
		0,8	25,4	26,1	26,8							
		1	25,9	25,1	26,4							
		1,2	25,8	24,6	25,2							
	Ботва	0	24,6	24,9	25,9	Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фтаб095.	Влияние %
		0,2	24,6	25,8	24,9	Общее	190	83				100
		0,4	25,3	26	25,8	Повторений	2,15	2				1,13
		0,6	26,6	26	26,9	Вариантов	169	27	6,25	17,6	1,70	88,8
		0,8	26,8	27,1	27,7	Случайное	19,2	54	0,355			10,1
		1	27,9	27,3	26,7							
1,2		26,4	27,7	26,9		Ош.ср.=	0,344	Точ.опыта%=	1,27	Ош. разности=	0,485	
Вымпел	Клубни	0	25,8	26,4	26,7		Кр.Стьюдента=	2	НСР=	0,970		
		0,2	27,7	27	26,9	В опыте выявлены СУЩЕСТВЕННЫЕ различия вариантов!						
		0,4	28,8	27,6	28,5							
		0,6	29,1	28,1	29,2	Результаты ТрехФакторного Дисперсионного Анализа						
		0,8	27,7	28,2	29	Источ.вариации	Сумма кв.	ст.свободы	Дисперсия	Ффакт	Фтаб095.	Влияние %
		1	26,9	27,7	27,9	Фактор А	84,6	1,0	84,6	238,4	4,0	44,5
		1,2	27,8	26,8	27	Фактор В	8,2	1,0	8,2	23,2	4,0	4,3
	Ботва	0	25,8	26,4	26,7	Фактор С	48,4	6,0	8,1	22,7	2,3	25,5
		0,2	26,9	28,1	27,5	Вз.д.АВ	1,9	1,0	1,9	5,2	4,0	1,0
		0,4	28,6	28,9	27,4	Вз.д.АС	3,0	6,0	0,5	1,4	2,3	1,6
		0,6	28,3	29,6	29,1	Вз.д.ВС	21,3	6,0	3,6	10,0	2,3	11,2
		0,8	29,5	29,9	28,8	Вз.д.АВС	1,4	6,0	0,2	0,7	2,3	0,7
		1	29,5	30,2	31,4							
1,2		28,6	29,8	29,2								

Приложение 9 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Варяг, количество клубней и их массу, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		8,07	0,93	6,20	0,94	11,5	76,8	11,6	14,9	0,7	9,3	4,9	109	77
Обработка клубней	0,2%	8,30	1,10	6,28	0,92	13,3	75,7	11,1	15,7	0,8	10,3	4,6	137	64
	0,4%	8,80	2,05	6,20	0,55	23,3	70,5	6,3	14,2	1,3	9,1	3,8	155	67
	0,6%	9,07	1,80	6,70	0,57	19,8	73,9	6,3	15,1	0,9	10,5	3,7	175	65
	0,8%	9,23	1,53	7,20	0,50	16,6	78,0	5,4	17,1	1,0	11,8	4,3	143	65
	1,0%	9,25	1,78	6,99	0,49	19,2	75,5	5,3	16,7	1,2	11,0	4,5	147	61
Обработка растений	0,2%	8,60	0,93	6,89	0,78	10,8	80,1	9,1	17,0	0,6	12,4	4,0	153	56
	0,4%	9,59	1,23	7,81	0,55	12,8	81,4	5,7	16,3	0,7	12,0	3,6	163	65
	0,6%	9,55	1,31	7,60	0,64	13,7	79,6	6,7	17,7	1,0	12,5	4,2	131	60
	0,8%	9,48	1,68	7,10	0,70	17,7	74,9	7,4	17,0	1,2	11,3	4,5	140	63
	1,0%	9,30	1,10	7,52	0,68	11,8	80,9	7,3	17,5	0,8	12,5	4,2	141	60
НСР ₀₅		0,37	0,18	0,14	0,05				1,5	0,4	0,9	0,2	12	5

Приложение 10 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Вымпел, количество клубней и их массу, 2020 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		6,23	0,93	5,09	0,21	14,9	81,7	3,4	10,3	0,6	7,9	1,8	147	65
Обработка клубней	0,2%	6,41	1,23	5,02	0,16	19,2	78,3	2,5	10,2	0,9	7,3	2,0	144	69
	0,4%	6,80	1,35	5,29	0,16	19,9	77,8	2,4	10,9	0,9	8,3	1,7	143	63
	0,6%	6,82	1,34	5,35	0,13	19,6	78,4	1,9	10,5	0,9	7,9	1,7	157	67
	0,8%	6,90	1,27	5,47	0,16	18,4	79,3	2,3	10,8	0,8	8,1	1,9	159	67
	1,0%	7,02	1,05	5,82	0,15	15,0	82,9	2,1	10,4	0,7	8,3	1,4	154	70
Обработка растений	0,2%	6,73	1,14	5,29	0,30	16,9	78,6	4,5	10,4	0,7	7,9	1,8	151	67
	0,4%	7,26	1,40	5,66	0,20	19,3	78,0	2,8	10,5	0,9	8,5	1,1	167	67
	0,6%	7,35	1,68	5,47	0,20	22,9	74,4	2,7	10,5	0,9	8,0	1,6	186	68
	0,8%	7,40	1,20	6,00	0,20	16,2	81,1	2,7	10,8	0,7	8,4	1,7	160	72
	1,0%	7,43	1,40	5,86	0,17	18,8	78,9	2,3	10,9	1,0	8,5	1,4	140	69
НСР ₀₅		0,37	0,18	0,14	0,05				1,5	0,4	0,9	0,2	12	5

Приложение 11 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Варяг, количество клубней и их массу, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		4,17	0	3,68	0,49	0,0	88,2	11,8	12,9	0	8,3	4,6	0	44
Обработка клубней	0,2%	4,33	0,14	3,67	0,52	3,2	84,8	12,0	13,7	0,1	8,7	4,9	93	42
	0,4%	5,00	0,37	4,17	0,46	7,4	83,4	9,2	13,5	0,3	9,1	4,1	150	46
	0,6%	5,20	0,30	4,43	0,47	5,8	85,2	9,0	14,1	0,2	9,7	4,2	138	45
	0,8%	5,23	0,57	4,16	0,50	10,9	79,5	9,6	14,2	0,4	9,4	4,4	150	44
	1,0%	5,25	0,47	4,27	0,51	9,0	81,3	9,7	14,8	0,4	9,7	4,7	133	44
	1,2%	5,06	0,37	4,20	0,49	7,3	83,0	9,7	14,6	0,3	9,5	4,8	118	44
Обработка растений	0,2%	4,17	0,13	3,50	0,54	3,1	83,9	12,9	13,0	0,1	8,0	4,9	80	43
	0,4%	4,76	0,34	3,90	0,52	7,1	81,9	10,9	13,5	0,3	8,9	4,3	87	44
	0,6%	4,88	0,38	4,09	0,41	7,8	83,8	8,4	13,6	0,3	8,8	4,5	136	47
	0,8%	5,00	0,24	4,30	0,46	4,8	86,0	9,2	13,9	0,2	9,6	4,1	142	45
	1,0%	4,80	0,23	4,17	0,40	4,8	86,9	8,3	13,5	0,2	9,2	4,1	115	45
	1,2%	4,68	0,24	4,07	0,37	5,1	87,0	7,9	13,3	0,2	9,1	4,0	165	45
HCP ₀₅		0,30	0,15	0,12	0,03				1,1	0,3	0,7	0,1	8	3

Приложение 12 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Вымпел, количество клубней и их массу, 2021 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		4,95	0,26	4,37	0,32	5,3	88,3	6,5	11,9	0,2	8,8	2,9	74	49
Обработка клубней	0,2%	5,37	0,3	4,55	0,52	5,6	84,7	9,7	13,9	0,2	9,4	4,3	100	48
	0,4%	5,5	0,52	4,65	0,33	9,5	84,5	6,0	13,9	0,4	10,0	3,5	140	46
	0,6%	5,58	0,45	4,6	0,53	8,1	82,4	9,5	15,1	0,3	9,9	4,9	138	47
	0,8%	5,35	0,38	4,52	0,45	7,1	84,5	8,4	14,7	0,3	10,0	4,4	130	45
	1,0%	4,85	0,17	4,32	0,36	3,5	89,1	7,4	14,1	0,1	9,5	4,5	122	45
	1,2%	4,70	0,23	4,13	0,34	4,9	87,9	7,2	13,0	0,2	9,3	3,5	133	44
Обработка растений	0,2%	5,32	0,17	4,76	0,39	3,2	89,5	7,3	13,8	0,1	9,8	3,9	127	49
	0,4%	5,30	0,40	4,60	0,30	7,5	86,8	5,7	13,6	0,3	9,9	3,4	136	48
	0,6%	5,22	0,28	4,52	0,42	5,4	86,6	8,0	14,0	0,2	9,8	4,0	104	46
	0,8%	5,23	0,35	4,45	0,43	6,7	85,1	8,2	14,0	0,3	9,7	4,0	129	46
	1,0%	4,80	0,17	4,23	0,40	3,5	88,1	8,3	13,5	0,1	9,7	3,7	140	46
	1,2%	4,82	0,22	4,15	0,45	4,6	86,1	9,3	13,7	0,2	9,3	4,2	135	45
НСР ₀₅		0,30	0,15	0,12	0,03				1,1	0,3	0,7	0,1	8	3

Приложение 13 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Варяг, количество клубней и их массу, 2022 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		5,70	0,23	5,05	0,42	4,0	88,6	7,4	14,1	0,2	10,6	3,3	150	48
Обработка клубней	0,2%	5,70	0,37	5,00	0,33	6,5	87,7	5,8	14,4	0,2	11,2	3,0	158	46
	0,4%	5,98	0,32	5,3	0,36	5,4	88,6	6,0	14,9	0,2	11,4	3,3	141	46
	0,6%	6,05	0,31	5,42	0,32	5,1	89,6	5,3	14,5	0,2	11,3	3,0	147	50
	0,8%	5,94	0,36	5,28	0,30	6,1	88,9	5,1	14,3	0,3	11,1	2,9	138	48
	1,0%	5,86	0,23	5,22	0,41	3,9	89,1	7,0	14,5	0,2	11,3	3,0	139	46
	1,2%	5,72	0,26	4,96	0,50	4,5	86,7	8,7	15,1	0,2	11,1	3,8	152	46
Обработка растений	0,2%	5,70	0,29	5,03	0,38	5,1	88,2	6,7	14,3	0,2	10,8	3,3	138	46
	0,4%	5,85	0,50	4,96	0,39	8,5	84,8	6,7	14,2	0,4	10,4	3,4	137	48
	0,6%	6,02	0,44	5,24	0,34	7,3	87,0	5,6	14,2	0,2	10,6	3,4	191	49
	0,8%	6,19	0,55	5,3	0,34	8,9	85,6	5,5	14,9	0,3	11,5	3,1	166	46
	1,0%	6,20	0,49	5,34	0,37	7,9	86,1	6,0	14,6	0,3	11,0	3,3	164	49
	1,2%	6,14	0,50	5,35	0,29	8,1	87,1	4,7	14,0	0,3	11,0	2,7	176	49
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% рас.	5,86	0,22	5,38	0,26	3,8	91,8	4,4	14,0	0,2	11,3	2,5	115	50
	0,4% клуб. + 0,6% рас.	6,30	0,49	5,53	0,29	7,7	87,8	4,5	14,7	0,3	11,4	3,0	171	51
	0,6% клуб. + 0,4% рас.	6,20	0,48	5,39	0,33	7,7	86,9	5,3	14,7	0,3	11,5	2,9	167	50
	0,6% клуб. + 0,6% рас.	6,36	0,53	5,51	0,32	8,3	86,8	5,0	15,1	0,3	11,7	3,1	157	50
НСР ₀₅		0,21	0,10	0,07	0,04				1,2	0,3	0,8	0,1	11	6

Приложение 14 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля сорта Вымпел, количество клубней и их массу, 2022 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст				Средняя масса 1 клубня, г	
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		5,98	0,30	5,33	0,35	5,0	89,1	5,9	13,6	0,2	10,7	2,8	146	50
Обработка клубней	0,2%	6,19	0,53	5,28	0,38	8,6	85,3	6,1	14,1	0,3	10,4	3,4	157	51
	0,4%	6,43	0,48	5,63	0,32	7,5	87,6	5,0	14,4	0,4	11,1	2,9	134	50
	0,6%	6,55	0,55	5,70	0,30	8,4	87,0	4,6	14,4	0,4	11,2	2,8	127	51
	0,8%	6,44	0,53	5,60	0,31	8,2	87,0	4,8	14,2	0,4	10,8	3,0	145	51
	1,0%	6,25	0,60	5,28	0,37	9,6	84,5	5,9	14,1	0,4	10,2	3,5	154	51
	1,2%	6,19	0,17	5,53	0,49	2,7	89,3	7,9	14,3	0,1	10,7	3,5	125	52
Обработка растений	0,2%	6,26	0,38	5,59	0,29	6,1	89,3	4,6	14,0	0,3	10,8	2,9	112	52
	0,4%	6,43	0,40	5,68	0,35	6,2	88,3	5,4	14,4	0,3	11,2	2,9	132	51
	0,6%	6,60	0,41	5,79	0,40	6,2	87,7	6,1	14,9	0,3	11,1	3,5	136	52
	0,8%	6,69	0,36	5,90	0,43	5,4	88,2	6,4	15,0	0,3	11,1	3,6	120	53
	1,0%	6,88	0,38	6,08	0,42	5,5	88,4	6,1	15,2	0,3	11,4	3,5	142	54
	1,2%	6,64	0,54	5,73	0,37	8,1	86,3	5,6	14,6	0,4	11,0	3,2	137	52
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% рас.	6,72	0,33	6,07	0,32	4,9	90,3	4,8	14,7	0,2	11,7	2,8	183	55
	0,4% клуб. + 0,6% рас.	6,84	0,43	6,04	0,37	6,3	88,3	5,4	15,9	0,3	12,2	3,4	150	51
	0,6% клуб. + 0,4% рас.	6,64	0,86	5,45	0,33	13,0	82,1	5,0	15,7	0,7	11,4	3,6	145	50
	0,6% клуб. + 0,6% рас.	6,73	0,24	6,14	0,35	3,6	91,2	5,2	15,0	0,2	11,7	3,1	170	55
НСР ₀₅		0,21	0,10	0,07	0,04				1,2	0,3	0,8	0,1	11	6

Приложение 15 – Влияние обработок на продуктивность, структуру урожая картофеля, количество клубней и их массу, 2023 г.

Способ обработки	Концентрация препарата	Масса клубней с 10 кустов, кг	Масса клубней по фракциям с 10 кустов, кг			Фракционный состав по массе, %			Количество клубней, шт./куст			Средняя масса 1 клубня, г		
			>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	>60 мм	30-60 мм
сорт Варяг														
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		8,95	1,24	7,36	0,35	13,9	82,2	3,9	15,9	0,9	12,4	2,6	144	59
Обработка клубней	0,4%	9,21	1,46	7,40	0,35	15,8	80,3	3,9	16,6	1,0	13,1	2,5	146	56
	0,6%	9,65	1,82	7,46	0,37	18,9	77,3	3,8	17,3	1,2	13,3	2,8	152	56
Обработка растений	0,4%	9,24	1,87	7,10	0,27	20,2	76,8	3,0	15,7	1,2	12,6	1,9	157	56
	0,6%	9,53	2,39	6,96	0,18	25,1	73,0	1,9	15,6	1,5	12,1	2,0	157	57
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% рас.	9,60	2,13	7,15	0,32	22,2	74,5	3,3	15,7	1,5	12,1	2,1	145	59
	0,4% клуб. + 0,6% рас.	9,88	2,15	7,38	0,35	21,8	74,7	3,5	16,8	1,5	12,3	3,0	146	60
	0,6% клуб. + 0,4% рас.	10,19	2,13	7,53	0,43	20,9	73,9	4,2	17,3	1,6	12,5	3,2	152	60
	0,6% клуб. + 0,6% рас.	9,96	1,89	7,66	0,41	19,0	76,9	4,1	17,0	1,3	12,7	3,0	149	60
сорт Выпел														
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		7,74	0,70	6,63	0,41	9,0	85,7	5,3	15,5	0,5	11,9	3,1	137	56
Обработка клубней	0,4%	7,88	0,69	6,81	0,38	8,8	86,4	4,8	15,8	0,4	12,6	2,8	160	54
	0,6%	7,95	0,83	6,77	0,35	10,4	85,2	4,4	15,6	0,5	12,2	2,9	146	56
Обработка растений	0,4%	8,09	1,14	6,72	0,23	14,1	83,1	2,8	15,4	0,9	12,2	2,3	132	55
	0,6%	8,25	2,00	6,00	0,25	24,2	72,7	3,0	15,3	1,4	11,3	2,6	143	54
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% рас.	8,51	1,44	6,65	0,45	16,9	78,1	5,3	16,4	1,1	12,1	3,2	135	55
	0,4% клуб. + 0,6% рас.	8,47	1,43	6,73	0,31	16,9	79,5	3,7	16,0	1,1	12,1	2,8	134	55
	0,6% клуб. + 0,4% рас.	8,64	0,86	7,41	0,33	10,0	85,4	3,8	16,7	0,6	13,1	3,0	153	56
	0,6% клуб. + 0,6% рас.	8,65	1,11	7,10	0,44	12,8	82,1	5,1	17,0	0,8	12,8	3,4	132	55
НСП ₀₅		0,37	0,19	0,13	0,05				1,3	0,3	0,8	0,2	11	5

Приложение 16 – Влияние обработок на биохимические показатели качества клубней картофеля сорта Варяг, 2020-2022 гг.

Способ обра- ботки	Концентрация препарата	Сухое вещество, %				Крахмал, %				Витамин С, мг%				Нитраты, мг/кг				Редуцир. сахара, %			
		2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		21,8	17,1	21,1	20,0	16,2	11,4	15,4	14,3	12,3	16,9	13,0	14,1	39	164	114	106	0,33	0,16	0,53	0,34
Обработка клубней	0,2%	23,2	18,1	21,9	21,1	17,5	12,4	16,3	15,4	11,2	17,0	14,9	14,4	57	168	128	118	0,31	0,18	0,42	0,30
	0,4%	22,8	18,0	22,3	21,0	17,2	12,3	16,5	15,3	11,0	17,2	14,1	14,1	45	172	119	112	0,28	0,21	0,43	0,31
	0,6%	22,7	18,1	22,8	21,2	17,0	12,3	17,1	15,5	11,3	17,4	13,7	14,1	63	164	121	116	0,19	0,13	0,47	0,26
	0,8%	23,2	17,8	22,8	21,3	17,5	12,0	17,1	15,5	10,8	17,7	13,6	14,0	50	172	110	111	0,26	0,25	0,46	0,32
	1,0%	23,1	17,8	22,7	21,2	17,4	12,1	17,0	15,5	10,5	18,7	13,5	14,2	60	180	100	113	0,24	0,21	0,47	0,31
	1,2%		18,0	22,1	20,1		12,3	16,4	14,4		16,8	13,2	14,0		193	92	115		0,06	0,42	0,24
Обработка растений	0,2%	22,2	18,2	22,5	21,0	16,4	12,5	16,7	15,2	10,3	15,6	17,3	14,4	65	184	121	123	0,23	0,32	0,40	0,32
	0,4%	22,0	18,0	22,7	20,9	16,3	12,3	16,8	15,1	10,1	15,3	15,0	13,5	65	202	119	129	0,22	0,29	0,30	0,27
	0,6%	22,4	17,8	22,8	21,0	16,7	12,1	17,1	15,3	10,3	15,6	15,1	13,7	58	185	110	118	0,18	0,27	0,28	0,24
	0,8%	22,0	17,8	22,7	20,8	16,3	12,1	17,0	15,1	10,7	16,1	14,9	13,9	65	168	111	117	0,22	0,27	0,29	0,27
	1,0%	21,8	18,3	22,0	20,7	16,2	12,5	16,0	14,9	10,7	17,2	14,4	14,1	68	160	108	111	0,21	0,17	0,45	0,28
	1,2%		18,1	21,2	19,7		12,3	15,4	13,9		16,9	13,8	13,8		140	100	103		0,22	0,43	0,33
HCP ₀₅		1,1	1,0	1,1		1,0	0,9	0,9		0,9	1,2	1,1		12	31	23		0,09	0,07	0,1	

Приложение 17 – Влияние обработок на биохимические показатели качества клубней картофеля сорта Вымпел, 2020-2022 гг.

Способ обра- ботки	Концентрация препарата	Сухое вещество, %				Крахмал, %				Витамин С, мг%				Нитраты, мг/кг				Редуцир. сахара, %			
		2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		21,9	18,4	21,7	20,7	16,2	12,7	16,2	15,0	17,2	16,6	12,8	15,5	33	88	58	60	0,29	0,60	0,33	0,41
Обработка клуб- ней	0,2%	21,0	19,3	21,5	20,6	15,5	13,5	16,0	15,0	16,5	15,1	13,4	15,0	28	61	49	46	0,27	0,27	0,18	0,24
	0,4%	20,7	19,1	21,7	20,5	15,2	13,3	16,2	14,9	17,2	15,9	12,9	15,3	31	59	50	47	0,26	0,30	0,22	0,26
	0,6%	20,8	19,2	22,1	20,7	15,1	13,4	16,3	14,9	17,2	16,0	12,5	15,2	33	50	49	44	0,29	0,29	0,23	0,27
	0,8%	20,8	19,0	21,9	20,6	15,0	13,3	16,1	14,8	16,6	16,4	12,6	15,2	38	45	51	45	0,23	0,33	0,26	0,27
	1,0%	21,0	19,0	21,7	20,6	15,7	13,3	15,9	15,0	16,5	16,9	12,5	15,1	34	44	53	44	0,25	0,55	0,28	0,36
	1,2%		18,9	21,7	20,3		13,1	15,9	14,5		15,6	12,6	14,9		52	61	57		0,62	0,16	0,39
Обработка расте- ний	0,2%	20,0	18,7	21,5	20,1	14,4	12,9	15,7	14,3	17,9	14,6	12,8	15,1	40	62	42	48	0,25	0,51	0,20	0,32
	0,4%	19,6	19,6	21,9	20,4	13,8	13,7	16,1	14,5	17,4	16,1	13,2	15,6	29	56	51	45	0,25	0,52	0,19	0,32
	0,6%	19,5	18,7	22,3	20,2	13,9	13,0	16,6	14,5	16,5	16,1	13,6	15,4	33	58	54	48	0,17	0,54	0,20	0,30
	0,8%	19,8	19,1	21,9	20,3	14,3	13,3	16,1	14,6	17,2	16,4	13,2	15,6	31	54	52	46	0,17	0,54	0,20	0,30
	1,0%	19,5	18,4	21,7	19,7	13,9	12,7	16,2	14,2	17,0	17,2	12,6	15,6	28	54	53	45	0,23	0,55	0,34	0,37
	1,2%		18,0	21,7	19,9		12,3	16,1	14,2		16,9	12,6	14,8		71	43	57		0,65	0,20	0,47
НСР ₀₅		1,1	1,0	1,1		1,0	0,9	0,9		0,9	1,2	1,1		12	31	23		0,09	0,07	0,1	

Приложение 18 – Влияние обработок на биохимические показатели качества клубней картофеля, 2022-2023 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Сухое вещ-во, %		Крахмал, %		Витамин С, мг%		Нитраты, мг/кг		Редуцир. сахара, %	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
сорт Варяг											
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		21,1	21,0	15,4	15,8	13,0	16,1	114	63	0,53	0,41
Обработка клубней	0,4%	22,3	20,6	16,5	14,8	14,1	14,4	119	80	0,43	0,47
	0,6%	22,8	20,1	17,1	14,4	13,7	14,6	121	68	0,47	0,57
Обработка растений	0,4%	22,7	20,7	16,8	15,0	15,0	14,7	119	86	0,30	0,60
	0,6%	22,8	20,8	17,1	15,0	15,1	14,0	110	97	0,28	0,54
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% раст.	22,5	20,4	16,7	14,7	14,6	15,8	116	70	0,36	0,48
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	22,5	20,5	16,8	14,6	14,6	14,5	114	89	0,35	0,75
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	22,7	20,3	16,9	14,6	14,4	14,5	120	88	0,39	0,66
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	22,8	20,0	17,1	14,3	14,4	13,9	115	100	0,37	0,77
сорт Вымпел											
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		21,7	19,3	16,2	13,6	12,8	11,7	58	56	0,33	0,49
Обработка клубней	0,4%	21,7	19,6	16,2	13,9	12,9	12,6	50	37	0,22	0,52
	0,6%	22,1	20,1	16,3	14,3	12,5	12,3	49	37	0,23	0,47
Обработка растений	0,4%	21,9	20,0	16,1	14,3	13,2	12,7	51	52	0,19	0,45
	0,6%	22,3	20,4	16,6	14,7	13,6	12,0	54	52	0,20	0,56
Комбинированная обработка	0,4% клуб. + 0,4% раст.	21,8	20,5	16,2	14,7	13,0	12,0	50	40	0,20	0,49
	0,4% клуб. + 0,6% раст.	22,0	20,1	16,4	14,3	13,3	13,0	52	43	0,21	0,56
	0,6% клуб. + 0,4% раст.	22,2	20,0	16,5	14,2	12,9	13,5	50	53	0,21	0,52
	0,6% клуб. + 0,6% раст.	22,3	20,9	16,6	15,2	13,1	12,1	51	48	0,22	0,48
НСП ₀₅		1,2	1,1	1,1	0,9	0,7	0,9	21	17	0,09	0,06

Приложение 19 – Влияние обработок на потребительские качества клубней картофеля сорта Варяг, 2020-2022 гг.

Способ обра- ботки	Концентрация препарата	Вкус				Разваримость				Потемнение мякоти через 24 часа								Сумма баллов			
		2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	сырой				вареной				2020	2021	2022	сред
										2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред				
Контроль – фон N90P90K90		5,3	7,3	7	6,5	1	3	1	1,7	6	3,5	3	4,2	9	7	9	8,3	21,3	20,8	20,0	20,7
Обработка клубней	0,2%	7	7	7	7	1	1	1	1	6	5	3	4,7	9	9	9	9	23,0	22,0	20,0	21,7
	0,4%	6,6	7,6	7,3	7,2	1	3	3	2,3	8	5	5	6	9	9	9	9	24,6	24,6	24,3	24,5
	0,6%	7	7,5	7,5	7,3	3	5	5	4,3	8	7	5	6,7	9	9	9	9	27,0	28,5	26,5	27,3
	0,8%	6,2	6,3	7	6,5	1	5	5	3	8	5	5	6	9	9	9	9	24,2	23,3	26,0	24,5
	1,0%	5,6	6,6	6,8	6,3	1	1	3	1,7	8	5	5	6	9	9	9	9	23,6	21,6	23,8	23,0
	1,2%		6	6,5	6,3		1	1	1		5	5	5		9	7	8		21,0	19,5	20,3
Обработка растений	0,2%	6,3	7,3	7,1	6,9	1	1	1	1	6	5	5	5,3	9	9	9	9	22,3	22,3	22,1	22,2
	0,4%	6,3	7,3	7,3	7,0	1	3	3	2,3	6	6	5	5,7	9	9	9	9	22,3	25,3	24,3	24,0
	0,6%	6,3	7	7,5	6,9	1,7	3	3	2,6	6	6	5	5,7	9	9	9	9	23,0	25,0	24,5	24,2
	0,8%	6,3	7,3	7,1	6,9	1	3	3	2,3	8	6	6	6,7	9	9	9	9	24,3	25,3	25,1	24,9
	1,0%	5,5	6	6,8	6,1	1	1	1	1	8	6	6	6,7	9	9	9	9	23,5	22,0	22,8	22,8
	1,2%		5,5	6,5	6,0		1	1	1		5	5,5	5,3		7,5	7,3	7,4		19,0	20,3	19,7
НСР ₀₅		1,5	1,2	1,5																	

Приложение 20 – Влияние обработок на потребительские качества клубней картофеля сорта Вымпел, 2020-2022 гг.

Способ обра- ботки	Концентрация препарата	Вкус				Разваримость				Потемнение мякоти через 24 часа								Сумма баллов			
		2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред	сырой				вареной				2020	2021	2022	сред
										2020	2021	2022	сред	2020	2021	2022	сред				
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		7,5	7,5	7,3	7,4	3	3	3	3	5	3,5	3,3	3,9	9	9	7,5	8,5	24,5	23,0	21,1	22,8
Обработка клубней	0,2%	8	7	7,1	7,4	3	3	3	3	4	5	3	4	9	9	7,7	8,6	24,0	24,0	20,8	23,0
	0,4%	8	9	7,8	8,2	2	5	5	4	5	5	3	4,3	9	9	9	9	24,0	28,0	24,7	25,5
	0,6%	7	7,5	7,5	7,3	3	3	3	3	3	5	5	4,3	9	9	9	9	22,0	24,5	24,5	23,6
	0,8%	7	7,5	7,3	7,3	1	3	3	2,3	5	5,5	5	5,2	9	9	9	9	22,0	25,0	24,3	23,8
	1,0%	7	7	7	7,0	2	1	3	2	5	5	5	5	9	9	9	9	23,0	22,0	24,0	23,0
	1,2%		6,5	7	6,7		1	3	2		5	3	4		9	9	9		21,5	22,0	21,7
Обработка растений	0,2%	8	7	7	7,3	5	3	3	3,7	5	5	3	4,3	9	9	9	9	27,0	24,0	22,0	24,3
	0,4%	8	8	7,5	7,8	2	5	3	3,3	5	5	5	5	9	9	9	9	24,0	27,0	24,5	25,1
	0,6%	7	7	7	7,0	1	3	5	3	5	5,5	5	5,2	9	9	9	9	22,0	24,5	26,0	24,2
	0,8%	8	8	7,5	7,8	3	3	3	3	5	5	5,5	5,2	9	9	9	9	25,0	25,0	25,0	25,0
	1,0%	8	7	7	7,3	1	1	3	1,7	5	5	5	5	9	9	9	9	23,0	22,0	24,0	23,0
	1,2%		6,5	7	6,7		1	1	1		5	5	5		9	9	9		21,5	22,0	21,7
НСР ₀₅																					

Приложение 21 – Влияние обработок на выход здоровых клубней сорта Варяг после хранения, сезоны 2020/21-2022/23 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Здоровые клубни, %			Общие отходы, %			в том числе:											
								естеств. убыль массы			технич. гниль			абсолют. гниль			ростки		
		2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		88,8	86,9	90,4	11,2	13,1	9,6	7,7	10,2	6,6	2,5	0,9	1,5	1,0	2,0	0,9	0	0	0,6
Обработка клубней	0,2%	89,9	89,2	92,7	10,1	10,8	7,3	6,5	9,6	6,8	2,7	0	0	0,9	1,2	0	0	0	0,5
	0,4%	89,6	89,1	92,6	10,4	10,9	7,4	6,7	7,9	6,6	3,7	1,7	0,4	0	1,3	0,2	0	0	0,2
	0,6%	90,8	89,2	92,7	9,2	10,8	7,3	6,2	8,2	6,3	3,0	2,6	0,8	0	0	0	0	0	0,2
	0,8%	92,5	88,7	94,0	7,5	11,3	6,0	6,2	9,5	5,5	1,3	1,8	0,3	0	0	0	0	0	0,2
	1,0%	90,2	88,6	93,9	9,8	11,4	6,1	6,8	9,6	5,2	3,0	0	0	0	1,8	0,7	0	0	0,2
	1,2%		88,6	92,7		11,4	7,3		8,7	6,4		1,5	0,5		1,2	0		0	0,2
Обработка растений	0,2%	90,1	88,0	91,7	9,9	12,0	8,3	6,5	10,2	6,6	2,9	0,8	0,7	0,5	1,0	0,7	0	0	0,3
	0,4%	90,9	89,6	92,0	9,1	10,4	8,0	6,8	8,6	6,5	2,3	1,8	0,7	0	0	0,6	0	0	0,2
	0,6%	91,8	89,2	92,6	8,2	10,8	7,4	6,4	8,2	6,1	1,8	2,6	1,0	0	0	0	0	0	0,3
	0,8%	92,1	89,9	93,0	7,9	10,1	7,0	6,4	8,0	6,3	1,2	1,5	0,5	0,3	0,6	0	0	0	0,2
	1,0%	92,0	89,8	93,8	8,0	10,2	6,2	6,9	8,6	5,6	1,1	1,6	0	0	0	0,4	0	0	0,2
	1,2%		89,3	93,5		10,7	6,5		7,7	5,7		1,5	0		1,5	0,5		0	0,3

Приложение 22 – Влияние обработок на выход здоровых клубней сорта Вымпел после хранения, сезоны 2020/21-2022/23 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Здоровые клубни, %			Общие отходы, %			в том числе:											
								естеств. убыль массы			технич. гниль			абсолют. гниль			ростки		
		2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		87,9	85,4	83,9	12,1	14,6	16,1	7,3	9,7	6,0	3,1	2,6	8,7	1,7	1,5	0,5	0	0,8	0,9
Обработка клубней	0,2%	89,1	85,7	83,5	10,9	14,3	16,5	6,9	9,6	8,0	2,5	2,5	4,6	1,5	1,4	3,2	0	0,8	0,7
	0,4%	92,0	87,1	84,1	8,0	12,9	15,9	6,1	9,9	7,7	1,9	2,2	5,0	0	0,4	2,9	0	0,4	0,3
	0,6%	93,7	86,4	85,8	6,3	13,6	14,2	6,3	10,7	7,2	0	2,4	4,7	0	0	2,0	0	0,5	0,3
	0,8%	92,9	86,6	88,7	7,1	13,4	11,3	6,6	9,5	5,2	1,5	1,9	3,8	0	1,2	1,4	0	0,8	0,9
	1,0%	91,1	90,5	89,3	8,9	9,5	10,7	6,9	8,2	5,9	3,0	0,5	1,1	0	0	2,6	0	0,8	1,1
	1,2%		90,6	90,0		9,4	10,0		7,9	6,2		1,2	1,9		0	0,9		0,3	1,0
Обработка растений	0,2%	90,3	87,1	84,7	9,7	12,9	15,3	7,0	8,2	7,6	2,7	2,6	5,5	0	1,4	0,8	0	0,7	1,4
	0,4%	91,8	87,4	85,5	8,2	12,6	14,5	6,6	8,9	6,6	1,6	3,0	5,9	0	0	1,2	0	0,7	0,8
	0,6%	92,9	89,5	89,0	7,1	10,5	11,0	5,9	8,5	5,4	1,2	0,8	3,8	0	0,6	0,9	0	0,6	0,9
	0,8%	94,1	88,9	86,9	5,9	11,1	13,1	5,9	7,7	5,9	0	2,8	4,8	0	0	1,0	0	0,6	1,4
	1,0%	93,2	89,3	86,3	6,8	10,7	13,7	6,0	7,5	7,3	0	1,7	4,0	0,8	0,7	1,4	0	0,8	1,0
	1,2%		89,8	85,8		10,2	14,2		7,5	6,4		1,8	3,8		0	2,7		0,9	1,3

Приложение 23 – Расчет экономической эффективности выращивания картофеля сорта Варяг, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препарата	Урожайность товарная, т/га	Прибавка, т/га	Стоим. доп. продукции, тыс. руб./га	Затраты, руб./га						Стоим. всего урожая, тыс. руб./га	Условный доход, тыс. руб./га	Себестоимость, руб./кг	Окупаемость	Рентабельность, %
					основные	стоим. препарата	стоим. внесения	уборка и транспортировка доп. продукции	дополнит. затраты	затраты всего					
Контроль – фон N₉₀P₉₀K₉₀		23,6	-	-	160000	-	-	-	-	160000	354,0	-	6,78	-	121,3
Обработка клубней	0,2%	24,3	0,7	10,5	160000	144	600	630	1374	161374	364,5	9,13	6,64	6,66	125,9
	0,4%	26,9	3,3	49,5	160000	288	600	2970	3858	163858	403,5	45,64	6,09	11,82	146,2
	0,6%	27,7	4,1	61,5	160000	432	600	3690	4722	164722	415,5	56,78	5,95	12,03	152,2
	0,8%	27,9	4,3	64,5	160000	576	600	3870	5046	165046	418,5	59,45	5,91	11,77	153,5
	1,0%	27,7	4,1	61,5	160000	720	600	3690	5010	165010	415,5	56,49	5,96	11,27	151,8
	1,2%	19,6/21,6	2,0	30	160000	864	600	1800	3264	163264	294/324	26,74	8,16/7,56	8,20	83,7/98,5
Обработка растений	0,2%	24,5	0,9	13,5	160000	1080	162	810	2052	162052	367,5	11,45	6,61	5,58	126,8
	0,4%	27,3	3,7	55,5	160000	2160	324	3330	5814	165814	409,5	49,69	6,07	8,55	147,0
	0,6%	27,8	4,2	63	160000	3240	486	3780	7506	167506	417,0	55,49	6,03	7,39	148,9
	0,8%	28,0	4,4	66	160000	4320	648	3960	8928	168928	420,0	57,07	6,03	6,39	148,6
	1,0%	27,7	4,1	61,5	160000	5400	810	3690	9900	169900	415,5	51,60	6,13	5,21	144,5
	1,2%	19,6/22,2	2,6	39	160000	6480	972	2340	9792	169792	294/333	29,21	8,16/7,65	2,98	83,7/96,1

Приложение 24 – Расчет экономической эффективности выращивания картофеля сорта Вымпел, среднее за 2020-2022 гг.

Способ обработки	Концентрация препа- рата	Урожайность товарная, т/га	Прибавка, т/га	Стоим. доп. продукции, тыс. руб./га	Затраты, руб./га						Стоим. всего урожая, тыс. руб./га	Условный доход, тыс. руб./га	Себестоимость, руб./кг	Окупаемость	Рентабельность, %
					основные	стоимость препа- рата	стоим. внесения	уборка и транспорти- ровка доп. продук- ции	дополнит. затраты	затраты всего					
Контроль – фон N90P90K90		23,9	-	-	160000	-	-	-	-	160000	358,5	-	6,69	-	124,1
Обработка клубней	0,2%	24,7	0,8	12	160000	144	600	720	1464	161464	370,5	10,54	6,51	7,22	129,5
	0,4%	26,3	2,4	36	160000	288	600	2160	3048	163048	394,5	32,95	6,18	10,80	141,9
	0,6%	26,3	2,4	36	160000	432	600	2160	3192	163192	394,5	32,81	6,18	10,29	141,7
	0,8%	26,0	2,1	31,5	160000	576	600	1890	3066	163066	390,0	28,43	6,25	9,26	139,2
	1,0%	25,2	1,3	19,5	160000	720	600	1170	2490	162490	378,0	17,01	6,43	6,83	132,6
	1,2%	22,5/22,1	-0,4	-	160000	864	600	-	1464	161464	337,5/331,5	-1,46	7,11/7,28	-1,00	-
Обработка растений	0,2%	25,3	1,4	21	160000	1080	162	1260	2502	162502	379,5	18,50	6,42	7,40	133,5
	0,4%	26,5	2,6	39	160000	2160	324	2340	4824	164824	397,5	34,18	6,22	7,09	141,2
	0,6%	26,5	2,6	39	160000	3240	486	2250	5976	165976	397,5	33,02	6,26	5,52	139,5
	0,8%	26,7	2,8	42	160000	4320	648	2520	7488	167488	400,5	34,51	6,27	4,61	139,1
	1,0%	26,4	2,5	37,5	160000	5400	810	2250	8460	168460	396,0	29,04	6,38	3,43	135,1
	1,2%	22,5/23,3	0,8	12	160000	6480	972	720	8172	168172	337,5/349,5	3,83	7,11/7,22	0,47	107,8

Утверждаю:
 Генеральный директор
 ООО «АПК «Александровский»
 ОГРН 1145022005700
 ИНН 5022046576



Саломяхин А.Н.

производственной проверки

эффективности применения жидкого кремнийсодержащего препарата
 на посадках картофеля

15 октября 2022г.

с. Андреевское Московская обл.

Мы, нижеподписавшиеся, в 2022 году провели производственную проверку эффективности препарата Форрис (100 г/л SiO₂) при его фолитарном применении в ООО «АПК «Александровский» Коломенского района Московской области.

Площадь участка для проведения производственной проверки эффективности препарата составила 10 га. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Сорт картофеля – Мадейра, 1 репродукция. Сорт среднеспелый.

Срок посадки: 08.05-11.05.2022г.

Предшественник – рапс масличный на семена. Минеральный фон: N₁₄₀P₁₆₀K₃₆₀. Перед посадкой картофеля в почву внесено 350 кг/га калия хлористого, 150 кг/га селитры аммиачной, 600 кг/га диаммофоска, 150 кг/га сульфата аммония.

Опытный вариант включал двукратную листовую обработку посадок препаратом Форрис в фазу полных всходов и через 3 недели после первой обработки. Опрыскивание осуществлялось штанговым опрыскивателем Самро 3200. Дозировка препарата – 1,2 л/га. Расход рабочего раствора – 300 л/га. Соответственно, концентрация рабочего раствора – 0,4%.

Оценка урожайности проводилась методом точечных копок 17 сентября 2022г. Площадь 1 учетной точки 2,2 м² (2,4 м x 0,9 м). Количество учетных точек на варианте – 4, со смешением по диагонали через 4 ряда. Для оценки качества картофеля брали объединённую пробу по 4 точкам. Валовую урожайность определяли путем пересчета на общую площадь. Были получены следующие данные.

Влияние некорневого опрыскивания препаратом Форрис на урожайность картофеля, 2022 г.:

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к фону	
		т/га	%
N _{1,0P} R ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	61,83	-	-
Фон + Форрис, 0,4%	64,35	2,52	4,1

Влияние некорневого применения препарата Форрис на показатели качества клубней картофеля, 2022 г.:

Вариант	Содержание			
	крахмал, %	сухое вещ-во, %	нитраты, мг/кг	редуцирующие сахара, %
N _{1,0P} R ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	12,8	18,5	71	0,25
Фон + Форрис, 0,4%	13,7	19,4	120	0,23

Урожайность картофеля на минеральном фоне в сочетании с двукратными некорневыми опрыскиваниями препаратом Форрис концентрации 0,4% была выше контроля на 5,7%. Увеличение товарности составило 3,5%. Содержание крахмала в варианте с некорневым опрыскиванием кремний содержащим препаратом повышало содержание крахмала и сухого вещества в клубнях на 0,9%. Содержание нитратов было выше в опытном варианте, но не превышало допустимых значений.

Была проведена экономическая оценка применения препарата Форрис на картофеле, 2022 г.:

Вариант	Урожай товарный, т/га	Стоимость доп. продукции, тыс. руб./га	Дополнит. затраты, тыс. руб./га	Условный дополнит. доход, тыс. руб./га
N _{1,0P} R ₁₆₀ K ₃₆₀ - Фон, контроль	51,13	-	-	-
Фон + Форрис 0,4%	54,18	45,75	7,21	38,54

Условный доход от применения препарата Форрис составил 38,54 тыс. руб./га. Полученные данные свидетельствуют о биологической и экономической эффективности препарата Форрис при некорневом применении на картофеле.

зам. Директора ООО «АПК «Александровский»
Семиков В.Е.



соискатель ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»
Безручко Е.В.

Урожайность картофеля обоих сортов на минеральном фоне в сочетании с двухкратными некорневыми опрыскиваниями препаратом Форрис в трех концентрациях (0,4, 0,6 и 0,8%) была выше соответствующих значений контроля (№₉₀P₉₀K₉₀) на 3,2-10,0% (сорт Варят) и 5,4-8,7% (сорт Аустин). При обработках кремнийсодержащим препаратом увеличивалась товарность сорта Варят на 1,3-2,4% и сорта Аустин – на 1,5-2,1%. Некорневое опрыскивание кремнийсодержащим препаратом не снижало крахмалистость клубней.

Условный доход на сорте Варят от применения препарата Форрис в увеличивающихся концентрациях (0,4, 0,6 и 0,8%) составил 24,84-48,06 тыс. руб./га; на сорте Аустин – 29,07-44,64 тыс. руб./га.

Варианты	Урожай товарный, т/га	Стоимость доп. товарной продукции, тыс. руб./га	Дополнительные затраты, тыс. руб./га	Условный доход, тыс. руб./га
сорт Варят				
№ ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	28,8	-	-	-
Фон + Форрис, 0,4%	30,8	30,0	5,16	24,84
Фон + Форрис, 0,6%	32,0	48,0	7,32	40,68
Фон + Форрис, 0,8%	32,6	57,0	8,94	48,06
сорт Аустин				
№ ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ – Фон, контроль	32,0	-	-	-
Фон + Форрис, 0,4%	34,3	34,5	5,43	29,07
Фон + Форрис, 0,6%	35,2	48,0	7,32	40,68
Фон + Форрис, 0,8%	35,6	53,4	8,76	44,64

Результаты, полученные в производственном опыте, показывают существенное и экономически значимое влияние кремния в повышении продуктивности картофеля.



Главный агроном КФХ «Ягудин Н.В.» *Веккулов* Е. Веккулов

Соскаатель ФГБНУ «ФИЦ картофеля

имени А.Г. Лорха»

Безручко

Е.В. Безручко