

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

На правах рукописи

КОЗЛОВ ИЛЬЯ ГЛЕБОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ ПРИ
ВЫРАЩИВАНИИ ДВУХ УРОЖАЕВ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В
ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ**

Специальность: 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин
растений

Диссертационная работа на соискание учёной степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Гаспарян Ирина Николаевна

Москва, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД	10
1.1 Биология и морфология картофеля.....	10
1.2 Требования картофеля к факторам внешней среды.....	13
1.3 Мировой опыт возделывания двух и трех урожаев картофеля..	20
1.4 Агроклиматические показатели и изменение климата.....	24
1.5 Климатические условия для выращивания двух урожаев картофеля в Московской области.....	27
1.6 Снижение стресса растений картофеля в условиях изменения климата.....	30
Выводы к главе 1.....	52
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ ОПЫТОВ.....	54
2.1 Почвенные, агроклиматические условия проведения исследований.....	54
2.2 Характеристика объектов исследований	59
2.3 Методика проведения исследований.....	62
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ.....	66
3.1 Особенности роста и развития при возделывании двух урожаев картофеля	66
3.2 Формирование параметров растений двух урожаев картофеля ранних сортов	75
3.3 Продуктивность картофеля	96
3.4 Качество клубней двух урожаев картофеля ранних сортов	106
Выводы к главе 3.....	109

ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	112
4.1 Экономическая эффективность возделывания двух урожаев картофеля	112
4.2 Энергетическая эффективность возделывания двух урожаев картофеля ранних сортов.....	120
Выводы к главе 4.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОИЗВОДСТВУ.....	128
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВНЕДРЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	130
Приложение А	149
Приложение В.....	153

ВВЕДЕНИЕ

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из наиболее востребованных культур массового потребления, находит многостороннее применение. Он представляет собой незаменимый источник питания для населения и занимает значительное место как сырье для различных отраслей промышленности. Высокая пищевая ценность картофеля обусловлена его богатым содержанием крахмала, белков, витаминов и минеральных элементов.

Является культурой интенсивного типа, так как с единицы площади он способен обеспечить большее количество питательных веществ, чем другие сельскохозяйственные культуры. В частности, 1 гектар картофельных посадок приносит в 2-4 раза больше питательных веществ по сравнению с зерновыми культурами.

Для достижения этой цели необходимо внедрение инновационных методов, приемов и технологий возделывания. Одной из таких перспективных технологий является возделывание двух урожаев картофеля за один вегетационный период, которая успешно применяется в южных регионах, таких как Сирия, Египет, страны Средней Азии, а также в южных областях России. Изменение климата открывает новые перспективы для агропромышленного комплекса нашей страны и возделывание двух урожаев картофеля находит применение в Центральном регионе Нечерноземной зоны. Научные исследования в области минерального питания картофеля обширны, но для успешного культивирования двух урожаев за сезон необходимо учитывать специфические агротехнические аспекты. Так, производственные циклы проходят в разных условиях: первая посадка попадает на умеренные температуры, достаточное увлажнение и длинный день, при котором клубнеобразование снижается. Особенность второй посадки связана с уменьшением длины дня, что благоприятно влияет на клубнеобразование, но снижается влажность и увеличивается температура, межфазные периоды проходят быстрее. Растения картофеля постоянно подвергаются стрессам.

Стрессы оказывают негативное влияние на процессы фотосинтеза, клубнеобразования, приводят к снижению урожая и качеству клубней. Для снижения стресса возможно использование различных адаптогенов, таковым является кремниевое удобрение, которое применяется в виде некорневой подкормки в период вегетации (опрыскивания). Изменение климата нарушает сложившийся водный режим растений и для их адаптации предлагается использование гидрогелей, которые набухают в почве, постепенно отдают влагу, тем самым улучшают водный режим растений и снижают негативное влияние.

Несмотря на то, что урожайность картофеля в последние годы довольно высокая (до 40 т/га, иногда и более), остается недостаток продукта в летний период. Ранний сбор первого урожая картофеля в конце июня-начале июля, позволяющая снизить импорт этой ценной культуры и обеспечивающая население страны качественной отечественной продукцией. Поэтому оптимизация минерального питания при возделывании двух урожаев является неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития картофелеводства, направленной на увеличение объемов производства в целом и особенно в летний период. Эффективное управление минеральным питанием способствует улучшению качественных и количественных показателей урожая, что, в свою очередь, положительно будет сказываться на экономической эффективности сельскохозяйственных предприятий.

Вопросами возделывания двух урожаев картофеля и оптимизации минерального питания занимались многие отечественные и зарубежные ученые: Н.Н. Балашев, Шкварникова П.К., Букасов С.М., Юзепчук С.В., Сикстель Д.А., Матвеев В.П., Писарев Б.А. Исследованиями по применению гидрогелей и кремнийсодержащих препаратов в картофелеводстве в последние годы активно занимаются российские и зарубежные специалисты однако комплексного изучения их применения при возделывании двух урожаев картофеля в Центральном Нечерноземье не проводилось.

Цели и задачи исследования. Целью являлась оптимизация минерального питания растений при выращивании двух урожаев картофеля в Центральном Нечерноземье для снижения негативного влияния стрессов и обеспечения высоких урожаев клубней.

В задачу исследований входило:

- проанализировать особенности минерального питания картофеля при возделывании двух урожаев в Центральном Нечерноземье и обосновать применение кремниевого удобрения и гидрогеля для снижения негативного влияния стрессов на урожайность при изменяющемся климате;

- изучить в Центральном Нечерноземье для оптимизации минерального питания растений применительно к первой и второй посадке для получения двух урожаев картофеля и оценить специфику роста и развития культуры, параметров продуктивности, формирования его компонентов и качество полученной продукции;

- корреляционные и регрессионные взаимосвязи между конечной продуктивностью и показателями фотосинтетической активности растений в агроценозах;

- дать оценку экономической и энергетической эффективности оптимизации минерального питания при возделывании двух урожаев картофеля.

Объект исследования – минеральное питание картофеля при возделывании двух урожаев картофеля в Центральном Нечерноземье.

Предмет исследования – зависимости процессов формирования урожайности клубней первой и второй посадки при оптимизации минерального питания и снижения негативного влияния стрессов.

Научная новизна. Впервые обоснована эффективность адаптационной технологии возделывания двух урожаев картофеля с применением комплекса NPK + кремниевое удобрение + гидрогель, обеспечившего ускорение фенологических фаз на 1–2 дня, увеличение высоты побегов до 46,6 см у первого урожая и 51,0 см у второго, количества стеблей — до 5,1 и 7,2 шт.

соответственно, индекса листовой поверхности — до 3,4 и 3,7, а также повышение урожайности с 15,6 до 22,05 т/га у первого урожая и с 17,94 до 24,52 т/га у второго (максимально до 33,0 т/га) и товарности клубней до 97–99%, при увеличении рентабельности производства на 20,2%.

Теоретическая и практическая значимость. В условиях изменяющегося климата, были выявлены закономерности роста и развития, а также продуктивности картофеля при использовании кремниевых удобрений как в комбинации, так и отдельно, с гидрогелиевыми материалами в технологии возделывания двух урожаев в условиях Центрального Нечерноземья.

Практическая значимость. Практическая значимость определяется разработкой рекомендаций по оптимизации минерального питания и снижения стрессов при возделывании двух урожаев картофеля в Центральном Нечерноземье. Рекомендации внедрены в условиях крестьянского хозяйства «Междуречье» Дмитровского района Московской области. Разработанные базы данных «Адаптация технологии возделывания картофеля к изменениям климата» (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623294, от 29.09.2023 г.) позволят увеличить эффективность производства картофеля.

Степень достоверности и реализации результатов исследований. Надежность и достоверность проведения экспериментальных исследований подтверждается использованием стандартной методики проведения трехлетних полевых опытов, результатами статистической обработки и корреляционного, регрессионного анализов при уровне достоверности 95 %.

Основные положения, выносимые на защиту:

- специфика роста и развития растений картофеля, а также параметры продуктивности в зависимости от совместного применения или отдельного использования кремниевого удобрения и гидрогеля применительно к первой и второй посадке для получения двух урожаев;
- агрономическая эффективность совместного применения или по отдельности кремниевого удобрения и гидрогеля применительно к первой и

второй посадке для получения двух урожаев картофеля в Центральном Нечерноземье;

- корреляционные и регрессионные взаимосвязи между конечной продуктивностью и показателями фотосинтетической активности растений в агроценозах;

- экономическая и энергетическая оценки совместного применения или по отдельности кремниевого удобрения и гидрогеля применительно к первой и второй посадке для получения двух урожаев картофеля.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и получили положительную оценку на конференциях: Международная научно-практическая конференция, посвященная 160-летию академика Дмитрия Николаевича Прянишникова «Агрохимическая наука – основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем» (Москва, ВНИИ агрохимии, 07...09 октября 2025 г.); Международная научно-практическая конференция «Охрана окружающей среды, изменение климата, инновационные технологии повышения плодородия деградированных почв» (Ташкент, 21...23 апреля 2025 г.); Конференция молодых ученых «Современные методы агрохимических и агроэкологических исследований, их применение в сельскохозяйственном производстве» (Москва, ВНИИ агрохимии, 29 ноября 2024 г.).

Публикации. По диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе в 2 изданиях, которые рекомендованы ВАК Минобрнауки РФ; 1 свидетельство о регистрации базы данных № 2023623294, от 29.09.2023 г.

Структура и объем диссертации. Материал диссертационного исследования изложен на 153 страницах машинописного текста, который включает введение, 5 глав, 28 таблиц, 13 рисунков, а также заключения, предложения производству и перспективы дальнейшей разработки. Библиографический список использованной литературы состоит из 168 источников, в том числе 69 иностранной литературы.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в постановке задачи и цели исследования, получении, обработки и интерпретации результатов эксперимента и производственной проверки, апробации и подготовки основных публикаций по выполненной работе. Доля личного участия автора в подготовке и издания совместных работ составляет до 75 %.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

1.1 Биология и морфология картофеля

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является многолетним растением, относящимся к семейству паслёновых (*Solanaceae*), роду паслён (*Solanum*) [10, 11, 12, 99]. Изначальными формами картофеля, которые были доставлены из Южной Америки в Европу и были культивированы, являлись автотетраплоидные клубненосные подвиды *ssp. Tuberosum* L. и *ssp. Andigena* Hawkes [23]. Со временем, путём длительной селекции, данные сорта постепенно адаптировались к новым почвенно-климатическим условиям, меняясь исходя из потребностей производства. Изменения были такими, что современные сорта картофеля по морфологическим, биохимическим и физиологическим особенностям заметно отличаются от своей изначальной формы, найденной в Андах [10, 11, 22, 71, 98, 129, 134].

Картофель относится к травянистым растениям с множеством стеблей и клубнеобразованием, которые способны размножаться как половым, так и вегетативным способом с помощью клубней. Хотя биологически картофель является многолетним видом, в условиях сельскохозяйственного возделывания и промышленности его рассматривают как однолетнюю культуру, поскольку в течение сезона он завершает весь жизненный цикл — от прорастания клубня до формирования новых клубней у полностью развитого растения [70]. Однако клубень, оставшийся в почве, выполняет функцию зимующей стадии материнского растения, в результате чего оно приобретает многолетний характер [10, 22, 24 42].

Корневая система картофеля, полученного из клубня, имеет мочковатый тип и формируется как объединение отдельных корневых систем, отходящих от каждого стебля. В составе корневой системы выделяют три разновидности корней: ростковые, пристолонные и столонные. Ростковые или глазковые, (их также называют первичными) корни формируются в начале прорастания клубня. Пристолонные корни образуются в течение всего периода вегетации,

располагаясь группами по 4–5 возле каждого stolона. Сами же stolонные корни закладываются непосредственно на stolонах [7, 22, 134].

Большая часть корневой системы, составляющая около 60–70% от общего объема, сосредоточена в пахотном горизонте, при этом 22–38% всех корней уходят в более глубокие слои, а отдельные экземпляры способны проникать до 150 см. Глубина залегания корней варьирует в зависимости от сорта: у раннеспелых она сравнительно небольшая, тогда как у среднеспелых и позднеспелых — значительно больше [73].

Развитие (мощность) корневой системы определяется условиями возделывания, уровнем влажности, аэрацией и содержанием питательных соединений в почве. Для картофеля характерна высокая поглотительная активность корней, особенно в отношении калия и фосфора. У растений картофеля менее развита корневая система в сравнении с другими паслёновыми, что делает картофель чувствительным к недостатку влаги, уплотнению почвы, засолению и плохой аэрации. Наиболее активно корни работают в тёплой, рыхлой, влажной почве, при температуре +18...22 °C [5, 7, 23]. Корневая система не восстанавливается хорошо после повреждений (например, при механической обработке или пересадке). Оптимальная влажность для развития корневой системы - 70-80 % от полной влагоемкости почвы. При недостатке влаги замедляется рост клубней, приводит их к измельчению, образуются мелкие и деформированные клубни, а также провоцируется вторичный рост (появление «деток» на уже сформировавшихся клубнях), увеличивается риск поражения паршой и другими болезнями. При избытке или переувлажнении происходит кислородное голодание корней, что тормозит клубнеобразование, способствует загниванию клубней и может приводить к растрескиванию клубней [7, 13, 22, 73].

Клубень картофеля является эволюционно развившимся утолщённым и укороченным стеблем. На ранних стадиях его развития на поверхности формируются мелкие чешуйчатые листики, лишённые хлорофилла. В пазухах этих листочков образуются почки покоя, которые формируют так называемые

глазки. Со временем чешуйчатые листья отмирают, оставляя после себя листовой след, называемый «бровью» глазка. Обычно в каждом глазке содержится три почки. При прорастании начинает развиваться одна из них — как правило, наиболее сильная и расположенная в центре, в то время как остальные выполняют роль резервных и активируются только при повреждении ростков, например, при обламывании [7, 23].

Так как клубень развивается верхушкой, плотность их расположения в верхней части значительно выше, чем в средней зоне и у основания. Верхушечные глазки обладают большей жизнеспособностью и начинают прорасти раньше, чем расположенные ниже. В зависимости от сортовых особенностей картофеля ростки, появившиеся на свету, могут иметь различный оттенок: зеленый, красно-фиолетовый или сине-фиолетовый [7, 8, 22, 154]. Зрелый клубень находится в фазе покоя, глубина и продолжительность которого определяются генетическими факторами и относятся к сортовым признакам. Согласно данным Мельничук Д.И., состояние покоя поддерживается наличием ингибиторов роста, количество которых постепенно уменьшается, тогда как содержание веществ, стимулирующих рост, возрастает [62]. При этом запасенные питательные соединения переходят в растворимую форму, усиливается дыхание, и клубень начинает прорасти [7, 8, 10, 22, 25].

По наблюдениям Писарева Б.В., при переходе клубня из состояния покоя к образованию ростков он физиологически стареет. Старение определяется суммой среднесуточных температур выше 0 °С и общей продолжительностью периода прорастания [7, 10]. При этом физиологический возраст семенного материала по-разному отражается на величине урожая. У старых клубней прорастание протекает быстрее, что способствует сокращению времени между посадкой и появлением всходов. В таких условиях растения вступают в фазу роста и развития при более благоприятных условиях, однако формирование вегетативной массы уменьшается, что приводит к снижению массы образующихся клубней [7, 23].

Существенное влияние оказывает и погода года: в зависимости от метеоусловий интенсивность клубнеобразования усиливается либо ослабляется. Так, более высокие положительные температуры способствуют развитию надземной массы, а пониженные температуры усиливают процесс клубнеобразования [13].

Начало формирования клубней наблюдается через 2–5 недель после появления всходов. В среднем один стебель образует 2,5–4,5 клубня общей массой от 90–100 до 350–400 г. Поэтому сохранение хотя бы одного дополнительного стебля в кусте прибавляет урожай не менее 4–5 т с гектара [7, 22, 73]. Активное накопление урожайности у скороспелых сортов длится в течение 26–28 дней, у среднеранних этот период продолжается 34–36 суток, а у среднеспелых и позднеспелых сортов — 43–45 суток [7].

1.2 Требования картофеля к факторам внешней среды

Отношение к свету. Ключевым фактором, определяющий продуктивность и географическое распространение является фотопериодизм у картофеля, это важная физиологическая реакция, которая влияет на его рост, развитие, цветение и клубнеобразование в зависимости от продолжительности светового дня. Согласно современной фотопериодической классификации культурных растений сорта картофеля относят к категории короткодневных культур, однако в условиях умеренных широт они успешно адаптируются и к продолжительному дню.

Картофель демонстрирует сложную реакцию на длину дня: цветение стимулируется длинным днем (более 12–14 часов), что характерно для большинства видов, включая культурный *Solanum tuberosum*. Клубнеобразование активируется коротким днем (менее 12–13 часов), особенно у видов, происходящих из экваториальных и горных регионов. В начальных фазах роста короткий день способствует удлинению стебля, но через 2–3 недели оптимум смещается в сторону длинного дня. Уменьшение длины дня ускоряет формирование клубней, повышает урожайность и

способствует раннему созреванию. Некоторые виды (например, *S. acaule*, *S. demissum*) образуют клубни только при коротком дне. Длинный день (до 18 часов) стимулирует цветение, хотя некоторые виды (например, *S. phureja*, *S. maglia*) могут цвести и при коротком дне. Установлено, что как у раннеспелых, так и у позднеспелых сортов более интенсивное развитие надземной части наблюдается именно при длинном дне, однако эффективность клубнеобразования, выражающаяся в соотношении массы клубней к массе ботвы, значительно выше при коротком дне [7, 12, 13, 41, 45, 76, 160].

При переносе картофеля из низких широт в высокие (с длинным днем) важно учитывать его фотопериодическую адаптацию. Например, чилийские формы *S. tuberosum* лучше приспособлены к длинному дню, чем андийские *S. andigenum*. Использование искусственного освещения при выращивании в теплице (например, светодиодов с красным и синим спектром) позволяет управлять клубнеобразованием и цветением. Учет этих особенностей позволяет оптимизировать агротехнику, селекцию и выращивание в разных климатических условиях [7, 12, 13, 41, 45, 76].

Картофель по праву считают светолюбивой культурой. Даже небольшое снижение освещённости приводит к пожелтению ботвы, чрезмерному вытягиванию стеблей, подавлению или отсутствию цветения, а также к заметному уменьшению урожая клубней. С учётом этого в условиях агротехнологии важно формировать оптимальный световой режим. Чрезмерно загущенные или, напротив, слишком редкие посадки не обеспечивают получение высоких урожаев [7, 41, 76].

Отношение к температуре. После завершения периода покоя клубни картофеля, помещённые в почву, способны к прорастанию уже при температуре 3–5 °С. Однако в таких условиях рост почек крайне медленный, и корневая система не формируется. При температурах ниже 3 °С или выше 31 °С развитие глазков тормозится, а воздействие –1 °С и 35 °С, как правило, приводит к их повреждению. Активность роста растений значительно

снижается при охлаждении почвы до уровня менее 7–8 °С и заметно угнетается при её перегреве выше 25 °С. При сочетании высокой влажности воздуха и отрицательных температур в пределах –1...–1,5 °С наблюдается потемнение и отмирание ботвы. Клубни, содержащие до 75 % и более воды, обычно не выдерживают воздействия –1 °С. Исключения возможны тогда, когда осенью происходит постепенное снижение температуры и в тканях накапливается до 8 % сахаров, что позволяет клубням перезимовать в почве. Такие клубни прорастают раньше, становятся субстратом для временного обитания ряда насекомых-вредителей (жуков, тлей) и нередко засоряют посевы последующих культур. При хранении картофеля при низких положительных температурах происходит преобразование крахмала в сахара, придающее клубням сладковатый вкус; возврат к нормальному вкусу обеспечивается после выдерживания при комнатной температуре, когда сахара вновь переходят в крахмал [7, 41, 45, 76].

Формирование корневой системы возможно лишь при температуре почвы не ниже 7 °С. При более низких температурах клубни длительное время остаются в почве без образования всходов, расходуя собственные запасы и иногда образуя дополнительные клубеньки без надземных органов. Такое явление чаще наблюдается при посадке в переувлажнённую холодную почву или, напротив, в пересушенную среду с температурами выше 25 °С. Нормальной для прорастания считается температура 7–8 °С, наиболее оптимальной — 18–20 °С. При этом всходы появляются через 10–12 дней, тогда как при 7 °С их выход может затягиваться до 30–50 дней. Оптимальная температура для клубнеобразования составляет 16–19 °С, что примерно соответствует воздуху 21–25 °С. При снижении температуры рост клубней замедляется, а при 2 °С - полностью прекращается. Высокие температуры стимулируют рост и разветвление столонов, но снижают выход урожая [10].

При длительном воздействии температуры воздуха, превышающей 30 °С, фотосинтетическая активность листьев картофеля практически прекращается, что приводит к остановке роста клубней и утолщению их

кожуры. В такие периоды усиливается интенсивность дыхательных процессов, когда расход углеводов начинает превышать их синтез, вследствие чего формирование клубней задерживается [7, 10].

Суммарное количество эффективных температур (выше 10 °С), необходимое за вегетационный сезон для полноценного развития растений, составляет в среднем 1000–1100 °С для раннеспелых и среднеранних сортов, тогда как для позднеспелых этот показатель достигает 1400–1600 °С.

Требования к влаге. Картофель относится к культурам, характеризующимся высокой потребностью во влаге почвы. Его транспирационный коэффициент находится в пределах 400–550. Степень водопотребности изменяется на разных стадиях онтогенеза. На этапе прорастания семенного материала влагозапасы материнского клубня оказываются достаточными, поэтому сухой и тёплый климат в этот период наиболее благоприятен для начального развития растений. Наибольшая чувствительность к водообеспеченности наблюдается в фазу начала цветения: дефицит почвенной влаги в этот критический период вызывает резкое падение урожайности клубней [41]. Даже непродолжительные засушливые условия во время бутонизации способны снизить продуктивность на 17–23%. В отдельные жаркие дни один куст картофеля может испарить до 4 литров воды.

Оптимальные условия роста и формирования урожая отмечаются при влажности почвы в пределах 60–80% от наименьшей влагоёмкости. Для получения стабильных и высоких урожаев в условиях средней полосы необходимо, чтобы за вегетационный период количество осадков составляло не менее 300 мм [10, 41].

Требования к почве. Несмотря на то, что картофель нельзя отнести к культурам с повышенной избирательностью к типам почв, наибольшая продуктивность достигается на хорошо окультуренных, аэрированных и рыхлых почвах. Это связано с высокой чувствительностью его корневой системы к кислородному дефициту. Дыхательная активность корней картофеля составляет 7–12 мл кислорода в час на 1 г сухого вещества, что

приблизительно в пять раз превосходит аналогичный показатель у подсолнечника и ряда других культур. Наиболее выраженная необходимость в кислороде фиксируется на стадии клубнеобразования. Для нормального газообмена почва должна находиться в рыхлом состоянии, обеспечивающем достаточное атмосферного воздуха. В условиях избыточного увлажнения, сильного уплотнения и недостаточной обработки концентрация кислорода в почве нередко снижается до 2%, тогда как содержание углекислого газа резко возрастает. Такая газовая среда приводит к удушению и гниению клубней. Для нормального роста картофеля содержание CO_2 в почве не должно превышать 1% [10].

Рыхлая структура почвы также необходима для полноценного развития столонов и формирования молодых клубней - на уплотнённых участках они остаются мелкими и приобретают деформированный вид [41]. Высокая урожайность картофеля обеспечивается на средних и тяжёлых суглинках при плотности 1,10–1,20 г/см³, на лёгких песчаных и песчано-суглинистых почвах – 1,40–1,50 г/см³, а на среднесуглинистых чернозёмах – 0,90–1,10 г/см³.

При возделывании на суглинистых почвах с плотностью 1,35–1,50 г/см³ появление всходов задерживается на 5–6 суток по сравнению с участками, где плотность почвы составляет 1,10–1,20 г/см³. Картофель успешно выращивается на удобренных супесчано-суглинистых и чернозёмных почвах. В условиях Нечерноземной зоны для него пригодны окультуренные дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Широкое распространение получили также окультуренные торфяники, особенно при возделывании культуры на семеноводческие цели [13, 41, 76].

Благодаря высокой способности корневой системы усваивать элементы питания, картофель может расти и на сравнительно малоплодородных почвах, однако получение высоких урожаев при этом маловероятно. Тяжёлые суглинистые и уплотнённые почвы, особенно при близком залегании грунтовых вод, являются непригодными. Крайне неблагоприятными

оказываются также засоленные почвы, вследствие выраженной чувствительности культуры к солевому воздействию.

На слабокислых почвах картофель развивается удовлетворительно, особенно при внесении органических удобрений. Оптимальная реакция почвенной среды находится в пределах pHsol 5–6. На чрезмерно кислых или, напротив, щелочных почвах рост растения заметно угнетается.

Требования к элементам питания. Картофель отличается высокой потребностью в элементах питания. Это связано с формированием значительных количеств сухого вещества при сравнительно слабой корневой системе. В среднем на каждую тонну урожая клубней растение выносит из почвы: азота (N) – 5–6 кг, фосфора (P_2O_5) – 1,5–2 кг, калия (K_2O) – 7–10 кг, кальция (Ca) – около 4 кг, магния (Mg) – 2 кг. В начальные этапы вегетации потребность в питании невелика, поскольку основным источником элементов на этой стадии служит запас материнского клубня. Наибольшая потребность в минеральных элементах наблюдается в фазу бутонизации и цветения, когда активно формируется надземная масса и закладываются клубни. С завершением вегетации интенсивность потребления питательных веществ снижается и полностью прекращается к моменту отмирания ботвы [3, 4, 45, 76, 87, 91, 92].

Недостаток азота приводит к слабому развитию листовой массы, уменьшению облиственности, снижению фотосинтетической активности и, как следствие, к падению урожайности и крахмалистости клубней. При избытке азота наблюдается чрезмерное развитие ботвы, задерживается закладка клубней, продлевается вегетационный период и снижается устойчивость к заболеваниям. Оптимальное азотное питание способствует лучшему усвоению растением калия и фосфора [4, 7, 45, 76, 88, 89].

Фосфорное питание ускоряет рост и развитие картофеля начиная с момента появления всходов. С его достатком значительно ускоряются все последующие фазы органогенеза, быстрее формируется корневая система, ранее начинается процесс клубнеобразования, увеличивается урожай и

крахмалистость клубней, улучшаются их хранение и семенные качества. Дефицит фосфора нарушает нормальное развитие: уменьшается способность к ветвлению, задерживаются процессы бутонизации, цветения и формирования клубней. На поверхности клубней могут возникать бурые пятна, снижается их крахмалистость и ухудшаются вкусовые характеристики [4, 41, 45, 76].

Недостаточное обеспечение фосфором чаще всего наблюдается на кислых подзолистых суглинистых почвах. Взаимодействуя с подвижными формами алюминия и железа, он переходит в труднорастворимые соединения, практически недоступные растениям. Проведение известкования позволяет снизить содержание подвижных форм алюминия и железа в почвенном растворе, что повышает доступность фосфора. Его поступление также значительно затрудняется при дефиците влаги в почве, а понижение температуры ниже 8–10 °C дополнительно ухудшает усвоение данного элемента [7, 41, 45, 54, 55, 76].

Калий играет ключевую роль в процессах фотосинтеза, а также в белковом и углеводном обмене. Он оказывает решающее влияние на урожайность и качество продукции картофеля, особенно на накопление крахмала, и одновременно повышает устойчивость растений к болезням. В системе водообеспечения калий имеет особое значение: он способствует поддержанию клеточного тургора и внутреннего давления в тканях. При дефиците калия нарушаются темпы роста и анатомо-морфологическое строение растения - замедляется формирование механических тканей и корневой системы. Клубни приобретают удлинённую форму, становятся мелкими и хуже сохраняются при хранении в зимний период. При этом калийные удобрения, содержащие значительные количества хлора, оказывают отрицательное влияние, снижая крахмалистость клубней [7, 41, 45, 76, 86, 90].

Помимо макроэлементов, картофель очень чувствителен и к дефициту микроэлементов. Их недостаток может проявляться в виде хлорозов,

замедления роста, снижении защитных механизмов от вредителей и болезней, деформации клубней и снижения крахмалистости.

1.3 Мировой опыт возделывания двух и трех урожаев картофеля

Картофель представляет собой многолетнюю культуру с клубневыми органами и травянистой надземной частью, которая ежегодно отмирает. В благоприятных условиях вегетации образуются клубни, выполняющие не только функцию хранения питательных веществ, но и репродуктивную — наряду с семенами они используются для вегетативного размножения. При наступлении неблагоприятных факторов роста, сопровождающихся отмиранием надземной массы, клубни переходят в состояние физиологического покоя, в котором сохраняются в почве до восстановления условий, благоприятных для роста. Поскольку в большинстве регионов России климат не обеспечивает возможность круглогодичного вегетативного цикла, картофель возделывается как однолетняя культура.

Тем не менее, при посадке клубнями происходит не формирование нового растения, а возобновление развития материнского организма, представленное клубнем как зимующей формой. Это подтверждает, что с ботанико-физиологической точки зрения картофель следует отнести к многолетним растениям. В этом случае возраст культуры определяется возрастом её сорта [17, 39, 98].

Двукратное возделывание картофеля в пределах одного календарного года является распространённой практикой в южных широтах, включая такие страны, как Китай, Сирия, Израиль и ряд других государств. В условиях этих регионов возможно и трёхкратное получение урожая за сезон. Так, на территории Сирии порядка 30 тыс. га земли используется для последовательного выращивания картофеля весной, летом и осенью, что обеспечивает среднюю урожайность на уровне 17,49 т/га и существенно увеличивает совокупный объём производства [16, 17, 18, 19, 20, 39].

В частности, весенние посадки в Сирии проводятся в промежутке от середины января до середины февраля, что соответствует оптимальным условиям для провинции Латакия. Летние сроки посадки приходятся на март–апрель, а в некоторых районах, где климат характеризуется значительными колебаниями между дневными и ночными температурами, высадка продолжается до мая. Осенние же посадки осуществляются с середины июля по середину августа в тех же регионах, где ранее была успешно завершена весенняя кампания.

Сходные агроприёмы были широко распространены в государствах Средней Азии (Таджикистан, Туркмения, Узбекистан, Казахстан), а также в Молдове, на территории Украины и в Северо-Кавказском регионе в 1950–1960-е годы. Опытные исследования выполнялись на государственных сортоиспытательных станциях, где внимание уделялось отбору сортов и гибридов картофеля с укороченным периодом покоя или вовсе лишённых его. Это давало возможность осуществлять повторные посадки клубней непосредственно после уборки предшествующего урожая. Следует подчеркнуть, что именно наличие периода покоя клубней является основным лимитирующим фактором в организации системы получения двух урожаев картофеля за сезон [16, 17, 18, 19, 20, 39, 55, 79].

Значительный вклад в разработку теоретических и практических основ двукратного выращивания картофеля внесли П.А. Генкель, Е.З. Окнина, С.М. Букасов, Рожалин и т.д. [23]. В частности, Букасов и Юзепчук работали с дикими видами картофеля, не имеющими ярко выраженного периода покоя, что позволило вывести сорта, превосходящие традиционные по агрономическим качествам [10, 11, 12].

Проблемой преодоления физиологического покоя клубней занимались и другие исследователи, включая академика Т.Д. Лысенко, считавшего, что ключевым фактором активации роста является не дефицит кислорода, а его свободный доступ при наличии условий, благоприятных для перемещения питательных веществ к почкам [53]. Для устранения периода покоя

применялись различные методы: механическое воздействие, температурные режимы, химическая стимуляция и пр.

Разработано несколько агроприёмов для ускоренного проращивания: проращивание клубней непосредственно в почве под материнским растением, траншейный способ, использование резанных клубней, а также применение растворов стимуляторов роста. В этой области работали Н.Н. Балашов, Л.В. Рожалин, В.М. Фоменко и др. [7, 73, 74]. Исследовались также режимы полива и внесения удобрений, способствующие активации роста клубней, что показали в своих трудах М.К. Рубашевская, А.М. Фаворов, А.Ф. Котов и А.И. Челядинова [75].

Особое внимание методике двухурожайного возделывания уделяли учёные, работающие в Крыму (П.К. Шкварников) [97], на юге Украины (Г.Я. Дуда, Г.Г. Гниловская) [24]. В последние годы разработки продолжаются в Институте овощеводства и бахчеводства (г. Днепропетровск), где Е.Л. Семенченко и Т.В. Семибратская исследуют способы обработки свежесобранных клубней с помощью растворов регуляторов роста и фитогормонов, а также разрабатывают рекомендации по выбору сортов для повторных посадок [78].

К сожалению, сегодня подобные исследования ведутся в ограниченном объёме, несмотря на возрастающие климатические возможности. Между тем возделывание двух урожаев позволяет сократить вегетационный период, снижая потребность в пестицидах и агрохимикатах, что способствует снижению экологической нагрузки на агроценоз.

В настоящее время аграрная политика ориентирована на развитие форм сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность производства. Согласно нормативам, установленным Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, статус экологически чистой продукция получает лишь в том случае, если при её производстве используются удобрения, средства защиты растений и корма, не оказывающие вредного влияния ни на окружающую среду, ни на здоровье

человека. Экологически ориентированное земледелие базируется на технологиях, поддерживающих сохранение биологического разнообразия и естественного плодородия почвы при отсутствии негативного воздействия на население.

Среди наиболее значимых направлений данного подхода выделяется органическое земледелие, распространённое уже в 181 государстве мира [115]. Глобальный рынок органической продукции демонстрирует стремительную динамику: его объём увеличился с 18 до 97 млрд долларов США. Крупнейшая доля в мировом обороте принадлежит США (43%), тогда как по показателям потребления на одного жителя лидируют европейские страны. При этом внутреннее производство в государствах Европейского союза отстаёт от темпов роста спроса, что создаёт благоприятные возможности для России в качестве перспективного экспортёра органической продукции.

Интеграция двухурожайной технологии в систему органического картофелеводства может повысить продуктивность и устойчивость отечественного сельского хозяйства. Исторически наработанная база, в сочетании с современными научными подходами Гаспарян И.Н. и Ивашовой О.Н. позволяет рассматривать данный путь как перспективный в условиях изменяющегося климата [16, 17, 18, 19, 20, 42, 43].

Мировой опыт показывает высокую эффективность выращивания двух урожаев картофеля при условии точного соблюдения агротехнологических требований. В почвенных условиях Российской Федерации существуют предпосылки для широкого внедрения данной практики. Развитие технологии двух урожаев картофеля может стать значимым фактором роста внутреннего производства картофеля и укрепления продовольственной безопасности страны.

1.4 Агроклиматические показатели и изменение климата

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост среднегодовых температур, что представляет собой серьёзный вызов для сельского хозяйства и продовольственной безопасности. Так, по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (ИПСС), мировой температурный фон повысился примерно на $0,85^{\circ}\text{C}$ за период с 1880 по 2012 год.

В России потепление происходит более интенсивно: согласно ИПСС и российским исследованиям, средние температуры в нашей стране растут в 2–3 раза быстрее, чем в глобальном масштабе, особенно на севере. Это подтверждается Росгидрометом и другими учёными — средняя температура растёт быстрее, чем в среднем по планете.

За период 1979–2019 годов скорость потепления в среднем по России составила около $0,47^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. При этом исследования Центра Хэдли и Университета Восточной Англии показывают, что среднегодовое потепление над сушей Земли в этот же период составило около $0,28^{\circ}\text{C}$ (или $0,18^{\circ}\text{C}$ по некоторым оценкам), что значительно ниже темпов, наблюдаемых в России.

Начиная с 1980 года каждое последующее десятилетие характеризуется более высокими температурами, чем предыдущее. Особенно выражено потепление наблюдается в Арктической зоне: с 1990 по 2019 гг. скорость роста там достигала $0,81^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. Кроме того, наблюдается сокращение ледяного покрова Арктики, уменьшение длительности снежного покрова и увеличение глубины талого слоя вечной мерзлоты.

Несмотря на предпринимаемые глобальные меры по снижению выбросов, процесс потепления не приостанавливается — рост содержания CO_2 и метана в атмосфере продолжается. По данным Росгидромета, содержание CO_2 достигло 414 ppm в 2019 году при среднем приросте $2,26\text{ ppm}$ в год, а концентрация метана также увеличивается. ВМО сообщает, что глобальное потепление по состоянию на 2019 год превышает доиндустриальные показатели на $1,1^{\circ}\text{C}$.

На территории России продолжается удлинение теплого периода, что выражается в росте активных температур (выше 10 °C). Так, в 1976–2019 гг. продолжительность вегетационного сезона в сельскохозяйственных зонах увеличилась в среднем на 3,4 дня каждые десять лет. Температура 2019 и 2020 годов оказалась одной из самых высоких с начала инструментальных наблюдений: среднегодовые аномалии превышали нормы 1961–1990 гг. на 2 °C и более.

Начало весенней вегетации сместилось на 1–8 дней вперёд (обычно 3–4 дня), а последние годы характеризуются активными климатическими аномалиями — например, температура в июне на юге Европейской России превышала норму на 4,3 °C.

Ситуация с осадками более неоднозначна: общий прирост составляет примерно +2,2 % нормы за десятилетие, преимущественно весной (+5,7 %), но летом наблюдаются засухи — количество осадков может падать до 46 % нормы. В некоторые годы (2018–2020) в разных зонах одновременно фиксируются как избыток, так и дефицит осадков, что усложняет агротехнологическое планирование.

Зимой также наблюдается снижение влажности — осадки сокращаются по всей сельскохозяйственной части страны. Важной тенденцией является сокращение срока снежного покрова на 12,7 дней в 2018–2020 гг. по сравнению с 1967–2019 гг. При этом в регионах вроде Якутии высота снега в отдельные зимы превышала норму на 4 см, а мощность талого слоя грунтовой мерзлоты продолжает расти.

Температуры почв на большой глубине также повысились до +3–4 °C летом на протяжении последних десятилетий. При этом минимальные температуры почвы, особенно в азиатской части, возросли на глубине до 3,2 м.

Таким образом, в России наблюдается ускоренное потепление, превышающее глобальные показатели. При этом меняются агроклиматические условия: удлиняются вегетационные периоды, смещаются сроки посевов, растёт риск засух и экстремальных температурных явлений,

что является стрессом для растений. Эти изменения требуют адаптации агропрактик и разработки новых стратегий климатической устойчивости.

Продолжая вышеизложенное, изменения климата оказывают как негативное, так и потенциально позитивное влияние на картофелеводство, но в целом создают высокую степень неопределённости и требуют адаптивного подхода в агротехнологиях.

Повышение среднегодовых температур и увеличение суммы активных температур ($T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к удлинению вегетационного периода. Для картофеля это может означать: возможность выращивания второго урожая, распространение культуры севернее традиционных зон.

Более ранняя весна позволяет раньше выходить в поле. Сдвиг начала вегетации на 1–8 дней позволяет проводить посадку раньше, избегая пиков летней жары, в то же время, если не адаптировать технологии, повышается риск того, что цветение или клубнеобразование попадёт на периоды засухи или жаркой погоды, что снижает урожайность.

Для картофеля крайне важна равномерная влагообеспеченность в течение всего периода роста. Критичны два периода: начало клубнеобразования и налив клубней. При дефиците влаги снижается масса клубней, ухудшается товарный вид, увеличивается содержание нитратов, ухудшается способность к хранению. Засухи в южных регионах (ЮФО, СКФО) вегетационных сезонов 2018–2020 годов показали, что без систем орошения картофель становится высокорисковой культурой.

Изменения климатических условий создают для картофелеводства новые вызовы и возможности. Среди возможностей — расширение географии культуры и увеличение урожайного потенциала в некоторых регионах. Однако риски, связанные с жарой, дефицитом влаги, погодными аномалиями и усилением абиотических и биотических стрессов, требуют разработки и адаптации агротехнологий к эти изменениям.

1.5 Климатические условия для выращивания двух урожаев картофеля в Московской области

Согласно результатам длительных наблюдений, проводимых Метеорологической обсерваторией им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА, в исследуемом регионе фиксируется выраженная тенденция к росту температурного фона. Установлено повышение как средних месячных показателей в зимний и летний периоды, так и среднемноголетнего значения за год. Несмотря на кажущуюся умеренность годовых изменений (в пределах $+0,8^{\circ}\text{C}$ за 125 лет — с $3,6^{\circ}\text{C}$ до $4,4^{\circ}\text{C}$), более детальный анализ по месяцам показывает значительные колебания. Так, средняя температура апреля увеличилась с $3,4^{\circ}\text{C}$ до $4,9^{\circ}\text{C}$, что особенно важно в агротехнологическом контексте, поскольку этот месяц нередко определяет начало полевых работ.

Таблица 1- Месячные и годовые нормы температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$
(данные обсерватории им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)

Период, гг.	Количество лет	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Годовая норма
1879-2003	125	-9,5	-8,6	-3,8	4,9	12,2	16,2	18,3	16,4	10,7	4,6	-1,9	-7,0	4,4
1881-1980	100	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
1881-1960	80	-10,2	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,8	18,1	16,2	10,6	4,2	-2,2	-7,6	3,8
1881-1953	73	-10,4	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,7	18,0	16,2	10,6	4,1	-2,1	-7,7	3,8
1881-1915	35	-10,8	-9,1	-4,8	3,4	11,8	15,6	18,0	15,8	10,1	3,7	-2,8	-8,0	3,6

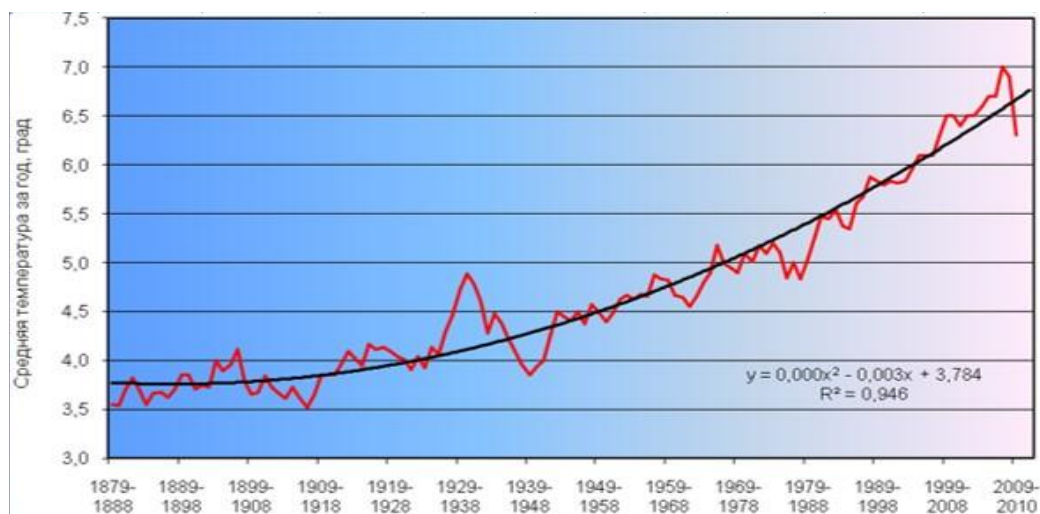


Рисунок 1 – Тренд годовых температур воздуха по скользящим десятилетиям
1879...2009

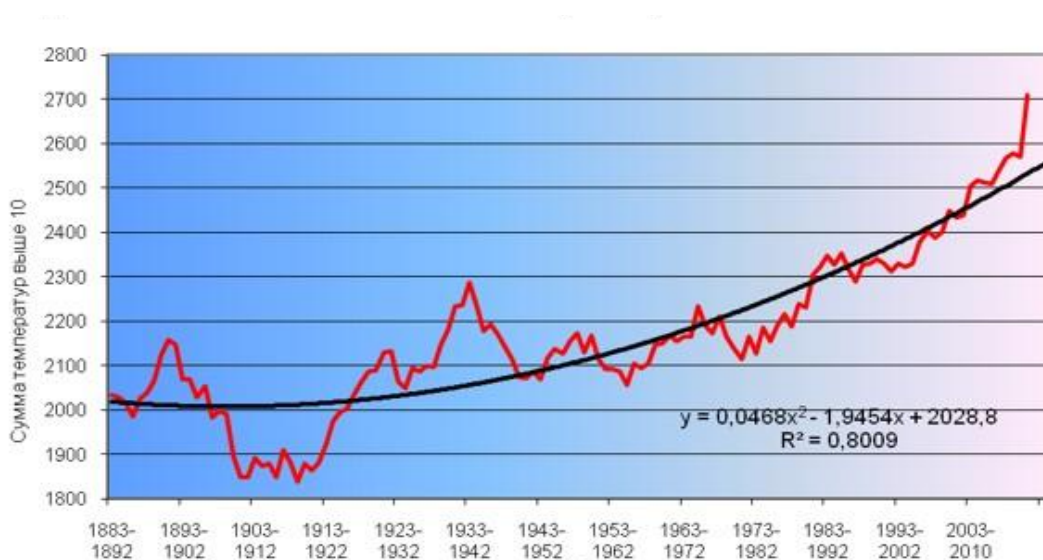


Рисунок 2 - Тренд сумм температур воздуха по скользящим десятилетиям 1881...2010 гг.

По данным за 130 лет наблюдений (рисунки 1–2, таблица 1), налицо общее потепление климата: среднегодовая температура выросла с 3,5 °С до 7,0 °С. При этом характер изменения температур остаётся волнообразным, с чередованием тёплых и холодных фаз. Особенно заметный рост температур пришёлся на последние десятилетия, чему способствовало учащение тёплых зим. В частности, за период 1980–2005 гг. температура в зимний сезон повысилась на 2,3 °С, достигнув -7,7 °С.

Для аграрного сектора ключевым параметром становится сумма активных температур (САТ) выше 10 °С, необходимая для роста сельскохозяйственных культур. Например, для нормального развития картофеля требуется от 1000 до 1600 °С, для раннеспелых сортов — порядка 1100 °С. Получение двух урожаев требует минимум 2200 °С. Современные условия Московской области обеспечивают этот уровень: за последние 25 лет САТ стабильно превышает 2400 °С, что на 300 °С выше климатической нормы. Минимальные значения приходились на 1994 г. (1276 °С), а максимальные — на аномально тёплый 2010 год (2900 °С).

Таким образом, в 8 из 10 лет температурные условия благоприятны для выращивания двух урожаев картофеля раннего срока созревания.

Влажностные условия. Картофель остро реагирует на влагоснабжение, особенно в фазе бутонизации и массового цветения. Нехватка влаги в этот период способна снизить урожай на 50–60 %. Среднегодовое количество осадков в регионе варьируется от 488 до 880 мм, что создаёт риск как переувлажнения, так и засух. Однако в последние десятилетия наблюдается увеличение осадков: с ~600 мм в XIX веке до ~700 мм в XXI. В отдельных годах фиксировались значения свыше 800 мм, что благоприятно в контексте обеспечения влагой в критические периоды — май-июнь (первый урожай) и август (второй урожай) [39, 48].

В условиях неравномерного распределения осадков важным инструментом становится орошение или поиск новых способов влагобережения. Оно не только компенсирует недостаток влаги, но и позволяет управлять водным режимом почвы, улучшая условия для формирования клубней.

Картофель, как культура с высокой долей воды в составе клубней (до 80 %), отличается значительной транспирационной активностью. Коэффициент транспирации варьирует от 230 до 700, в условиях средней полосы — около 300–450. При недостатке влаги — это значение возрастает, что усиливает потребность в регулировании водного режима [71].

Продолжительность вегетационного периода. Наблюдается устойчивая тенденция к увеличению продолжительности вегетационного периода. По данным метеонаблюдений с 1988 по 2019 гг. (таблица 1), начало вегетации сместилось на более ранние сроки — чаще на вторую декаду апреля, а в отдельные годы даже на март. Завершение вегетации, в свою очередь, наступает позже — преимущественно во второй декаде октября.

Это расширение временного окна вегетационного периода (в среднем 175–185 дней) благоприятно сказывается на возможности выращивания культур с коротким циклом развития. Для раннего картофеля, чей период вегетации составляет около 70–80 дней, нынешняя климатическая ситуация позволяет закладывать два полноценных цикла выращивания за сезон.

1.6 Снижение стресса растений картофеля в условиях изменения климата

Изменение климатических параметров, проявляющееся в росте среднегодовых температур, увеличении частоты засушливых периодов и нерегулярности распределения осадков, обостряет вопрос влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. В этих условиях особое внимание аграриев привлекают технологии, способствующие удержанию влаги в зоне корнеобитания растений. Одним из наиболее перспективных технологий для решения данной проблемы является применение гидрогелей.

Гидрогели представляют собой гидрофильные полимерные соединения с множеством межмолекулярных связей, которые способны аккумулировать количество влаги, значительно превышающее их собственную массу, с последующим её постепенным высвобождением в пользу растений [50]. Эти свойства способствует поддержанию оптимального увлажнения корневой зоны, что крайне важно при выращивании сельскохозяйственных культур, особенно в условиях недостаточного или нерегулярного увлажнения почвы. Формирующиеся полимерные гидрогели имеют довольно крепкую структуру, которая позволяет им сохранять свои абсорбирующие свойства даже под давлением, что способствует созданию более устойчивого микроклимата в зоне развития корней и его водно-физическим характеристикам, обеспечивая более эффективное потребление влаги растениями и снижая потери воды в результате испарения или глубокого фильтрования.

Полимерные материалы обладают способностью удерживать воду за счет наличия гидрофильных функциональных групп, таких как -ОН, -CONH-, -CONH₂, -SO₃H, -NH₂ и -COOH, входящих в их молекулярную структуру. В то же время гидрогели на основе полимеров не подвержены растворению в воде, поскольку характеризуются пространственно сшитой трехмерной сетью, обеспечивающей сохранение целостности структуры даже при высокой влагоемкости [46, 56, 110, 150, 154, 157, 162].

В сельском хозяйстве наиболее активно гидрогели стали применяться в начале XXI века, однако их открытие произошло еще в 40-50е годы XX века, а активное применение началось в 60-80е годы, когда были открыты многочисленные способы синтеза полимеров для различных нужд [162].

Первый изучаемый тип гидрогелей — это синтетические гидрогели, которые производятся на основе полиакрилатов и сополимеров. Такие материалы характеризуются высокой водоудерживающей способностью и устойчивостью к физико-химическим воздействиям в почве. Они могут поглощать влагу, уступая большую ее часть растениям постепенно, обеспечивая долгосрочный эффект [56].

Второй широко изучаемый тип - биополимерные гидрогели, изготовленные из природных веществ, таких как крахмал, целлюлоза, альгинаты и другие природные полисахариды. Главным преимуществом таких гидрогелей является их биodeградируемость и экологическая безопасность, что особенно актуально для органического земледелия и устойчивых агротехнологий. Однако биополимерные гидрогели менее устойчивы к микробиологическому разложению, а также обладают меньшей механической прочностью и долговечностью по сравнению с синтетическими аналогами. Это делает их целесообразными для кратковременного использования или в смешанных составах с синтетическими полимерами для повышения функциональности и срока службы [141].

К третьему типу относят направление создания композитных гидрогелей, которые сочетают в себе свойства синтетических и биополимерных материалов. Такие гидрогели позволяют оптимизировать характеристики по поглощению влаги, ее удержанию и биodeградации, уменьшая риски негативного воздействия на окружающую среду и одновременно повышая эксплуатационные показатели. Композитные материалы открывают новые возможности для адаптивных агротехнологий, ориентированных на конкретные условия почвы и климата, что особенно важно для высокотехнологичного производства овощных культур, включая

картофель. Их использование в мире находит все большее распространение (США, Япония, Китай и др.) [56, 147, 149, 150]. Однако наиболее часто в сельском хозяйстве применяются именно синтетические и полусинтетические гидрогели из-за их способности с значительному изменению объема [56]. На практике именно синтетические гидрогели наиболее часто применяют в качестве сорбентов, регулирующих влагоудерживающую способность почв с легким гранулометрическим составом [67, 77, 85].

При синтезе подобного вида синтетических гидрогелей основными мономерами выступают акриламид и акриловая кислота. Сшивание полимерных цепей может осуществляться различными способами: свободнорадикальной и конденсационной полимеризацией, воздействием ультрафиолетового излучения, а также с привлечением низкомолекулярных соединений.

Получение полиакриламидных гидрогелей традиционно основано на реакции свободнорадикальной полимеризации, инициируемой системой, состоящей из персульфата аммония в сочетании с тетраметилэтилендиамином. Повысить гидролитическую устойчивость таких гелей, то есть их способность сохранять структуру и противостоять химическому распаду в присутствии воды, удастся благодаря модификации акриламида функциональными группами, например алкильными или гидроксиалкильными [103, 155].

Несмотря на то, что применение синтетических и полусинтетических гидрогелей является широко распространенным, во многих странах, в том числе и в РФ активно ведется изучение и внедрение различных модифицированных, композитных версий гидрогеля или создание биополимерных гидрогелей на основе природных продуктов, таких как целлюлоза [143, 155]. Причиной активного поиска альтернативных источников суперабсорбентов является ряд мнений, говорящих о токсических рисках применения гидрогеля, ввиду его медленного разложения и потенциальной токсичности продуктов распада, но проводимые исследования

не выявили токсического эффекта даже при превышении дозировки в 10 раз [56, 80, 114, 120, 122, 168].

Вне зависимости от научных обсуждений на данную тему, имеющиеся на данный момент разработки природных гидрогелей либо не имеют достаточную степень абсорбирования влаги, что делает их применение нерентабельным, либо производство трудозатратным, либо на данный момент их производство не является настолько массовым на территории РФ ввиду отсутствия товара на открытых рынках, чтобы активно внедрять их в нынешние сельскохозяйственные процессы.

По данным ряда ученых, гидрогели также функционируют как система контролируемого высвобождения, способствуя усвоению питательных элементов за счет их прочного удержания и замедления растворения. Благодаря чему растения сохраняют доступ к удобрениям, что приводит к улучшению показателей роста и продуктивности [14, 56, 99, 131, 147, 151].

Сверхпоглощающий абсорбент также могут использоваться в качестве материалов-носителей в виде добавок к семенам (для стимуляции прорастания и укоренения сеянцев), семенных покрытий, средств для обработки корневой системы, а также для иммобилизации регуляторов роста растений или защитных агентов с целью их контролируемого высвобождения [56, 103, 124, 151].

Особенно ценным аспектом гидрогелей с точки зрения устойчивости к климатическим изменениям является их эффективность в смягчении последствий засухи. Гидрогели могут поглощать и удерживать огромное количество влаги при обильных осадках и орошении, а затем возвращать ее в почву для смягчения потребности сельскохозяйственных культур в воде, когда ризосфера высыхает в условиях засухи [14, 65, 77, 85, 99, 118]. Эта функция действует как буфер против периодов засухи, которые становятся все более частыми и серьезными во многих сельскохозяйственных регионах из-за изменения климата.

Ряд исследований продемонстрировал их высокую эффективность в условиях ограниченного водоснабжения для удовлетворения потребностей растений в воде [46, 131, 141]. Применение гидрогеля снижает потребность в орошении для различных культур за счет улучшения водоудерживающей способности почвы, что вызывает задержку наступления и снижает процент постоянного увядания при интенсивном испарении. Увеличение водоудерживающей способности почвы вследствие добавления гидрогеля существенно уменьшило потребность в орошении для многих видов растений [14, 141].

Гидрогели, как элементы, снижающие водный стресс у растений особенно сильно популярны в развивающихся странах Индии, Пакистана, Египта, Турции и т.д., однако ввиду изменений климата, урбанизации и деградации почвы данная проблема становится все более острой и на территории Российской Федерации, что вынуждает искать альтернативные методы удержания влаги в почве.

Помимо прямого воздействия на растения, гидрогели способствуют устойчивости к изменению климата за счет улучшения стабильности почвы и борьбы с эрозией. Они уменьшают сток воды и эрозию почвы, что еще больше повышает их эффективность в устойчивом сельском хозяйстве. Эта функция борьбы с эрозией помогает сохранить почвенные ресурсы даже во время экстремальных погодных явлений, которые становятся все более частыми из-за изменения климата [1, 66, 85, 101, 106].

Помимо предотвращения или снижения эрозии почв, гидрогели оставляют доступными для растений влагу, а также инкапсулируют внутри себя питательные элементы, не давая им мигрировать в нижние слои почвы или образовать нерастворимые формы с почвенными элементами. Также сами по себе гидрогели сохраняются в почве минимум на год, продолжая выполнять свои функции [95, 141].

Главным остается основное свойство гидрогеля - он позволяет снизить количество поливов, сберечь влагу и удобрения в период снижения влажности или засухи и снизить эрозию почвы [45, 46, 49, 50, 77].

По данным Цепляева А.Н., Семененко С.Я., Куприянова А.А. считают, что использование гидрогеля позволило снизить процент вымывания удобрений водой [95], а ученые Вдовина Т.А., Винокуров А.А., Исакова Е.А., Лагус О.А. предлагают применять гидрогель для снижения плотности почвы [14].

Преимущества гидрогелей в плане устойчивости к климатическим изменениям выходят за рамки простого обеспечения водой и включают защиту от множества факторов стресса окружающей среды. Исследования показали, что гидрогели смягчают негативное воздействие обезвоживания и влажностного стресса на сельскохозяйственные культуры [14, 117, 153, 161, 168]. При внесении в почву гидрогели образуют защитную матрицу, которая помогает растениям противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды, поддерживая постоянный уровень влажности почвы и снижая интенсивность воздействия стресса.

Помимо смягчения последствий засухи, гидрогели способствуют устойчивости к изменению климата, борясь с другими экологическими проблемами. Исследователи отмечают, что гидрогели также могут служить альтернативным вариантом для борьбы с глобальным изменением климата, поскольку они могут улучшать характеристики почвы, особенно при низкой влажности [44]. Такой многофункциональный подход к устойчивости к изменению климата делает гидрогели особенно ценными для сельскохозяйственных систем, подверженных множественным стрессам, связанным с климатом.

Защитная функция гидрогелей распространяется на помощь растениям в противостоянии абиотическим стрессовым условиям. При нанесении на почву гидрогели образуют защитное покрытие на растениях в условиях абиотического стресса [145, 158]. Этот защитный эффект помогает растениям

поддерживать физиологические функции в условиях стресса, которые в противном случае могли бы нарушить их рост и развитие.

Изменение климата усугубило проблемы управления водными ресурсами в сельском хозяйстве [114]. В этом контексте гидрогели представляют собой технологическое решение, которое помогает сельскохозяйственным системам адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям за счет улучшения водоудержания и снижения воздействия засухи.

Agbna и ряд других ученых утверждают, что применение гидрогелей может значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, причем по разным культурам отмечается повышение урожайности на 15–20 %. Данное повышение урожайности происходит при одновременном сокращении потребности во влаге на 30-50%, что дает фермерам двойную экономическую выгоду за счет увеличения производства и снижения затрат на производство [101].

Внедрение технологии применения гидрогеля на территории Российской Федерации только началось не так давно, но имеет перспективы для роста и развития в многочисленных сферах. Производство влагоудерживающих препаратов, ввиду их многочисленных свойств, имеет потенциал для использования как на нужды сельского хозяйства, так и для декоративного и приусадебного растениеводства [21, 25, 52, 100].

Себестоимость производства гидросорбентов достаточно высока и поэтому наибольшую эффективность от их применения получается лишь при непосредственном внесении гидрогеля в лунку одновременно с посадкой [25, 65, 93].

Уже сейчас гидрогель используется в южных регионах с целью снижения затрат воды в процессе дождевания посевов. В своей статье Новиков утверждает, что применение гидрогеля в дозе 100 кг/га на картофеле сорта Гулливер привело к повышению биологической урожайности на 17,5% к контролю, товарному выходу – на 24%, коэффициент водопотребления сократился на 25%, а затраты оросительной воды на 25%. Одним из

важнейших аспектов в получении достоверно положительных результатов можно считать практическое апробирование модифицированной картофелесажалки. По итогам испытаний Новиков делает вывод о присутствии положительной динамики в отношении показателей затрат по себестоимости при использовании гидрогеля в орошении картофеля дождеванием [66].

В орошаемом земледелии гидрогель также хорошо показал себя в опытах Околеловой на светло-каштановой почве, повысив всхожесть семян редиса в модельных опытах на 85%. Применение гидрогеля в опыте не только улучшило морфологические характеристики почв, повысило ее влажность и увеличило популяцию червей, но и привело к увеличению массы редиса в урожае. Исходя из проведенных Околеловой исследований делается вывод, что богара с гидрогелем улучшает показатели почвы и финальной продукции более эффективно, чем орошение без геля [67].

Впрочем, применение гидрогеля не ограничивается орошаемым земледелием. Так Агафонов рассуждает о возможности применения гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зонах неустойчивого земледелия Краснодарского края. Его исследования также были направлены на изучение способности гидрогеля удерживать влагу в течение нескольких лет. В результате проведенных учетов он приходит к выводу, что при использовании гидрогелей повышается количество запасов продуктивной влаги в почве, что положительно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Важно отметить, что почвы опытного участка – чернозем обыкновенный мощный тяжелосуглинистый, сформированный на лессовидном тяжелом суглинке, что говорит о его высокой влагоемкости, но даже в данном случае применение гидрогеля привело к положительному пролонгированному эффекту.

Активное применение гидрогеля также производилось на ряде культур Даниловой, где гидрогель тестировался в Ленинградской области на полях с дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на яровой пшенице,

моркови, капусте и картофеле. В каждом из вариантов было обнаружено, что применение гидрогеля в качестве предпосевного суперсорбента оказывало положительный эффект на всхожесть и урожайность всех испытываемых в опыте культур [37].

Положительный эффект применения гидрогеля в качестве суперсорбента на картофеле в условиях Московской области был отмечен Старовойтовым. Также, как и Агафонов он обратил внимание на то, что увеличение доз применения гидрогеля приводит к повышению влагоемкости почвы, способствуя повышению урожайности сортов картофеля Невский, Удача и Жуковский ранний [1]. Старовойтов обращал внимание на то, что биополимеры удерживают не только влагу почвы, но и минеральное питание, находящееся в ней. Используемый в опыте гидрогель на основе акрилата натрия вкупе с применением комплексных минеральных удобрений и антистрессовой листовой подкормки регулятором роста растений в фазу цветения дало прибавки к контролю на сорте Жуковский 2,7 т/га (14,1%), на сорте Удача - 5,4 т/га (24,5%) и на сорте Невский - 5,6 т/га (39,7%). Старовойтов приходит к выводу, что изучаемые им дозы полимеров, вносимые в почву, значительно повышают урожайность картофеля в отсутствии осадков до двух-трех недель [81, 82]. Во многом это связано с абсорбирующим свойством гидрогеля, который обеспечивает корневую систему минеральным питанием даже в периоды дефицита влаги в почве, что позволяет обеспечить равномерность питания картофеля вне зависимости от выпадения осадков [21, 46, 47, 49].

Деструкция гидрогеля в почвенной среде выступает существенным фактором, ограничивающим продолжительность его действия. Интенсивность процессов биодеструкции варьирует в зависимости от климатических и почвенных условий. Так, в гумидных районах с избыточным увлажнением разложение протекает медленнее, чем в аридных поливных агроценозах, где за один вегетационный период может утратиться до 10–13% внесённого материала. Наибольшая устойчивость структуры гидрогеля

отмечается при температурном режиме около +20 °C; при этих условиях сроки, соответствующие 95%-ному разложению, могут составлять от 2 до 15 лет [37, 80, 114].

Исходя из имеющейся информации о гидрогелях и активном опыте их исследований можно сделать вывод о том, что применение гидрогелей, как суперсорбентов имеет большой потенциал для применения и развития в сельском хозяйстве и в том числе в картофелеводстве.

Одним из решений повышения устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам может стать применение кремниевых удобрений.

В последние годы сильно вырос интерес в отношении кремниевых удобрений, даже несмотря на то, что за элементом сохранилась репутация удобрения нетрадиционного. Существовало мнение что кремниевые удобрения хорошо показывают себя лишь на культуре риса [5, 57, 110, 111, 123, 138]. Однако это было до того, как были сделаны открытия о специфической биологической активности соединений кремния, названных силатранами. Их изобретение показало, что ряд кремниевых соединений в почве может действовать как биостимуляторы, положительно сказываясь на урожайности и выполняющих роль адаптогенов. На данный момент считается, что одной из основных функций кремния в физиологии, росте и развитии растений принято считать его иммуностимулирующее действие, увеличивающее защитные способности растения к биогенным и абиогенным воздействиям [9, 109, 148].

Проблема с тем, что кремнию как на элементу питания длительное время не уделялось должное внимание, а также вызвана тем, что в большинстве почв имеется большая концентрация силикатов и диоксида кремния (SiO_2). Исходя из этого факта присутствовала уверенность в том, что растения получают кремния из почвы в достаточном количестве.

Величина валового запаса кремния в почве определяется как её гранулометрическими характеристиками, так и происхождением. Для глинистых почв типично содержание в пределах 20–35%, для песчаных –

около 45–49%, тогда как в верховых торфах этот показатель не превышает 1%. Формы кремния, находящиеся в почве, характеризуются слабой растворимостью и низкой биогеохимической подвижностью [76, 107, 108, 123].

При этом дефицит кремния воспринимался как что-то нелогичное, однако проблема в том, что силикаты и диоксид кремния не усваиваются растениями – им для этого необходима монокремниевая кислота, концентрация которой в почве крайне мала ввиду нестабильности её молекул и склонности к агрегации или полимеризации. Так как процесс превращения силикатов и диоксида кремния в монокремниевую кислоту является ограниченным процессом, то, вкупе с большим выносом кремния из почвы, есть поводы говорить о дефиците кремния в почве [6, 9].

Таким образом, даже при значительных совокупных запасах элемента растения нередко испытывают его дефицит. Доля подвижных форм кремния ограничена всего 1–3% от суммарного содержания [5, 76].

В почве присутствуют различные соединения кремния, каждая со своими свойствами и различными методами взаимодействия с окружающей средой. Так, твердые формы, которые крайне устойчивы к выветриванию, представлены силикатными минералами с кристаллической структурой, в которую входят такие минералы как слюда, полевошпат, кварц, а также другие глинистые минералы. К твердым формам также можно отнести минералы с микрокристаллической или слабокристаллической структурой кристаллической решетки к которым относят опал, аллофан и имоголит [9, 102]. Другой частью соединений кремния стоит считать те формы, которые более подвижны и присутствуют в аморфной, активной и водорастворимой формах. Самой доступной для растений формой в данной группе можно считать водорастворимую. Она сразу же доступна растениям, так как перешла в данную форму в связи с благоприятными почвенными условиями и поэтому быстро усваивается корнями [107, 132].

В аморфный кремнезем включают кремний минералогический и биогенный. Аморфный кремнезем минералогического происхождения входит в состав педогенных оксидов, к которым, например, можно отнести оксиды железа, а к биогенному относят диатомовые водоросли и фитолиты [126]. Каждая из этих категорий при различных условиях может растворяться и становиться источником доступного кремния для растений в форме монокремниевых и поликремниевых кислот. Указанные кислоты способны адсорбироваться на почвенных частицах, включая оксиды и гидроксиды алюминия и железа. Поликремниевая кислота формируется в процессе растворения твёрдых соединений, содержащих кремний, тогда как при равновесных условиях преобладающей формой кремния в почвенном растворе является монокремниевая кислота [127]. На начальных этапах растворения доля полимерных частиц может достигать около 50% от общего содержания растворённого кремнезёма [140]. Поликремниевая кислота со временем преобразуется в монокремниевую, если её концентрация значительно ниже уровня насыщения. При увеличении содержания кремниевой кислоты в растворе, напротив, происходит полимеризация монокремниевой кислоты с образованием поликремниевой.

Абсорбция поликремниевой кислоты на минеральных поверхностях протекает гораздо быстрее, чем сорбция монокремниевой, и этот процесс обратим. В результате в поровых водах почв преобладает монокремниевая кислота по сравнению с поликремниевой [9]. Благодаря мономерной форме - монокремниевой кислоте (H_4SiO_4) - кремний в почвенном растворе легко усваивается корневой системой и накапливается в растениях. Но на биодоступность кремния, а также его транспорт в растение существенное влияние оказывают широкий спектр почвенных условий. Так, например, обильные осадки способствуют вымыванию Si и подкислению почвы, что негативно сказывается на его запасах в почве и снижает его доступность для растений [9, 59, 110, 133].

Кремний оказывает существенное влияние на свойства почвы, способствуя улучшению её водного и воздушного режимов, повышению содержания элементов питания (азота, фосфора и калия), модификации кислотно-щелочного баланса. Отмечено влияние кремния на микробное сообщество почвы, что способствует улучшению её свойств и повышению доступности органического вещества и минеральных элементов для корневой системы растений [108].

Влияние кремния на растения, реализующееся как напрямую, так и опосредованно через почвенную среду, носит комплексный характер. Поглощённый кремний снижает поступление тяжёлых металлов и их транслокацию из корневой системы в надземные органы, что связано с активацией антиоксидантной системы, процессами хелатирования и компартментации, а также с регуляцией экспрессии генов, кодирующих переносчики тяжёлых металлов [135, 153]. В исследованиях, проведённых на различных сельскохозяйственных культурах, включая пшеницу, кукурузу, рис, арахис и хлопчатник, установлено, что присутствие кремния способствует существенному улучшению их роста в условиях стресса, вызванного воздействием тяжёлых металлов [60, 108, 128].

Поглощение кремния растениями возможно не только через корневую систему, но и посредством листового аппарата. По имеющимся данным, через листья может усваиваться до 30–40% кремния, тогда как через корни лишь около 5% [45, 76].

Существует ряд свидетельств высокой результативности фолиарного питания растений кремниевыми соединениями. Так, при опытах с рисом, как одной из наиболее кремниефильных культур, применение некорневой подкормки водным раствором силиката натрия показало увеличение массы соломы, продуктивности метелок, массы 1000 зерен, урожайности и содержания крахмала в зерне. В Пакистане, который входит в число крупнейших производителей риса, для повышения продуктивности культуры авторы исследования рекомендуют использовать листовые подкормки

растворами, содержащими как кремний, так и бор. По мнению исследователей, урожайность увеличивается за счет совместного действия кремния и бора, где кремний увеличивает устойчивость и иммунитет растений, а бор - регуляцию транспортировки углеводов, обеспечение жизнеспособности пыльцы и стабилизацию протекания физиологических процессов) [103, 104, 145].

Также в исследовании влияния внекорневых подкормок кремния на различные сорта пшеницы были получены данные о повышении концентрации хлорофила и увеличение роста растений даже в условиях недостатка почвенной влаги. В то же время при достаточном уровне влагообеспеченности растений существенного влияния на ростовые процессы зафиксировано не было. Засухочувствительные сорта при этом демонстрировали реакции, аналогичные устойчивым. Сравнительный анализ эффективности корневого и внекорневого внесения соединений кремния для повышения устойчивости пшеницы к поражению мучнистой росой выявил преимущество корневого метода: локализация кремния в листьях обеспечивала снижение уровня поражаемости растений данным заболеванием до 80% [121, 139, 164, 165].

При этом эффективность кремниевых соединений для внекорневых подкормок подтверждена не только на зерновых культурах. Так применение такого же подхода на яблоне способствовало повышению содержания питательных веществ в плодах [125, 145, 163, 166].

Кремниевые удобрения, как адаптогены для внесения по листу положительно показали себя на растениях винограда, повышая его устойчивость к низким температурам за счет работы пероксидазы и снижения фотоингибирования во время восстановления, что привело к повышению целостности мембраны [40, 59, 126].

Важно обратить внимание на то, что несмотря на многочисленные положительные результаты исследований об эффекте кремниевых удобрений, кремниевые удобрения все еще не получили широкого применения на практике в Российской Федерации, в то время как во многих других странах

наблюдается рост внедрения данного типа удобрений. Одной из причин является стереотип, связанный с инертностью кремниевых соединений в почве [57, 135].

И все же в Российской Федерации тема становится предметом многочисленных исследований, в том числе и изучение непосредственно механизмов воздействия кремниевых удобрений на растения. О том, что применение кремниевых удобрений положительно сказалось на урожайности и качестве полученной продукции на культурах ячменя, кукурузы (зеленая масса и зерно), картофеля и сахарной свеклы утверждает Матыченков В. В. Его исследование, проведенное на территории юга Башкортостана с применением кремниевых удобрений приводило к повышению урожайности. Важно отметить, что в данном опыте автор акцентирует внимание на высокое содержание активных форм кремния именно в специализированном препарате по сравнению с диатомитом и цеолитом различного происхождения. В результате специализированное кремнийсодержащее удобрение, которое вносили как некорневую подкормку, привело к повышению урожайности ячменя на 19-39%, картофеля на 3-23%, сахарной свеклы на 14-49%, а у кукурузы было отмечено увеличение зеленой массы на 26-77% и зерна на 30-85%. При этом на картофеле было выявлено увеличение среднего размера клубней [60]. Изучение применения специализированных кремниевых удобрений, а в частности активных форм кремния на различные сельскохозяйственные культуры все еще продолжается и фиксируется влияние кремниевых удобрений даже на уровне ДНК [59].

Так в микрополевых условиях, Бочарникова, Пахненко, Матыченков и Матыченкова провели исследование на культуре ячменя для выявления влияния тонкодисперсного аморфного диоксида кремния на ДНК и РНК растения. Проведенные на севере Московской области, данные опыта показали, что при дозах SiO_2 50, 500 и 1000 кг/га, которые обеспечивали более высокие, по сравнению с другими дозами, концентрации монокремниевой кислоты в почве и, следовательно, лучшее кремниевое питание ячменя,

происходит укрепление молекул ДНК. Авторы приходят к выводу, что применение определенных форм кремния повышает жизнеспособность растений ячменя на уровне генома, что потенциально усиливает и его устойчивость непосредственно в агроценозе [8].

Картофель отличается высокой чувствительностью к биотическим (болезни, вредители) и абиотическим (засуха, температурный стресс) факторам. Его надземные органы имеют относительно нежную структуру, а клубни легко поддаются гниению и механическим повреждениям. В последние годы растёт интерес к роли кремния в питании растений, включая картофель. Несмотря на то, что кремний не входит в перечень обязательных макро- и микроэлементов, признанных жизненно необходимыми для роста растений, его значение в агрономии, особенно в условиях изменяющегося климата, становится всё более очевидным. Для картофеля кремний выполняет функцию «элемента устойчивости», обеспечивая целый спектр положительных физиолого-биохимических эффектов [61, 112, 159].

Поступая в растение в виде моносиликатных форм (H_4SiO_4), кремний накапливается в клеточных стенках, усиливая их механическую прочность. Уменьшается транспирация, благодаря укреплению эпидермиса и снижению проницаемости кутикулы. Это особенно важно для картофеля в условиях водного дефицита [95, 110]. В исследовании на растениях картофеля применение кремниевых удобрений оказывало благоприятный эффект кремния на рост и развитие картофеля проявляется прежде всего через улучшение устойчивости растений к абиотическим стрессам и оптимизацию физиологических процессов. В частности, применение внекорневой подкормки кремниевым удобрением с аморфной формой кремнезема показало, что внесение кремния способствует увеличению площади листьев, количества листьев, а также общей и сухой биомассы стеблей и листьев, что связано с активизацией антиоксидантных ферментов и снижением содержания перекиси водорода в тканях растений под воздействием стресса. Дополнительно, кремниевые подкормки могут улучшать доступность

фосфора в почве и ее водоудерживающую способность, что благоприятно отражается на урожае клубней. При этом картофель считается слабым аккумулятором кремния, а положительный эффект большей частью обусловлен не накоплением кремния в тканях, а изменением физических и химических свойств почвы, а также противогрибковым и осмотическим воздействием листовых подкормок. В результате, научные данные обосновывают применение кремниевых удобрений как эффективного агротехнического приема для повышения урожайности и устойчивости картофеля к неблагоприятным факторам окружающей среды [8].

Ряд зарубежных ученых считают, что опосредованная устойчивость кремнием в отношении стрессов, обеспечивается несколькими путями. Так, Si при высокой степени его отложения в тканях растений приводит к повышению их жёсткости, повышая механическую прочность, что, исходя из ряда предположений, может способствовать снижению куртикулярной транспирации, что позволяет предотвратить полегание растений при стрессовых абиотических воздействиях, таких как низкие и высокие температуры, дефицит влаги, радиационное и ультрафиолетовое излучение [60, 95, 119, 148]. Такая прочность улучшает фототропизм растения, что положительно сказывается на фотосинтетической активности, а плотные ткани снижают вероятность инвазии со стороны вредителей и патогенов. Кремний имеет свойство активировать внутриклеточный синтез органических соединений, которые определяют эндогенный защитный ответ самого растения [105, 111, 112, 113, 139, 148, 164, 166]. Также важно отметить и то, что монокремниевая кислота после поглощения активно распространяется по всем вегетирующим органам растения белками. Матыченков В. В. высказывает предположение, что присутствующие в тканях гели монокремниевой кислоты могут быть матрицами для целого ряда реакций необходимых для низкотемпературного органического синтеза [59].

На основании исследований Прищепенко Е. А., проведённых в Московской области на дерново-подзолистых почвах, было установлено, что

применение минеральных удобрений на основе цеолита, обладающих повышенным содержанием биодоступного кремния, обеспечивает не только эффективное использование основных элементов питания, но и способствует значительному увеличению урожайности картофеля, улучшению структуры и качества клубней. Добавление цеолита позволяет снизить суммарную дозу внесения макроэлементов с 200 до 160 кг д.в./га, при этом урожайность картофеля возрастает на 17,5% по сравнению с традиционным удобрением NPK 10:20:20. Данные результаты подтверждают высокую биологическую эффективность кремниевых удобрений, а также их эффективность в подавлении фитофтороза, фузариоза и серой пятнистости, обусловленной его защитными свойствами, для получения экологически качественной продукции картофеля и рационального использования агрохимикатов в Центральном регионе России [69].

Исследования показывают, что кремний эффективно снижает негативное влияние засухи на растения картофеля. В полевых экспериментах, проведенных в Бразилии, было установлено, что применение кремния в условиях водного дефицита привело к увеличению концентрации этого элемента в листьях картофеля, что способствовало повышению среднего веса клубней, сухого веса клубней и общей урожайности [130]. Положительный эффект кремния при засухе также был подтвержден другими исследованиями, которые продемонстрировали, что внекорневое применение кремния улучшает рост растений картофеля в условиях недостатка влаги благодаря повышению антиоксидантной активности, увеличению содержания растворимых сахаров и снижению концентрации активных форм кислорода [168]. Например, согласно Матыченкову И. В., Пахненко Е.П., Бочарниковой Е.А. и др. применение активных форм кремния может существенно увеличить засухоустойчивость растений, что может крайне положительно сказаться на урожае [8, 9, 58]. Применение активных форм кремния в периоды дефицита влаги приводило к увеличению концентрации хлорофилла, что положительно сказывалось на фотосинтетической активности. Помимо этого, кремний еще и

повлиял на структуру клеточных мембран у растений [8, 94]. Также есть исследование, которое приходит к выводу, что кремний может существенно повысить засухоустойчивость растений путем создания запасов влаги во внутри- и внеклеточном пространстве в виде насыщенных водой гелей поликремниевых кислот [8, 9].

В полувясых регионах выращивания картофеля в Кении применение водорастворимого кремния в дозе 2,5 кг Si/га позволило растениям поддерживать значительно более высокое относительное содержание воды в листьях (62-89% против 52-72% в контроле). Кроме того, растения, получавшие кремний, демонстрировали повышенные концентрации пролина (1,99-2,91 против 1-1,19 мкмоль/г), растворимых углеводов (28-59 против 10-28 мкмоль/г) и электролитическую проводимость (1409-3903 против 746-2307 мСм/см). Это привело к значительному повышению эффективности использования воды (5,99-9,09 против 1,13-3,23 кг/га•м³) и света (1,98-2,98 против 0,77-0,98 г/МДж) [112, 142].

Кремний также эффективен для смягчения стресса, вызванного засолением почвы. Полевой эксперимент, проведенный в Иране с картофелем сорта Агрия, показал, что внекорневое применение наночастиц силиката натрия (400 ppm) и кремнезема (1000 ppm) положительно влияло на квантовый выход фотосистемы II, содержание каротиноидов, активность антиоксидантов, количество клубней на растение, урожайность и процентное содержание сухого вещества в клубнях в условиях солевого стресса. При этом эффект двух кремниевых соединений, особенно наночастиц силиката натрия, был более выраженным по сравнению с сульфатом калия. Исследователи пришли к выводу, что применение кремния может быть эффективной стратегией снижения воздействия засоления, причем эффективность повышается при использовании наночастиц [127]. К похожим выводам приходит и Матыченков И. В., а также отмечает, что применение кремниевых удобрений совместно с традиционными приводит к повышению качественных показателей сельскохозяйственной продукции [136].

Применение кремния также может смягчать воздействие дефицита микроэлементов у растений картофеля. В условиях водного дефицита внекорневое применение кремния повышало содержание Fe, Zn, Mn и Cu в клубнях картофеля, выращенного в открытом грунте в Египте и Саудовской Аравии. Исследование, проведенное на сверхраннем сорте картофеля «Катания», выращенном на супесчаном суглинке, показало, что внекорневое применение кремния (метасиликат натрия, Na_2SiO_3) снижало накопление Fe и увеличивало накопление Cu и Mn в клубнях, особенно в условиях водного дефицита в период формирования клубней [144, 165].

Помимо этого, исследования ряда авторов из Саудовской Аравии показали, что применение нано-кремния положительно сказывается на всхожести семян томата и с их слов применение соединений кремния может привести к появлению нового вида удобрений [156].

На территории Российской Федерации применение активных форм кремния все еще тестируется. Некоторые авторы проводят сравнительные анализы различных форм кремния для изучения его влияния на растение, а также его накопление в тканях растений. Так, проведенный опыт на ячмене сорта «Московский-9» сравнивал эффект от применения размолотого диатомита и раствор монокремниевой кислоты в условиях теплицы со стабильными температурными условиями. Исследование показало, что внесение как жидких, так и твердых форм кремния привело к повышению содержания мономеров и полимеров кремниевой кислоты как в почве, так и в апопластах и симпластах растений. Такие данные, как считает автор, свидетельствуют о том, что при дополнительном кремниевом питании растений ячменя, они могут запасать существенно больше влаги в собственных органах и соответственно – легче переносить неблагоприятные погодные условия, вызванные дефицитом влаги [68].

Положительное влияние кремниевого удобрения на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур гречихи и яровой пшеницы было отмечено в исследовании Косачева и Чернышкова. Как однократная, так

и двукратная некорневая подкормка растений кремнием оказала положительный эффект на рост, развитие, а также биологическую продуктивность исследуемых культур [51].

Одной из изначальных проблем в получении доступного для растений кремния являлся поиск источника, из которого этот кремний добывался. Так, использование отходов промышленности – шлаков, казалось хорошим методом из-за высокого содержания в них кремния, однако в будущем от данной идеи отказались, ввиду возможного высокого уровня содержания в них тяжёлых металлов, которые будут попадать в почву даже после обработки и очистки материала [108].

Именно поэтому наиболее перспективными источниками кремния считаются мелиоранты природного происхождения, такие как силикаты калия и магния, цеолит и диатомит. При этом диатомиту уделяется наибольшее внимание, так как его преимущество над тем же цеолитом проявляется в большей биодоступности для растений ввиду того, что диатомит являет собой аморфную форму кремнезема и растворяется легче, чем кристаллическая форма цеолита. При этом диатомит хорошо показывает себя как адсорбент и влагоудерживающий агент, который, однако, не вызывает заболачивания в условиях избыточного увлажнения [9, 106, 152].

Однако даже с учетом значительной эффективности применения кремнийсодержащих туков или мелиорантов в сельском хозяйстве, высокая стоимость, ограничения в применении на слабощелочных почвах и высокие дозы внесения являются препятствием на пути масштабному применению. Эту проблему может помочь решить использование альтернативных методов внесения удобрений, чаще в жидкой форме в виде некорневой подкормки. Так, например, использование растворов на основе аморфной формы диоксида кремния при использовании в качестве некорневой подкормки может способствовать более быстрому усвоению питательных веществ растением.

Помимо всего прочего крайне важным является и предотвращение болезней, в частности, использование протравителей при посадке, что

позволяет предотвратить развитие множества болезней и защитить растения от вредителей [2, 89].

Таким образом, картофель реагирует на включение кремния в систему питания и может стать важным элементом адаптивного земледелия в условиях климатической нестабильности. Его применение оправдано не только с точки зрения повышения урожайности, но и для повышения устойчивости культуры к болезням, стрессам и улучшения качества продукции. В ближайшие годы можно ожидать усиления интереса к кремниевым удобрениям как к части технологий устойчивого картофелеводства.

Выводы по главе 1

Получение двух урожаев картофеля — это не только технологическая, но и стратегическая возможность увеличения урожайности культуры. Мировой опыт показывает, что при грамотной агротехнике и климатической адаптации культура может успешно выращиваться несколько раз в год. Российская Федерация, обладая как территориальными, так и научными ресурсами, способна интегрировать эти подходы в практику и промежуточные шаги для этого уже были сделаны.

Научные исследования, охватывающие широкий географический диапазон и множество экспериментов, убедительно доказывают роль доступного кремния как важного фактора устойчивого производства картофеля. Анализ литературных данных свидетельствует о том, что применение различных форм кремнийсодержащих удобрений способствует не только повышению урожайности и качества клубней, но и увеличивает устойчивость культуры к воздействию абиотических и биотических стрессов. Выделяются преимущества использования природных источников кремния, которые демонстрируют высокую биодоступность и отсутствие значимых рисков загрязнения тяжелыми металлами. Кроме того, современные исследования указывают на положительное влияние кремния на физиологические процессы — увеличение фотосинтетической активности, улучшение метаболизма фосфора, снижение заболеваемости и поражаемости вредителями. Данные позволяют рекомендовать включение кремнийсодержащих удобрений в интегрированные системы питания и защиты картофеля, что обеспечивает экологическую стабильность возделывания данной культуры и уменьшение негативного влияния факторов среды на производственные показатели.

Полимерные гидрогели представляют большой интерес в сельском хозяйстве благодаря его влагоудерживающим особенностям, высокой биосовместимостью, отзывчивостью к внешним стимулам и доступной стоимостью, что делает их перспективными для применения в промышленном

производстве. Их использование позволяет существенно снизить частоту ирригаций, способствовать развитию корневой системы, предотвращать эрозию почвы и снизить риски передозировки удобрений и пестицидов. Включение гидрогелей в агротехнологические схемы способствует не только повышению урожайности и качества продукции, но и эффективному использованию водных и минеральных ресурсов, что особенно актуально в условиях изменения климата и повышения требований к устойчивости сельскохозяйственных систем.

Разработанная технология с применением гидрогелей и кремниевых удобрений позволит значительно повысить продовольственную безопасность, устойчивость производства продукции, экспортный потенциал и рентабельность отечественного картофелеводства.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Почвенные, агроклиматические условия проведения исследований

Работа была выполнена на участке (55.308998 северной широты, 37.797354 восточной долготы) Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии Барыбино в 2023-25 годах, расположенном в микрорайоне Белые Столбы (Московская область, Домодедовский район, микрорайон Белые Столбы).

Почвенный покров опытного полигона представлен дерново-подзолистой почвой среднесуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса составляет 2,1%, общего азота – 0,16 %, подвижные формы P_2O_5 и K_2O – 128-137 и 125-146 мг/кг, подвижного кремния 203 - 222 мг/кг. Реакция солевой вытяжки характеризуется слабокислой средой – 5,7 рН-ед. В качестве фона удобрений взят вариант, наиболее распространенный на дерново-подзолистых почвах для картофеля NPK 60:60:90 [84, 96].

Климат Подмосковья классифицируется как умеренно континентальный, с чётко выраженными сезонами. Лето здесь тёплое, зима – относительно мягкая, с устойчивым снежным покровом. Наблюдается закономерное усиление климатических процессов при движении из северо-западных районов к юго-восточным. По сравнению с территорией Москвы климатическая обстановка в области более суровая: среднегодовая температура ниже, морозный период длительнее, а сумма активных температур меньше.

Продолжительность периода с отрицательными температурами колеблется от 120 до 135 суток, начинаясь, как правило, в середине ноября и завершаясь к концу марта. Среднегодовые значения температуры воздуха варьируют в пределах 2,7–3,8 °С. Минимальные показатели приходятся на январь: –11 °С на востоке и около –10 °С на западе региона. В Москве наиболее низкие температуры чаще регистрируются в феврале, в среднем – 6,7 °С. При проникновении арктических воздушных масс формируется

морозная погода продолжительностью около 40–59 дней, преимущественно кратковременная. Абсолютные минимумы отмечаются редко: значение ниже -40°C зафиксировано нечасто, рекордным является показатель -54°C в районе Наро-Фоминска.

Оттепели наблюдаются в декабре и феврале, когда усиливается влияние атлантических и средиземноморских циклонов. Такие периоды могут сохраняться от нескольких суток до недели, а за зиму их число достигает 54. В это время температура воздуха поднимается до $+5^{\circ}\text{C}$. Январь и февраль нередко сопровождаются метелями и обильными снегопадами, которые иногда прерываются кратковременными потеплениями, сменяющимися похолоданием, гололёдом либо явлениями «ледяного дождя».

Первый снег обычно ложится в ноябре, окончательное его таяние происходит в середине апреля. Устойчивый снежный покров устанавливается к концу ноября и колеблется по высоте от 25 до 45 см. Промерзание почвы достигает 65–75 см, однако в последние годы вследствие потепления глубина чаще не превышает 50 см. При раннем формировании снежного слоя промерзание ограничивается 10–20 см.

Наиболее тёплый месяц – июль: в западных районах средняя температура составляет $+17^{\circ}\text{C}$, на юго-востоке – $+18,5^{\circ}\text{C}$. Максимальный зарегистрированный показатель достигал $+39^{\circ}\text{C}$ в Зарайске. Продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 0°C равна 205–208 дням, из которых 167–180 дней относятся к вегетационному сезону.

Годовые суммы осадков изменяются в пределах 450–703 мм: при этом максимум увлажнения фиксируется в северо-западной части, а минимум – на юго-востоке области. В летние месяцы выпадает 40–75 мм осадков, но отдельные засушливые годы (раз в несколько десятилетий) характеризуются количеством менее 5 мм за сезон. Около двух третей общей суммы осадков приходится на дождевые, остальная доля – на снег. Относительная влажность

воздуха наиболее высокая зимой, особенно в декабре и январе, достигая 77–91%.

Метеорологические условия периода проведения исследований на Центральной опытной станции отличались существенной изменчивостью. В 2023 г. климатические факторы можно охарактеризовать как благоприятные; в 2024 г. – неблагоприятные; в ряде случаев наблюдалось их чередование.

В 2023 г. агрометеорологические параметры вегетационного периода в целом соответствовали требованиям выращивания картофеля. Средняя температура составила 14,5°C при среднемноголетнем значении 12,6 °C. За сезон выпало 96,4% атмосферных осадков от климатической нормы. Дефицит влагообеспеченности отмечался в I и II декадах мая, когда при повышенных температурах количество осадков оказалось минимальным. Гидротермический коэффициент (ГТК) в мае составил лишь 0,67. В целом за вегетацию ГТК достиг 0,85, что свидетельствует о слабозасушливых условиях.

В 2024 г. погодные факторы оказались менее благоприятными для роста и формирования урожайности картофеля. Средняя температура за вегетационный период достигла 16 °C, что превышает среднемноголетнее значение (12,6 °C). Количество выпавших осадков составило 527 мм, от норматива (357 мм). При этом значение ГТК составило 0,67, что также соответствует слабозасушливому типу увлажнения.

Первая половина месяца мая была холодная, при этом относительно влажная, вторая – теплая и очень сухая. В целом, среднесуточная температура воздуха составила 12,3 °C, что в пределах климатической нормы (13,4 °C).

Осадков за месяц выпало – 68 мм (норма 49 мм). При этом большая часть из них выпала в первой декаде мая.

Таблица 2

Климатические условия
вегетационных периодов 2023-2025 гг. (метеостанция ЦОС)

2023									
Основные показатели	Месяцы и декады								
	апрель			май			июнь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	0,1	3,5	7,2	9,7	11,4	19,1	12,4	15,4	16,4
б) текущего года	7,9	9,1	10,4	7,2	13,8	11,0	14,6	17,0	16,3
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	11,0	12,0	12,0	14,0	16,0	19,0	19,0	21,0	23,0
б) текущего года	0	0	6,0	18,0	0	15,0	22,0	6,0	52,0
	июль			август			сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	17,4	17,9	17,9	17,2	16,1	14,6	12,4	10,3	8,2
б) текущего года	18,0	16,0	18,0	22,0	20,0	15,0	14,6	12,5	14,9
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	25,0	26,0	27,0	27,0	24,0	23,0	20,0	19,0	19,0
б) текущего года	54,0	25,0	54,0	8,0	8,0	68,0	8,0	0	0
2024									
	апрель			май			июнь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	0,1	3,5	7,2	9,7	11,4	19,1	12,4	15,4	16,4
б) текущего года	10,0	9,5	13,0	6,7	10,9	19,2	20,0	19,0	19,3
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	11,0	12,0	12,0	14,0	16,0	19,0	19,0	21,0	23,0
б) текущего года	0	44,0	38,0	48,0	20,0	0	29,0	113,0	9,0
	июль			август			сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	17,4	17,9	17,9	17,2	16,1	14,6	12,4	10,3	8,2
б) текущего года	23,0	22,7	19,0	18,0	17,7	19,8	17,0	17,4	12,5
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	25,0	26,0	27,0	27,0	24,0	23,0	20,0	19,0	19,0
б) текущего года	16,0	40,0	64,0	16,0	31,0	47,0	0	0	12

2025									
Основные показатели	Месяцы и декады								
	апрель			май			июнь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	0,1	3,5	7,2	9,7	11,4	19,1	12,4	15,4	16,4
б) текущего года	4,2	13,0	11,0	7,6	10,0	19,0	18,6	17,7	17,7
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	11,0	12,0	12,0	14,0	16,0	19,0	19,0	21,0	23,0
б) текущего года	6,4	5,0	0	32,0	23,5	0	28,6	35,4	20,5
	июль								
	1	2	3						
Температура воздуха, °С									
а) средняя многолетняя	17,4	17,9	17,9						
б) текущего года	20,4	22,1	19,5						
Осадки, мм									
а) средняя многолетняя	25,0	26,0	27,0						
б) текущего года	26,3	29,1	28,4						

Среднесуточная температура воздуха в июне была выше на 14,1 °С климатической нормы – 58,3 °С (норма 44,2 °С). Осадков за месяц выпало 151 мм при среднемноголетнем значении 63 °С. При этом большая часть из них выпала во второй декаде. ГТК составил 2,59 (влажный).

Среднесуточная температура воздуха в июле была выше климатической нормы на 11,5 °С. Осадков за месяц выпало 120 мм. ГТК = 1,92 (влажный - слабозасушливый).

Погода в августе была жаркая. Среднесуточная температура воздуха была выше средней многолетней на 7,6 °С (норма 47,9 °С). Осадков за месяц выпало 94,0 мм (норма 74 мм). ГТК составил 1,69 (засушливый).

Погода в сентябре была жаркая. Среднесуточная температура воздуха была выше средней многолетней на 16 °С (норма 30,9 °С). Осадков за месяц выпало 12,0 мм (норма 58 мм). ГТК составил 0,26 (засушливый).

Оптимальный гидротермический коэффициент для картофеля = 1,4-1,6.

Агроклиматические особенности вегетационного периода 2025 года в целом можно охарактеризовать как благоприятные для роста, развития и формирования урожайности картофельных растений.

В первой половине мая наблюдались пониженные температуры при избыточном увлажнении, тогда как вторая половина месяца отличалась жаркой, сухой и солнечной погодой. Среднесуточная температура воздуха за май составила 12,2 °С, что близко к среднегодовому показателю (13,4 °С).

Количество выпавших осадков в пределах месяца оказалось близко к норме и составило 55,5 мм при климатической норме 49 мм; при этом большая часть пришлось на первую декаду мая.

Среднесуточная температура воздуха в июне была выше на 9,8 °С климатической нормы – 54 °С. Осадков за месяц выпало больше нормы - 84,5 мм.

Среднесуточная температура воздуха в июле была практически в пределах климатической нормы и равнялась 62 °С (норма – 53,2°С). Осадков за месяц выпало 83,8 мм, что на 5,8 мм больше нормы (78,0 мм).

В исследуемом регионе в рассматриваемые годы складываются благоприятные условия по обеспеченности влагой, температурным режимом и фотосинтетически активной радиацией, что позволяет формировать высокие урожаи картофеля. Согласно определению А.А. Ничипоровича (1966) понятия «хорошие посевы», это когда средний уровень коэффициента использования ФАР в этих условиях варьирует в пределах 2,0–2,5%.

2.2 Характеристика объектов исследований

Объектом исследования являлся картофель сорта Жуковский ранний, Ред Скарлет для первой посадки, Невский и Варяг для второй посадки, репродукция - суперэлита.

Жуковский ранний (ВНИИКС) представляет собой высокопродуктивный сорт картофеля, относящийся к категории сверхранних. Сорт Жуковский ранний отличается высоким потенциалом как для употребления в пищу в свежем виде, так и для переработки в осенний период, в частности при производстве хрустящего картофеля. Его клубни имеют розовую кожуру и белую мякоть, что свойственно формам с выраженными

вкусовыми характеристиками. Глазки у клубней мелкие и окрашены в красный цвет, тогда как венчик цветка характеризуется красновато-фиолетовым оттенком. Уже спустя 60 дней после посадки урожайность товарных клубней данного сорта достигает 10–12 тонн с гектара, что подтверждает его раннеспелость. При полном высыхании ботвы урожайность значительно возрастает и может достигать 40–45 тонн на гектар. Товарность продукции составляет 90–92%, что является высоким показателем для данной категории сортов. Средняя масса отдельных клубней составляет примерно 100–120 г, при этом уровень крахмала находится в пределах 10–12%. Такая комбинация признаков обеспечивает пригодность сорта для переработки на хрустящий картофель. Растение демонстрирует выраженную устойчивость к ряду заболеваний, включая ризоктониоз, картофельную нематоду и обыкновенную паршу. В то же время умеренная восприимчивость к фитофторозу как надземной части, так и клубней, обуславливает необходимость проведения профилактических мероприятий для сохранения стабильной урожайности.

Ред Скарлет (HZPC Holland B.V.) представляет собой раннеспелый столовый сорт картофеля, отличающийся высокой товарностью и устойчивостью к ряду патогенов. Растение формирует полупрямостоячие невысокие кусты промежуточного типа. Листовые пластины средних размеров, окрашены в зелёный цвет и имеют слегка волнистые края. Соцветия состоят из цветков средней величины, венчик которых окрашен в красновато-фиолетовый тон. Клубни характеризуются удлинённо-овальной формой с поверхностными глазками; кожура ярко-красная, а мякоть жёлтого окраса. Масса одного клубня колеблется от 56 до 102 г. Содержание крахмала находится в диапазоне 10,1–15,6%. Вкусовые качества оцениваются как удовлетворительные. Урожайность сорта достаточно высокая: при стандартной агротехнике она достигает 16,4–19,2 т/га, а при оптимальных условиях способна возрасти до 27,0 т/га. Показатели товарности клубней варьируют от 82 до 96%, что соответствует агрономическим требованиям.

Сорт отличается хорошей лёжкостью — при хранении сохраняется до 98% урожая. Ред Скарлет генетически устойчив к таким заболеваниям, как рак картофеля и золотистая цистообразующая нематода. Вместе с тем, сорт проявляет восприимчивость к фитофторозу ботвы и среднюю устойчивость клубней к данному заболеванию, что требует применения мер защиты при возделывании.

Невский (ФГБНУ «ВНИИКС») относится к среднеранним сортам столового направления использования. Растения формируют куст средней высоты, полураскидистого типа, со стеблями полупрямостоячего характера. Листовые пластинки зелёного окраса, средние по величине, слабо изогнутые по краям. Венчик цветков окрашен в светло-лиловые тона, имеет средний размер. Средняя товарная продуктивность сорта составляет 30,0–38,0 т/га, при этом максимально достигается до 45,0 т/га. Клубни отличаются округло-овальной конфигурацией, с глазками мелкой величины, залегающими поверхностно. Поверхность клубня покрыта гладкой кожурой светло-жёлтой окраски, мякоть характеризуется кремово-белым оттенком. Масса одного клубня варьирует от 90 до 130 г. Содержание крахмала колеблется в пределах 10,0–14,0%. Вкусовые характеристики оцениваются как хорошие. Показатель товарности формируется на высоком уровне и составляет 85–95%, лёжкость также выражена сильно, достигая до 98%. Сорт обладает устойчивостью к раку картофеля и ряду вирусных инфекций. Устойчивость к фитофторозу ботвы и клубней проявляется на среднем уровне, чувствительность к золотистой картофельной нематоде выражена умеренно. К числу положительных особенностей относится хорошая приспособленность к разнообразным условиям возделывания и стабильно высокая урожайность.

Варяг (ФГБНУ «ВНИИКС») относится к категории среднеранних и предназначен преимущественно для употребления в пищу. Растение формирует кусты средней высоты, полупрямостоячего, компактного типа. Листовые пластины имеют тёмно-зелёную окраску, средний размер и слабую

волнистость по краю. Соцветия представлены цветками среднего размера с венчиком красно-фиолетового оттенка.

Показатели хозяйственной продуктивности характеризуются товарной урожайностью на уровне 22,0–29,0 т/га, при благоприятных условиях максимальный сбор может достигать 40,0 т/га. Клубни отличаются округло-овальной формой и мелкими глазками. Кожура окрашена в светло-розовый цвет, мякоть — в светло-жёлтый. Средняя масса клубня варьирует в пределах 80–120 г. Содержание крахмала составляет 13,5–17,5%. По вкусовым характеристикам сорт относится к группе хорошо оцениваемых: при варке мякоть остаётся рассыпчатой и не темнеет. Показатель товарности достигает 95%, лёжка варьируется от 92 до 97%. Варяг устойчив к патогену картофельного рака, а также к золотистой картофельной цистообразующей нематодe. Сорт характеризуется повышенной устойчивостью к фитофторозу клубней, однако ботва может проявлять умеренную восприимчивость к фитофторозному поражению. Рекомендован для возделывания в Центральном регионе Российской Федерации, где демонстрирует стабильную урожайность и удовлетворительную засухоустойчивость.

2.3 Методика проведения исследований

Исследования проводились в 2023-2025 гг. на участке Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии Барыбино.

Закладка полевых опытов, учёты, наблюдения и обработка полученных данных методом дисперсионного анализа проведены в соответствии с требованиями методики полевого опыта [38].

Статистическая обработка полученных результатов проведена по методу дисперсионного анализа с использованием прикладных статистических программ STATISTICA.

Площадь учётных делянок – 25 м². Повторность в опыте – трехкратная, размещение рендомизированное. Для проведения опытов применялся посадочный материал различной фракции: клубни среднего размера с

диаметром 30–60 мм (массой 40–80 г.) использовались во второй срок посадки, а более крупные клубни диаметром свыше 60 мм (массой более 80 г.) – в первый. Материал относился к репродукции «элита» и соответствовал требованиям согласно ГОСТ 7176-2017 [31] и ГОСТ 33996-2016 [34]. Посадка осуществлялась в два срока: первый – при прогревании почвы до 6–8 °С, обычно в период с конца апреля до начала мая; второй – в начале июля. Посадка картофеля осуществлялась вручную.

Система возделывания соответствовала общепринятой технологии с шириной междурядий 70 см и включала следующие модули: обработку почвы, подготовку посадочного материала, собственно посадку, уход за растениями и уборку урожая. Обработка почвы различалась в зависимости от срока посадки: под первую посадку выполняли осеннюю вспашку (плуг ПЛН-3-35) и формирование гребней агрегатом КГО-2,8, тогда как под вторую – культивацию и нарезку гребней тем же орудием (КГО-2,8). Подготовка посадочного материала заключалась в световом проращивании клубней для обоих сроков посадки. Различие заключалось только в используемой фракции: при первой посадке применяли крупные клубни, при второй – средние. В момент посадки в посадочное ложе вносили гидрогель в сухом виде из расчёта 4 г на одно растение. Агротехнический уход включал междурядную обработку (КГО-2,8) и последующее окучивание (КГО-2,8). Уборка урожая проводилась вручную в два этапа – в середине июля и в конце сентября. Такой приём был обусловлен необходимостью проведения анализа структуры урожая в соответствии с методикой исследований по картофелю.



Рисунок 3 - Посадка картофеля

Варианты первого и второго урожая (посадок): 1) контроль; 2) + N60P60K90 (Фон NPK); 3) + N60P60K90 и гидрогель; 4) + N60P60K90 и кремниевое удобрение (100 г/га); 5) + N60P60K90 и кремниевое удобрение + гидрогель. Кремниевое удобрение внесли в качестве внекорневой подкормки из расчет 100 г/га. Гидрогель на основе полиакрилата натрия внесли в почву в дозе 4 г/растение в период посадки в сухом виде. В качестве фона удобрений взят вариант, наиболее распространенный на дерново-подзолистых почвах для картофеля NPK 60:60:90. Кремниевое удобрение (АраSil) имеет вид белого мелкокристаллического порошка. Проверка показала, что содержание влаги в удобрении составляет 31% (таблица 3).

Таблица 3

Качественный и количественный состав кремниевого удобрения

№ п/п	Наименование показателя, ед. измерения	Содержание в сухом продукте	
1	Двуокись кремния (SiO_2), %	не менее	70
2	Алюминий общий (Al), %	не более	5
3	Влага гигроскопическая (H_2O), %	не более	55
4	Кислота кремнефтористоводородная свободная (H_2SiF_6), %	не более	0,8

Опрыскивание растений в период вегетации двукратно: 1-я при высоте растений 10-15 см, 2-я - в фазе бутонизации – начало цветения. Расход рабочей жидкости 300 л/га.

Методика наблюдений, анализов и учетов. Использовали следующие анализы: ГОСТ 26213-2021 - определение органического вещества [27], ГОСТ 26483-85 - величину pH солевой вытяжки почвы [29], ГОСТ Р 54650-2011 - содержание подвижного фосфора и калия в почве [28], ГОСТ Р 58596-2019-определения общего азота [26], ГОСТ 26212-2021 - гидролитическую кислотность почвы [30], ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 - подвижные формы кремния [70].

Фенологические наблюдения и биометрические показатели проводили по методике ВНИИКХ (1967 г). В течение вегетации отмечалось начало появления всходов, полные всходы, вступление в фазу бутонизации, полную бутонизацию, начало цветения, полное цветение. Биометрические показатели - высоту растений, количество стеблей и клубней, вес ботвы и клубней в кусте. Кроме того, определяли площадь ассимиляционной поверхности листьев учитывали фотопланиметром Li-3100.

Урожай и товарность урожая определяли вручную и взвешиванием клубней по фракциям 0-30 мм и более 30 мм., ГОСТ 26832-86 [32];

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

- а) товарность урожая;
- б) содержание крахмала – весовым методом, ГОСТ 7194-81[33];
- в) определение сухого вещества и воды в анализируемом материале (растения) весовым методом по ГОСТ 31640-2012 [34];
- г) содержание нитратов – ионоселективным методом, ГОСТ 29270-95 [35].

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

3.1 Особенности роста и развития при возделывании двух урожаев картофеля

Московская область расположена в пределах третьей световой зоны умеренного климатического пояса, что полностью соответствует физиолого-генетическим требованиям картофеля к условиям вегетационного периода. Анализ морфогенетических и фенологических особенностей раннеспелых сортов данной культуры позволяет выявить характерные биологические свойства и установить оптимальные варианты для получения продукции в ранние сроки. Дополнительно такие исследования дают возможность определить наиболее адаптивные и продуктивные скороспелые формы, которые целесообразно включать в комплекс предложенной агротехнологии.

Для практической реализации технологии возделывания двух урожаев картофеля в условиях Московской области требуется использование сортов с укороченным вегетационным циклом и выраженной скороспелостью. Различия между сортами по этому признаку проявляются в изменчивости продолжительности периода от посадки клубней до полного отмирания надземной массы. Данный временной интервал может существенно варьировать под воздействием таких факторов, как погодные условия, применяемые агротехнические приемы и наследственные особенности сорта. Следует подчеркнуть, что даже в пределах одного и того же сорта продолжительность вегетации способна изменяться в зависимости от климатической ситуации конкретного сезона и уровня агрономической оптимизации.

Одной из составляющих комплексной оценки сортов служит анализ того, с какой скоростью проходят основные фенологические фазы в зависимости от вариантов, отражающие реакцию растений на погодные условия, уровень агротехнического фона и применения удобрений.

При получении первого урожая были найдены тенденции, проявляющиеся на протяжении каждого вегетационного периода.

Прохождение фенофаз сорт Жуковский ранний

Варианты	Фенологические фазы						Уборка
	всходы		бутонизация		цветение		
	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	
2023							
1.	28.05	30.05	17.06	20.06	22.06	25.06	15.07
2.	28.05	30.05	17.06	20.06	22.06	25.06	15.07
3.	27.05	29.05	16.06	19.06	21.06	24.06	15.07
4.	27.05	29.05	16.06	19.06	21.06	24.06	15.07
5.	27.05	29.05	16.06	19.06	21.06	24.06	15.07
2024							
1.	27.05	30.05	18.06	20.06	22.06	25.06	11.07
2.	27.05	30.05	18.06	20.06	22.06	25.06	11.07
3.	26.05	29.05	17.06	19.06	21.06	24.06	11.07
4.	26.05	29.05	17.06	19.06	21.06	24.06	11.07
5.	26.05	29.05	17.06	19.06	21.06	24.06.	11.07
2025							
1.	26.05	30.05	07.06	13.06	15.06	25.06.	01.07
2.	26.05	30.05	07.06	13.06	15.06	23.06	01.07
3.	25.05	30.05	05.06	11.06	13.06	21.06	01.07
4.	26.05	30.05	05.06	11.06	13.06	21.06	01.07
5.	25.05	30.05	05.06	11.06	13.06	21.06	01.07

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Так, анализ данных сорта Жуковский ранний позволяет выявить закономерные изменения сроков наступления ключевых фаз онтогенеза у растений, возделываемых в различных вариантах опыта (таблица 4). В 2023 году всходы (начало 10%) фиксировались 28-29 мая, а полные 75% - 30 мая соответственно, что отражает достаточно дружное появление всходов даже несмотря на ряд неблагоприятных погодных условий, таких как возвратные заморозки. Бутонизация (10%) отмечалась 17-18 июня, а цветение (10%) - уже 22 июня, то есть интервал между этими фазами составлял порядка пяти дней, что характеризует быстрый темп органогенеза при относительно благоприятных условиях. Динамика прохождения фенофаз между контрольным и опытными вариантами практически не различалась в 2023

году: разница в сроках наступления фенологических фаз не превышала одного-двух дней, что говорит об отсутствии серьезных дефицитов во влаге и температуре у сорта, а также об устойчивости сорта к воздействию абиотических факторов.

В 2024 году наблюдалась тенденция к несущественному сдвигу сроков наступления фаз в сторону более ранних дат: всходы, бутонизация и цветение отмечались на день раньше, чем в 2023 году - уже 26- 27 мая, причем вариант с применением гидрогеля и/или кремниевого удобрения продемонстрировал наиболее раннюю динамику.

Тенденция сохранилась и в 2025 году: всходы происходили 25–26 мая, где варианты с применением NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения способствовали более раннему прохождению фенофаз с опережением в 1–2 дня относительно контроля.

У сорта Ред Скарлет прохождение фенофаз отличается относительной синхронностью наступления основных этапов развития по вариантам опыта, однако в ряде случаев наблюдаются существенные различия между годами (таблица 5). В 2023 году начало всходов (10%) фиксировалось 26–27 мая, где самый ранний вариант был с гидрогелем, а полное (75%) — к 29 мая во всех вариантах. Фазы бутонизации и цветения наступали с той же постоянной разницей в 1–2 дня между подкормленными вариантами и контролем.

Характерным отличием в 2024 году сохранила тенденцию с разницей в прохождении фаз в 1-2 дня. Вариант с применением гидрогеля и кремниевого удобрения показал более активное прохождение фенофаз, что можно трактовать как комплексный адаптогенный эффект применяемых методов.

В 2025 году динамика прохождения фенофаз сохранилась. Всходы были отмечены на день раньше в вариантах с дополнительным агрофоном, а начало бутонизации (5 июня) и цветения (12 июня) — почти на два дня раньше по сравнению с контролем. Варианты с применением гидрогеля и кремниевого удобрения продемонстрировали наибольшую отзывчивость в плане ускорения этапов развития.

Прохождение фенофаз сорт Ред Скарлет

Варианты	Фенологические фазы						Убор ка
	всходы		бутонизация		цветение		
	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	
2023							
1.	27.05	29.05	17.06	19.06	22.06	25.06	15.07
2.	27.05	29.05	17.06	19.06	22.06	25.06	15.07
3.	26.05	29.05	16.06	18.06	21.06	24.06	15.07
4.	26.05	29.05	16.06	18.06	21.06	24.06	15.07
5.	26.05	29.05	16.06	18.06	21.06	24.06	15.07
2024							
1.	27.05	29.05	18.06	20.06	22.06	30.06	11.07
2.	26.05	30.05	18.06	19.06	22.06	25.06	11.07
3.	26.05	30.05	18.06	19.06	22.06	25.06	11.07
4.	26.05	30.05	18.06	19.06	22.06	25.06.	11.07
5.	25.05	29.05	17.06	18.06	21.06	24.06	11.07
2025							
1.	26.05	30.05	05.06	11.06	12.06	26.06	01.07
2.	26.05	30.05	05.06	11.06	12.06	26.06	01.07
3.	25.05	30.05	05.06	11.06	12.06	26.06	01.07
4.	26.05	30.05	05.06	11.06	12.06	26.06	01.07
5.	25.05	30.05	05.06	11.06	12.06	26.06	01.07

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Отдельного внимания заслуживает тот факт, что уборка урожая по годам смещалась к более ранним срокам: в 2023–2024 годах — преимущественно 11–15 июля, а в 2025 — все варианты были убраны к 1 июля. Это может говорить о способности сорта ускорять своё развитие при благоприятных условиях года и наличии комплексной поддержки питанием и влагоёмкими веществами.

При получении второго урожая сохранялась тенденция, связанная с более ранним прохождением фенофаз у обоих сортов, даже при условии, что климатические условия сильно отличались от тех, что были при закладке первого урожая.

Так развитие сорта Невский имело схожую тенденцию с прохождением фенофаз, однако имело свои особенности ввиду посадки в июле, что сказывалось на количестве доступной влаги в почве (таблица 6).

В 2023 году всходы наблюдались с конца июля (24–25 июля), бутонизация и цветение регистрировались в августе, а уборка производилась лишь к концу сентября — 21 сентября.

Таблица 6

Прохождение фенофаз сорта Невский

Варианты	Фенологические фазы						Уборка
	всходы		бутонизация		цветение		
	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	
2023							
1.	24.07	26.07	13.08	15.08	17.08	19.08	21.09
2.	24.07	26.07	13.08	15.08	17.08	19.08	21.09
3.	23.07	25.07	12.08	14.08	16.08	18.08	21.09
4.	23.07	25.07	12.08	14.08	16.08	18.08	21.09
5.	23.07	25.07	12.08	14.08	16.08	18.08	21.09
2024							
1.	25.07	27.07	20.08	24.08	27.08	29.08	22.09
2.	25.07	27.07	20.08	24.08	27.08	29.08	22.09
3.	24.07	26.07	20.08	24.08	27.08	29.08	22.09
4.	24.07	26.07	20.08	24.08	27.08	29.08	22.09
5.	24.07	26.07	20.08	24.08	27.08	29.08	22.09

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

В 2024 году наблюдался сдвиг дат всех фаз на один-два дня, однако тенденция к более позднему развитию по сравнению с раннеспелыми сортами сохранялась — всходы фиксируются 24–25 июля, бутонизация — 20–24 августа, цветение — 27–29 августа, уборка — 22 сентября.

Сравнительный анализ по вариантам опыта показывает, что внесение NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения позволяет незначительно ускорить наступление фенологических фаз (опережая контроль на 1 день), однако серьезного влияния на прохождение фенофаз не наблюдается. Это можно

связать с применением пророщенных клубней для посадки растений, что позволяет получить относительно дружные всходы и полноценное прохождение фенофаз без серьезных задержек.

Сорт Варяг также имел небольшую вариабельностью сроков наступления фаз по вариантам опыта (таблица 7). В 2023 году всходы начинались 21–22 июля, бутонизация фиксировалась 11–12 августа, цветение — 14–15 августа. Внедрение в схему опыта гидрогеля и кремниевого удобрения способствовало незначительному ускорению всех фаз (1–2 дня). Уборка всех вариантов осуществлялась 21 сентября.

Таблица 7

Прохождение фенофаз сорта Варяг

Варианты	Фенологические фазы						Уборк а
	всходы		бутонизация		цветение		
	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	начало 10%	полная 75%	
2023							
1.	22.07	24.07	12.08	13.08	15.08	17.08	21.09
2.	22.07	24.07	12.08	13.08	15.08	17.08	21.09
3.	21.07	23.07	11.08	12.08	14.08	16.08	21.09
4.	21.07	23.07	11.08	12.08	14.08	16.08	21.09
5.	21.07	23.07	11.08	12.08	14.08	16.08	21.09
2024							
1.	24.07	26.07	19.08	23.08	26.08	28.08	22.09
2.	24.07	26.07	16.08	21.08	25.08	27.08	22.09
3.	23.07	25.07	18.08	22.08	25.08	28.08	22.09
4.	23.07	25.07	18.08	22.08	25.0	28.08	22.09
5.	23.07	25.07	18.08	22.08	25.08	28.08	22.09

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

В 2024 году аналогичная тенденция сохранялась: всходы были отмечены на 23–24 июля, бутонизация — 18–19 августа (раньше всего в вариантах с применением гидрогеля и кремниевого удобрения), цветение — 25–26 августа. Варианты с использованием гидрогеля и кремниевого удобрения демонстрировали лишь минимальное опережение по фазам.

При этом как первый, так и второй урожай в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель имел удлиненные межфазные периоды и в итоге среднее количество дней от всходов до уборки на данном варианте в среднем было на 1 день больше, чем на контроле.

Одним из главных достоинств положительного влияния гидрогеля и кремниевое удобрения на прохождение фенологических фаз является именно увеличение вегетационного периода растений, что позволяет аккумулировать у себя больше питательных веществ, повысив урожайность и качество получаемой продукции.

Исходя из полученных данных о прохождении фенологических фаз можно сделать вывод, что сорта картофеля для 1 урожая - Жуковский ранний и Ред Скарлет, также, как и сорта для 2 урожая Невский и Варяг, отличаются более высокой отзывчивостью к внесению гидрогеля и кремниевое удобрения. Фенологическое развитие исследуемых объектов демонстрирует явное опережение наступления фенофаз по сравнению с контрольными образцами. Эта тенденция к опережению наблюдается в широком диапазоне климатических условий и уровней влагообеспеченности почвы, что свидетельствует о высокой адаптивности и пластичности изучаемых систем.

Таблица 8

Продолжительность межфазных периодов разных сортов картофеля 1 урожай

Сорта	2023				2024				2025				Среднее по годам			
	Поса дка- всхо ды	Всх оды - бут они зац ия	Буто низа ция - цвет ение	Всхо ды - убор ка	Поса дка- всхо ды	Всх оды - бут они зац ия	Буто низа ция - цвет ение	Всхо ды - убор ка	Поса дка- всхо ды	Всхо ды- буто низа ция	Буто низа ция - цвет ение	Всх оды - убо рка	Поса дка- всхо ды	Всхо ды- буто низа ция	Буто низа ция - цвет ение	Всх оды - убо рка
Жуковский ранний - 1	32	21	5	48	32	21	5	45	32	14	12	36	32	19	7	43
Жуковский ранний - 2	32	21	5	48	32	21	5	45	32	14	10	36	32	19	7	43
Жуковский ранний - 3	31	21	5	49	31	21	5	46	32	12	10	37	31	18	7	44
Жуковский ранний - 4	31	21	5	49	31	21	5	46	32	12	10	36	31	18	7	44
Жуковский ранний - 5	31	21	5	49	31	21	5	46	32	12	10	37	31	18	7	44
Ред Скарлет -1	31	21	6	49	31	22	10	45	32	12	15	36	31	18	10	43
Ред Скарлет - 2	31	21	6	49	32	20	6	46	32	12	15	36	32	18	9	44
Ред Скарлет - 3	31	20	6	50	32	20	6	46	32	12	15	37	32	17	9	44
Ред Скарлет - 4	31	20	6	50	32	20	6	46	32	12	15	36	32	17	9	44
Ред Скарлет - 5	31	20	6	50	31	20	6	47	32	12	15	37	31	17	9	45

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель;4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель;

Таблица 9

Сорта	2023				2024				Среднее по годам			
	Посадка -всходы	Всходы- бутониз ация	Бутониз ация - цветени е	Всход ы - уборка	Посадка -всходы	Всходы- бутониз ация	Бутониза ция - цветение	Всходы - уборка	Посадка -всходы	Всходы- бутониза ция	Бутониза ция - цветение	Всходы - уборка
Варяг – 1	7	20	4	61	12	20	4	60	10	20	4	61
Варяг – 2	7	20	4	61	12	20	4	60	10	20	4	61
Варяг – 3	6	20	4	62	11	20	4	61	9	20	4	62
Варяг – 4	6	20	4	62	11	20	4	61	9	20	4	62
Варяг – 5	6	20	4	62	11	20	4	61	9	20	4	62
Невский - 1	9	20	4	59	11	20	5	59	10	20	5	59
Невский - 2	9	20	4	59	11	20	6	59	10	20	5	59
Невский - 3	8	20	4	60	10	20	6	60	9	20	5	60
Невский - 4	8	20	4	60	10	20	6	60	9	20	5	60
Невский - 5	8	20	4	60	10	20	6	60	9	20	5	60

Продолжительность межфазных периодов разных сортов картофеля 2 урожай

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель;

3.2 Формирование параметров растений двух урожаев картофеля ранних сортов

Помимо активного развития корневой системы, не менее важным является формирование у растений мощной вегетативной массы. Увеличение размеров ассимиляционной поверхности рассматривается как один из ключевых факторов, определяющих интенсивность фотосинтетического процесса у растений. По мнению ряда исследователей, усиленное образование побегов напрямую связано с ростом числа клубней. В практике сельского хозяйства для расширения листовой поверхности, стимулирования побегообразования, наращивания общей вегетативной массы и повышения урожайности нередко применяются удобрения, содержащие кремний.

Высота, количество побегов растения образуют большую вегетативную массу, которая тесно связана с непосредственно урожаем картофеля и выражается в площади листовой поверхности и индексе листовой поверхности (ИЛП)/LAI (Leaf Area Index). Индекс листовой поверхности (ИЛП) – это отношение суммарной площади односторонней поверхности листьев к единице площади почвы, занятой растениями. Высокая площадь активной листовой поверхности критична для интенсификации фотосинтеза, что, в свою очередь, способствует существенному увеличению урожайности картофеля. Листовая поверхность напрямую отвечает за синтез органических веществ, необходимых для формирования клубней - именно поэтому сохранение активной и обильно развитой листовой массы в течение как можно более долгого периода вегетации положительно влияет на конечную урожайность клубней. Площадь листьев особенно быстро нарастает в фазу цветения. Максимальная фотосинтетическая продуктивность достигается, когда листовой аппарат полностью освещён и работает в оптимальных условиях. Однако сокращение листовой поверхности из-за стрессовых факторов или избыточного загущения приводит к снижению урожая.

Поэтому данные о количестве стеблей, их высоте, а также площади листьев и ИЛП могут оказаться полезными в оценке эффективности

возделывания двух урожаев и с применением кремниевых удобрений и гидрогеля на культуре картофеля.

Таблица 10

Биометрические показатели разных сортов картофеля,
среднее за 2023...2025 годы, 1 урожай

Вариант	Всходы		Бутонизация		Цветение	
	Кол-во стеблей, шт.	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт.	Высота растений, см	Кол-во стеблей, шт.	Высота растений, см
Жуковский ранний – 1	2,0	3,9	2,0	41,1	2,0	42,3
Жуковский ранний – 2	3,0	4,0	3,0	43,9	3,0	46,2
Жуковский ранний – 3	4,3	4,4	4,3	43,8	4,3	45,0
Жуковский ранний – 4	5,0	4,4	5,0	44,1	5,0	45,5
Жуковский ранний – 5	5,1	4,5	5,1	44,6	5,1	46,6
Ред Скарлет – 1	2,0	4,0	2,0	25,2	2,0	26,1
Ред Скарлет – 2	3,0	4,0	3,0	26,8	3,0	28,0
Ред Скарлет – 3	3,6	5,0	3,6	38,1	3,6	40,0
Ред Скарлет – 4	4,0	5,0	4,0	39,5	4,0	40,6
Ред Скарлет – 5	4,0	5,0	4,0	43,3	4,0	44,1

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

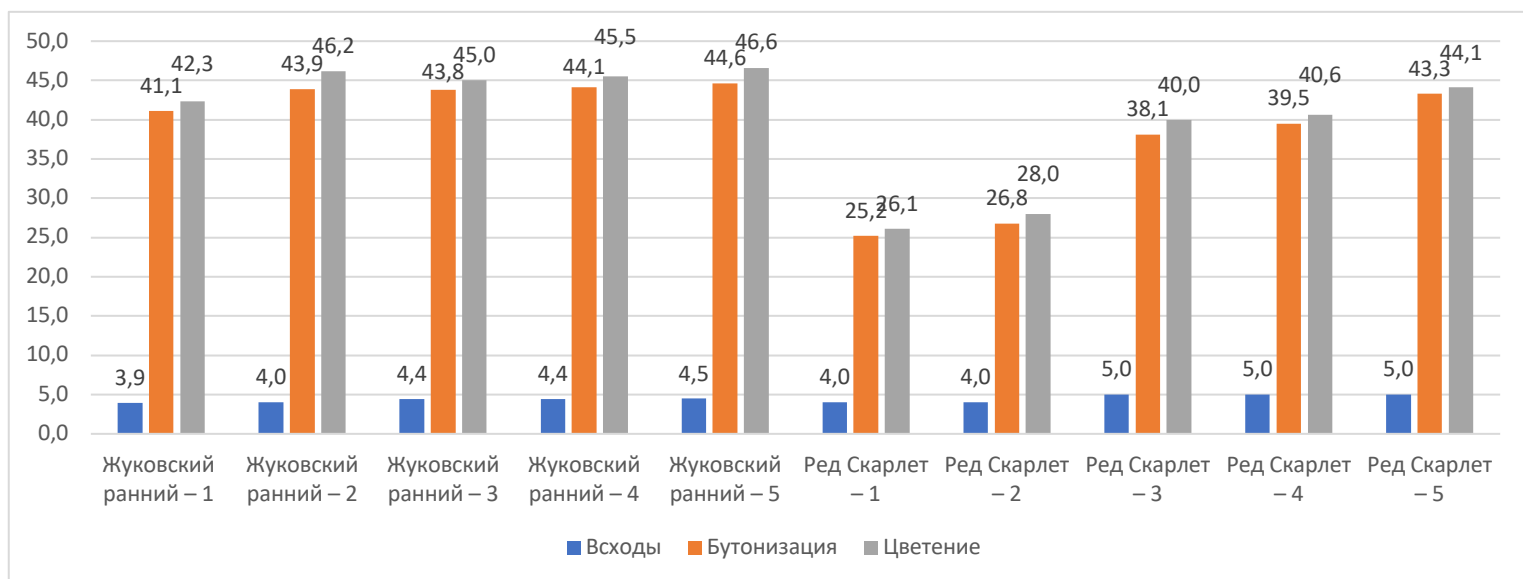


Рисунок 4 - Высота побегов разных сортов картофеля, среднее за 2023...2025 годы 1 урожай, см.

Таблица 11

Площадь листовой поверхности и индекс листовой поверхности, 1 урожай

Вариант	Средняя, тыс кв метров				ИЛП			
	2023	2024	2025	средняя	2023	2024	2025	средняя
Жуковский ранний – 1	24,23	19,28	29,58	24,36	2,4	1,9	3,0	2,4
Жуковский ранний – 2	29,61	23,51	34,31	29,14	3,0	2,4	3,4	2,9
Жуковский ранний – 3	31,59	25,17	33,33	30,03	3,2	2,5	3,3	3,0
Жуковский ранний – 4	32,49	25,47	36,68	31,55	3,2	2,5	3,7	3,2
Жуковский ранний – 5	33,47	27,39	38,18	33,01	3,3	2,7	3,8	3,3
Ред Скарлет – 1	24,69	18,75	29,92	24,45	2,5	1,9	3,0	2,4
Ред Скарлет – 2	26,90	22,89	33,88	27,89	2,7	2,3	3,4	2,8
Ред Скарлет – 3	28,67	24,42	36,93	30,00	2,9	2,4	3,7	3,0
Ред Скарлет – 4	30,64	26,83	39,43	32,30	3,1	2,7	3,9	3,2
Ред Скарлет – 5	32,17	28,76	41,60	34,18	3,2	2,9	4,2	3,4

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Согласно результатам проведённых опытов (таблица 10, 11), такие показатели, как высота растений, число листьев и величина их площади, определяются совокупностью факторов: сортовыми характеристиками, уровнем обеспеченности культур тепловыми и водными ресурсами, наличием питательных элементов, а также особенностями применяемой агротехнологии. Наиболее существенным технологическим приёмом в данном случае выступало световое проращивание клубней. Представленные в таблицах сведения показывают, что контрольные варианты во всех изучаемых сортах характеризовались меньшей высотой побегов, их числом, а также сниженной площадью листьев и индексом листовой поверхности по сравнению с показателями, обусловленными биологической спецификой сорта. Следует также подчеркнуть установившийся положительный эффект от применения кремниевого удобрения, которое способствовало увеличению площади листовой поверхности.

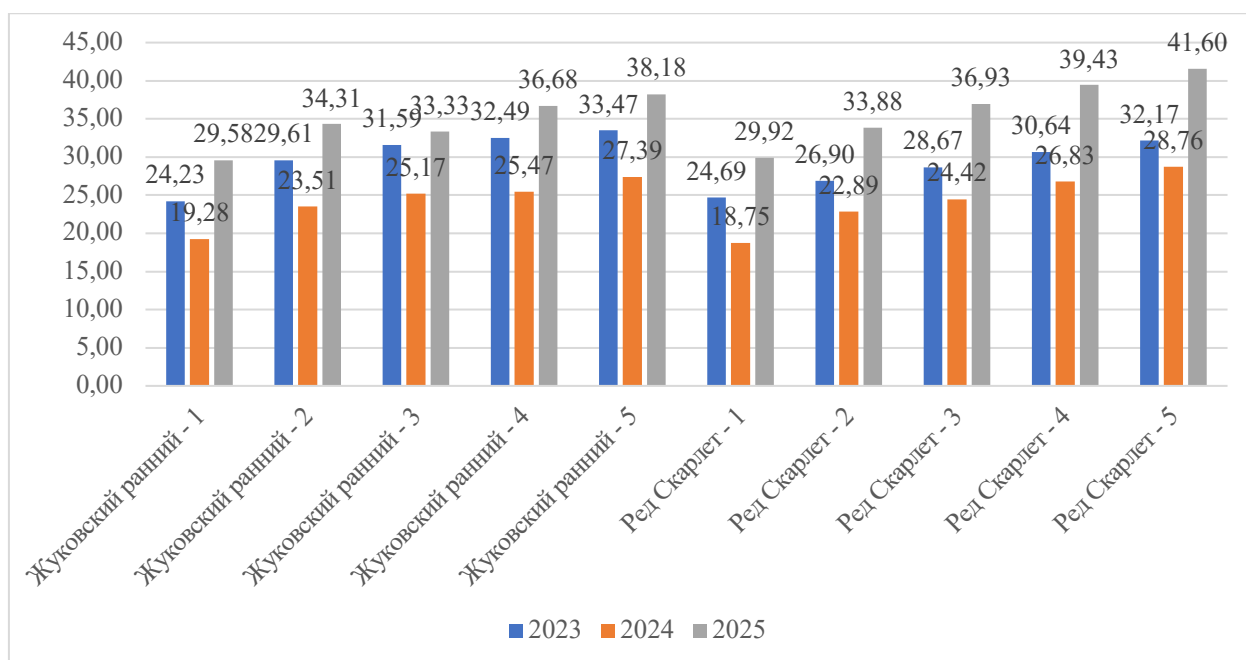


Рисунок 5 - Площадь листьев разных сортов картофеля, среднее за 2023...2025 годы 1 урожай, тыс. кв. м/га

Так, сорт Жуковский ранний на контроле имел два стебля, в отличие от вариантов с применением NPK, кремнивого удобрения, гидрогеля и их сочетаний, которые соответствуют биологическим особенностям сорта – где их количество варьируется от 4 до 5 штук. При этом высота побегов в фазе цветения на всех вариантах не сильно отличается, и варьируется в диапазоне от 42,3 до 46,6 см, что вызвано достаточным количеством света, несмотря на высокую плотность посадки. При этом показатели площади листьев на контроле в среднем за 3 года были 24,36 тыс. м²/га с ИЛП равной 2,4, а на варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель площадь листьев была на 35,5% выше и равнялись 33,01 тыс. м²/га с ИЛП – 3,3. Различие в количестве побегов, а также площади листьев и ИЛП может быть вызвано как недостатком доступных для растений питательных веществ, так и доступной влаги, что является важным фактором, замедляющим рост и развитие растений в периоды дефицита влаги.

Сорт Ред Скарлет имеет схожую тенденцию в отношении количества стеблей, и высоты побегов, однако разница между вариантами здесь также присутствует. Это выражается не только в том, что контроль в фазе цветения имеет 2 побега, в то время как применение NPK повысило количество стеблей

до 3 шт, Фон (NPK) + гидрогель – 3,6 шт, а применение препарата Фон (NPK) + кремниевое удобрение и вариант Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 4 шт. Показатели высоты варьируются и контроль имеет высоту 26,1 см, NPK – 28 см, Фон (NPK) + гидрогель – 40 см, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 40,6 см, а Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель 44,1 см. При этом показатели площади листьев на контроле в среднем за 3 года были 24,45 тыс. м²/га с ИЛП равной 2,4, а на варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель площадь листьев была на 39,8% выше и равнялись 34,18 тыс. м²/га с ИЛП – 3,4.

Одним из важнейших факторов в росте и развитии растений были климатические условия, которые повлияли на количество и высоту стеблей. Весна 2023 года была холодной и сухой – наличие возвратных заморозков и минимальное количество осадков в I и II декады мая сильно замедлило рост и развитие растений, что привело к более поздним всходам. К III декаде месяца температура поднялась, а количество осадков существенно увеличилось, что позволило растениям благополучно перейти в фазу полных всходов во всех вариантах. Похожая тенденция наблюдалась и в июне - I и II декады оказались крайне засушливыми, а III декада – дождливой и жаркой. I декада июля, в которую проводилась уборка первого урожая имела умеренные показатели температуры и малое количество осадков, что положительно сказалось на финальной урожайности.

Самым неблагоприятным годом по показателям считается 2024 год, с его возвратными заморозками и переувлажнением почвы в мае, сильным переувлажнением в I и II декады июня, полным отсутствием осадков в III декаде и недостаточным количеством осадков в I декаде июля. Это плохо сказалось на росте, развитии и урожайности растений как сорта Жуковский ранний, так и Ред Скарлет.

Погодные условия 2025 года имели наилучшие условия как с точки зрения осадков, так и температуры. Несмотря на небольшое количество осадков в III декаде апреля и I декаде мая и возвратные заморозки в I декаде

мая, это не повлияло на рост и развитие растений обоих сортов. В отличие от 2023 и 2024 года, начиная с III декады мая 2025 года и до конца вегетации у растений картофеля было достаточно температуры и почвенной влаги ввиду стабильно теплых дней и достаточного количества осадков.

Таблица 12

Биометрические показатели разных сортов картофеля, среднее за 2023...2024 годы, 2 урожай

Вариант	Всходы		Бутонизация		Цветение	
	Кол-во стеблей, шт.	высота растений, см.	Кол-во стеблей, шт.	высота растений, см.	Кол-во стеблей, шт.	высота растений, см.
Варяг – 1	2,5	3,4	2,7	30	2,7	31,5
Варяг – 2	2,7	4,2	4,5	39	4,5	45,1
Варяг – 3	2,9	4,3	6,1	44	6,1	48,5
Варяг – 4	3,6	4,6	6,3	46	6,3	49,3
Варяг – 5	3,7	5,1	7,2	47	7,2	51,0
Невский – 1	2,7	3,8	3,5	34	3,5	36,6
Невский – 2	3,6	4,7	3,6	44	3,6	45,9
Невский – 3	3,6	4,8	3,9	46	3,9	48,5
Невский – 4	3,6	5,2	4,5	47	4,5	49,1
Невский – 5	3,6	5,4	5,4	47	5,4	49,9

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

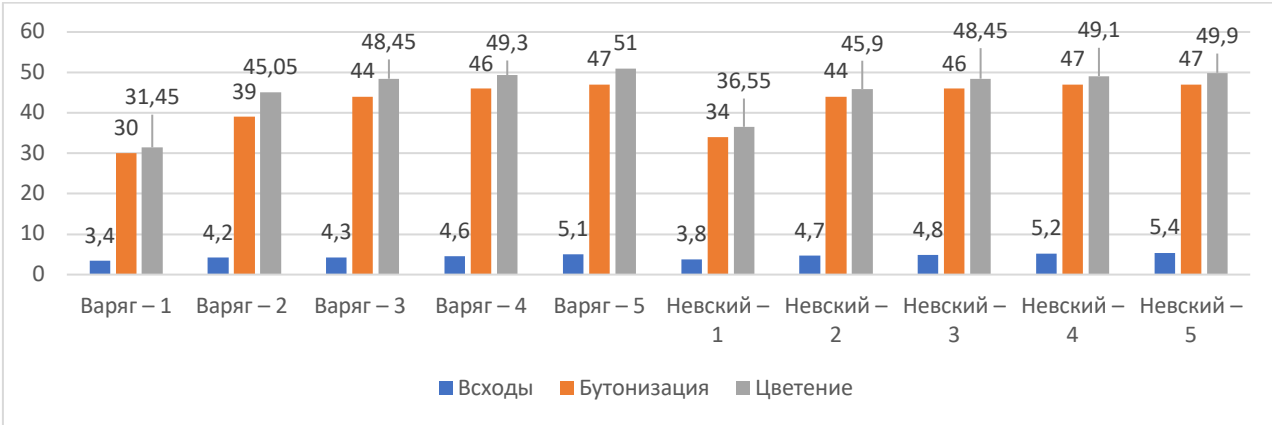


Рисунок 6 – Высота побегов разных сортов картофеля, среднее за 2023...2024 годы 2 урожай, см.

При получении второго урожая (таблица 13) была обнаружена схожая тенденция. Судя по данным таблицы, дружные всходы, являющиеся

результатом светового проращивания клубней, с самого начала имели разное количество стеблей ввиду разной доступности питательных веществ для каждого из вариантов. Вариант растений с контроля на каждом из сортов имеет меньшее количество побегов и их высоту ниже, чем у вариантов с применением удобрений, гидрогеля и кремниевого удобрения.

Таблица 13

Площадь листовой поверхности и индекс листовой поверхности, 2 урожай

Вариант	Средняя, тыс. кв метров			ИЛП		
	2023	2024	средняя	2023	2024	средняя
Варяг – 1	27,75	24,06	25,91	2,8	2,4	2,6
Варяг – 2	33,79	25,83	29,81	3,4	2,6	3,0
Варяг – 3	35,40	28,32	31,86	3,5	2,8	3,2
Варяг – 4	37,98	29,59	33,79	3,8	3,0	3,4
Варяг – 5	38,82	31,51	35,16	3,9	3,2	3,5
Невский – 1	29,95	24,97	27,46	3,0	2,5	2,7
Невский – 2	33,54	26,80	30,17	3,4	2,7	3,0
Невский – 3	35,91	29,38	32,65	3,6	2,9	3,3
Невский – 4	37,76	30,71	34,24	3,8	3,1	3,4
Невский – 5	40,42	33,95	37,18	4,0	3,4	3,7

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

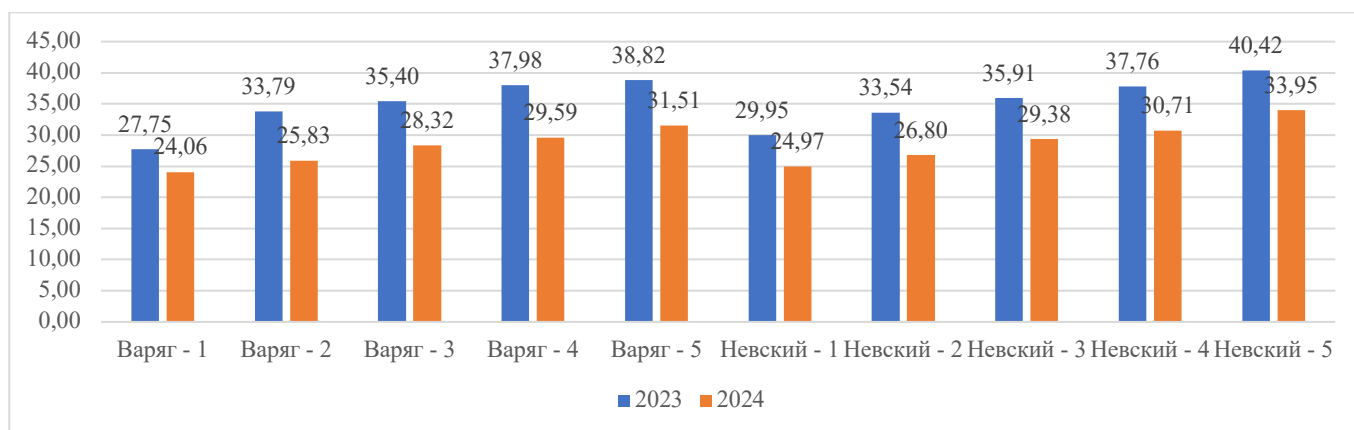


Рисунок 7 - Площадь листьев разных сортов картофеля, среднее за 2023...2025 годы 2 урожай тыс. кв м/га.

Тем не менее, так как климатические и почвенные условия для роста и развития растений не отличались друг от друга по вариантам, важно отметить

несомненное влияние на вегетацию низких температур и периодов избыточного, а также недостаточного увлажнения почвы.

Сорт Варяг имел определенную тенденцию в увеличении количества стеблей с повышением количества стеблей и их высоты. На таких побегах формируется больше листьев, что приводит к повышению ассимиляционной поверхности и фотосинтетической активности растения.

Так контроль в фазе цветения имеет 2,5 побега, в то время как применение NPK повысило количество стеблей до 4,5 шт, Фон (NPK) + гидрогель – 6,1 шт, а применение препарата Фон (NPK) + кремниевое удобрение и вариант Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 6,3 шт. Показатели высоты варьируются и контроль имеет высоту 31,5 см, NPK – 45,5 см, Фон (NPK) + гидрогель – 48,5 см, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 49,3 см, а Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель - 51 см. Показатели площади листьев на контроле в среднем за 3 года были 25,91 тыс. м²/га с ИЛП равной 2,6, а на варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель площадь листьев была на 39,8% выше и равнялись 35,16 тыс. м²/га с ИЛП – 3,5.

У растений сорта Невский на контроле в фазе цветения было 3,5 побега, с применением NPK – 3,6 шт, Фон (NPK) + гидрогель – 3,9 шт, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 4,5 и вариант Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 5,4 шт. Показатели высоты варьируются и контроль имеет высоту 36,55 см, NPK – 45,9 см, Фон (NPK) + гидрогель – 48,5 см, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 49,1 см, а Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 49,9 см. Показатели площади листьев на контроле в среднем за 3 года были 27,5 тыс. м²/га с ИЛП равной 2,7, а на варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель площадь листьев была на 30,8% выше и равнялись 37,18 тыс. м²/га с ИЛП – 3,7.

Урожайность картофеля является интегральным показателем, отражающим сложные взаимодействия между физиологическими и агроэкологическими факторами, определяющими продуктивность

фотосинтетического аппарата растений. Ключевым элементом, влияющим на урожайность, является индекс листовой поверхности (ИЛП), который количественно характеризует площадь листьев, участвующих в фотосинтезе.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение индекса листовой пластинки и продолжительности вегетации листьев до определенного оптимума способствует повышению ассимиляции углекислого газа, что напрямую коррелирует с увеличением биомассы клубней. Однако после достижения данного оптимума, который варьируется в пределах ИЛП $\approx 3-4$ [36], начинают проявляться негативные эффекты самозатенения и внутривидовой конкуренции за ресурсы. Это приводит к снижению эффективности фотосинтетического процесса и, как следствие, к снижению прироста урожайности.

Концепция «положительной связи до некоторого плато» позволяет отследить и ценить динамику изменения урожайности картофеля в зависимости от ИЛП. Сперва увеличение площади листа приводит к пропорциональному росту фотосинтетической продуктивности и к увеличению массы клубней. Но когда ИЛП $\approx 3-4$, полог листьев полностью закрывает поверхность почвы. Это приводит к снижению интенсивности фотосинтеза вследствие уменьшения освещенности и повышения внутривидового затенения. В результате дальнейший прирост ИЛП не сопровождается значительным увеличением урожайности и даже может приводить к ее снижению.

Таким образом, управление параметрами индексом листовой пластинки и продолжительности ее работы является ключевым аспектом оптимизации агротехнологий выращивания картофеля. Для достижения максимальной продуктивности необходимо тщательно контролировать динамику роста листового аппарата и обеспечивать оптимальные условия для его функционирования, учитывая, как положительные, так и негативные аспекты взаимодействия этих параметров.

По данным таблицы 11 и 13 были найдены регрессионные и корреляционные связи (рисунок 8, таблица 14).

Таблица 14

№ п/п	Сорта	Коэффициенты корреляции (R)	Уравнения регрессии
1.	Жуковский ранний	0,994	$Y=0,70x+0,58$
2.	Ред Скарлет	0,997	$Y=0,61x+0,05$
3.	Варяг	0,980	$Y=0,71x-0,96$
4.	Невский	0,996	$Y=0,65x+0,48$

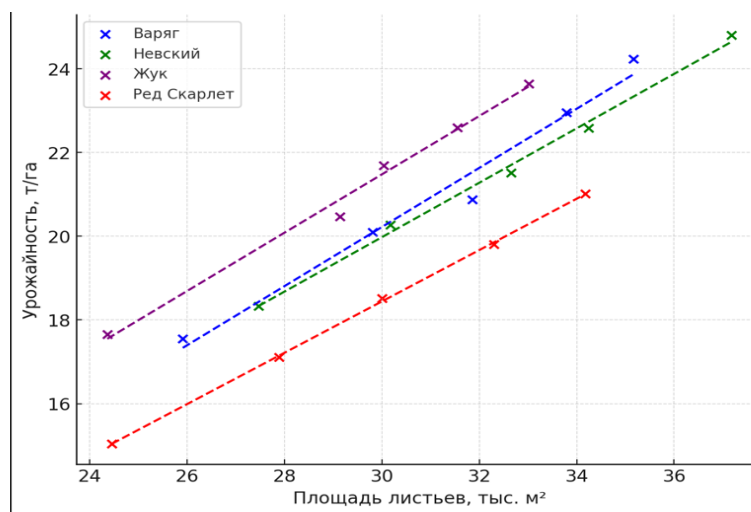


Рисунок 8 - Площади листьев и урожайности исследуемых сортов

Все сорта показывают почти линейный рост урожайности с увеличением площади листьев. Линии тренда идут параллельно, но смещены: Жуковский ранний и Невский дают более высокий урожай при одинаковой площади; Ред Скарлет идёт чуть ниже остальных (меньшая урожайность при равной площади листьев); Варяг занимает промежуточное положение.

Анализ данных рисунка 8 показывает, что между площадью листьев и урожайностью исследуемых сортов картофеля существует очень высокая положительная корреляция ($R = 0,98-0,997$), что свидетельствует о тесной связи этих показателей. Наиболее выраженная зависимость отмечена у сорта Ред Скарлет ($R = 0,997$), наименьшая — у Варяг ($R = 0,980$). Уравнения регрессии подтверждают, что увеличение площади листьев сопровождается ростом урожайности на $0,6-0,7$ т/га, что указывает на важную роль развитой листовой поверхности в формировании продуктивности сортов.

Одним из важнейших факторов в росте и развитии растений были климатические условия, которые повлияли на количество и высоту стеблей. Лето 2023 года было влажным и теплым – в июле II и III декады имели достаточное количество осадков для роста и развития растений картофеля, однако в августе количество осадков снизилось почти до нуля, что негативно сказалось на росте и развитии растений на части вариантов опыта. Начиная со II декады августа и до конца вегетации наблюдались волнообразные изменения температуры и осадков, но в целом, не было критического дефицита влаги в почве.

В 2024 году климатические условия были самыми неблагоприятными за все время проведения опыта. Несмотря на показания гидрометцентра, в месте проведения испытаний количество осадков было незначительным и после обильных осадков, которые были перед посадкой 2 урожая, наступил период полного отсутствия осадков, продолжавшийся вплоть до конца вегетационного периода. В конце августа присутствовали незначительные осадки, однако они не могли компенсировать дефицит влаги в почве.

Таким образом, наилучшие показатели ИЛП и площади листьев картофеля достигается при использовании NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения. Наращивание площади листьев, благодаря правильному подбору агротехники и густоты посадки, позволяет обеспечить требуемую фотосинтетическую продуктивность для формирования высокого урожая клубней.

3.3 Продуктивность картофеля

Итоговым продуктом посадок картофеля стоит считать урожайность. На урожайность сильно влияет выбранный сорт картофеля, а также климатические условия и технологические процессы возделывания и ухода. К Агроклиматические условия, в частности температура воздуха, количество осадков и уровень освещённости оказывают решающее влияние на рост и развитие картофеля. Так, неблагоприятные температуры и засуха ограничивают накопление биомассы, снижая общую урожайность [99].

Сбалансированное внесение минеральных и органических удобрений увеличивает прибавку урожая в среднем на 30-40% по сравнению с необработанными вариантами. При этом избыточное использование азота может приводить к снижению специфической плотности клубней и вызывать болезни, а его недостаток негативно влияет на формирование листового аппарата и размер клубней [4, 21, 91, 92]. Для картофеля характерно тесное взаимодействие между источником-аккумулятором фотоассимилятов и их транспортом к клубням, что определяет скорость их роста и накопление крахмала. Технологические и управленческие меры - методы посадки, схемы окучивания, своевременное проведение агротехнических операций и квалификация персонала существенно влияют на конечные показатели урожайности. Глубина посадки, сроки и схемы внесения удобрений, а также организация производственных процессов существенно влияют на финальную урожайность [21].

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что исследуемые сорта отличаются по урожайности в разные по климату годы.

Таблица 15

Урожайность сорта Жуковский 2023-2025 гг.

Сорт	Вариант	Урожайность по проворностям, т/га			Средняя урожайност ь, т/га	Прибавк а, т/га	Прибавка, %
		I	II	III			
Жуковс кий ранний	2023						
	1.	16,61	15,94	16,41	16,32	-	-
	2.	17,89	20,9	20,93	19,91	3,59	21,98
	3.	20,41	20,04	22,87	21,11	4,79	29,33
	4.	20,56	22,99	22,04	21,86	5,54	33,97
	5.	20,31	24,21	22,98	22,50	6,18	37,87
	НСР05				1,22		
	2024						
	1	9,01	13,49	10,2	10,90	-	-
	2.	13,2	12,33	13,5	13,01	2,11	19,36
	3.	13,92	14,72	13,68	14,11	3,21	29,45
	4.	15,17	14,21	13,62	14,33	3,43	31,47
	5.	14,56	15,45	16,14	15,38	4,48	41,10
	НСР05				0,81		
	2025						
	1	22,58	23,93	30,73	25,75	-	-
	2.	28,60	25,96	30,93	28,50	2,75	10,69
	3.	32,90	28,21	28,44	29,85	4,10	15,94
	4.	32,20	33,92	28,70	31,61	5,86	22,77
	5.	32,71	31,05	35,37	33,04	7,29	28,33
	НСР05				1,34		

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Урожайность сорта Ред Скарлет 2023-2025 гг.

Сорт	Вариант	Урожайность по проворностям, т/га			Средняя урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Прибавка, %
		I	II	III			
Ред Скарлет	2023						
	1	16,63	17,76	15,04	16,48	-	-
	2.	17,48	18,48	17,52	17,83	1,35	8,19
	3.	18,51	19,19	19,48	19,06	2,58	15,68
	4.	21,05	20,49	19,66	20,40	3,92	23,81
	5.	22,06	21,57	20,75	21,46	4,98	30,24
	НСР05				1,14		
	2024						
	1	12,3	12,01	12,9	12,4	-	-
	2.	15,49	14,61	15,23	15,11	2,71	21,85
	3.	15,31	16,55	17,57	16,48	4,08	32,90
	4.	18,12	16,95	17,92	17,66	5,26	42,42
	5.	19,27	18,36	19,4	19,01	6,61	53,31
	НСР05				0,97		
	2025						
	1	16,82	16,52	15,34	16,23	-	-
	2.	19,41	17,38	18,33	18,37	2,15	13,22
	3.	18,51	20,82	20,73	20,02	3,79	23,37
	4.	22,37	21,09	20,69	21,38	5,15	31,76
	5.	28,48	17,50	21,70	22,56	6,33	39,02
	НСР05				1,18		

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Вегетационный период 2023 года характеризовался сложными стартовыми условиями - холодный март, со среднедекадными температурами до -3.1°C , задержал прогревание почвы. Последующие возвратные заморозки в I декаде мая и низкие осадки во II и III декаде также негативно повлияли на рост и развитие картофеля. Последующие в июне минимальные осадки во II декаде - 0,4 мм оказала негативное воздействие на Жуковский ранний и Ред Скарлет, находившиеся в фазе активного клубнеобразования. Это подтверждается низкими показателями контрольного варианта сорта Жуковский ранний – 16,32 т/га (таблица 15) и Ред Скарлет – 16,48 т/га (таблица

16), но хорошими показателями для вариантов с использованием NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения. Вариант с применением удобрений на сорте Жуковский ранний увеличил урожайность до 19,91 т/га, Фон (NPK) + гидрогель – 21,11 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 21,86 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 22,5 т/га. Сорт Ред Скарлет в варианте с применением NPK увеличил урожайность до 19,83 т/га, Фон (NPK) + гидрогель – 19,06 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 20,40 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 21,46 т/га.

Таблица 17

Урожайность сорта Варяг 2023...2024 г., т/га.

Сорт	Вариант	Урожайность по повторностям, т/га			Средняя урожайнос ть, т/га	Прибавка, т/га	Приба вка, %
		I	II	III			
Варяг	2023						
	1	18,36	17,96	19,39	18,57	-	-
	2.	21,19	22,45	23,48	22,37	3,80	20,48
	3.	23,63	22,64	24,88	23,72	5,15	27,71
	4.	24,75	25,61	25,9	25,42	6,85	36,89
	5.	26,49	26,5	27,55	26,85	8,28	44,57
	НСР05				1,39		
	2024						
	1	16,21	16,33	17,01	16,52	-	-
	2.	17,7	18,51	16,94	17,72	1,20	7,27
	3.	19,58	19,41	18,34	19,11	2,59	15,70
	4.	20,36	19,56	20,89	20,27	3,75	22,72
	5.	22,49	21,38	20,97	21,61	5,10	30,86
	НСР05				1,14		

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Таблица 18

Урожайность сорта Невский 2023...2024 г., т/га.

Сорт	Вариант	Урожайность по повторностям, т/га			Средняя урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Прибавка, %
		I	II	III			
Невский	2023						
	1.	20,51	24,98	21,79	22,43	-	-
	2.	24,18	26,52	24,87	25,19	2,76	12,32
	3.	28,54	25,88	26,09	26,84	4,41	19,66
	4.	28,39	30,24	26,15	28,26	5,83	26,01
	5.	29,32	28,81	32,59	30,24	7,81	34,84
	НСР05				1,60		
	2024						
	1.	14,13	12,86	15,69	14,23	-	-
	2.	15,48	15,93	14,65	15,35	1,13	7,92
	3.	16,77	15,76	15,97	16,17	1,94	13,64
	4.	16,23	16,91	17,54	16,89	2,67	18,74
	5.	20,95	18,34	18,75	19,35	5,12	35,99
	НСР05				0,98		

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Вторая половина летнего сезона 2023 года в период посадки и вегетации второго урожая (Варяг, Невский) имела в целом неплохую тепло- и влагообеспеченность, при том, что в августе температура стабильно продолжала снижаться от декады к декаде. Теплый и влажный сентябрь благоприятствовал поздним сортам второй посадки, что отразилось в их сравнительно высокой урожайности. Даже контрольные варианты сортов Варяг (таблица 17) и Невский (таблица 18) дали среднюю урожайность равную 18,57 т/га и 22,43 т/га соответственно.

Как и при первом урожае тенденция о повышении урожайности при применении NPK, гидрогеля и кремниевое удобрения сохранилась. Вариант сорта Невский на контроле показал урожайность 22,43 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 25,19 т/га, Фон (NPK) + гидрогель – 26,84 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 28,26 т/га, а наилучший урожай был

получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 30,24 т/га. Вариант сорта Варяг на контроле показал урожайность 18,57 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 22,37 т/га, Фон (NPK) + гидрогель – 23,72 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 25,42 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 26,85 т/га.

Так 2024 год отличался сильным переувлажнением в апреле, а также возвратными заморозками в мае с последующим отсутствием осадков во II и III декадах месяца. После стабилизации температурного режима в первой декаде июня наблюдалось выпадение 40,3 мм осадков, что обусловило частичное переувлажнение почвы и отрицательно повлияло на формирование урожая. В условиях тяжелосуглинистых почв Московской области в начале июля имело место избыточное увлажнение, однако вскоре после этого количество атмосферных осадков значительно уменьшилось.

Вариант сорта Жуковский ранний на контроле показал урожайность 10,02 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 13,01 т/га, на варианте Фон (NPK) + гидрогель – 14,11 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 14,33 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 15,38 т/га. Вариант сорта Ред Скарлет на контроле показал урожайность 12,4 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 15,11 т/га, Фон (NPK) + гидрогель – 16,48 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 17,66 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 19,01 т/га. Важно отметить, что урожайность Жуковского раннего в самом продуктивном варианте была ниже, чем на контроле в 2023 году, а для сорта Ред Скарлет самая лучшая урожайность за 2024 год была между вариантом Фон (NPK) и вариантом Фон (NPK) + гидрогель.

После закладки второго урожая количество осадков во II и III декадах месяца было незначительным, а в августе, несмотря на данные метеостанций, количество осадков конкретно на поле ЦОС было минимальным. За весь

период вегетации картофеля сортов Невский и Варяг, растения получили недостаточно влаги для полноценного формирования урожая. Также негативным фактором стало похолодание в августе (средняя температура II декады $+17.9^{\circ}\text{C}$), что ограничило налив клубней перед уборкой в сентябре. Так урожайность сорта Невский на контроле была 14,23 т/га, а в самом продуктивном варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель она равнялась 19,35 т/га, что ниже урожайности контрольного варианта в 2023 году. Схожая ситуация с урожайностью и у сорта Варяг. На контроле урожайность была 16,52 т/га, а в самом продуктивном варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель она равнялась 21,61 т/га, что ниже, чем вариант с применением удобрений в урожае 2023 года. В целом 2024 год считается крайне неудачным и малоурожайным для картофелеводства из-за незначительного количества осадков.

По данным метеостанции № 27613, 2025 год был теплым и влажным, при этом осадки распределялись более равномерно по сравнению с предыдущими годами. Эти условия способствовали получению максимальной за три года урожайности у всех изучаемых сортов, особенно при использовании агротехнологий. Вариант сорта Жуковский ранний на контроле показал урожайность 25,72 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 28,50 т/га, на варианте Фон (NPK) + гидрогель – 29,85 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 31,61 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 33,04 т/га. Вариант сорта Ред Скарлет на контроле показал урожайность 16,23 т/га, с применением удобрений урожайность выросла до 18,37 т/га, на варианте Фон (NPK) + гидрогель – 20,02 т/га, Фон (NPK) + кремниевое удобрение – 21,38 т/га, а наилучший урожай был получен в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель – 22,56 т/га.

В качестве показателя эффективности агротехнических мероприятий по выращиванию двух посадок картофеля следует рассматривать количественный и качественный уровень его урожайности (таблица 19).

Анализ результатов полевых испытаний продемонстрировал значительное повышение урожайности картофеля различных сортов при использовании минерального питания (фон NPK) в сочетании с кремниевым удобрением и гидрогелем. Данные, полученные в период с 2023 по 2025 годы, свидетельствуют о том, что применение NPK способствовало увеличению урожайности сортов Жуковский ранний и Ред Скарлет на 15,9% и 13,8% соответственно по сравнению с контрольными вариантами. В условиях совместного использования NPK, кремниевого удобрения и гидрогеля, прирост урожайности составил 33,9% и 39,7%, что свидетельствует о синергетическом эффекте данных агрохимикатов.

Аналогичная тенденция наблюдалась и во втором урожае, где сорта Варяг и Невский показали максимальные значения урожайности, достигающие 24,23 т/га и 24,8 т/га соответственно. Эти показатели превышали контрольные значения на 38,1% и 35,3%, что подтверждает высокую эффективность применяемой агротехнологической схемы. Прибавки урожая, превышающие значения НСР₀₅, указывают на статистическую достоверность полученных результатов, что позволяет говорить о значимости выявленных различий.

Эффективность вариантов повышается при добавлении новых элементов агротехнологии, и наиболее результативным является комплексное применение минеральных удобрений, влагосберегающего гидрогеля и кремниевого удобрения, увеличивается урожайность на 30-40 %. Это приводит к достоверному (статистически значимому) росту урожайности первого и второго урожая картофеля, что подтверждается значениями НСР. Повышение достигается за счёт оптимизации водоудерживающей способности почвы и повышения резистентности растений к стрессовым факторам, что имеет важное значение для устойчивого сельскохозяйственного производства. В практическом плане, внедрение таких комплексных мер позволяет значительно увеличить выход товарного картофеля с гектара по сравнению с традиционной технологией без дополнительных улучшителей.

Таблица 19

Урожайность 1-го и 2-го урожая в среднем за годы исследований, т/га

Вариант	2023	2024	2025	Средняя за годы исследований, т/га	Прибавка, т/га	Прибавка, %
1 урожай						
с. Жуковский ранний						
1.	16,32	10,9	25,75	17,66	-	-
2.	19,91	13,01	28,49	20,47	2,81	15,9
3.	21,11	14,11	29,85	21,69	4,03	22,8
4.	21,86	14,33	31,61	22,6	4,94	28,0
5.	22,5	15,38	33,04	23,64	5,98	33,9
НСР05	1,22	0,81	1,34			
с. Ред Скарлет						
1.	16,48	12,4	16,23	15,04		
2.	17,83	15,11	18,38	17,11	2,07	13,8
3.	19,06	16,48	20,02	18,52	3,48	23,1
4.	20,4	17,66	21,38	19,81	4,77	31,7
5.	21,46	19,01	22,56	21,01	5,97	39,7
НСР05	1,14	0,97	1,18			
2 урожай						
с. Варяг						
1.	18,57	16,52	-	17,55		
2.	22,47	17,72	-	20,1	2,55	14,5
3.	22,65	19,11	-	20,88	3,33	19,0
4.	25,62	20,27	-	22,95	5,4	30,8
5.	26,85	21,61	-	24,23	6,68	38,1
НСР05	1,39	1,14				
с. Невский						
1.	22,43	14,23	-	18,33		
2.	25,19	15,35	-	20,27	1,94	10,6
3.	26,84	16,17	-	21,51	3,18	17,3
4.	28,26	16,89	-	22,58	4,25	23,2
5.	30,24	19,35	-	24,8	6,47	35,3
НСР05	1,60	0,98				

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

В отношении среднегодовых показателей для первого и второго урожая за сезон, имеется четкая тенденция к повышению урожайности при применении технологических агроприемов (рисунок 9).

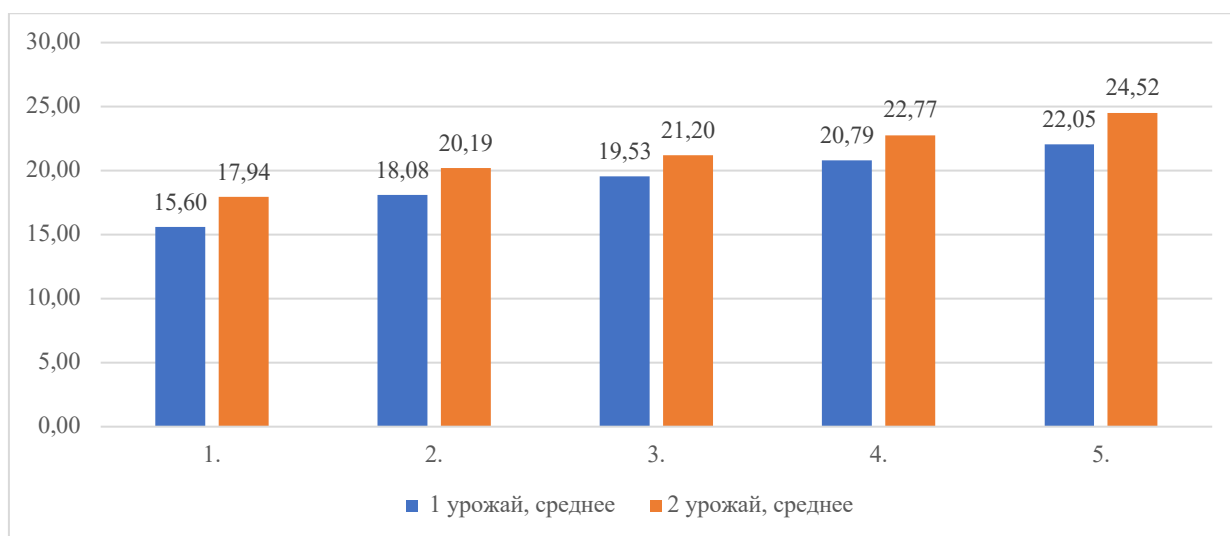


Рисунок 9 - Средняя урожайность при двух посадках в вегетационный период за годы исследований (2023-2025 гг.) 1 и 2 урожая, т/га.

Сорт Жуковский ранний показал себя как сорт, сильно страдающий от недостатка влаги в почве, но отзывчивый на антистрессовую защиту кремниевым удобрением и применение влагоудерживающего сорбента. Сорт подтвердил, что способен формировать полноценный урожай до наступления июльской жары.

Ред Скарлет продемонстрировал относительно лучшую устойчивость к температурным колебаниям, но выраженную чувствительность к переувлажнению почвы, что сильно сказалось на продуктивности в урожае 2024 года. При этом сорт хорошо отозвался на применение гидрогеля и кремниевое удобрение.

Сорт Варяг показал высокую потенциальную урожайность, особенно в благоприятные по теплообеспеченности август и сентябрь 2023 года, а также хорошую реакцию на применение гидрогеля и кремниевое удобрение.

Сорт Невский также оказался требователен к теплу и смог дать хорошие результаты только при использовании дополнительных стимуляторов и способов для сохранения влаги в почве. Как и сорт Варяг, Невский крайне негативно реагирует на периоды длительного дефицита влаги, что сильно сказывается на урожайности.

Эффективность вариантов повышается при добавлении новых элементов агротехнологии, и наиболее результативным является комплексное

применение минеральных удобрений, влагосберегающего гидрогеля и кремниевого удобрения. Это приводит к достоверному (статистически значимому) росту урожайности первого и второго урожая картофеля, что подтверждается значениями НСР. Применение NPK существенно повышает урожайность картофеля по сравнению с контролем без удобрений, служа прочной базой для дальнейших улучшений. Гидрогель в сочетании с удобрениями обеспечивает дополнительный прирост урожая за счет сохранения влаги, что особенно важно в засушливых условиях. Применение кремниевого удобрения улучшило продуктивность растений способствуя повышению устойчивости и эффективности фотосинтеза и усвоения питательных веществ растениями картофеля. Сочетание применения кремния и гидрогеля на фоне NPK оказалась наиболее эффективным и дало наибольшие прибавки урожайности.

В практическом плане, внедрение таких комплексных мер позволяет значительно увеличить выход товарного картофеля с гектара по сравнению с традиционной технологией без дополнительных улучшителей.

Второй урожай был более продуктивным, что отчасти связано с сортовыми особенностями, а также климатическими факторами, такими как обилие осадков в августе и сентябре, что благоприятно влияет на клубнеобразование.

3.4 Продуктивность картофеля

Итоговый показатель урожайности клубней определяется совокупностью трёх факторов: числом клубней, формирующихся на одном растении, средней массой отдельного клубня и плотностью размещения растений.

По фракционному составу первого урожая в 2023-2025 годах наилучшие показатели были у варианта Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель. В 2023 году на сорте Ред Скарлет общая урожайность 451 г/куст и 7 шт/куст, а на Жуковском раннем – 473 г/куст и 8 шт/куст, соответственно. В 2024 году Ред Скарлет имела общую урожайность 448 г/куст и 6 шт/куст, а на Жуковском раннем – 323 г/куст и 6 шт/куст, соответственно. В 2025 году у Ред Скарлет общую урожайность равнялась 474 г/куст и 7 шт/куст на растении, а на Жуковском раннем – 694 г/куст и 12 шт/куст, соответственно (таблица 20).

Внесение гидрогеля при посадке пророщенных клубней картофеля повлияло на фракционный состав, так как обеспечило растение необходимым количеством доступной влаги, которая не мигрировала из почвы и не испарилась ввиду жаркой погоды, что дало растениям картофеля достаточно ресурсов для полноценного роста, развития и формирования клубней. По той же причине применение кремниевого удобрения оказало положительный эффект на растения, так как способствовала устойчивости растения перед неблагоприятными абиотическими факторами и способствовало развитию корневой системы.

Таблица 20

Фракционный состав первого урожая с куста, в среднем,
г/куст, шт/куст (2023-2025 г.)

Сорт	Вариант	Показатель	фракция			Кол-во с куста, шт/общ ур-ть с 1 куста, г.	Товарность %
			мал. >30	ср. 30-60	кр. 60<		
2023							
Жуковский ранний	1.	Количество, шт.	3	7	1	11	87
		Общая урожайность, г.	46	229	68	343	
	2.	Количество, шт.	2	7	1	10	91
		Общая урожайность, г.	38	299	81	418	
	3.	Количество, шт.	1	6	2	9	94
		Общая урожайность, г.	28	247	168	443	
	4.	Количество, шт.	1	4	3	8	96
		Общая урожайность, г.	20	161	279	460	
	5.	Количество, шт.	1	3	4	8	98
		Общая урожайность, г.	9	142	322	473	
Ред Скарлет	1.	Количество, шт.	5	5	1	11	86
		Общая урожайность, г.	48	212	87	347	
	2.	Количество, шт.	2	4	2	8	92
		Общая урожайность, г.	29	188	157	374	
	3.	Количество, шт.	2	3	3	8	94
		Общая урожайность, г.	26	126	248	400	
	4.	Количество, шт.	2	3	2	7	92
		Общая урожайность, г.	35	140	253	428	
	5.	Количество, шт.	1	2	4	7	98
		Общая урожайность, г.	9	106	336	451	

2024							
Жуковский ранний	1.	Количество, шт	2	5	0	7	86
		Общая урожайность, г.	31	198	0	229	
	2.	Количество, шт.	3	4	1	8	90
		Общая урожайность, г.	27	165	81	273	
	3.	Количество, шт.	3	4	1	8	91
		Общая урожайность, г.	28	186	82	296	
	4.	Количество, шт.	2	4	2	8	96
		Общая урожайность, г.	16	173	185	374	
	5.	Количество, шт.	2	2	2	6	97
		Общая урожайность, г.	10	125	198	323	
Ред Скарлет	1.	Количество, шт.	3	7	0	10	87
		Общая урожайность, г.	34	226	0	260	
	2.	Количество, шт.	4	5	1	10	91
		Общая урожайность, г.	31	215	93	339	
	3.	Количество, шт.	2	4	3	9	93
		Общая урожайность, г.	29	163	229	421	
	4.	Количество, шт.	1	4	2	7	96
		Общая урожайность, г.	15	162	194	371	
	5.	Количество, шт.	1	2	3	6	99
		Общая урожайность, г.	4	109	335	448	

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

2025							
Жуковский ранний	1.	Количество, шт.	9	5	3	17	86
		Общая урожайность, г.	75	218	248	541	
	2.	Количество, шт.	4	9	1	14	91
		Общая урожайность, г.	54	392	123	569	
	3.	Количество, шт.	2	9	2	13	93
		Общая урожайность, г.	41	387	199	627	
	4.	Количество, шт.	3	5	5	13	95
		Общая урожайность, г.	36	219	409	664	
Ред Скарлет	1.	Количество, шт	6	4	1	11	86
		Общая урожайность, г	46	184	91	321	
	2.	Количество, шт	7	2	2	11	92
		Общая урожайность, г	30	156	200	386	
	3.	Количество, шт	3	3	3	9	94
		Общая урожайность, г	27	145	249	421	
	4.	Количество, шт	2	3	3	7	96
		Общая урожайность, г	19	167	263	449	
	5.	Количество, шт	1	2	3	7	99
		Общая урожайность, г	6	122	346	474	

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Гидрогель и кремниевое удобрение выступали в роли поддерживающих препаратов, которые позволяли растению пережить неблагоприятные условия без потерь в скорости и интенсивности роста, что и обуславливает полученные данные по фракционному составу, а также по урожайности с куста.

Таблица 21

Фракционный состав второго урожая, в среднем с куста (2023-2024 г.)

Сорт	Вариант	Показатель	фракция			Кол-во с куста, шт/общ ур-ть с 1 куста, г.	Товарность %
			мал. >30	ср. 30-60	круп . 60<		
2023							
Невский	1.	Количество, шт.	7	7	1	15	91
		Общая урожайность, г.	43	341	87	471	
	2.	Количество, шт.	3	7	1	12	93
		Общая урожайность, г.	36	378	115	529	
	3.	Количество, шт.	3	7	2	13	95
		Общая урожайность, г.	26	355	183	564	
	4.	Количество, шт.	2	5	3	10	96
		Общая урожайность, г.	24	228	341	593	
	5.	Количество, шт.	1	4	5	11	98
		Общая урожайность, г.	11	180	444	635	
Варяг	1.	Количество, шт.	2	7	1	10	92
		Общая урожайность, г.	50	354	189	593	
	2.	Количество, шт.	6	5	2	13	93
		Общая урожайность, г.	35	257	178	470	
	3.	Количество, шт.	2	5	3	10	94
		Общая урожайность, г.	29	201	268	498	
	4.	Количество, шт.	1	5	3	9	97
		Общая урожайность, г.	18	209	307	534	
	5.	Количество, шт.	1	4	4	9	99
		Общая урожайность, г.	6	172	387	565	

2024							
Невск ий	1.	Количество, шт.	4	6	0	10	90
		Общая урожайность, г.	29	270	0	299	
	2.	Количество, шт.	2	5	1	8	94
		Общая урожайность, г.	21	198	104	323	
	3.	Количество, шт.	3	5	1	9	95
		Общая урожайность, г.	17	218	105	340	
	4.	Количество, шт.	2	4	2	8	96
		Общая урожайность, г.	13	159	161	333	
	5.	Количество, шт.	2	2	3	7	98
		Общая урожайность, г.	10	119	277	406	
Варяг	1.	Количество, шт.	3	8	0	11	92
		Общая урожайность, г.	27	320	0	347	
	2.	Количество, шт.	1	5	1	7	95
		Общая урожайность, г.	20	249	104	373	
	3.	Количество, шт.	1	5	2	8	95
		Общая урожайность, г.	19	220	163	402	
	4.	Количество, шт.	1	3	2	6	98
		Общая урожайность, г.	9	153	264	426	
	5.	Количество, шт.	1	3	4	8	99
		Общая урожайность, г.	5	135	314	454	

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

По фракционному составу второго урожая в 2023-2025 годах наилучшие показатели также были у варианта Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель. В 2023 году урожайность на сорте Варяг равнялась 565 г/куст и 9 шт/куст, а на сорте Невский – 635 г/куст и 11 шт соответственно. В 2024 году Невский имел урожайность 406 г/куст и 11 шт/куст, а Варяг имел урожайность в 454 г/куст и 8 шт/куст (таблица 21).

При учете изучения динамики изменения фракционного состава можно отследить определенную тенденцию. Контрольные варианты отличались преобладанием мелкой и средней фракции, что связано с недостатком питательных веществ и влаги в критические периоды формирования клубней. Наилучшие результаты по количеству клубней крупной фракции, их массе и общей урожайности с куста зафиксированы в вариантах с комбинированным применением NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения. В 2023 году было

повышение товарности по сравнению с контролем на сорте Жуковский на 11%, на Ред Скарлет – 12 %, на Варяге – 7% и на Невском – 7% соответственно. В 2024 году было повышение товарности по сравнению с контролем на сорте Жуковский на 11%, на Ред Скарлет – 12%, на Варяге – 7% и на Невском – 8% соответственно. В 2025 году было повышение товарности по сравнению с контролем на сорте Жуковский на 11%, а на Ред Скарлет – 13% соответственно. На первом урожае лучшие показатели были получены в 2025 году. Во втором урожае наилучшие показатели были получены в 2023 году на варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель (рисунок 10,11).

Общая тенденция исходя из имеющихся данных говорит о том, что вариант Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель неизбежно приводит к повышению как общего веса клубня, так и увеличению клубней средней и крупной фракции, что повышает товарность клубней и уменьшает процент низкокачественной продукции.

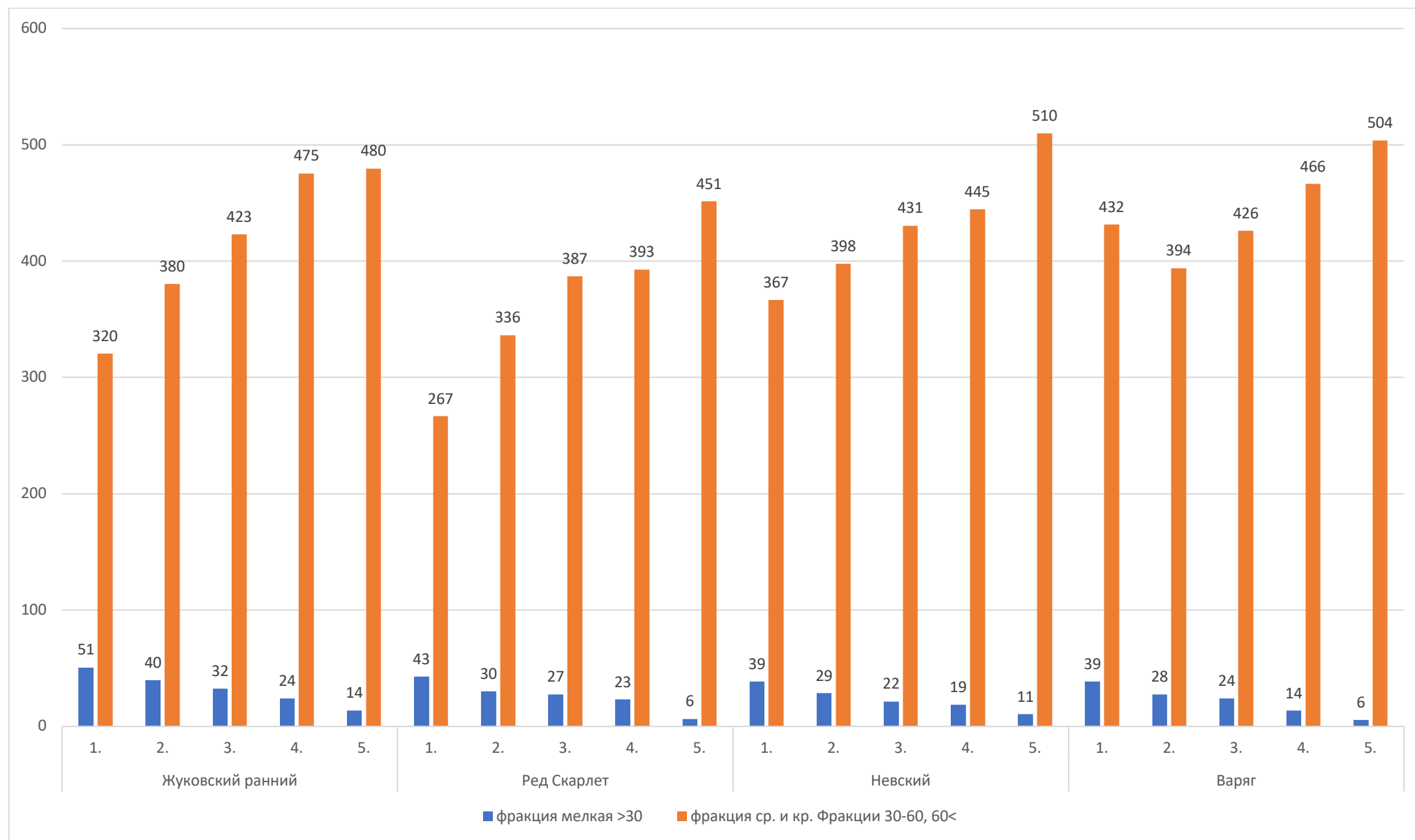


Рисунок 10 - Фракционный состав. Масса клубней в среднем с куста, г/куст.

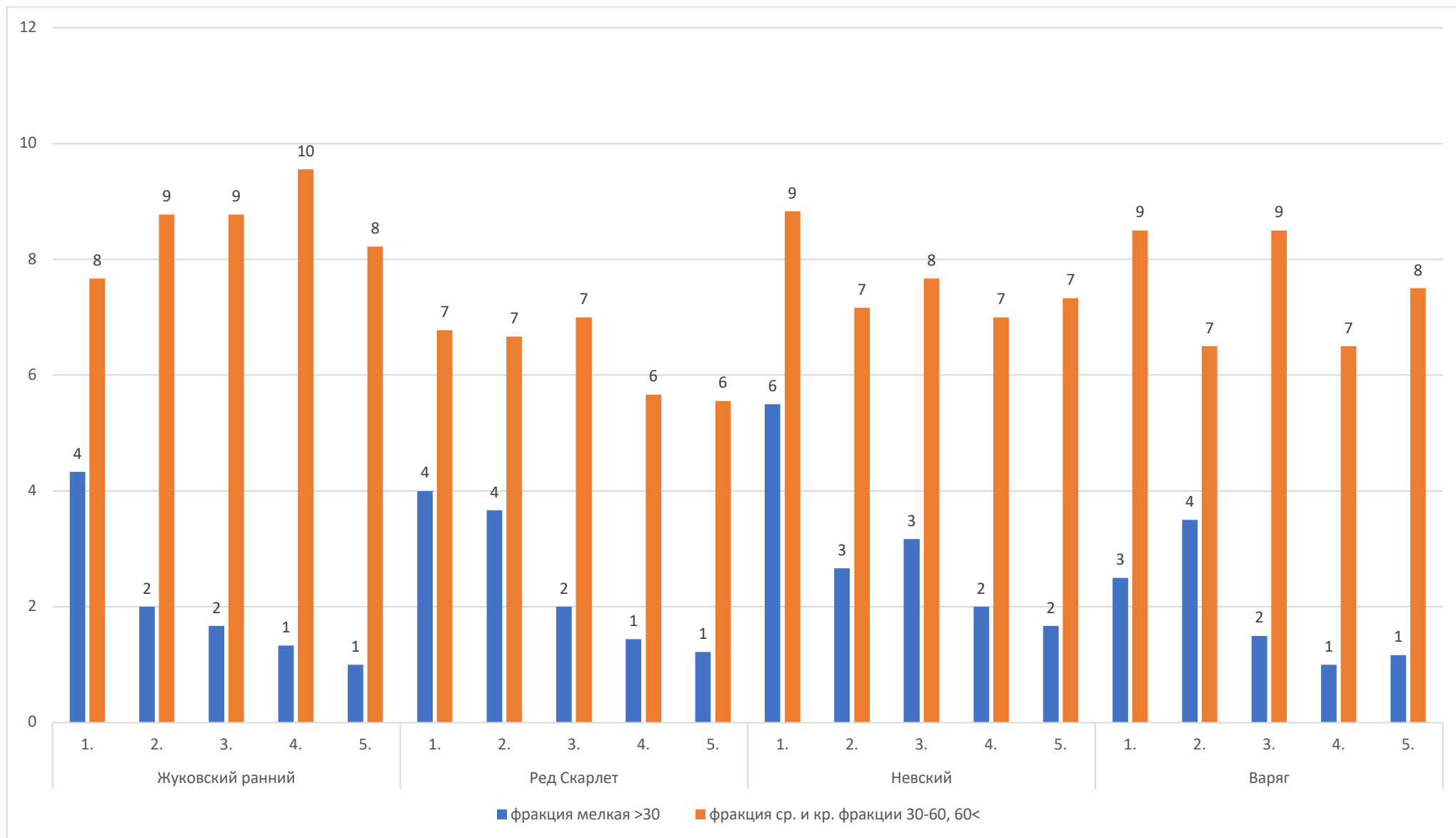


Рисунок 11 - Фракционный состав. Количество клубней с куста, шт/куст

3.4 Качество клубней двух урожаев картофеля ранних сортов

Качество клубней картофеля — один из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность продукции на рынке и её пригодность к хранению, переработке и столовому использованию. Под данным понятием в сельскохозяйственной практике подразумевают комплекс агрономических, биохимических, органолептических и санитарно-гигиенических показателей, среди которых важнейшими считаются: содержание крахмала, сухих веществ, нитратов и витамина С.

Таблица 22

Содержание питательных веществ в двух урожаях (2023 г.)

Сорт	Вариант	Крахмал, %	Нитраты, мг/кг	Сухие вещества, %	Витамин С, мг %
Жуковский ранний	1.	13,9	53,1	24,5	13,8
	2.	14,3	54,4	24,7	14,1
	3.	13,4	55,7	25,1	14,3
	4.	15	54,4	25	14,2
	5.	14,9	50,8	24,5	14,4
Ред Скарлет	1.	14,3	49,6	20,9	15,1
	2.	17,7	55,7	21,5	15,4
	3.	13,7	54,4	21,5	16,1
	4.	13,9	50,8	21,4	15,4
	5.	14,2	48,5	21,1	16,4
Невский	1.	11,2	54,4	23,2	31,5
	2.	12,5	58,3	23,1	31,7
	3.	16,2	44,2	23,7	32,1
	4.	11,2	62,5	23,1	32,3
	5.	15,7	43,2	23,2	32,5
Варяг	1.	14,7	57	20	12,8
	2.	15,9	58,3	20,2	13,3
	3.	11,3	43,2	20	13,5
	4.	15,8	55,7	20,5	14,9
	5.	12,1	45,4	20,5	15,2

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Таблица 23

Содержание питательных веществ в двух урожаях (2024 г.)

Сорт	Вариант	Крахмал, %	Нитраты, мг/кг	Сухие вещества, %	Витамин С, мг %
Жуковский ранний	1.	11,5	30,3	24,5	13,8
	2.	11,8	33,9	24,7	14,2
	3.	17,98	31,1	24,8	14,5
	4.	12,3	32,1	24,9	14,7
	5.	12,8	34,4	25,3	14,9
Ред Скарлет	1.	11,9	47,4	21,1	15,4
	2.	12,3	50,8	21,2	16,1
	3.	13,8	51,1	21,5	16,4
	4.	13,6	51,5	21,7	16,6
	5.	14,1	52,6	21,8	16,8
Невский	1.	14,7	7	23,1	31,1
	2.	15,0	8,2	23,3	31,5
	3.	15,6	8,3	23,4	31,8
	4.	15,5	8,0	23,5	32,0
	5.	15,9	8,7	23,7	32,3
Варяг	1.	11,1	84	20,1	14
	2.	11,9	85,1	21,5	13,4
	3.	12,2	82,8	21,9	31,7
	4.	12,6	86,2	22,4	14,9
	5.	12,9	86,5	22,9	32,3

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Таблица 24

Содержание питательных веществ в первом урожае (2025 г.)

Сорт	Вариант	Крахмал, %	Нитраты, мг/кг	Сухие вещества, %	Витамин С, мг %
Жуковский ранний	1.	10,7	29,4	24,2	13,6
	2.	11,8	33,3	24,7	14,0
	3.	12,4	32,6	24,9	14,5
	4.	15,1	32,1	24,8	14,3
	5.	12,9	33,5	25,3	14,9
Ред Скарлет	1.	11,5	47,7	21,1	15,5
	2.	12,6	49,8	21,2	15,9
	3.	13,1	50,5	21,7	16,4
	4.	13,6	50,3	21,5	16,2
	5.	14,4	51,6	21,8	16,9

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Проведенные лабораторные анализы питательных веществ показали, что колебания концентраций нитратов по всем сортам не были критическими и не превышало ПДК, а в вариантах с применением гидрогеля, фиксировалась тенденция к незначительному снижению уровня нитратов за счёт буферного регулирования водного режима.

Крахмалистость клубней у всех сортов сохраняла средневысокие значения согласно сортовой принадлежности и существенно не менялась от урожая к урожаю.

Также существенной разницы между вариантами по динамике изменения крахмала выявлено не было, что можно обосновать генетическим потенциалом сортов, погодными условиями и спецификой минерального питания.

Содержание витамина С и сухих веществ не изменялось принципиально между вариантами опыта, оставаясь в пределах нормы, что может рассматриваться как положительный признак пищевой устойчивости продукции при разных технологиях выращивания и доступности питательных элементов.

Выводы по главе 3

1. Динамика фенологических фаз и морфогенеза растений картофеля изменялась под воздействием фона удобрений, кремниевого удобрения и гидрогеля. В варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель отмечалось ускорение наступления ключевых фенофаз (всходы, бутонизация, цветение) при возделывании первого урожая на сортах Жуковский ранний и Ред Скарлет на 1–2 дня относительно контроля. Аналогичная тенденция наблюдалась при выращивании второго урожая на сортах Варяг и Невский, где наступление ключевых фаз также проходило на 1-2 дня быстрее в варианте с применением гидрогеля и кремниевого удобрения.

2. Применение комплекса агроприёмов на фоне NPK с добавлением гидрогеля и кремниевого удобрения обеспечивало значительное увеличение побегообразующей способности растений картофеля, что является одним из ключевых факторов формирования высокого урожая. В среднем за годы исследований у первого урожая в фазе цветения количество стеблей у сорта Жуковский ранний увеличилось с 2,0 до 5,1 шт., а у сорта Ред Скарлет — с 2,0 до 4,0 шт. при использовании варианта Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель. У второго урожая наблюдалась аналогичная тенденция: у сорта Варяг количество стеблей возросло с 2,7 до 7,2 шт., а у сорта Невский — с 3,5 до 5,4 шт.

3. Применение технологических агроприёмов способствовало повышению высоты побегов картофеля. Наилучшие показатели на первом урожае были в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель. У сорта Ред Скарлет – 44,1 см, против 26,1 на контроле, а у Жуковского раннего – 46,6 см и 42,3 см на контроле соответственно. При возделывании второго урожая вариантом с самыми высокими побегами был вариант с применением NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения. Сорт Варяг на данном варианте имел высоту побегов 51 см и 31,5 см на контроле, а сорт Невский – 49,9 см, против 36,6 см на контроле.

4. Индекс листовой поверхности (ИЛП) в среднем за весь период испытаний значительно увеличивался под влиянием применения комплекса агроприёмов. У первого урожая ИЛП на контроле составлял 2,4, тогда как при использовании варианта Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель достигал 3,3 у сорта Жуковский ранний и 3,4 у сорта Ред Скарлет. При возделывании второго урожая значение ИЛП также возрастало: у сорта Варяг — с 2,6 до 3,5, у сорта Невский — с 2,7 до 3,7. Наивысшие показатели индекса листовой поверхности отмечены во всех случаях именно в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель, что свидетельствует о высокой эффективности данного комплекса агротехнологий и его положительном влиянии на развитие фотосинтетического аппарата растений картофеля.

5. Применение комплекса агроприёмов на фоне NPK с добавлением кремниевого удобрения и гидрогеля способствовало значительному повышению урожайности картофеля обеих посадок. У первого урожая урожайность выросла с 15,6 до 22,05 т/га, у второго — с 17,94 до 24,52 т/га. Максимальные показатели получены в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель у с. Жуковский ранний — 33,04 т/га, с. Ред Скарлет — 22,56 т/га, с. Варяг — 26,85 т/га, с. Невский — 30,24 т/га, что подтверждает высокую эффективность данного сочетания агротехнологий.

6. Выявлена высокая положительная корреляция ($R = 0,98-0,997$) урожайности и площади листьев картофеля, которая достигается при сочетании фона NPK, гидрогеля и кремниевого удобрения. На всех сортах была выявлена единая тенденция - чем больше площадь листьев, тем выше урожайность картофеля.

7. Применение фона NPK совместно с кремниевым удобрением и гидрогелем способствовало снижению доли мелких клубней и увеличению массы клубней средней и крупной фракций, что обеспечило рост товарности. Наибольшая товарность отмечена в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель: у первого урожая: с. Жуковский ранний и с. Ред

Скарлет — до 97–99%, у второго урожая с. Невский и с. Варяг — до 98–99%. Высокая товарность сохранялась на протяжении всего периода исследований.

8. Качество клубней по основным показателям практически не менялось вне зависимости от климатических и агрохимических условий - содержание нитратов не превышало ПДК, а содержание крахмала, витамина С и сухого вещества не показало существенных отклонений.

ГЛАВА 4. ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДВУХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

4.1 Экономическая эффективность возделывания двух урожаев картофеля

Картофель является одним из наиболее экономически выгодных сельскохозяйственных культур для удовлетворения потребности в питании растущего населения Земли и пользуется большим спросом, так как клубни картофеля являются важным компонентом рациона питания. В Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия РФ предусмотрено дальнейшее увеличение производства картофеля с учетом развития его экспорта и переработки.

В мировом масштабе отмечается устойчивое увеличение потребления картофеля, что сопровождается ростом его валового производства. Практически во всех странах зафиксировано расширение объемов возделывания этой культуры. Наибольшие показатели производства сегодня демонстрируют Китай, Индия и Россия.

По данным ФАО, опубликованным в конце 2024 года, крупнейшим производителем картофеля в мире стал Китай, обогнав по объёму производства ближайшего конкурента на 33,3 млн тонн: Китай – 93, 49 млн. т; Индия – 60, 14; США – 19,99 и Россия – 19,33 млн. т.

Значительное увеличение объемов производства картофеля наблюдалось в азиатском регионе. Если в 1961 году доля азиатского производства составляла лишь 8,6%, то в последние годы этот показатель достиг 50,6%. При этом удельный вес европейского картофеля сократился с 82% до 32,2%. За последние годы возросла популярность культуры и в Африке: ее доля увеличилась с 1% до 7,5%. Современные объемы производства картофеля по континентам распределяются следующим

образом: Азия – 175,8 млн т; Европа – 47,2 млн т; Северная Америка – 28,5 млн т; Африка – 16,9 млн т.

Популярнее всего картофель в Европе, а меньше всего его потребляют в Африке южнее Сахары и в некоторых странах Азии. Например, в Южном Судане — всего 100 г на человека в год, в Центральноафриканской республике — 200 г, в Гане и Сьерра-Леоне — по 300 г. На Филиппинах, в Таиланде и Вьетнаме — до 5 кг в год, минимум в 10 раз меньше, чем в России. Потребление в постсоветских странах выше: на первом месте — Беларусь: 160 кг в год, Украина — 139 кг в год, Казахстан — 104 кг, Киргизия — 103 кг, Узбекистан — 96 кг.

За последние 45 лет потребление картофеля сократилось в два с лишним раза: в 1980 году средний россиянин съедал 117 кг картошки, в 1990 — 94 кг, в 2000 — 93 кг, в 2010 — 66 кг. По последним данным Росстата (2023 г.), среднестатистический житель России съедает в год 54,76 кг картофеля, это примерно килограмм в неделю. Причем горожанин потребляет на 15 кг меньше сельского жителя: 51,08 кг в год против 65,7 кг.

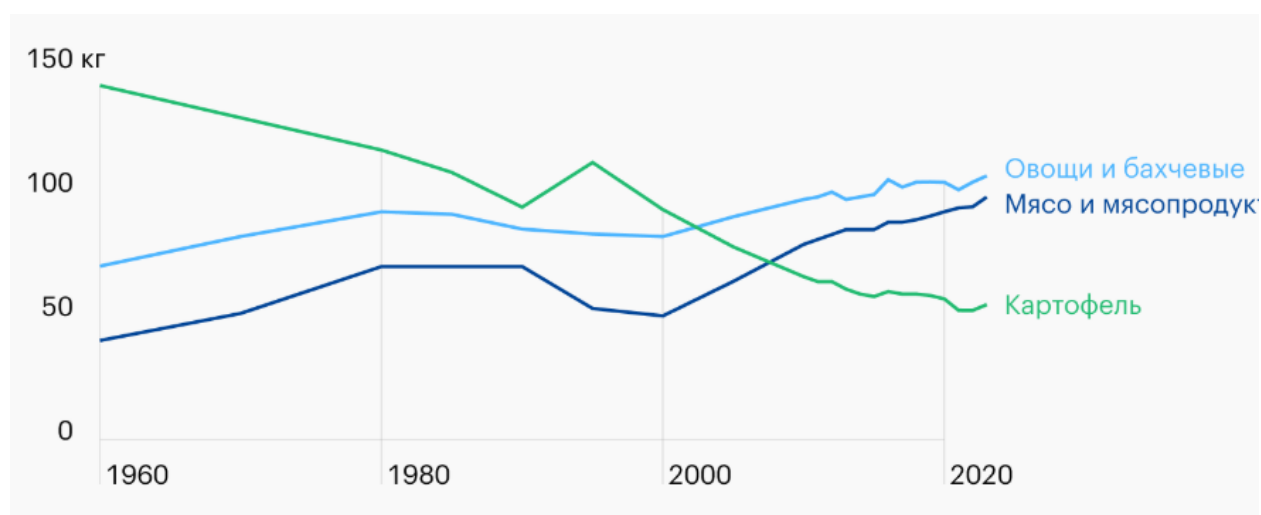


Рисунок 12 - Потребление основных продуктов на душу населения

Объем валового производства картофеля напрямую определяется площадью его возделывания. В Российской Федерации за последние десятилетия наблюдается значительное сокращение площадей, занятых данной культурой: если в 1961 году в СССР картофель занимал порядка 22,0 млн га, то в настоящее время площадь посадок уменьшилась до примерно 1

млн га. Для сравнения, в Китае под картофелем используется 5,8 млн га, а в Индии – 2,1 млн га. При этом рост валового производства в большей степени обусловлен повышением урожайности [63,64].

Ключевым индикатором результативности аграрного производства является именно урожайность культуры. Согласно статистике ФАО, картофель отличается наивысшими показателями урожайности по сравнению с кукурузой, рисом, соей и пшеницей. За последние пять десятилетий урожайность всех перечисленных культур значительно возросла, при этом среднемировая урожайность картофеля увеличилась на 46,2%. В целом глобальная урожайность данной культуры возросла с 12,2 т/га до 19,6 т/га. Среди стран с наиболее высокими результатами отмечается Германия со средним уровнем 44,4 т/га и Нидерланды — 42,0 т/га. Лидирующие позиции занимают США и Новая Зеландия, где средняя урожайность достигает 49,0 т/га/ Значительные показатели фиксируются и в странах Африканского континента: ЮАР — 36,1 т/га, Алжир — 30,6 т/га, Египет — 27,2 т/га, Мали — 20,0 т/га [116]. Данный рост объясняется внедрением механизированных технологий, рациональным сортовым подбором, активным применением удобрений, а также государственной поддержкой. В ряде государств практикуется система двойного производства, когда на одной территории последовательно выращиваются два урожая, но разных культур — картофеля и риса.

В последние годы общемировая уборочная площадь картофеля составила 16,8 млн га, что ниже показателя 2022 года (18,1 млн га). Тем не менее это не вызвало снижения объемов сбора: в 2023 году мировое производство достигло 383 млн тонн против 376 млн тонн в 2022 году [63,64].

В России в 2023 г. достигала рекордного урожая картофеля – 8,6 млн. т. (без учета хозяйств населения). Это стало возможным благодаря благоприятным погодным условиям и расширению посевных площадей.

В 2024 г. урожай снизился на 11,9% до 17,83 млн. т. [63,64]. Основной причиной называют неблагоприятные погодные условия (весенние заморозки и аномальную летнюю жару), которые особенно сильно повлияли на регионы

Центральной России и Поволжья. Сельхозорганизации и фермеры собрали 7,3 млн тонн, а хозяйства населения — 10,5 млн тонн.

В 2025 году ожидается восстановление производства. Посевные площади увеличили, и при благоприятных условиях урожай может достичь 7,5–8 млн тонн в организованном секторе.

В структуре сельскохозяйственного производства России доля товарной продукции, поступающей от агропредприятий, составляет около 56%, тогда как оставшийся объем формируется в личных подсобных хозяйствах и на садово-огородных участках городского населения. Для условий ЛПХ и фермерских хозяйств в связи с изменениями климата актуальной представляется технология получения двух урожаев картофеля скороспелых сортов за сезон. Подобная практика широко применяется в южных странах с продолжительным вегетационным периодом, однако для центральных районов России, где продолжительность вегетации заметно короче, раньше она была затруднена. В то же время в последние годы в Московской области фиксируется тенденция к увеличению продолжительности вегетационного периода и росту суммы эффективных температур. Начало активной вегетации сдвигается на более ранние сроки — в среднем на вторую декаду апреля, а в отдельные годы отмечается уже в конце марта. Завершение вегетационного периода также отодвигается, как правило, до второй декады октября, что в итоге приводит к его удлинению [15]. Эти изменения позволили апробировать методику получения на одном поле двух урожаев раннего картофеля, что обеспечивает рост общей отдачи пашни и способствует повышению эффективности ее использования.

При расчетах в качестве контрольного ориентира использовались показатели по России за 2024 год: средняя себестоимость продукции составила 10,06 руб./кг, а рентабельность производства картофеля — 26,8%. Средняя урожайность за рассматриваемый период исследований по стране находилась в пределах 28,0–30,0 т/га и именно этот диапазон был принят за основу для расчетов.

В технологии получения двух урожаев первый сбор клубней приходился на конец июня — начало июля. После уборки урожая на освободившейся площади осуществлялась повторная посадка картофеля, которую убирали в более поздние сроки по сравнению с традиционным производственным циклом.

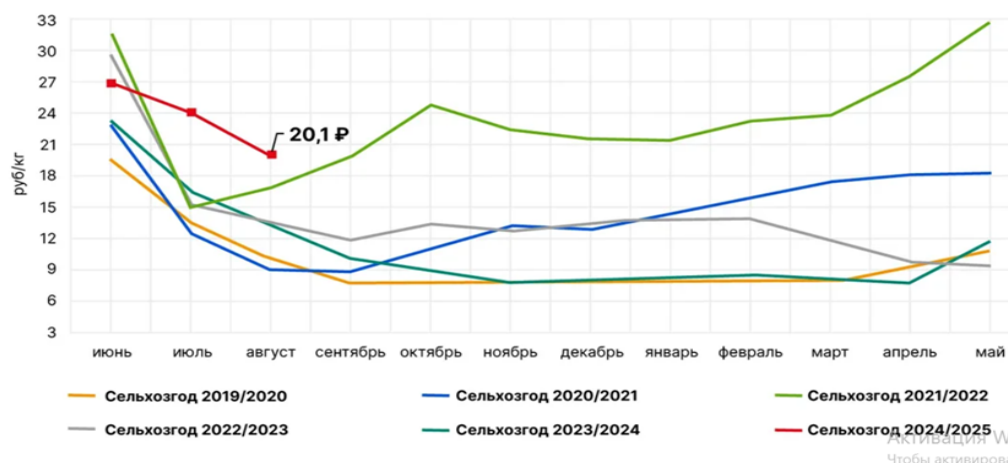


Рисунок 13 - Динамика оптовых цен на картофель российского производства по сельскохозяйственным годам, руб/кг без НДС

Реализация картофеля первого урожая идет по более высоким ценам: оптовая 27,0 руб/кг (представлена на рисунок 13), розничная в пределах 60,0 руб/кг.

Таблица 25

Урожайность первого и второго урожая
в среднем за 2023...2025 годы, т/га

Вариант	1-й урожай, среднее	2-й урожай, среднее	2 урожая за вегетационный период	Один урожай за вег. п-д
1.	15,60	17,94	33,54	30,0
2.	18,08	20,19	38,27	-
3.	19,53	21,20	40,73	-
4.	20,79	22,77	43,56	-
5.	22,05	24,52	46,57	-
НДС ₀₅	0,9	1,09		

1) Контроль; 2) Фон (NPK); 3) Фон (NPK) + гидрогель; 4) Фон (NPK) + кремниевое удобрение; 5) Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель

Урожайность картофеля в период первой уборки (1 июля), а также во время второй уборки оказалась относительно невысокой (таблица 25). Применение минеральных удобрений способствовало увеличению продуктивности на 15,8% при первой посадке и на 12,5% при повторной. Наиболее высокий средний уровень урожайности был зафиксирован при сочетании базового внесения удобрений с использованием кремниевого удобрения и гидрогеля: прирост составил 41,3% при первой посадке и 36,6% при второй. Несмотря на то, что суммарный объем продукции в данной системе достаточно велик, следует учитывать дополнительные расходы, связанные с хранением посадочного материала во время межсезонья в холодильных установках, проведением второй посадки, уходом за растениями и последующей уборкой. В связи с этим произведена оценка экономической и энергетической результативности возделывания двух урожаев картофеля за один вегетационный цикл.

Выращивание двух урожаев на одном поле обеспечивает прирост общей урожайности на 5,3–13,9 т/га в зависимости от сортовой принадлежности, что составляет порядка 15,6–31,4%. Дополнительно использование различных сортов в пределах одного вегетационного периода может привести к еще большему повышению продуктивности. Расчет экономических показателей выполнен, исходя из усреднённых данных хозяйств (включая затраты, цену реализации и прочие параметры), при уровне урожайности 30,0 т/га (таблица 26).

Согласно сведениям Росстата и Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, сумма прямых затрат на производство картофеля при урожайности 30,0 т/га составляет 301,8 тыс. руб. [63,64]. При использовании предлагаемой технологии возникают дополнительные расходы. Так, при выращивании первого урожая требуется финансирование на световое проращивание семенного материала, применение гидрогеля и кремниевого удобрения. При возделывании второго урожая добавляются затраты на хранение посадочного материала в течение месяца в холодильных камерах, а также снова используется гидрогель и кремниевое удобрение. В то

же время подготовка почвы обходится дешевле, так как вместо вспашки проводится культивация.

Таблица 26

Экономическая эффективность производства картофеля в среднем за 2023-2025 гг.

Статьи расходов	1 урожай	1 урожай (вариант 5)	2 урожай (вариант 5)
Урожайность, т/га 30,0	30,0	22,05	24,52
Итого затрат, тыс. руб.	301,8	221,82	246,67
Затраты дополнительно	-	+Световое проращивание (10 %) + затраты на препараты (38080+1600)	+ хранение в холодильниках (в ср. 10 руб/кг); - вместо вспашки культивация + затраты на препараты (47600+1600)
Дополнительные затраты, тыс. руб.	-	+22,18+39,7	+20-5+39,7
Всего прямых затрат, тыс. руб.	301,8	283,7	301,37
Выручка от реализуемой продукции, тыс. руб.	382,68	551,25 (25 руб/кг)	367,80 (15 руб/кг)
Чистый доход, тыс. руб.	80,88	267,55	66,43
Себестоимость, руб. / кг	10,06	12,86	12,29
Уровень рентабельности, %	26,8	94,3	22,04
Уровень рентабельности, %	26,8	(94,3+22,04)/2=58,17	

Примечание: световое проращивание – 10 % от всех затрат, затраты на препараты (кремниевое удобрение 100 г/га, 1 кг стоит 1600 руб., гидрогель – 4 г/растение, всего 47600 растений на 1 га, необходимо всего на 1 га 190,4 кг, стоимость 1 кг – 200 руб., всего на 1 га составит 38080 рублей), вспашка стоит 10000 руб/га, культивация 5 000 руб/га, хранение 10000 руб/т в месяц, норма посадки – 2 т/га, стоимость хранения посадочного материала на 1 га составит 20 тыс. руб.

В таблице отражены ключевые статьи затрат при одноурожайной системе возделывания картофеля. Оптовая цена на рынке, согласно информации Картофельного союза, в сентябре и октябре составляет около 15,0 руб./кг. На основе этой стоимости были выполнены расчёты для одноурожайной технологии. При реализации картофеля первого урожая удаётся получить более высокую цену, так как ранняя продукция в начале

сезона оценивается значительно дороже — от 15 до 80 руб. за килограмм в зависимости от региона сбыта. Для расчётов была выбрана стоимость реализации 25 руб./кг (25 000 руб./т), что связано с тем, что производители, работающие по оптовым каналам сбыта, получают минимальную надбавку. Урожайность первой посадки составила 22,05 т/га, а выручка достигла 551,25 тыс. руб./га.

Следует подчеркнуть, что для потребителя свежего картофеля важны такие характеристики, как привлекательный внешний вид, хорошие вкусовые качества, окраска мякоти (белая либо жёлтая — по предпочтению), способность хорошо развариваться, отсутствие повреждений, калиброванность и то, что клубень не темнеет после варки. В ряде регионов устойчивым спросом пользуются сорта с красной кожурой. В последние годы отмечается рост качества продукции, что выражается в увеличении ассортимента в розничных сетях: на полках супермаркетов можно встретить продукцию различных фирм, товар разного ценового диапазона, а также специально позиционируемые категории — «премиум», «органический», «низкокалорийный» и пр. При этом ценовые различия весьма значительны: например, картофель из Египта стоит порядка 70 руб./кг, «органический» картофель может достигать 300 руб./кг, тогда как на рынке цена держится на уровне 15 руб./кг. Наиболее дорогим сортом в мире считается «La Bonnotte», чья стоимость составляет примерно 500...600 евро за килограмм [60].

Формирование рыночной стоимости картофеля носит ярко выраженный сезонный характер: оптовые и розничные цены могут различаться в два и более раза. В первой половине года стоимость определяется количеством клубней, заложенных на хранение, при этом цена выше из-за дополнительных расходов на хранение. Увеличение цен сохраняется до поступления нового урожая, практически до сентября. Уже весной импортируются ранние партии картофеля по ценам, в 2–4 раза превышающим стоимость прошлогоднего урожая. Эта тенденция держится до сентября–октября, когда формируются минимальные цены на продукцию.

В осенний период чаще всего убираются универсальные сорта, обладающие хорошей лёжкостью и высоким содержанием крахмала, но уступающие по вкусовым качествам раннеспелым столовым сортам. Ранний картофель отличается нежной кожурой и ярко выраженным вкусом, поэтому, будучи реализованным позже массовой уборки, находит спрос в ресторанном секторе и может оцениваться выше. Поскольку большинство клубней имеет среднюю фракцию, такая продукция также подходит для использования в качестве семенного материала. Однако для расчётов была установлена минимальная цена реализации — 15,0 руб./кг. Урожайность второго сбора составила 24,52 т/га, что обеспечило выручку в размере 367,8 тыс. руб./га. Совокупная выручка от реализации двух урожаев достигла 919,05 тыс. руб./га, при этом прибыльность составила 333,98 тыс. руб./га. Уровень рентабельности культуры при двукратном возделывании практически в два раза выше — 58,17%.

Таким образом, технология получения двух урожаев картофеля за сезон позволяет не только насытить рынок качественной отечественной продукцией в летний период дефицита столовых сортов, используемых преимущественно в пищу, но и обеспечить производителей дополнительным источником дохода, повышая общую рентабельность хозяйственной деятельности.

4.2 Энергетическая эффективность возделывания двух урожаев картофеля ранних сортов

В условиях современной экономической нестабильности, проявляющейся в высокой волатильности цен на продукцию, оборудование и сырьевые ресурсы, вызванной глобальными кризисными явлениями и макроэкономическими колебаниями, особую актуальность приобретает разработка объективных подходов к оценке эффективности производственных процессов. Одним из таких подходов является использование показателя энергоёмкости, позволяющего проводить комплексный анализ ресурсопотребления.

Энергоёмкость выступает интегральным индикатором эффективности использования энергетических ресурсов, обеспечивая количественную оценку энергозатрат и выявление резервов их сокращения. В условиях снижения надёжности традиционных методов ценообразования, обусловленного динамикой рыночных факторов, анализ энергоёмкости приобретает дополнительную значимость как инструмент стратегического планирования и оптимизации.

При определении энергозатрат пользовались методическими рекомендациями Посыпанова Г.С. и Долгодворова В.Е. (1995 г.), учебным пособием Матюка Н.С., Полина В.Д. (2013 г.) и учебным пособием Сутягина В.П., Туликова А.М., Сутягиной Т.И. (2008 г.) [72, 83].

Применение методологии оценки энергоёмкости способствует не только снижению технологических затрат и повышению конкурентоспособности производственных систем, но и минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду. Тем самым данный подход органично интегрируется в концепцию устойчивого развития, обеспечивая согласование экономических, экологических и социальных параметров функционирования сельскохозяйственных предприятий (таблицы 27, 28).

Следует подчеркнуть, что при применении технологии возделывания двух урожаев картофеля наблюдается определённый фитосанитарный эффект. В частности, распространение фитофтороза снижается, поскольку пик развития заболевания приходится, как правило, на вторую половину июля. К этому периоду первый урожай уже убран, а растения второго урожая находятся либо в почве, либо на стадии начальных всходов, что препятствует активному заражению и массовому развитию инфекции.

В то же время заслуживает внимания динамика популяции колорадского жука. При возделывании двух урожаев обработки против данного вредителя осуществляются в минимальном объёме, что снижает нагрузку как на агроценоз, так и на экономические ресурсы хозяйства. Однако, несмотря на указанные преимущества, общая затратность технологии остаётся выше по сравнению с одноурожайным возделыванием. Это обусловлено

необходимостью выполнения практически полного комплекса агротехнических мероприятий, соответствующих стандартной технологии, за исключением некоторых операций, связанных с защитой растений.

Таким образом, технология возделывания двух урожаев сочетает в себе как элементы ресурсосбережения и биологической защиты, так и факторы, увеличивающие трудо- и материалоемкость процесса. В этой связи представляется целесообразным дальнейший анализ эффективности данного подхода, в том числе с использованием методологии оценки энергоёмкости, позволяющей комплексно рассматривать как производственные, так и экологические параметры агротехнологий.

Таблица 27

Затраты совокупной энергии (МДж/ га) и ее структура при возделывании картофеля (в среднем за 2023...2025 гг.)

Виды затрат совокупной энергии	1 урожай	2 урожая
Машины и сельскохозяйственные орудия*	14220	25400
Семена	14100	28200
Минеральные удобрения	15490	30980
ТСМ	8190	14380
Электроэнергия	320	1200
Трудовые затраты	9340	15680
Прочие затраты	5600	5600
Итого	67260	121440

*Без учета зданий и сооружений

При расчётах баланс между энергией, полученной от урожая, и энергозатратами на его производство рассматривается как показатель чистого энергетического дохода. В условиях возделывания картофеля по двухурожайной системе данный показатель превышает аналогичный при возделывании одной культуры и составляет +10,67 ГДж/га. При анализе коэффициента энергетической эффективности установлено, что в обоих вариантах он имеет положительное значение, подтверждающее рациональность применения данных технологий. Тем не менее, при выращивании одного урожая коэффициент оказывается выше и равен 1,09, тогда как в случае с двумя урожаями значение снижается до 0,69.

Помимо этого, энергетический коэффициент полезного действия также демонстрирует лучшие показатели при одноурожайной системе. Следует отметить, что на современном этапе энергетическая себестоимость продукции при возделывании двух урожаев выше на 0,53 ГДж/т клубней по сравнению с одноурожайной культурой. Главной причиной выступает необходимость проведения ранней уборки первого урожая и связанные с этим дополнительные производственные затраты.

Таблица 28

Энергетическая эффективность возделывания картофеля раннего (в среднем за 2023...25 гг.)

Показатели	1 урожай	2 урожая
Затрачено энергии всего, ГДж/га	67,26	121,45
Урожайность основной культуры, т/га	30,00	43,8
Получено энергии от основной продукции, ГДж/га	141,00	205,86
Чистый энергетический коэффициент, ГДж/га	73,74	84,41
Коэффициент энергетической эффективности посадок	1,09	0,70
Биоэнергетический коэффициент (КПД) посадок	2,09	1,69
Энергетическая себестоимость, ГДж/т клубней	2,24	2,77

На основании проведенного анализа экономической целесообразности и энергетической эффективности возделывания картофеля в условиях современного рынка, можно констатировать, что производство двух урожаев картофеля является оправданным с точки зрения экономической рентабельности, несмотря на наблюдаемый рост себестоимости продукции. Это заключение основывается на расчетах, выполненных с использованием минимальных оптовых цен, что позволяет учесть текущую конъюнктуру рынка и тенденции изменения цен на сельскохозяйственную продукцию.

Ранняя продукция первого урожая демонстрирует высокую рыночную стоимость и пользуется значительным спросом среди потребителей. В данный период наблюдается дефицит отечественной продукции, что приводит к преобладанию импорта из стран Ближнего Востока, таких как Египет и Израиль. Цены на импортную продукцию в 2–3 раза превышают

отечественные, что делает раннюю продукцию первого урожая особенно привлекательной для производителей и потребителей.

Таким образом, несмотря на увеличение себестоимости, выращивание двух урожаев картофеля остается экономически обоснованным и энергетически эффективным решением, учитывая высокую рентабельность ранней продукции и ее востребованность на рынке [63, 64].

Возделывание двух урожаев картофеля за один вегетационный период представляет собой перспективное направление для сельскохозяйственных предприятий, обеспечивающее значительную экономическую выгоду. Ранний сбор первого урожая, запланированный на начало июля, позволяет оптимизировать производственный цикл и максимизировать рентабельность. Второй урожай, востребованный в ресторанной индустрии или на семенные цели способствует более эффективному использованию агротехнических ресурсов и земельных площадей.

Кроме того, выращивание двух урожаев картофеля является экономически целесообразным для мелких производителей и владельцев личных подсобных хозяйств, составляющих значительную долю аграрного сектора в стране (43,4%). В то же время необходимо учитывать ограниченность их товарного потенциала данной категории хозяйств.

Таким образом, возделывание двух урожаев картофеля может рассматриваться как инновационное направление, способное повысить экономическую устойчивость сельхозпроизводителей и укрепить уровень продовольственной безопасности в регионе.

Выводы по главе 4

Производство двух урожаев картофеля эффективно: повышается общая урожайность на 16,57 т/га, чистый доход на 253,10 тыс. руб., также повышается рентабельность на 20,2 %. Об эффективности производства двух урожаев картофеля ранних сортов свидетельствует коэффициент энергетической эффективности, который выше 0 и составляет 0,70.

Таким образом, в условиях Центрального Нечерноземья, получение двух урожаев способствует росту экономической эффективности производства картофеля, повысит конкурентоспособность хозяйств за счет более высокой цены реализации в период дефицита продукции на рынке для первого урожая и получение более качественной продукции второго.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Глобальные климатические изменения стимулируют развитие адаптивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, таких как возделывание двух урожаев с применением адаптогенов и гидрогелей.

2. Динамика прохождения фенологических фаз растениями картофеля менялась под воздействием кремниевого удобрения и гидрогеля на фоне рекомендуемых норм удобрений. В варианте Фон (N60P60K90) + кремниевое удобрение + гидрогель отмечалось ускорение наступления ключевых фенофаз (всходы, бутонизация, цветение) на 1–2 дня относительно контроля на сортах первого урожая - Жуковский ранний и Ред Скарлет. Аналогичная тенденция наблюдалась при выращивании второго урожая на сортах Варяг и Невский, где наступление ключевых фаз также проходило быстрее в варианте с применением гидрогеля и кремниевого удобрения.

3. Применение комплекса агроприёмов N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель обеспечивало значительное увеличение побегообразующей способности растений картофеля, что является одним из ключевых факторов формирования высокого урожая. В среднем за годы исследований у первого урожая в фазе цветения количество стеблей у сорта Жуковский ранний увеличилось с 2,0 на контроле до 5,1 шт. при использовании варианта N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель, а у сорта Ред Скарлет — с 2,0 до 4,0 шт соответственно. У второго урожая наблюдалась аналогичная тенденция: у сорта Варяг количество стеблей возросло с 2,7 до 7,2 шт, а у сорта Невский — с 3,5 до 5,4 шт.

4. Применение технологических агроприёмов способствовало повышению высоты побегов картофеля. Наилучшие показатели на первой и второй посадках были при внесении N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель. У сорта Ред Скарлет высота побегов достигала 44,1 см, против 26,1 на контроле, а у Жуковского раннего – 46,6 см и 42,3 см соответственно. При возделывании второго урожая вариантом с самыми высокими побегами был вариант с применением N60P60K90, гидрогеля и кремниевого удобрения.

Сорт Варяг на данном варианте имел высоту побегов 51 см и 31,5 см на контроле, а сорт Невский – 49,9 см, против 36,6 см на контроле.

5. Индекс листовой поверхности (ИЛП) в среднем за весь период испытаний значительно увеличивался под влиянием применения комплекса агроприёмов. У первого урожая ИЛП на контроле составлял 2,4, тогда как при использовании N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель достигал 3,3 у сорта Жуковский ранний, а у сорта Ред Скарлет - 3,4. При возделывании второго урожая значение ИЛП также возрастало: у сорта Варяг - с 2,6 до 3,5, у сорта Невский - с 2,7 до 3,7. Наивысшие показатели ИЛП отмечены во всех случаях именно при применении N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель, что свидетельствует о высокой эффективности данного комплекса агротехнологий и его положительном влиянии на развитие фотосинтетического аппарата растений картофеля.

6. Применение комплекса агроприёмов способствовало значительному повышению урожайности картофеля на 30-40 % для обоих посадок в зависимости от сорта: так у первого урожая средняя урожайность выросла с 15,6 на контроле до 22,05 т/га, у второго - с 17,94 до 24,52 т/га соответственно. Максимальные показатели на сортах получены при применении N60P60K90 + кремниевое удобрение + гидрогель у сорта Жуковский ранний - 33,04 т/га, у сорта Ред Скарлет - 22,56 т/га, сорта Варяг - 26,85 т/га, сорта Невский - 30,24 т/га, что подтверждает высокую эффективность данного сочетания агротехнологий.

7. Выявлена высокая положительная корреляция ($R = 0,98-0,997$) урожайности и площади листьев картофеля, которая достигается при сочетании N60P60K90, гидрогеля и кремниевого удобрения.

8. Применение фона NPK совместно с кремниевым удобрением и гидрогелем способствовало снижению доли мелких клубней и увеличению массы клубней средней и крупной фракций, что обеспечило рост товарности. Наибольшая товарность отмечена в варианте Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель. У первого урожая на сортах Жуковский ранний и Ред

Скарлет - до 97–99%, у второго урожая на сортах Невский и Варяг - до 98–99%.

9. Качество клубней по основным показателям практически не менялось вне зависимости от климатических и агрохимических условий - содержание нитратов не превышало ПДК, а содержание крахмала, витамина С и сухого вещества не показало существенных отклонений по системам удобрений.

10. Производство двух урожаев картофеля эффективно – повышается урожайность на 16,57 т/га, увеличиваются выручка от реализуемой продукции на 219,91 тыс. руб., чистый доход на 253,10 тыс. руб., повышается рентабельность на 20,2 %, а коэффициент энергетической эффективности, который выше 0 и составляет 0,70.

Результаты исследования доказывают, что технология возделывания двух урожаев картофеля с применением N60P60K90, кремниевое удобрения и гидрогеля обеспечивает на всех сортах ускорение развития растений, улучшает морфометрические показатели, повышает урожайность и товарность клубней. При этом сохраняется высокое качество продукции. Данная адаптационная технология способствует росту экономической эффективности производства картофеля, что повысит конкурентоспособность хозяйств за счет более высокой цены реализации в период дефицита продукции на рынке для первого урожая и получение более качественной продукции второго.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для устойчивого возделывания двух урожаев картофеля в изменяющемся климате, обеспечивающая наибольшую урожайность и товарность клубней, в условиях Центрального Нечерноземья РФ рекомендуется: использовать фон минерального питания N60P60K90, кремниевое удобрение (100 г/га) в период вегетации в виде некорневой подкормки и гидрогель 4 г/растение в период посадки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимо продолжить интеграцию адаптивных технологий, включающих применение кремниевых удобрений и гидрогелей, а также изучать другие эффективные агротехнические приемы и средства, позволяющее эффективно противостоять негативным последствиям глобальных климатических изменений и обеспечивать стабильное производство, особенно в летний период.

Внедрение инновационной стратегии (выращивание двух урожаев за сезон) в регионах с соответствующими климатическими условиями представляет собой перспективное направление для оптимизации использования земельных ресурсов и повышения продуктивности агроэкосистем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов, О. М. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края/ О. М. Агафонов, В. Ю. Ревенко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук - 2017. - № 10. - С. 35-38.
2. Акопджанян, Э. Т. Влияние условий хранения семенного картофеля на лежкость и развитие сухой гнили клубней / Э. Т. Акопджанян, В. И. Титова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – № 5(401). – С. 537-540.
3. Акопджанян, Э. Т. Агроэкологическая характеристика дерново-подзолистых супесчаных почв при минеральной системе удобрения картофеля / Э. Т. Акопджанян, В. И. Титова // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 86-92.
4. Акопджанян, Э. Т. Урожайность и семенная продуктивность картофеля при внесении комплексных удобрений / Э. Т. Акопджанян, В. И. Титова // Плодородие. – 2024. – № 4(139). – С. 10-14.
5. Аммосова, Я. М. Кремнезем в системе почва–растение/ Я. М. Аммосова, П. Н. Балабко, В. В. Матыченков // Агрохимия. 1990. № 10. С. 103–108.
6. Базилевич, Н. И. Ресурсы биосферы. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / Н.И. Базилевич, Л. Е. Родин, Н. Н. Розов // Почвоведение. – 1975. –№ 1. – С. 5–33.
7. Балашев, Н. Н. Овощеводство. Учебник для студентов сельскохозяйственных вузов / Ташкент «Укитувчи» 1981. С. 222-224
8. Бочарникова, Е. А. Влияние оптимизации кремниевого питания на устойчивость днк ячменя / Е. А. Бочарникова, Е. П. Пахненко, В. В. Матыченков, И. В. Матыченков // Журнал «Вестник московского университета» Серия 17. Почвоведение. - 2014. - № 2. – С. 40-43.
9. 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.

10. Букасов, А. С. Селекция и семеноводство картофеля / А. С. Букасов, А. Я. Камераз // Ленинград. – 1972. – С. 255-359.
11. Букасов, С. М. Возделываемые растения Мексики, Гватемалы и Колумбии / Ленинград.: ВАСХНИЛ – 1930. – 470 с.
12. Букасов, С. М. Картофель / С.М. Букасов, П.М. Жуковский // «Колос» Ленинград. – 1971. - С. 5-33, 225-302.
13. Васильев, А. А. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность картофеля в зависимости от срока и глубины посадки / А. А. Васильев, А. К. Горбунов // Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН Аграрный вестник Урала № 04 (195) - 2020 г. - С. 2-10.
14. Вдовина, Т. А. Исследование водно-физических свойств почвы с применением гидрогеля в Курчумском районе Восточно-Казахстанской области. / Т. А. Вдовина, А. А. Винокуров, Е. А. Исакова, О. А. Лагус // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. – 2020. – Т. 99, № 3. – С. 29-35.
15. Гавришев, А. Н. Портал climate-energy.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climate-energy.ru/> (17.08.2025).
16. Гаспарян, И. Н. Выбор сортов картофеля при возделывании двух урожаев в Центральном Нечерноземье / И. Н. Гаспарян, А. Г. Левшин, О. Н. Ивашова // Природообустройство. – 2023. – № 4. – С. 40-45.
17. Гаспарян, И. Н. Особенности возделывания двух урожаев картофеля / И. Н. Гаспарян // Картофель и овощи. – 2022. – № 10. – С. 28-32.
18. Гаспарян, И. Н. Особенности роста и развития при возделывании двух урожаев картофеля ранних сортов / И. Н. Гаспарян, А. Г. Левшин // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Том ВЫПУСК 293 Часть III. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 222-225.
19. Гаспарян, И. Н. Применение кремниевого удобрения в технологии возделывания двух урожаев картофеля / И. Н. Гаспарян, И. Г. Козлов, В. Ш. Гаспарян // Агрохимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 13-15.

20. Гаспарян, И. Н. Возделывание картофеля в условиях третьей световой зоны / И. Н. Гаспарян, А. Г. Левшин, М. Е. Дыйканова // Кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 23-26.
21. Гаспарян, И. Н. Применение гидрофильных полимеров в технологии возделывания двух сортов картофеля в условиях дефицита влаги / И. Н. Гаспарян, И. Г. Козлов // Охрана окружающей среды, изменение климата, инновационные технологии повышения плодородия деградированных почв: Материалы Международной научно-практической конференции, Ташкент, 21-23 апреля 2025 года. – Ташкент: Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, 2025. – С. 222 – 225.
22. Гаспарян, И. Н. Картофель: технологии возделывания и хранения / И. Н. Гаспарян, Ш. В. Гаспарян. – Изд. 4-е, стереотипное. – Санкт-Петербург: Издательство ЛАНЬ, 2024. - С. 13-28, 34-44.
23. Генкель, П. А. Состояние покоя у растений как процесс обособления протоплазмы клеток / П. А. Генкель, Е. З. Окнина. // Труды института физиологии растений им. К.А. Тимирязева. – т.6 – Вып. 1. – 1948.
24. Гниловская, Г. Г. Влияние сроков летней посадки на семенные качества картофеля при выращивании в северной Степи УССР // Картофель, овощные и бахчевые культуры. – Киев. - 1964. - Вып. 1. - С. 84-87.
25. Годунова Е. И., Оганян Л. Р. Экономическая эффективность применения гидрогеля в условиях неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья // Земледелие. 2023. №5. - С. 18- 22.
26. ГОСТ Р 58596-2019 Почвы. Определения общего азота. Дата введения 01.01.2020. [internet-law.ru](https://internet-law.ru/gosts/gost/71988/?ysclid=mhwx55ioh2342578079) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/71988/?ysclid=mhwx55ioh2342578079>
27. ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества. Дата введения 31.08.2021. Портал files.stroyinf.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>
28. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Дата введения

- 15.01.2013. Портал docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200094361>
29. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Дата введения 30.06.1985. Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-13-080-10/gost-26483-85-obj13982.html>
30. ГОСТ 26212-2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Дата введения: 01.08.2022. Портал internet-law.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/75796/>
31. ГОСТ 7176-2017 Картофель продовольственный. Дата введения: 01.07.2018. Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-67-080-20/gost-7176-2017-obj57595.html>
32. ГОСТ 26832-86 Картофель свежий для переработки на продукты питания. Дата введения: 13.07.2010. Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-67-080-20/gost-26832-86-obj14302.html>
33. ГОСТ 7194-81 Картофель свежий. Правила приемки и методы определения качества. Дата введения: 13.07.2010 Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-67-080-20/gost-7194-81-obj22857.html>
34. ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения сухого вещества. Дата введения: 24.12.2012 Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-65-120/gost-31640-2012-obj18215.html>
35. ГОСТ 29270-95 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов. Дата введения 25.06.2010. Портал gostinform.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostinform.ru/razdel-oks-67-080-01/gost-29270-95-obj16724.html>
36. Гэлстон, А. Жизнь зеленого растения / А. Гэлстон, П. Девис, Р. Сэттер // Пер. с англ – М.: Мир, 1983. – С. 419

37. Данилова, Т. Н. Водопоглощающие полимеры для управления водообеспеченностью сельскохозяйственных культур / Т. Н. Данилова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 52. – С. 47-53.
38. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: ИД Альянс. – 2011. – 352 с.
39. Дыйканова, М. Е. Ресурсосберегающая технология возделывания раннего картофеля / М. Е. Дыйканова, А. Г. Левшин, И. Н. Гаспарян, О. Н. Ивашова // Картофель и овощи. – 2019. – № 2. – С. 26-28.
40. Зинковская, Т.С. Значение кремния и кремниевых удобрений в сельском хозяйстве (обзор). / Т. С. Зинковская, Г. Ю. Рабинович, Е. А. Подолян // Плодородие. – 2024. – №1. – С. 26-31.
41. Зыкин, А. Г. Картофель. / СПб: Агропромиздат. 2000 С. 8-14.
42. Ивашова, О. Н. Возможность возделывания двух урожаев картофеля раннего в 3-й световой зоне / О. Н. Ивашова // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона, Москва, 09–11 июня 2020 года. Том 2. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 307-310.
43. Ивашова, О. Н. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621780 Российская Федерация. Поддержка принятия решений при получении двух урожаев экологически чистого картофеля ранних сортов: № 2020621644: заявл. 22.09.2020: опубл. 01.10.2020 / О. Н. Ивашова, И. Н. Гаспарян, А. Г. Левшин и др.; заявитель ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.
44. Исроилов, О. И. Синтез и исследование свойств экологически чистого универсального суперабсорбирующего гидрогеля / О. И. Исроилов, Б. Ф. Мухиддинов, А. Т. Джалилов, Ш. Д. Ширинов // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2024. 10 (124). Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-i-issledovanie-svoystv-ekologicheskichistogo-universalnogo-superabsorbiruyuschego-gidrogelya>

45. Карманов, С. Н. Картофель / С.Н. Карманов, В.С. Сереренников // М.: Росагропромиздат. - 1991. - С. 4-8.

46. Козлов, И. Г. Особенности применения адсорбентов в технологии возделывания картофеля / И. Г. Козлов, М. А. Петрова // Актуальные проблемы и инновационные решения в области агрохимии : Материалы 57-й Всероссийской конференции с международным участием молодых учёных, специалистов-агрохимиков и экологов (к 300-летию Российской академии наук и 220-летию со дня рождения Юстуса фон Либиха), Москва, 29 ноября 2023 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2024. – С. 148-154.

47. Козлов, И. Г. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623294 Российская Федерация. Адаптация технологии возделывания картофеля к изменениям климата: № 2023623048: заявл. 21.09.2023: опубл. 29.09.2023 / И. Н. Гаспарян, В. И. Диденко, М. А. Петрова, И. Г. Козлов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова».

48. Козлов, И. Г. Устойчивое возделывание картофеля в условиях изменения климата / И. Г. Козлов, М. А. Петрова, И. И. Бочарников, Н. Ф. Денискина // Плодородие. – 2023. – № 4(133). – С. 33-36.

49. Козлов, И. Г. Использование гидрогеля в технологии возделывания картофеля / И. Г. Козлов, М. А. Петрова, И. Н. Гаспарян, Н. Ф. Денискина // Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах: Материалы Международной научно-практической конференции, Балашиха, 14 ноября 2023 года. – Балашиха: Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского, 2023. – С. 90-96.

50. Козлов, И. Г. Портал bigenc.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/gidrogel-v-sel-skom-khoziaistve-83d911> (19.04.2023).

51. Косачев, И. А. Влияние кремнийсодержащего препарата «Нанокремний» на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях Алтайского края. / И.А. Косачев, В.Н. Чернышков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 9 (167) - 2018 - С. 23-28.
52. Куренков, В.Ф. Водорастворимые полимеры акриламида // Соросовский образовательный журнал. - 1997, №5 - С. 48-53.
53. Лысенко, Т. Д. Яровизация картофеля // Издание второе – М.: Сельхгиз – 1936, 38 С.
54. Мальцев, С. В. Урожайность и качество картофеля зависят от технологии. / С. В. Мальцев, В. Н. Зейрук, К. А. Пшеченков, А. В. Смирнов // Картофель и овощи. – 2019. – № 12. – С. 9-11.
55. Матвеев, В. П. Двухурожайная культура картофеля. – Ташкент: Госиздат УзССР. – 1956. – С. 56
56. Максимова, Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) / Ю. Г. Максимова, В. А. Щетко, А. Ю. Максимов // Сельскохозяйственная биология - 2023 - Т. 58, № 1, С. 23-42.
57. Матыченков, И. В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва - растение: специальность 06.01.04 "Агрохимия": диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Матыченков Иван Владимирович, 2014. – 136 с.
58. Матыченков, И. В. Подвижные кремниевые соединения в системе почва-растение и методы их определения / Матыченков И. В., Хомяков Д. М., Пахненко Е. П., Бочарникова Е. А., Матыченков В. В.// Журнал «Вестник московского университета» Серия 17. Почвоведение. - 2016. № 3 С. 37-46.
59. Матыченков, В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.1203.00.27/ Матыченков Владимир Викторович. – Пущино, 2008. – 32 с.
60. Матыченков, В. В. Теория применения кремниевых удобрений и опыт их использования в Башкортостане / В. В. Матыченков // В сборнике: Почвы Урала и Поволжья: экология и плодородие: материалы международной

научно-практической конференции почвоведов, агрохимиков и земледельцев, посвященной 90-летию почвоведения на Урале. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, - 2021. – С. 77-81.

61. Матыченков, И. В. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния / И. В. Матыченков, Е. П. Пахненко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3(23). – С. 24-28.

62. Мельничук, Д. И. Научные основы повышения продуктивности картофеля / Д. И. Мельничук // Материалы Международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Института картофелеводства Национальной академии наук Беларуси, Минск, 07–10 июля 2003 года. Том 1. – Минск: Национальная академия наук Беларуси, 2003. – С. 117-125.

63. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, доступно на mcsx.gov.ru Дата обращения: 15.08.2024.

64. Федеральная служба государственной статистики, доступно на rosstat.gov.ru Дата обращения: 22.07.2024.

65. Непокрытый, Р.А. Теоретический анализ работы ножа для подачи гидрогеля модернизированной картофелесажалки при внесении гидрогеля на орошаемых участках / Р. А. Непокрытый, А. Н. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование № 4 (68), 2022 - С. 580 – 587.

66. Новиков, А. Е. Ресурсосберегающие технологии возделывания картофеля при дождевании с применением гидрогеля / А. Е. Новиков, А. Н. Цепляев, С. Я. Семененко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование № 2 (70), 2023. С. 421

67. Околелова, А. А. Применение гидрогеля в светло-каштановой почве / А. А. Околелова, Г. С. Егорова, Т. Г. Воскобойникова // Международный журнал. Естественно-гуманитарные исследования №10(4), 2015 С. 4-9.

68. Пахненко Е. П. Влияние кремниевых препаратов на засухоустойчивость ячменя / Е. П. Пахненко, Е. А. Бочарникова, В. В. Матыченков, И. В. Матыченков // АгроЭкоИнфо. – 2013. – № 2(13). – С. 1.
69. Прищепенко Е. А., Рахманова Г. Ф., Дегтярева И. А., Сидоров В. В. Влияние кремнийсодержащей породы на сохранность картофеля // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2022. №2. – С. 197 – 200.
70. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 Количественный химический анализ почв. Портал files.stroyinf.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793107.htm>
71. Постникова, А.Н. Постников, Д.А. Картофель. 2-е изд. - М.: РГАУ-МСХА 2006, С. 8-10
72. Посыпанов, Г.С. Энергетическая оценка технологии возделывания полевых культур / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов // Учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов — М.: МСХА, 1995 С. 21.
73. Рожалин, Л. В. Летние посадки картофеля свежееубранными клубнями // Овощеводство. – 1939. – № 5
74. Рожалин, Л. В. Разработка простейших способов проращивания молодых свежееубранных клубней картофеля для летних посадок // В сборнике: Научный отчет НИИ картофельного хозяйства. – М.: Сельхозгиз. – 1947.
75. Рубашевская, М. К. Летние посадки картофеля свежееубранными клубнями // Сад и огород. – 1948. – № 5.
76. Савельев, В.А. Картофель / монография изд. № 2. Лань. 2017. С. 4-28
77. Садовникова, Н.Б. Термодинамическая оценка влияния сильнонабухающих полимерных гидрогелей на водоудерживающую способность модельных пористых сред / Н.Б. Садовникова, А.В. Смагин, М. А. Сидорова // Почвоведение, 2014, 4 – С. 455-465.
78. Семенченко, Е. Л. Ранний картофель в двуурожайной культуре / Семенченко Е. Л., Т. В. Семибратская // Овощи России. – 2015. – № 2 (27). – С. 44-47.

79. Сикстель, Д. А. Получение двух урожаев картофеля в год в Средней Азии / Социалистическое растениеводство. Серия А. – 1934. – №11
80. Смагин, А. В. Биодеструкция сильнонабухающих полимерных гидрогелей и ее влияние на водоудерживающую способность почв. / А.В. Смагин, Н. Б. Садовникова, М. В. Смагина // Почвоведение, 2014 - 6 - С. 716-723.
81. Старовойтов, В. И. Возделывание картофеля с использованием водосберегающих полимеров/ В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина // Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В. П. Горячкина» - 2015 - № 1 (65). С. 15-19.
82. Старовойтов, В.И. Технология возделывания картофеля с использованием влагосберегающих полимеров / В.И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, Ю. П. Бойко, Е. Я. Молчанова, А. А. Манохина //М.: ФГБНУ ВНИИКС, 2014. С. 348-352.
83. Сутягин, В. П. Системный анализ энергетических потоков в земледелии / В.П. Сутягин, А.М. Туликов, Т.И. Сутягина: учебное пособие для дипломного проектирования. Т.: «АГРОСФЕРА» Тверской ГСХА, 2008. – 140 с.
84. Сычев, В. Г. Шафран, С. А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2023. – 200 с.
85. Тибирьков, А. П. Влияние полиакриламидного гидрогеля на структурно-агрегатный состав пахотного слоя светло-каштановой почвы Волго-Донского междуречья/ А. П. Тибирьков, В. И. Филин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4. С. 1–5.
86. Титова, В. И. Влияние доз хлористого калия на урожайность картофеля на дерново-подзолистой почве / В. И. Титова, Е. Г. Белоусова, Л. Д. Варламова, А. А. Ветчинников // II Никитинские чтения "Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах": Материалы Международной научной конференции, посвященной первому профессору почвоведения на Урале, заведующему кафедрой почвоведения (1924-1932) Василию Васильевичу Никитину, 100-

летию первой кафедры почвоведения на Урале, 140-летию науки почвоведения, Пермь, 14–17 ноября 2023 года. – Пермь: Издательство "От и До", 2023. – С. 267-271.

87. Титова, В. И. Влияние азота минеральных и органических удобрений на развитие озимой ржи в начальный период роста / В. И. Титова, В. Д. Ширяев, Я. М. Федотова // Плодородие. – 2019. – № 4(109). – С. 15-18.

88. Титова, В. И. Влияние удобрений и комплекса защитных мероприятий на урожайность и качество клубней разных сортов картофеля / В. И. Титова, А. А. Чудоквасов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 6. – С. 9-12.

89. Титова, В. И. Влияние удобрений и способа осенней обработки почвы на урожайность и фитопатологическую характеристику клубней картофеля / В. И. Титова, Э. Т. Акопджанян // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 393-400.

90. Тулинов, А. Г. Гумат калия/натрия на картофеле / А. Г. Тулинов // Картофель и овощи. – 2015. – № 7. – С. 31-32.

91. Тулинов, А. Г. Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность и качественные показатели перспективных гибридов картофеля / А. Г. Тулинов // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 5. – С. 73-78.

92. Тулинов, А. Г. Минеральные удобрения, урожай и качество клубней картофеля / А. Г. Тулинов, Г. Т. Шмрлгунов, Т. В. Хурщкайнен, Н. Н. Скрипова // Земледелие. – 2010. – № 4. – С. 41-42.

93. Тимошенко, В. В. Эффективность использования сошника для посева и внесения гидрогеля и жидких удобрений / В. В. Тимошенко, А. Н. Цепляев // Стратегические основы инновационного развития АПК в современных экономических условиях. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ – 2016 - т. 2. С. 400.

94. Хорошилов, А. А. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и

химическим препаратами / А.А. Хорошилов, Н.Е. Павловская, Д.Б. Бородин, И.В. Яковлева // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – т. 56, № 3. – С. 487-499.

95. Цепляев, А. Н. Комплексное решение проблемы ресурсосбережения при выращивании картофеля на орошении с использованием гидросорбентов / А. Н. Цепляев, С. Я. Семененко, А. А. Куприянов // Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация. Мелиорация и гидротехника - 2024 - Т. 14, № 3. С. 31–45.

96. Шафран, С. А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения, М.: ВНИИА 2020. – 229 с.

97. Шкварников, П. К. Двухурожайная культура картофеля в Крыму / Симферополь: Крымиздат. – 1953.

98. Шпаар, Д. Картофель / Д. Шпаар, А. Быкин, Д. Дрегер. // Картофель Мн.: ЧУП «Орех» - 2004 - С. 43-52

99. Юскаева, Г.И. Использование полиакриламидного полимера В-415 в искусственном лесовосстановлении в условиях Пензенской области. Экологические аспекты устойчивого развития человечества. // Матер. Междунар. науч-практ. конф. (Москва-Пенза, 13- 14 апреля 2010 г.). НОУ ВПО «Академия МНЭПУ). Пензенский филиал, Управл. природ. ресурсами окруж. среды по Пензенской области. – 2010. - С. 149-152.

100. Agbna. Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress— A Review Agbna et al. MDPI Gels 2025, 11, P.276

101. Akkamis, M. Responses of yield, quality and water use efficiency of potato grown under different drip irrigation and nitrogen levels / M. Akkamis, S. Caliskan // Sci Rep. 2023 Jun 19.

102. Ahmad, A. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) / A. Ahmad, M. Afzal, A. U. H. Ahmad, M. Tahir // Cercetări Agronomice in Moldova. 2013. V. 46. № 3 (155). P. 21–28.

103. Ahmad, A. Effect of foliar application of silicon and boron on rice / A. Ahmad, M. Tahir, M. Afzal // LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 132 p.
104. Bent, E. Silicon solutions. Helping plants to help themselves / Bent, E. // Book. Sestante Edizioni, Italy. – 2014. – 184 p.
105. Banedjschafie S. Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality. / S. Banedjschafie, W. Durner // Banedjschafie et al., 2015 Journal of Plant Nutrition and Soil Science vol 178, issue 5 P. 798-806
106. Berthelsen, S. Improving yield and ccs in sugarcane through the application of silicon-based amendments / Berthelsen S., Noble A. D., Garside A.L. // SRDC Project CLW009. – 2003.
107. Bhat, J. A. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants / J. A. Bhat, S. M. Shivaraj, P. Singh, D. B. Navadagi, D. K. Tripathi, P. K. Dash, A. U. Solanke, H. Sonah, R. Deshmukh // Plants. 2019. Vol. 8. P. 71.
108. Biel, K. Y. Protective role of silicon in living systems / K. Y. Biel, V. V. Matichenkov, I. R. Fomina // Functional Foods for Chronic Diseases. Advances in the Development of Functional Foods / Eds. Martirosyan D., Richardson M. Texas: D&A Inc., – 2008. V. 3. – P. 208-231.
109. Chen, W. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption / W. Chen, Y. K. Cai, J. Cen // Biological trace element research. – 2011. V. 142 (1). – P. 67-76.
110. Dantoff, L.E. Silicon in Agriculture / L.E. Dantoff, G.H. Snyder, G.H. Korndorfer // Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. – 2001.
111. Datnoff L.E., G.H. Snyder, G.H. Korndorfer (Editors). (2001). Studies in Plant Science. Effect of silicon on plant growth and crop yield. Silicon in Agriculture Volume 8. Chapter 7 Elsevier Science B.V. 2001. 133–147.
112. Epstein, E. 1999. Silicon. Annu. Rev. / E. Epstein // Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1999. – 50. – P. 641-664.

113. Garcia-Garcia A. Biodegradable Natural Hydrogels for Tissue Engineering, Controlled Release, and Soil Remediation Garcia-Garcia et al. / Garcia-Garcia A., Muñana-González S., Lanceros-Mendez S. // MDPI Polymers 2024, 16, 2599 p.
114. Etesami H. Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants / H. Etesami, B.R. Jeong // Ecotoxicol. Environ. Saf., 2018. Vol. 147. P. 881-896.
115. FAO of UN, доступно на www.fao.org mcx.gov.ru Дата обращения: 20.08.2024.
116. Fayaz, A. Emerging Fabrication Strategies of Hydrogels and Its Applications / A. Fayaz, I. Khan, J. Chen, K Akhtar, M. Esraa, Bakhsh, S. Bahadar. // Khan Gels 2022, 8, 205.
117. Gamareldawla, H. D. Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress — A Review / H. D. Gamareldawla, Agbna, Z. SyedJavaid // Gels 2025, 11, 276 p.
118. Ghader, H. Effects of soil- and foliar-applied silicon on the resistance of grapevine plants to freezing stress // Acta Biol. Szegediensis. 2015. V. 59. № 2. P. 109–117.
119. Grabowska-Polanowska, B. The benefits of synthetic or natural hydrogels application in agriculture: An overview article. / B. Grabowska-Polanowska, T. Garbowski, D. Bar-Michalczyk, A. Kowalczyk // JOURNAL OF WATER AND LAND DEVELOPMENT, No. 51 (X–XII): P. 216-217.
120. Gong, H.J. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different development stages / H.J. Gong, K.M. Chen, Z.G. Zhao // Biol. Plant. 2008. Vol. 52. P. 592-596.
121. Guevel, M.H. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants / M.H. Guevel, J.G. Menzies, R. R. Belanger // Europ. J. Plant Pathol. 2007. V. 119. № 4. P. 429–436.
122. Harold, F. International Fertilizer Association (IFA). Rice // IFA World Fertilizer Use Manual. Paris. France. 1992.

123. Henderson, J. C. Ammonium and nitrate retention by a hydrophilic gel / J. C. Henderson, D. L. Hensley // HortScience, 20: 1985. 667–668.
124. Javaid, K. Effect of foliar application of orthosilicic acid on leaf and fruit nutrient content of apple cv. “Red Delicious”/ K. Javaid, F. A. Misgar // Adv. Res. J. Multidisciplinary Discoveries. 2017. V. 20. Ch. 7. P. 30–32.
125. Kaushik, P. Silicon as a Vegetable Crops Modulator — A Review / P. Kaushik, K. S. Dinesh // MDPI Plants 2019, 8, 148.
126. Kafi, M. Potato response to silicone compounds (micro and nanoparticles) and potassium as affected by salinity stress / M. Kafi, J. Nabati, B. Saadatian, A. Oskoueian, J. Shabahang // Italian Journal of Agronomy 2019; vol 14: 1182 p.
127. Khan, I. Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant inter-phase: A review / I. Khan, S.A. Awan, M. Rizwan, S. Ali, M. J. Hassan, M. Brestic, X. Zhang // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2022. Vol. 222. P. 54-61.
128. Kondhare, K. Molecular signals that govern tuber development in potato. / K. R. Kondhare, B. Natarajan, A. K. Banerjee // International journal developmental biology. 64. 2020. P.133-140
129. Kovács, S. The Multiple Role of Silicon Nutrition in Alleviating Environmental Stresses in Sustainable Crop Production / S. Kovács, E. Kutasy, J. Csajbók // Plants 2022, 11, 1223 p.
130. Liang, M. Preparation of superabsorbent slow-release nitrogen fertilizer / M. Liang, R. Zhan, F. Liu, Z. A. Niu// Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci (2018) 7(5): 3155-3162 3162 inverse suspension polymerization, Polym Int., 56: P. 729-737.
131. Liang, Y. Christie Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review / Y. Liang, W. Sun, Y.G. Zhu, P. // Envi-ron. Pollut. 2007. Vol. 147. P. 422-428.
132. Le, V.N. Uptake, transport, distribution and bio-effects of SiO₂ nanoparticles in Bt-transgenic cotton / V.N. Le, Y. Rui, X. Gui, X. Li, S. Liu, Y. Han // Journal of Nanobiotechnology. 2014. Vol. 5. P. 12-50.

133. Liu, H. Impact of dormancy periods on some physiological and biochemical indices of potato tubers / H. Liu, J. Li, D. Zhou, W. Cai, M. Rehman, Y. Feng, K. Yunxin, L. Xiaopeng, S. Fahad, G. Deng // *Peerj* 28.09.2023 P. 2
134. Lernoud, J. Current statistics on organic agriculture worldwide: Area, operators, and Market. In: Willer, H., Lernoud, J. (Eds.), *The World of Organic Agriculture, Statistics and Emerging Trends 2019*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, IFOAM – Organics International, 2012. P. 36–128.
135. Matichenkov, V. Theory and Practice of Silicon Fertilizers/ V. Matichenkov, E. A. Bocharnikova // 2010. 9 p.
136. Matichenkov V. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties / V. Matichenkov, E. Bocharnikova // *Studies in Plant Science*, Elsevier. 2001. Vol. 8. P. 209-219.
137. Ma, C. Impacts of exogenous mineral silicon on cadmium migration and transformation in the soil-rice system and on soil health / C. Ma, K. Ci, J. Zhu, Z. Sun, Z. Liu, X. Li, Y. Zhu, C. Tang, P. Wang, Z. Liu // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 10. P. 759.
138. Maghsoudi, K. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance / K. Maghsoudi, Y. Emam, M. Ashraf // *Turkish J. Bot.* 2015. V. 39. P. 625–634.
139. Ma, I. F. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil / I.F. Ma, E. Takahashi // *Plant and Soil*. 1991. V.133. P.151-155.
140. Neethu, T.M. Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture Department of Soil Science and Agricultural Chemistry / T.M. Neethu, P.K. Dubey, A.R. Kaswala // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* Volume 7 Number 05 (2018).
141. Nyawade, S. Enhancing Climate Resilience of Rain-Fed Potato Through Legume Intercropping and Silicon Application/ S. Nyawade, H. I. Gitari, N. N. Karanja, C. K. K. Gachene, E. Schulte-Geldermann, K. Sharma, M. L // *Parker Frontiers in Sustainable Food Systems* November 2020 Volume 4.

142. Oladosu, Y. Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review / Y. Oladosu, Y. Mohd, Y. Rafii, F. Arolu, S. Ch. Chukwu // *Horticulturae* 2022, 8(7), 605;
143. Pavlovic, L. Interactions of Silicon with Essential and Beneficial Elements in Plants / L. Pavlovic, P. Kostic, Bosnic, E. A Kirkby, M. Nikolic. // *J. Frontiers in Plant Science* 2021.
144. Pei, Z. F. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethelene glycol in wheat (*triticum aestivum* L) seedlings / Z. F. Pei, D. F. Ming, D. Liu, G. L. Wan, X. X. Geng, H. J. Gong, W. J. Zhou // *Plant Growth Regulation*. – 2010. V. 29 (1). – P. 106-115.
145. 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.
146. Priscila, V. An Overview of Polymeric Hydrogel Applications for Sustainable Agriculture / V. Priscila , L. V. Sanches, F. Putti // *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science* // *Agriculture* 27 May 2024.
147. Rao, G. B. Silicon nutrition in rice: A review / G. B. Rao, P. Y. PI, E. K. Syriac // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2017. – T. 6. – №. 6. – C. 390-392.
148. Rasoolizadeh, A. Silicon protects soybean plants against *Phytophthora-sojae* by interfering with effector-receptor expression / A. Rasooliza-deh, C. Labbé, H. Sonah, R.K. Deshmukh, F. Belzile, J.G. Men-zies, R.R. Bélanger // *BMC Plant Biol.* 2018. Vol. 18. P. 97.
149. Rop, K. Biodegradable water hyacinth cellulose-graft-poly(ammonium acrylate-co-acrylic acid) polymer hydrogel for potential agricultural application / K. Rop, D. Mbui, N. Njomo, G. N. Karuku, I. Michira, R. F. Ajayi // *Heliyon*, 2019, 5(3): e01416.
150. Rehman, A. Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques / A. Rehman, R. Ahmad, M. Safdar // *Plant Soil Environ.*, 57, (7): 321–325.

151. Sanmay, K. P. Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition / K. P. Sanmay, P. Ratneswar, B. Marian, P. U. Acharjee, P. Bhattacharya, S. Sengupta, P. Pal, N. Bam, B. Biswas, V. Barek, P. Ondrisik, M. Skalicky, A. Hossain // Hindawi International Journal of Polymer Science Volume 2022, Article 15 p.
152. Schalle, J. Silicon cycling in soils revisited / J. Schaller, D. Puppe, D. Kaczorek, R. Ellerbrock, M. Sommer // Plants (Basel, Switz.). 2021. Vol. 10. P. 295.
153. Sayed, A. A. The synergistic effect of biochar and poly(2-ethyl-2-oxazoline)/poly (2-hydroxyethylmethacrylate)/chitosan) hydrogels on saline soil properties and carrot productivity/ S. A. Abdeen, H. H. H. Hefni, A. Awadallah, N. R. Abd El-Rahman // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. (2023) 10:68
154. Sennakesavan, G. Acrylic acid/acryla-mide based hydrogels and its properties — a review / G. Sennakesavan, M. Mostakhdemin, L. K. Dkhar, A. Seyfoddin, S. J. Fatihhi // Polymer Degradation and Stability, 2020, 180: 109308
155. Siddiqui, M.H. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato / Sid-diqui M.H., Al-Whaibi M.H. // Saudi Journal of Biological Sciences. 2014. Vol. 21 (1). P. 13-17.
156. Singh, N. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: an agriculture boom / N. Singh, S. Agarwal, A. Jain, S. Khan // Agricultural Water Management, 2021, 253 p.
157. Shreen, S. Applications of Natural Polysaccharide Polymers to Overcome Water Scarcity on the Yield and Quality of Tomato Fruits / Shreen, S. Ahmed, A. Fahmy // Agricultural and Food Sciences, Environmental Science. 1 April 2019.
158. Takahashi, E. The possibility of silicon as an essential element for higher plants / E. Takahashi, J. F. Ma, Y. Miyake // Comment. Agric. Food Chem. 2, 99–102.
159. Taylor, A. G. Potato Production from True Seed: A Brief Introduction. HortScience vol. 23(3), 1988 p. 494.
160. Taylor, K. C. The Effect of Hydrophilic Polymer on Media Water Retention and Nutrient Availability to *Ligustrum lucidum* / K. C. Taylor, R. G. Halfacre // HortScience 21(5):1159-1161.

161. Thakur, V. K. and Thakur M. K. (eds.), *Hydrogels, Gels Horizons: From Science to Smart Materials*, p 29-50.
162. Wadas, W. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth in Response to Foliar Silicon Application. *Agronomy* 2021, 11, p. 2423.
163. Wang, M. Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions / // *Front Plant Sci.*– 2017. – Vol. 8:701.
164. Wadas, W., Kondraciuk T. Effect of Silicon on Micronutrient Content in New Potato Tubers *MDPI International Journal of Molecular Sciences*. 2023, 24, 10578.
165. Wang, L., Nie Q., Li M., Zhang F., Zhuang J., Yang W., et al. (2005). Biosilicified structures for cooling plant leaves: a mechanism of highly efficient midinfrared thermal emission. *Applied Physics Letters*. 87:194105.
166. Weston, D.P., Lentz R.D., Cahn M.D., Ogle R.S., Rothert A.K., Lydy M.J. Toxicity of anionic polyacrylamide formulations when used for erosion control in agriculture. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 38 p. 238–247.
167. Xu K, Tan L., Sun H., Chong C., Li L., Sun B., Yao Z., Zhuang Y., Manipulating gelatinization, retrogradation, and hydrogel properties of potato starch through calcium chloride-controlled crosslinking and crystallization behavior/ *Carbohydrate Polymers* Volume 357, 1 June 2025
168. Yield, A. Siuda, A. Artyszak, D. Gozdowski and Ahmad Z. Effect of Form of Silicon and the Timing of a Single Foliar Application on Sugar Beet / A. Yield, A. Siuda, D. Artyszak, Gozdowski, Z. Ahmad // *Agriculture* 2024 - 14, 86 p.



Рисунок 1 - Фотопланиметр LI-300



Рисунок 2 - Измерение площади листа



Рисунок 3 - Активное клубнеобразование у картофеля во II декаде июня



Рисунок 4 - Цветение (75%) первого урожая 2024 г.



Рисунок 5- Всходы Контроль (слева) и Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель (справа) 2 урожай 2024 г



Рисунок 6 - Разница вариантов, сорт Ред Скарлет. Слева направо:
 1. Контроль 2. Фон (NPK) 3. Фон (NPK) + гидрогель 4. Фон (NPK) +
 кремниевое удобрение 5. Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель



Рисунок 7 - Разница вариантов, сорт Жуковский ранний. Слева направо:
 1. Контроль 2. Фон (NPK) 3. Фон (NPK) + гидрогель 4. Фон (NPK) +
 кремниевое удобрение 5. Фон (NPK) + кремниевое удобрение + гидрогель



Рисунок 8 - Гидрогель на клубнях картофеля



Рисунок 9 – Внешний вид опытного образца гидрогеля, абсорбировавшего жидкость.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструктивных и технологических работ

Глава КХ «Междуречье» настоящим актом подтверждается, что результаты работы **«Оптимизация системы питания при возделывании двух урожаев картофеля раннего в условиях изменения климата»**, выполняемый за период с 01.04.2024 по 30.09.2024 года внедрены: в КХ **«Междуречье» Дмитровского района Московской области.**

Вид внедренных результатов: возделывание двух урожаев картофеля сорта Ред Скарлет

Характеристика масштаба внедрения: Единичное

Методика (метод): полевой опыт на площади 1,2 га «Применение в технологии возделывания двух урожаев картофеля гидрогеля и кремниевого удобрения»

Новизна результатов научно-исследовательских работ: Качественно-новое

Акт испытаний от 19 октября 2024 года в условиях КХ «Междуречье» Дмитровского района Московской области

Внедрено: В КХ «Междуречье». на площади 1,2 га

По итогам испытаний на сорте Ред Скарлет получена урожайность при первой посадке 21,0 т/га и второй посадке 24,4 т/га, всего общий сбор урожая за 1 вегетационный период составил 45,4 т/га; товарность составила 95 %. Годовой экономический эффект 102 000 рублей.

Члены комиссии:

Глава КХ «Междуречье» Денисов М.В. Денисов

Аспирант ФГБНУ ВНИИ агрохимии И.Г. Козлов И.Г. Козлов