

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи

Кочетков Иван Максимович

**Эффект применения гуминовых препаратов на урожай,
качество и антиоксидантную активность
Solanum tuberosum L.**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Москва – 2025

Диссертация подготовлена на кафедре агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель: Верховцева Надежда Владимировна – доктор биологических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:** **Семенов Вячеслав Михайлович** – доктор биологических наук, доцент, ФГБУН «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, лаборатория почвенных циклов азота и углерода, главный научный сотрудник

Надежкин Сергей Михайлович – доктор биологических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», лабораторно-аналитический отдел, заведующий отделом

Якименко Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра химии почв, ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится «02» декабря 2025 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.015.2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 12, биологический факультет, ауд. М-1.
E-mail: nvkostina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation//3596>

Автореферат разослан «29» октября 2025г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Н.В. Костина

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. По данным FAOSTAT картофель является одной из четырех самых потребляемых овощных растений в мире – с 2019 по 2022 год картофель входит в десятку наиболее выращиваемых культур в мире. Культура имеет низкий углеродный след и не требует тщательного ухода при своем выращивании, по сравнению со многими другими овощами, а также фруктами и зерновыми, обеспечивая большую часть необходимых людям питательных веществ. Картофель имеет промышленное, кормовое, пищевое, а также севооборотное значение (Gustavsen, 2021). При этом по получению картофеля Российская Федерация входит в лидеры среди стран, и производит свыше 18 миллионов тонн клубней (FAOSTAT 2019, 2020, 2021, 2022). Однако с ростом потребления картофеля в мире, возрастают вопросы, связанные с безопасностью потребления картофеля, в частности, в сферах диетического питания (Молявка, 2021). Особое внимание уделяется содержанию в клубнях таких соединений как: антиоксиданты (АО), укрепляющие иммунную систему человека (Bendich, 1993; Khadim, Al-Fartusie, 2020) и резистентный крахмал (РК), который нельзя назвать «быстрым» углеводом, чем он ценен в диетическом питании (Higgins, 2014).

Из минеральных элементов для картофеля калий (K^+) является наиболее важным макроэлементом и играет значительную роль в растениях, например, в осморегуляции, в создании мембранного потенциала $\Delta\psi$, транспорте сахаридов, адаптации к стрессу и росту в целом (Sanyal et al., 2020; Sardans and Peñuelas, 2021). Для транспорта ионов калия (K^+) существует ряд путей, однако их регуляция при низком и высоком содержании элемента во внешней среде остается, в целом, неопределенной. K^+ выполняет регуляторную роль в различных биохимических процессах, связанных с синтезом белка, углеводным обменом и активацией ферментов (Hasanuzzaman et al., 2018). Многие физиологические процессы основаны на K^+ -связанном фотосинтезе и устьичном контроле этого процесса. Он также обеспечивает устойчивость к абиотическому стрессу, а в условиях засоления K^+ поддерживает ионный гомеостаз и контролирует осмотический баланс (Assaha et al., 2017; Kumar et al., 2020). Макроэлемент регулирует открытие устьиц в условиях засухи и помогает растениям акклиматизироваться в условиях водного дефицита (Aksu, Altay, 2020; Johnson et al., 2022). Абиотические стрессовые

условия, такие как засоление, засуха, высокие и низкие температуры и заморозки, приводят к образованию активных форм кислорода (АФК) в растениях. Увеличивающийся объем экспериментальных данных свидетельствует о том, что повышение уровня питания растения K^+ может значительно повысить устойчивость к абиотическому стрессу за счет снижения АФК в растениях (Johnson et al., 2022).

Степень разработанности проблемы. Проблема повышения современных показателей питательной ценности картофеля (как РК, так и АО) исследуется во всём мире, в частности за счёт применения на полях биопрепаратов (Abdirahman, 2022; Patel, Gurjar, Patel, 2022). В их число входят препараты на основе гуминовых веществ. Гуминовые препараты (далее ГП) позволяют не только экологически безопасно снизить затраты на производство сельскохозяйственной продукции, но и сохраняют объем и качество получаемого урожая (Bulgari et al., 2015). В состав ГП входят физиологически активные соединения такие, как хиноны, фенолы и карбоновые кислоты (Melo et al., 2016; Якименко, Терехова, 2011), которые содержат легко отдающие водород карбонильные и карбоксильные группы (ОН/ООН) и определяют их антиоксидантные свойства. Благодаря этим соединениям ГП обладают физиологической активностью и способствуют повышению устойчивости растений к стрессу (Cordeiro et al., 2011; Suzuki et al., 2012; García et al., 2012; Calvo et al., 2014). Кроме того, гуминовые вещества в составе ГП обладают фунгицидными (Siddiqui et al., 2009) и бактерицидными (Hassett, Bise, Hartenstein, 1987; Fujimura, Katayama, Kuwatsuka, 1994) свойствами. Также отмечалось, что ГП способствуют поглощению макро- (Bezuglova et al., 2017) и микроэлементов (Chen, Stevenson, 1986), росту и развитию растений (Nardi, Pizzeghello, 2002), повышению их устойчивости к абиотическим и биотическим воздействиям (Куликова, 2008), при этом наблюдается оптимизация агрохимических свойств почв за счет экссудатов сельскохозяйственных культур (Calvo et al., 2014).

Обзор публикаций о влиянии калия в стрессовых условиях растений (особенно калиелюбивых) при формировании их защитных систем в последние годы в мире (Johnson et al., 2022) стал основанием для второго направления нашего исследования на примере картофеля.

Цель и задачи. Целью исследования было изучение влияния гуминовых препаратов с антиоксидантной активностью на урожай и качество *Solanum tuberosum* L.

В задачи исследования входило:

1. Изучить влияние гуминовых препаратов на урожайность картофеля и его структуру.
2. Исследовать эффект гуминовых препаратов на ряд биохимических характеристик клубней картофеля на низком и высоком фоне минеральных удобрений.
3. Показать значение применения дополнительного калийного удобрения на содержание аскорбиновой кислоты (первичного антиоксиданта) и суммарной антиоксидантной активности продукции картофеля.
4. Проанализировать в каких погодных условиях вегетационного периода выращивания картофеля повышается антиоксидантная активность клубней.
5. Определить в каких условиях выращивания повышается содержание крахмала и его резистентной фракции.

Научная новизна исследования. Впервые показано, что при foliarной обработке растений картофеля гуминовыми препаратами Гумистар Универсальный и БиоГумат, полученными методом щелочного гидролиза из вермикомпоста и бурого угля, соответственно, на фоне минеральных удобрений, в фазу начала и окончания цветения, происходит увеличение АО активности клубней.

Впервые показано, что дополнительное калийное удобрение (K_2SO_4) при посадке оказало положительное влияние на содержание аскорбиновой кислоты (первичного антиоксиданта) в клубнях картофеля в неблагоприятный (засушливый) вегетационный период выращивания культуры.

Теоретическая и практическая значимость. Данные, полученные в работе, носят фундаментальный характер, так как они демонстрируют влияние погодных условий и различных форм удобрений на биохимические характеристики клубней картофеля, раскрывают влияние ГП на урожайность, АО свойства и содержание фракций крахмала продукции. В прикладном отношении выводы диссертационной работы могут быть использованы для повышения устойчивости культуры к стрессовым ситуациям в период выращивания, что оказывает

положительное влияние на выход товарного картофеля. Эти результаты могут быть применены в сельском хозяйстве для повышения продуктивности растений и увеличению их питательной ценности для населения.

Объект исследования. Объектом исследования служили клубни картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Удача, полученные в ходе полевого опыта на базе учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково».

Методология и методы исследования. Методология исследования основывалась на результатах, полученных в течение трех лет на полевых опытах с картофелем, заложенных на территории учебно-опытного почвенно-экологического центра «Чашниково» МГУ в 2019, 2021 и 2022 гг., а также в результате лабораторных методов исследования по общепринятым методикам. Полученные экспериментальные данные подвергались статистической обработке.

Положения, выносимые на защиту.

1. Применение ГП даже на низком уровне минерального питания эффективно повышает выход товарных клубней картофеля в неблагоприятный по метеоусловиям год (засуха) выращивания культуры и оказывает положительное влияние на содержание питательных веществ в клубнях картофеля.

2. Повышение содержания общего и резистентного крахмала в клубнях картофеля получено при выращивании культуры в благоприятные по метеоусловиям вегетационные периоды (накопление большего количества углеводов), тогда как в неблагоприятных условиях (засуха) метаболизм растений направлен на белковый обмен (накопление большего количества белка).

Степень достоверности и апробации результатов. При проведении исследования были использованы современные методы исследования, соответствующие поставленным целям и задачам работы. Эксперименты проведены в достоверных для статистики биологических и аналитических повторностях. Сформулированные в тексте диссертации научные положения и выводы основаны на экспериментальных данных, приведенных в тексте и рисунках печатной работы. Полученные научные положения диссертации и выводы базируются на результатах собственных исследований автора или на данных, полученных при его непосредственном участии.

Основные исследования были представлены на конференциях «Актуальные теоретические и практические проблемы аграрной науки и пути их решения» (Ташкент, 2020), «Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов 2020"» (Москва, 2020), «Прошлое, настоящее состояние и перспективы развития овощеводства, картофелеводства и виноградарства Таджикистана» (Душанбе, 2024), научно-практической конференции, посвященной 160-летию Д.Н. Прянишникова в рамках мероприятий 300-летия РАН (Кяхта, 2025), а также на заседаниях кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Личный вклад автора. Автор принимал личное участие в планировании экспериментов, подготовке образцов и проведении экспериментальной работы, анализе, интерпретации и обсуждении полученных результатов. Автор участвовал в написании статей, опубликованных по результатам работы, и представлении результатов на научных конференциях. Результаты работы и их обсуждение написаны автором самостоятельно.

Публикации автора по результатам исследования. По результатам проведённого исследования опубликованы 4 печатные работы, из них 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности и отрасли наук.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация изложена на 115 страницах машинописного текста и состоит из «Введения», «Обзора литературы», «Объектов и методов исследования», «Результатов и обсуждения», «Заключения», «Выводов», «Списка литературы», «Приложения». В работе представлено 3 таблицы, 24 рисунка и 18 приложений. Список литературы включает 171 источник (из них 139 на иностранном языке).

Благодарности. Автор выражает свою искреннюю благодарность научному руководителю: профессору, д.б.н. Надежде Владимировне Верховцевой за всестороннюю помощь и поддержку, научное руководство в выполнение данной работы, обсуждение и анализе результатов. Автор выражает благодарность заведующему кафедры агрохимии и биохимии растений, факультета почвоведения

МГУ им. Ломоносова д.б.н. Владимиру Аркадьевичу Романенкову, а также сотрудникам кафедры агрохимии и биохимии растений за помощь в освоении методик, анализу результатов и рекомендациям по улучшению диссертационной работы. Автор чрезвычайно признателен к.б.н., с.н.с. учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ Евгению Никитичу Кубареву за помощь в постановке и проведения полевого опыта с картофелем. Автор выражает признательность к.б.н., заведующей лабораторией фитонанотехнологий ИФР РАН Венжик Юлии Валерьевне и к.б.н., с.н.с. Дерябину Александру Николаевичу; к. б. н., научному сотруднику института биохимии им. А.Н. Баха Федотовой Татьяне Анатольевне за помощь в проведении исследований; заведующей лабораторией технологии модификации крахмала, ВНИИК Лидии Борисовне Кузиной, а также рабочему коллективу лаборатории за оказанную в ходе исследований помощь.

Основное содержание работы

Глава 1. Физиолого-биохимические особенности *Solanum tuberosum* L. при агрохимической поддержке (обзор литературы)

В первой главе приведены сведения об объекте исследования – картофеле сорта Удача. Помимо этого, в главе обобщены результаты отечественных и зарубежных исследований по антиоксидантным свойствам картофеля, а также влияния гуминовых препаратов на эти свойства. Охарактеризован стандартный показатель картофеля – крахмал, а также его фракции, в том числе и резистентные. Рассмотрена возможность гуминовых препаратов к усилению антиоксидантной активности клубней.

Глава 2. Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили клубни картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Удача.

Полевой опыт с картофелем был заложен на базе учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково» в 2019, 2021 и 2022 гг. Предшественником в 2018-ом году был незанятый пар, после чего с 2019 по 2022 на поле выращивался картофель. Посадку проводили в конце второй декады мая, уборку в первой декаде сентября. Перед посадкой клубни обрабатывали

средствами защиты картофеля от проволочника (*Elateridae*). Каждая делянка была размером 6 м², по 32 куста на каждой. Дополнительный полив в течение вегетационного периода не осуществлялся.

Расположение вариантов делянок рандомизированное. Каждый вариант опыта был заложен в трёхкратной повторности.

Схема полевого опыта:

- 1 – контроль, фон – N32P32K32 (в рисунках и таблицах 1NPK);
- 2 – фон + N32P32K32 (в рисунках и таблицах 2NPK);
- 3 – фон + N32P32K32+K32 (в рисунках и таблицах 2NPK + K);
- 4 – фон + 3 л/га препарата Грин-ПИКъ Гумистар универсальный - ГПГУ (в рисунках и таблицах 1NPK + Гумистар);
- 5 – фон + N32P32K32 +3 л/га ГПГУ (в рисунках и таблицах 2NPK + Гумистар).

В 2021 и 2022 году было добавлено ещё два варианта:

- 6 – фон + 3 л/га препарата БИО комплекс БИО гумат - БКБГ (в рисунках и таблицах 1NPK + БиоГумат);
- 7 – фон + N32P32K32 +3 л/га БКБГ (в рисунках и таблицах 2NPK + БиоГумат).

Создание фона проводилось перед посадкой с использованием нитроаммофоски в дозе N32P32K32. Это же удобрение было использовано для вариантов опыта с повышенным минеральным фоном, посредством удвоения начальной дозы (вариант 2).

Дополнительное калийное удобрение вносили в виде K₂SO₄ в день закладки полевого опыта (вариант 3).

ГП применяли дважды, по 1,5 л/га препарата, с разведением в 400 раз, в середине и в конце фазы цветения. На варианты с 1-ого по 3-ий, для уравнивания по объёму поступившей влаги в эти же сроки вносили такой же объём воды.

Анализ почвы. Гумус в почвенных образцах определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-84; калий - на пламенном фотометре LEKI FP640; фосфор - по методу Кирсанова (Минеев, 2001). рН KCl - по ГОСТ 26483-85, Нг - по методу Каппена (ГОСТ 26212-91).

Свежие клубни картофеля. Товарность клубней определялась вручную в соответствии с принятым в РФ ГОСТ Р 51808-2001 как для среднеспелого картофеля первого класса. В сырой биомассе определяли содержание витамина С по методу Мурри (Минеев, 2001) и содержание нитратов ионометрически (Дурынина, Егоров, 1998).

Фракционный состав крахмала картофеля определяли по запатентованному методу, разработанному в исследовательском центре картофеля имени А. Г. Лорха (Патент RU 2787051 C1).

Для следующих анализов образцы сырой биомассы клубней фиксировали 10 минут при температуре 90 °С в термостате, высушивали до воздушно - сухого состояния в термостате при 40 °С и использовали для дальнейших анализов.

Фиксированные образцы клубней. Сухие образцы клубней озолили в серной кислоте по методу Гинзбург (Минеев, 2001). В вытяжках определяли содержание фосфора колориметрическим методом с окраской по Дениже; калия пламенно-фотометрическим методом; общего азота с помощью метода отгона аммиака в аппарате микрокельдаля в системе для программируемой дистилляции Vapodest 30 и белкового азота по методу Плешкова (Минеев, 2001).

АО активность в сухих клубнях картофеля определяли по их способности восстанавливать стабильный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (далее ДФПГ-тест) (Mensor, 2001).

АО активность гуминовых препаратов определяли в институте биохимии им. А.Н. Баха, с помощью метода тестирования АО активности *in vitro* по отношению к катион-радикалу 2,2'-азино-бис-3-этилбензтиазолин сульфонату – АБТС (Re, 1999).

Погодные условия. Метеорологические данные за 2019, 2021, 2022 год были получены с метеостанции, расположенной на территории учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково» (УОПЭЦ «Чашниково»). Средние многолетние данные метеоусловий были взяты из показаний гидрометцентра России (meteoinfo.ru). На базе полученных данных были посчитаны гидротермические коэффициенты (ГТК) (Селянинов, 1958)

Статистическая обработка данных. Полученные результаты обрабатывали с помощью пакета Excel (погодные условия) и программы STATISTICA 10. В ходе

статистической обработки были применены методы описательной статистики, такие как: двухфакторный дисперсионный анализ и параметрический корреляционный анализ данных. На рисунках дисперсионного анализа представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Результаты корреляционного анализа представлены в таблицах и на трехмерных тепловых графиках. Достоверность различий дисперсий проводили по f-тесту Фишера (с интервалом достоверности в 95%), корреляционных анализов по критерию Пирсона (с интервалами достоверности в 90, 95, 99%). Также был использован метод главных компонент (МГК) и проведён анализ с использованием четырёх наиболее влиятельных компонент. К полученным результатам был применён алгоритм итерационного метода с использованием частных наименьших квадратов (алгоритм NIPALS), для выявления вариантов с наибольшим влиянием.

Глава 3. Результаты и их обсуждение

3.1. Погодные условия. По данным метеостанции УОПЭЦ Чашниково (рис.1) были установлены следующие гидротермические коэффициенты (ГТК), в

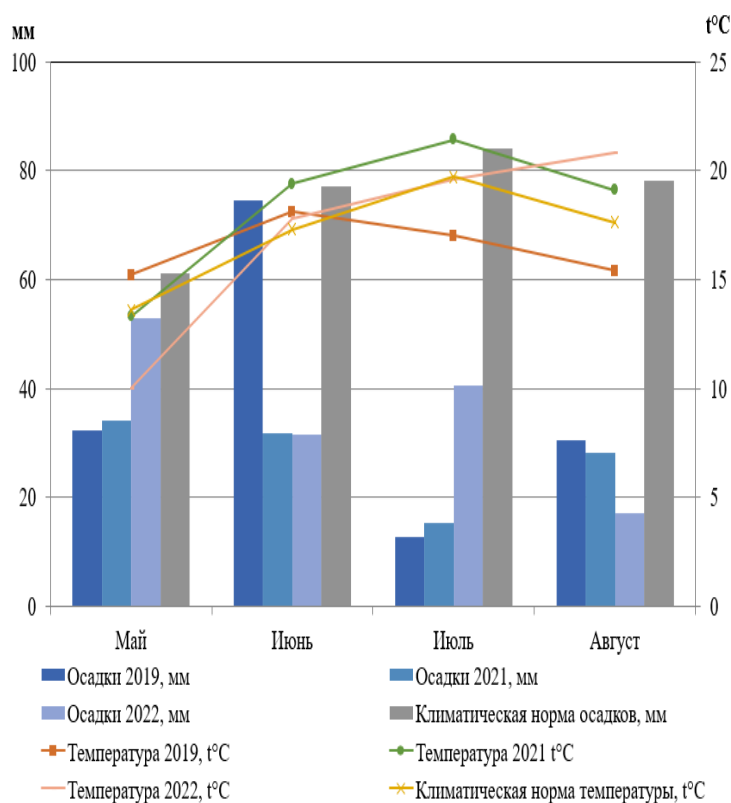


Рисунок 1. Погодные условия вегетационных периодов за 3 года полевых исследований.

соответствии с которыми вегетационные периоды выращивания картофеля были классифицированы следующим образом:

2019 = ГТК 0,762 – засушливый вегетационный период.

2021 = ГТК 0,512 – засуха.

2022 = ГТК 0,736 – засушливый вегетационный период.

За все 3 года полевого опыта наблюдалась нехватка осадков по сравнению с

климатической нормой характерной для Московской области. При этом сумма активных температур, в целом, соответствовала установленным многолетним нормам и за период полевого опыта не выделялась аномальными показателями.

В 2019 году, несмотря на достаточное увлажнение в июне, в остальных месяцах наблюдалась нехватка осадков, больше всего проявившая себя в июле.

2021 год выдался наименее благоприятным и засушливым для исследования, что в целом соответствует данным «доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год», от РОСГИДРОМЕДА, в котором отмечалась значительная нехватка осадков на территории Московской области.

2022 год был более щадящим по сравнению с предыдущим – однако ни в один из месяцев на территории УОПЭЦ Чашниково не было зафиксировано выпадение нормы осадков. Единственный месяц, в котором количество осадков приблизилось к ожидаемым показателями – в мае, во время предпосевной обработки и посадки картофеля.

Общепринятое мнение в агрохимических исследованиях состоит в том, что

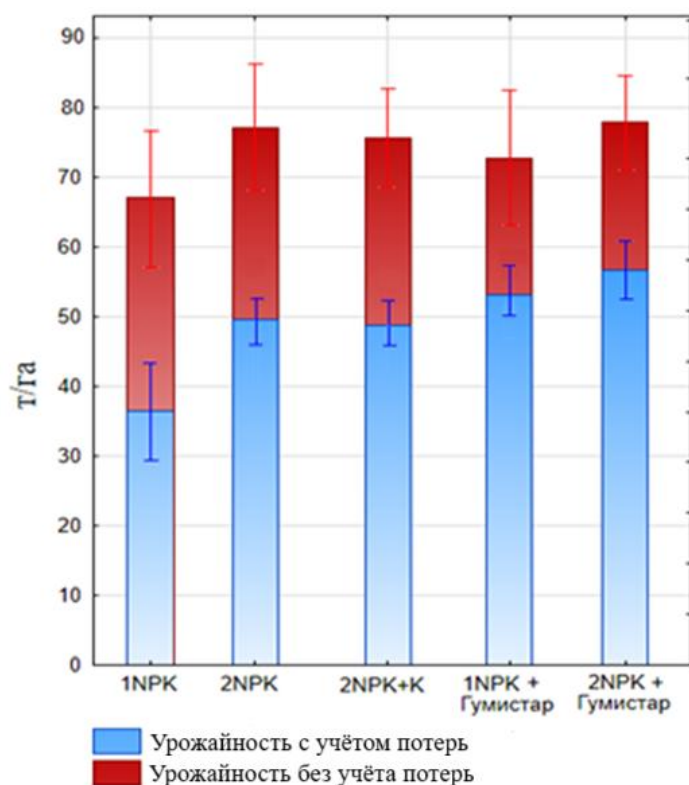


Рисунок 2. Данные по урожайности картофеля в 2019 году. Здесь и далее усики разброса отображают на графике стандартное отклонение.

урожайность сельскохозяйственных культур является интегральным показателем исследований (Young, Ros, Vries, 2021), особенно в связи с вариабельностью погодных изменений. С учетом изменений погодного режима в течение трех лет наблюдений нашего исследования рассмотрим этот совокупный показатель.

3.2. Урожайность. Несмотря на недостаточное увлажнение, в 2019 вегетационном периоде (рис. 1) урожайность картофеля для хозяйства была богатой

(рис.2). Наибольший прирост урожайности при этом обеспечили варианты 2NPK и 2NPK + Гумистар – 14,6 и 15,8 %, соответственно для общей урожайности и товарных клубней – эти варианты также достоверно различались от контроля по НСР_{0,05}. Стоит также выделить вариант 1NPK+Гумистар, который пусть и не обеспечил столь же высокого прироста нетоварного картофеля, но продемонстрировал значительное увеличение выхода товарной фракции продукции на 46,2%.

Таблица 1. Урожайность и ее изменения, относительно контроля в 2019 году.

Вариант опыта	Без учёта потерь			С учётом потерь		
	Урожайность	Прибавка урожайности		Урожайность	Прибавка урожайности	
		т/га	%		т/га	%
1NPK	67,2	-	-	36,4	-	-
2NPK	77,0	9,8	14,6	49,6	13,2	36,2
2NPK + К	75,7	8,5	12,6	51,2	14,8	40,7
1NPK + Гумистар	72,8	5,6	8,3	53,2	16,8	46,2
2NPK + Гумистар	77,8	10,7	15,8	56,7	20,3	55,8

НСР_{0,05} без учёта потерь = 8,7 т/га. НСР_{0,05} с учётом потерь = 3,54 т/га.

Стоит также выделить вариант 1NPK+Гумистар (табл. 1), который пусть и не обеспечил столь же высокого прироста нетоварного картофеля, но продемонстрировал значительное увеличение выхода товарной фракции продукции

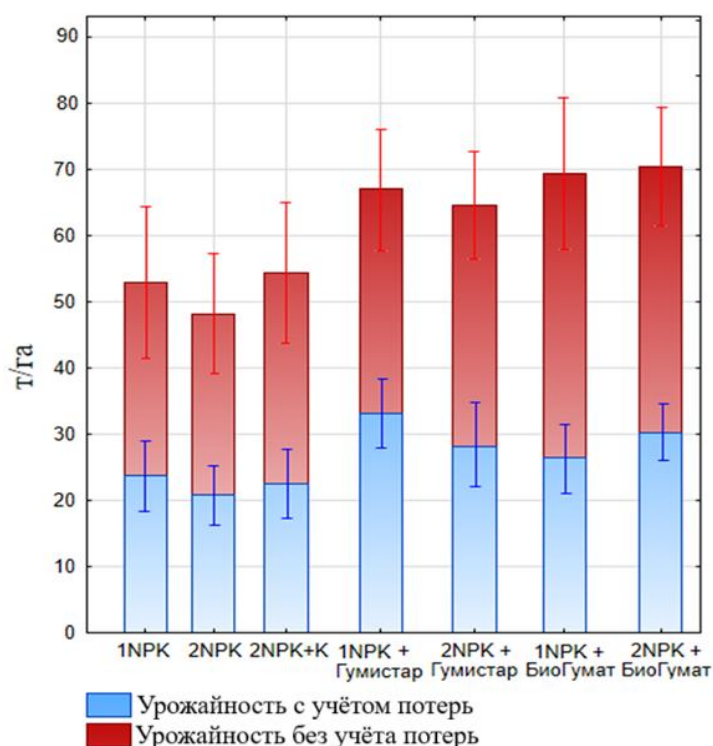


Рисунок 3. Данные по урожайности в 2021 году.

на 46,2%. При этом оба варианта с применением ГП достоверно отличались от вариантов с минеральными удобрениями, за исключением 2NPK + К и 1NPK + Гумистар.

Следующий 2021 год (рис.3) из-за погодных условий (засуха) был значительно скуднее – существенные потери в этот год пришлось на клубни нетоварного размера, хотя и в целом урожайность была низкой.

Впрочем, даже в

подобных условиях применение ГП способствовало повышенному выходу товарного картофеля на фоне классических минеральных удобрений. Так, варианты с ГП (табл. 2) обеспечили прирост урожайности без учёта потерь от 20,3 до 30,9 % - при этом наибольшего значения достиг вариант с БиоГуматом на повышенном минеральном фоне.

Таблица 2. Урожайность и ее изменения, относительно контроля в 2021 году.

Вариант опыта	Без учёта потерь			С учётом потерь		
	Урожайность	Прибавка урожайности		Урожайность	Прибавка урожайности	
		т/га	%		т/га	%
1NPK	53,8	-	-	23,7	-	-
2NPK	48,2	-5,6	-10,4	20,8	-2,9	-12,2
2NPK + K	54,5	0,7	1,3	22,5	-1,3	-5,1
1NPK + Гумистар	67,1	13,3	24,7	33,1	9,4	39,7
2NPK + Гумистар	64,7	10,9	20,3	28,1	4,3	18,6
1NPK + БиоГумат	65,9	12,1	22,5	26,5	2,7	11,8
2NPK + БиоГумат	70,4	16,5	30,9	30,3	6,6	27,8

$HC_{0,05}$ без учёта потерь = 10,6 т/га. $HC_{0,05}$ с учётом потерь = 5,8 т/га.

В тоже время, при анализе товарной части урожайности наилучшие показатели наблюдались на варианте с использованием Гумистара на низком минеральном фоне – прирост урожайности достиг 39,7%, что значительно превосходило даже один вариант с использованием другого ГП.

В 2022-ом (рис.4) году, несмотря на схожие по ГТК с 2019-ым годом

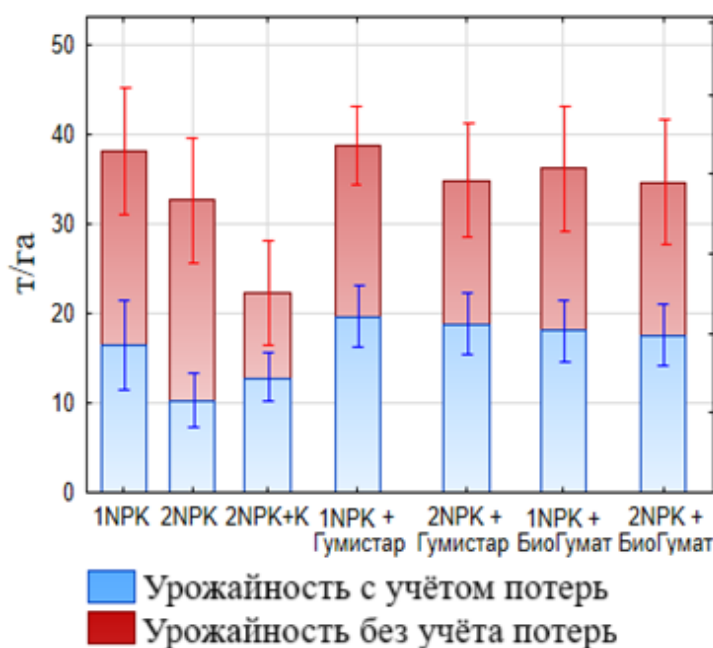


Рисунок 4. Данные по урожайности в 2022 году.

погодные условия, выход общего урожая и масса товарных клубней была значительно ниже. Предположительно, это было связано с менее благоприятным распределением осадков в отдельные месяцы вегетационного периода по сравнению с 2019-ым годом. Так, в 2019-ом году, несмотря на достаточное увлажнение в июне, в дальнейшие месяцы

вегетации осадков было недостаточно, но не критично для формирования клубней. И температура не превышала климатическую норму.

Таблица 3. Урожайность и его изменения, относительно контроля в 2022 году.

Вариант опыта	Без учёта потерь			С учётом потерь		
	Урожайность	Прибавка урожайности		Урожайность	Прибавка урожайности	
		т/га	%		т/га	%
1NPK	38,2	-	-	16,5	-	-
2NPK	32,7	-5,5	-14,4	10,2	-6,3	-38,2
2NPK + K	22,4	-15,8	-41,3	12,7	-3,8	-23,0
1NPK + Гумистар	38,7	0,5	1,3	19,7	3,2	19,4
2NPK + Гумистар	34,8	-3,4	-8,9	18,7	2,2	13,3
1NPK + БиоГумат	36,2	-2,0	-5,2	18,2	1,7	10,3
2NPK + БиоГумат	34,7	-3,5	-9,1	17,5	1,0	6,1

$HC_{0,05}$ без учёта потерь = 6,1 т/га. $HC_{0,05}$ с учётом потерь = 3,1 т/га.

В 2022 году осадков в июне было мало, а температура в августе существенно превышала климатическую норму. Несмотря на это варианты с использованием ГП показали себя лучше остальных (табл. 3). Отдельно стоит выделить вариант на низком минеральном фоне с применением Гумистара, на котором урожайность была более высокая, как по общему сбору (+1,3 % относительно контроля), так и по выходу товарного картофеля (+19,4% относительно контроля). Препараты, полученные из разных органических субстратов, были близки по их влиянию на выход товарного картофеля.

Таким образом, по урожайности можно сделать следующий общий вывод: фолиарная обработка ГП Гумистар Универсальный и БиоГумат на фоне минеральных удобрений достоверно повышала выход товарного картофеля как в неблагоприятный вегетационный период (засуха) для выращивания растений, так и в более комфортные для растения 2019 и 2022 года.

Однако, в нашем исследовании, было важным разобраться как при этом менялось качество получаемой продукции, в особенности по таким малоизученным показателям как РК и АО свойства клубней.

3.3. Изменение показателей качества клубней картофеля.

Корреляционный анализ. Как известно, картофель относится к калиелюбивым культурам (Bian et al., 2022), поэтому обсуждение результатов начнем именно с этого элемента и корреляционных взаимосвязей с ним как других элементов, так и

качественных характеристик клубней, которые были получены в ходе исследования.

Определение содержания калия в продукции показало повышение количества этого элемента в клубнях картофеля при дополнительном внесении калия (в виде K_2SO_4), а корреляционный анализ выявил положительную

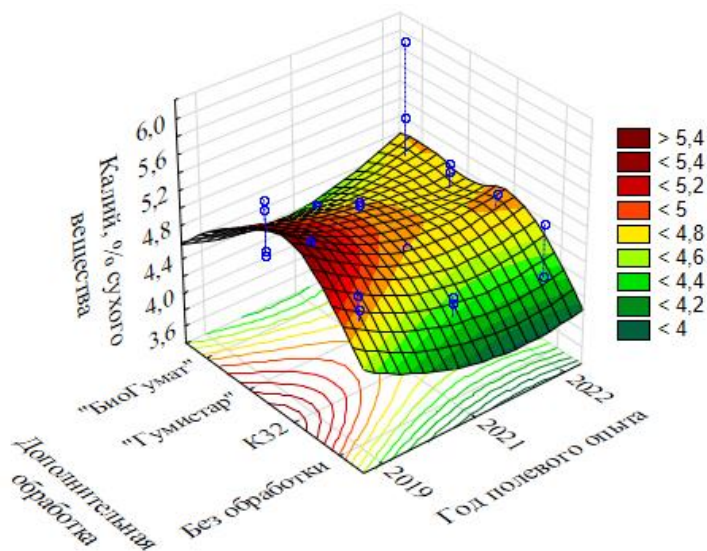


Рисунок 5. Влияние дополнительных обработок на содержание калия (% сухого вещества) по годам.

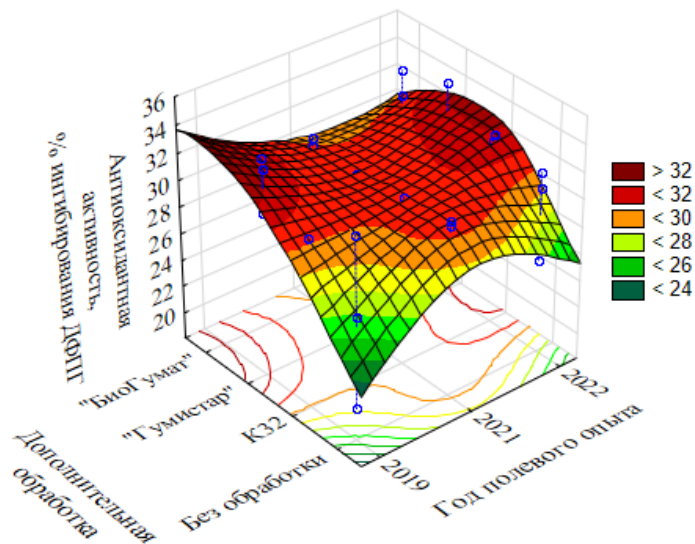


Рисунок 6. Влияние дополнительных обработок на антиоксидантную активность (% степени ингибирования ДФПГ) по годам.

стороны, при рассмотрении изменений этих значений по годам исследования отметили, что в неблагоприятный год по погодным условиям (2021 г., ГТК = 0,512, зона сухого земледелия, рис. 1) в сравнении с 2019 и 2022, АО активность клубней

взаимосвязь этого повышения также на вариантах с ГП. Полученные корреляционные зависимости по годам – +0,48; +0,41 и +0,43 в 2019, 2021 и 2022

г.г., соответственно. Наглядно это отражено на цветовой гамме рисунка корреляционной матрицы (рис.5).

Расчет коэффициентов корреляции ($r = +0,64$; $-0,33$; $+0,36$ для 2019, 2021 и 2022 г.г., соответственно) и анализ матрицы (рис. 6) показал, что и АО активность клубней на вариантах с ГП выше по сравнению с вариантами без их применения. Кажется, что это не подтверждает наше предположению, что в более благоприятных условиях АО активность растения бывает ниже. Однако, с другой

на вариантах без дополнительной обработки значительно выше. Следовательно, при засушливых условиях ГП помогают растениям переживать окислительный стресс.

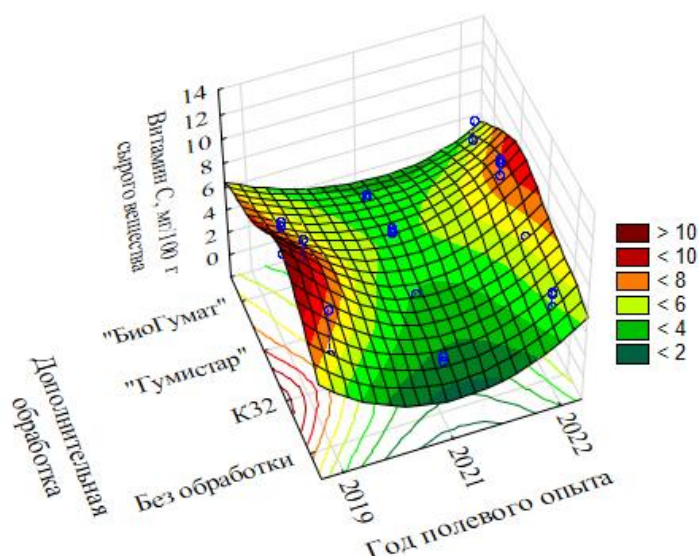


Рисунок 7. Влияние дополнительных обработок на содержание витамина С (мг/100 г сырого вещества) в клубнях картофеля по годам исследования.

содержание, в 2019 и 2022 – количество АСК значительно выше. При этом в 2019-ом году на рисунке наблюдается смещение в сторону калия (пик), в 2022-ом к Гумистару (пик). Можно уже на этом уровне обсуждения, указывать на то, что дополнительное применение калия при посадке оказывает положительное влияние на содержание АСК в клубнях картофеля в засушливый вегетационный период выращивания.

Влияние калия в данном процессе может объясняться непосредственной ролью этого элемента в процессе фотосинтеза (открытие и закрытие устьиц и транспорте продуктов фотосинтеза – моносахаридов по растительному организму). Здесь необходимо напомнить, что глюкоза – это ключевой предшественник синтеза АСК (Barata-Soares et al., 2004). Поэтому не удивительна высокая степень корреляционной зависимости между содержанием калия в клубнях картофеля и содержанием АСК в неблагоприятный засушливый год исследования 2021 ($r = +0,62$). В совокупности за три года исследования корреляционные зависимости между калием и содержанием АСК остаются на высоком положительном уровне ($r = +0,57$), как и суммарная АО активность ($r = +0,45$).

Наглядно это видно на следующем рисунке (рис. 7), отражающем влияние дополнительного внесения калия (K_2SO_4 в 2019) и фолиарной обработки Гумистаром (в 2022) на содержание витамина С (аскорбиновой кислоты, АСК). На этом рисунке отчётливо видна связь погодных условий вегетационного периода и АСК: в 2021 – наименьшее

Продолжая рассмотрение корреляционных зависимостей калия, остановимся на взаимосвязи содержания этого элемента и крахмала в продукции. Учитывали влияние калия на активацию фермента крахмалсинтазы, непосредственно участвующего в наращивании полисахаридной цепи (Cui, Guillaume, 2021), однако, рассмотрение этой корреляционной зависимости как в неблагоприятный 2021 год ($r = +0,28$ и $-0,02$ для общего и резистентного крахмала, соответственно), так и за три года исследования ($r = -0,07$ и $-0,06$ для общего и резистентного полисахаридного вещества) не показало значимых положительных взаимосвязей между содержанием калия и содержанием крахмала, хотя два других вегетационных периода были удовлетворительны для выращивания картофеля. Высокая положительная корреляция между содержанием крахмала отмечена только с содержанием РК, как в неблагоприятный год выращивания ($r = +0,87$), так и в остальные годы наблюдения ($r = +0,83$ и $+0,95$, соответственно для 2019 и 2022). Было ожидаемо, что и за три года исследования именно эта корреляция – содержание РК и общего его

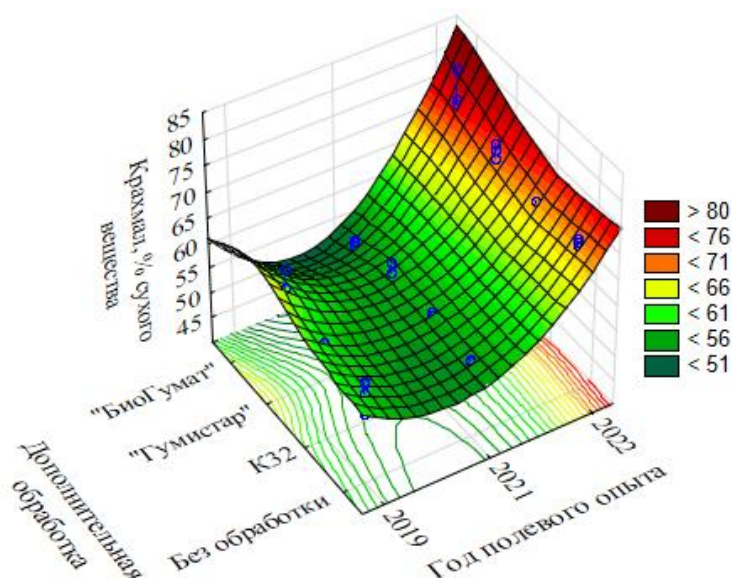


Рисунок 8. Влияние дополнительных обработок на содержание крахмала (% сухого вещества) по годам исследования.

была выявлена высокая положительная зависимость между содержанием крахмала и применением ГП в благоприятные года выращивания - $+0,69$ и $+0,68$ соответственно для 2019 и 2022 (рис. 8). При этом наблюдалась положительная зависимость ($r = +0,67$) при анализе совокупного объёма данных за 3 года по критерию погодных условий. Чтобы разобраться в этой зависимости, рассмотрели

содержания - показала высокие положительные значения ($r = +0,86$). Такая тесная положительная взаимосвязь показателей позволяет утверждать, что количество РК в наибольшей степени зависит от биосинтеза общего количества крахмала и тех факторов, которые влияют на этот процесс.

По анализу данных корреляционных зависимостей

какие высокие значения корреляции были показаны для позиции АО активность (фолиарное применение гумистара) с другими факторами нашего исследования. Так, значимые положительные коэффициенты корреляции, выявленные за три года, показали взаимосвязь фосфора и калия с содержанием общего азота ($r = +0,49$ и $+0,46$, соответственно), а калия также с содержанием азота белкового ($r = +0,40$). Высокая положительная корреляция содержания калия и фосфора была отмечена как в благоприятный 2019 год исследования ($r = +0,92$), так и в неблагоприятный засушливый год ($r = +0,85$).

В контексте обсуждения взаимосвязи основных питательных макроэлементов логичны и высокие положительные корреляции, полученные для содержания фосфора и такого важного показателя качества клубней, как выход товарного картофеля. Положительные корреляции были обнаружены между выходом товарного картофеля и содержанием азота, как общего, так и белкового ($r = +0,58$ и $+0,53$, соответственно), а высокие отрицательные показаны для погодных условий вегетационных периодов наблюдения и выходом товарного картофеля ($r = -0,86$).

Корреляционный анализ также показал, что наибольшее влияние на химический состав клубней и выход товарного урожая оказала погода, если оценивать совокупность данных за все три года. Однако, если в ходе анализа рассматривать года по отдельности, данные будут значительно отличаться для каждого года.

Так, в 2019 году показано, что доза NPK оказала значительное влияние на содержание азота белкового – это сильная положительная корреляция ($r = +0,81$), в то время как дополнительная обработка ГП существеннее всего влияла на содержание фосфора ($r = +0,57$), АО активность ($r = +0,64$) и содержание общего крахмала ($r = +0,69$) – все три корреляции положительные, средней силы с высоким уровнем значимости. Также отмечено, что корреляционный анализ выявил влияние ГП на выход товарного картофеля ($r = +0,51, +0,53, +0,60$ для 2019, 2021, 2022 года, соответственно).

3.4. Анализ методом главных компонент (МГК). По результатам проведённого анализа было выявлено четыре главные компоненты (ГК) среди полученных данных для каждого исследуемого года. Выделенные компоненты

описывают 96,4; 84,3, 94,4% вариабельности данных, полученных за 2019, 2021 и 2022 год, соответственно. (табл. 4).

Для каждого года исследования было выделено одинаковое число ГК. Анализ состава ГК 1 показал, что данные за все три года включали в себя содержание фосфора и витамина С – элементов энергетического обмена и защиты растений. Анализ также отнёс такие показатели к 1-ой компоненте как калий и товарный картофель за 2019 и 2021 годы исследования, АО активность за 2019 и 2021 год, белкового азота за 2021 и 2022.

Таблица 4. Взаимосвязь характеристик клубней с ГК, по годам и результаты анализа NIPALS.

Компонента	Год исследования		
	2019	2021	2022
Компонента 1	44,22% Антиоксидантная активность, витамин С, фосфор, калий, товарный картофель, нитраты	40,20% Витамин С, фосфор, калий, товарный картофель, белковый азот	49,71% Антиоксидантная активность, витамин С, фосфор, белковый азот, азот общий, нитраты
Компонента 2	27,87% Крахмал, РК, белковый азот	20,94% Крахмал, РК	29,24% Крахмал, РК
Компонента 3	16,22% -	14,56% Азот общий, нитраты	9,45% Товарный картофель
Компонента 4	8,13% Азот общий	8,71% Антиоксидантная активность	5,98% Калий
Результат анализа NIPALS	1NPK + Гумистар	2NPK, 1NPK + Гумистар	1NPK + Гумистар; 2NPK, + БиоГумат

«%» – то, насколько компонента описывает модель в пределах выбранного года. «—» обозначает, что изучаемые показатели хоть и имеют отношение к этой компоненте, но связи с другими компонентами сильнее.

В свою очередь, к ГК 2 явно отнесены элементы, связанные с биосинтезом крахмала, – во всех трёх вариантах именно к этой компоненте относится как крахмал, так и его фракция РК.

Показано также, что в 2019 и 2022 году, с ГТК = 0,762 и 0,736, соответственно, АО активность и нитраты были выделены в первую компоненту, в то время как в 2021 году, который характеризовался засухой (ГТК = 0,512), они были отнесены в 4-ю и 3-ю, соответственно, что указывает на различия в метаболических процессах, происходящих в клубнях картофеля в разных по вегетационным периодам годам.

Стоит также отметить, что в 2019 году нитраты могут быть отнесены к 3-й компоненте – отношения к первой компоненте равны $r = -0,65$, а к третьей $r = -0,62$. Поскольку корреляционные отношения примерно равны, но первая компонента описывает больший процент модели, корректнее отнести показатель содержания нитратов к первой компоненте.

В целом, показатели по годам исследования для трёх разных вегетационных периодов на одном поле разделены на разные компоненты, что может говорить о различиях в условиях выращивания культуры по годам.

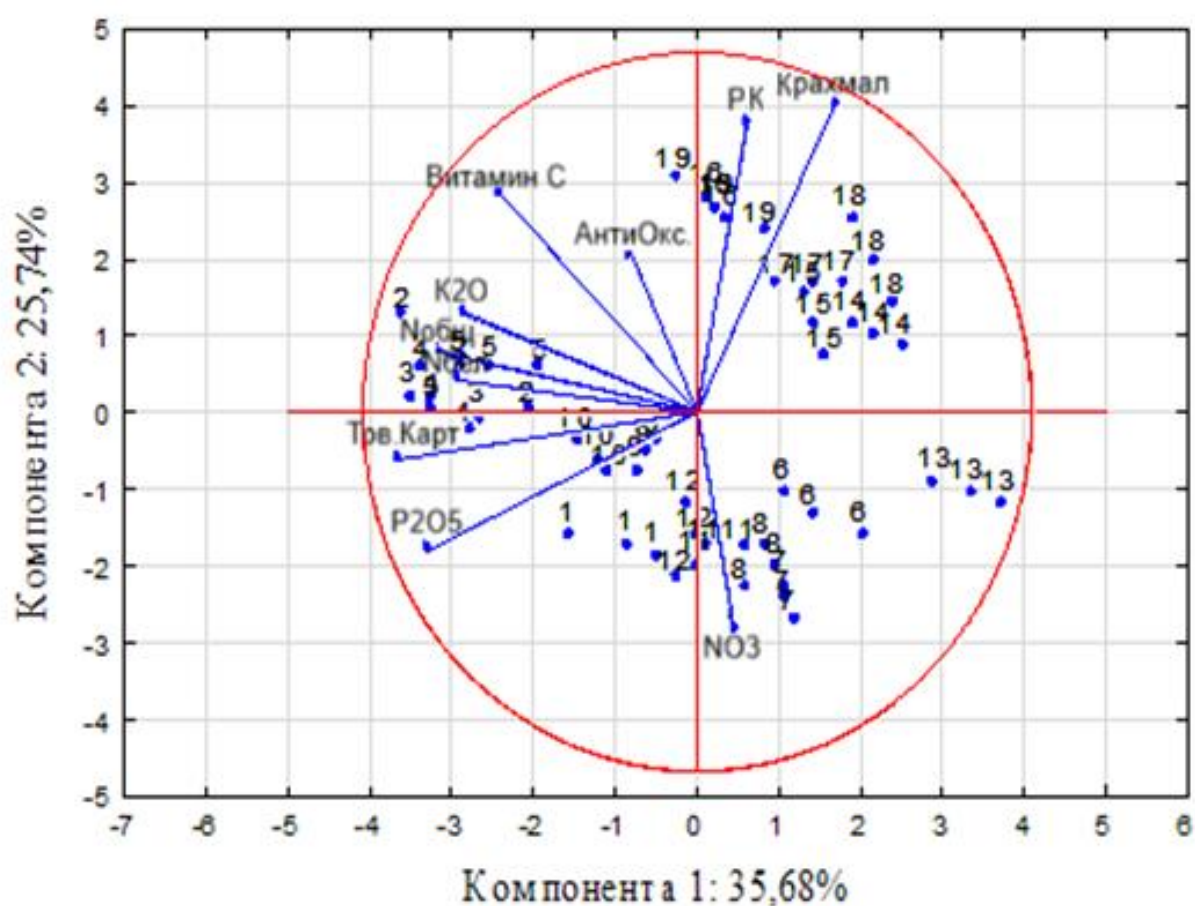


Рисунок 9. Проекция наблюдений и агрохимических показателей на факторную плоскость компоненты 1 и 2.

Результаты анализа МГК позволили сгруппировать полученные варианты опыта по показателям за 3 года исследования – на графике проекции данных по отношению к 1-ой и 2-ой компоненте (рис. 9) (матрица построена по совокупному объёму данных за 3 года исследования) можно выделить 3 группы, соотносящиеся по годам. Для 2019 – точки с 1 по 5, для 2021 с 6 до 12 и для 2022 с 13 по 19. При этом, в 2019 и 2022 год контрольные точки (1 и 13, соответственно) выпадают из общей кластеризации. Данные за 2019 год лучше всего описываются первой компонентой, как и такие показатели как: содержание витамина С, калия, фосфора, азота общего и белкового. В то же время кластеры 2021 больше связаны со второй компонентой и показателями нитратов, а 2022 имеет примерно одинаковое отношение между компонентами и характеризуется показателями крахмала и его резистентной фракции.

Наличие корреляционной матрицы, использованной в МГК, позволило применить алгоритм NIPALS для 4-х наиболее значимых компонент. С помощью данного математического метода был проведён анализ для классифицирующих показателей и выявлены варианты опыта, оказавшие наибольшее влияние на качественные показатели клубней картофеля. Таким образом, в 2019 году наиболее перспективным вариантом, был опыт с использованием Гумистара на низком минеральном фоне (совокупная сила критерия = 0,96). В 2021 году по результатам этого же анализа наиболее эффективным оказался 2-ой вариант опыта – повышенный минеральный фон без использования дополнительных удобрений (совокупная сила критерия = 0,91), однако вторым по эффекту был вариант с 1NPK + Гумистар на низком минеральном фоне (совокупная сила критерия = 0,89), что позволило предположить, если не равнозначность, то близость влияния этих вариантов опыта с точки зрения оказанного положительного влияния в засушливый вегетационный период. За последний год исследования было выделено 2 перспективных варианта, оказавших наибольшее влияние. При этом лучшим был вариант Гумистар на низком минеральном фоне (совокупная сила критерия = 0,922). Вторым вариантом по эффективности за этот год был вариант опыта с использованием БиоГумата на высоком минеральном фоне (совокупная сила критерия = 0,917).

Заключение

Таким образом, применение ГП Гумистар Универсальный и БиоГумат, на фоне минеральных удобрений, не только достоверно повышало выход товарного картофеля относительно как контрольных вариантов, так и вариантов с применением дополнительного внесения минеральных удобрений, но и положительно сказывалось на биохимическом составе клубней.

В первую очередь, стоит акцентировать внимание на антиоксидантной активности – в вариантах с использованием изучаемых препаратов возрастала как устойчивость к свободным радикалам кислорода (ДФПГ-тест), так и наблюдалось увеличение количества первичного антиоксиданта – витамина С – в клубнях, обработанных ГП растений, по сравнению с контрольными вариантами. Следовательно, это не только способ повысить пищевую ценность продукции, но и увеличение устойчивости клубней к инфицированию, а также расширение периода их лёжкости при хранении, что, впрочем, требует дальнейшего изучения.

Прибавки непосредственно резистентной фракции крахмала не наблюдалось в нашем исследовании. Рост резистентного крахмала происходит вместе с количеством общего крахмала, что, впрочем, также представляет ценность как для диетического питания, так и для пищевой промышленности производства питательных компонентов из картофеля.

Помимо этого, было установлено положительное влияние дополнительного внесения K_2SO_4 на содержание витамина С в клубнях картофеля в неблагоприятный вегетационный период (засуха).

Таким образом, полученные данные демонстрируют влияние ГП на урожайность, выход товарного картофеля, антиоксидантные свойства и содержание фракций крахмала клубней картофеля. Вместе с тем, результаты этого исследования представляют не меньший интерес и в прикладном отношении, так как могут быть использованы для повышения устойчивости культуры к стрессовым ситуациям в период выращивания, что положительно сказывается на выход товарного картофеля. Эти результаты могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве для повышения продуктивности растений и увеличению их питательной ценности для населения.

Выводы

1. Фолиарная обработка ГП Гумистар Универсальный и БиоГумат на фоне минеральных удобрений значимо повышала выход товарного картофеля в неблагоприятный год выращивания растений (засуха). При этом с урожайностью высоко положительно коррелировало его качество по количеству белкового азота ($r = +0,66$), фосфора ($r = +0,65$), калия ($r = +0,40$) и АСК ($r = +0,67$).

Двукратное увеличение уровня минерального питания (до N64P64K64) в неблагоприятный вегетационный период не привело к повышению выхода товарного картофеля и улучшению показателей его качества, кроме увеличения содержания калия ($r = +0,41$). Такой результат по выходу товарного картофеля был получен и за три года исследования.

2. Дополнительное внесение калийного удобрения (K_2SO_4) оказало положительное влияние на содержание АСК в клубнях картофеля в засушливый вегетационный период выращивания культуры.

3. При фолиарной обработке растений ГП наблюдали значимое повышение АО активности клубней картофеля, даже в 2021, когда в целом в вегетационном периоде была засуха.

4. Установлена высокая положительная зависимость между содержанием крахмала и применения ГП ($r = +0,69$ и $0,68$ для 2019 и 2022, соответственно). Также значимое повышение содержания крахмала и резистентного крахмала наблюдали при благоприятных погодных условиях выращивания картофеля (синтез углеводной части продукции), тогда как в неблагоприятных условиях (засуха) метаболизм растений был направлен на синтез белковых соединений.

5. При применении МГК выделено 4 компоненты, оказывающих влияние на вариабельность полученных экспериментальных данных. Из них наиболее влиятельной оказалась первая компонента, описывающая в любом году исследования показатели фосфора и витамина С, а также вторая компонента, связанная с биосинтезом крахмала.

6. Использование алгоритма NIPALS подтверждает, что наиболее влиятельными вариантами за 3 года исследования были варианты опыта с обработкой культуры ГП.

**Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных для
защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова
по специальности и отрасли наук:**

1. **Кочетков И.М.,** Кубарев Е.Н. Эффективное применение гуминового препарата как способ повышения урожайности и качества картофеля (*Solanum tuberosum* L.) на фоне минеральных удобрений при выращивании на дерново-подзолистой почве // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – № 2. – С. 29-33. EDN: QCIBKX (Импакт-фактор 0,339 (РИНЦ)) (0,46/0,32). Здесь и далее в скобках приведён объём публикации в печатных листах и вклад автора в печатных листах.
2. Верховцева Н.В., Лукьянова М.В., **Кочетков И.М.,** Кубарев Е.Н. Оценка воздействия препаратов с физиологически активными свойствами на антиоксидантные свойства картофеля *Solanum tuberosum* L. (на примере аскорбиновой кислоты) // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2023. – Т. 78, № 2. – С. 56-62. EDN: AFALRF (Импакт-фактор 0,775 (РИНЦ)). [Verkhovtseva N.V., Lukyanova M.V., Kochetkov I.M., Kubarev E. N. The Effect of Physiologically Active Preparations on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Antioxidant Properties Exemplified by Ascorbic Acid // Moscow University Soil Science Bulletin. – 2023. – Vol. 78, №. 2 – P. 122–128]. Вклад автора в печатных листах: (0,59/0,38).
3. **Кочетков И.М.,** Верховцева Н.В. Антиоксидантные свойства клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.) и влияние на них гуминовых веществ // Проблемы агрохимии и экологии. – 2024. – № 3. – С. 53-59. EDN: RHGRBH (Импакт-фактор 0,339 (РИНЦ)). (0,85/0,68)
4. **Кочетков И.М.,** Верховцева Н.В. Физиологический отклик растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) на фолиарные обработки гуминовыми препаратами при формировании урожая, его качественных показателей и антиоксидантной активности клубней // Проблемы агрохимии и экологии. – 2025. – № 2. – С. 4-12. DOI:10.26178/AE.2025.47.23.001 (Импакт-фактор 0,339 (РИНЦ)). (0,75/0,68)

Список сокращений

АО – Антиоксиданты

ГК – Главная компонента

ГП – Гуминовые препараты

ГТК – Гидротермический коэффициент Селянинова

ДФПГ – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил

МГК – Метод главных компонент

РК – Резистентный крахмал