

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Лукьянова Марина Владимировна

Оценка воздействия препаратов с физиологически активными свойствами на рост и развитие *Solanum tuberosum* L. и *Hordeum vulgare* L. в разных агроэкологических условиях

Специальность 06.01.04 – «Агрохимия»

Специальность 03.02.08 – «Экология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре агрохимии и биохимии растений
факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова

**Научный
руководитель
(консультант)**

– ***Верховцева Надежда Владимировна***, доктор
биологических наук, профессор

**Официальные
оппоненты**

– ***Титова Вера Ивановна*** – доктор
*сельскохозяйственных наук, профессор; ФГБОУ
ВО «Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия», факультет
почвоведения, кафедра агрохимии и агроэкологии,
заведующая кафедрой*

Семенов Вячеслав Михайлович – доктор
*биологических наук, доцент; ФГБУН «ФИЦ
«Пущинский научный центр биологических
исследований РАН», Институт физико-химических и
биологических проблем почвоведения РАН,
лаборатория почвенных циклов азота и углерода,
главный научный сотрудник*

Терехова Вера Александровна – доктор
*биологических наук, доцент; ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени
М.В.Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра
земельных ресурсов и оценки почв, профессор*

Защита диссертации состоится 01 июня 2021 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.03.13 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д.1, стр.12, биологический факультет МГУ, аудитория М–1.

E-mail: nvkostina@mail.ru

Диссертация находится на хранении в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27). С информацией о регистрации участия в защите и с диссертацией в электронном виде можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/360863948/>

Автореферат разослан «29» апреля 2021г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.В. Костина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время одно из направлений развития сельского хозяйства – поиск экологически безопасных способов сокращения затрат на производство продукции без снижения урожайности и качества культур (Vulgari et al., 2015), в том числе за счет уменьшения доз минеральных удобрений (Rockström et al., 2017). Применение физиологически активных препаратов (ФАП) природного происхождения или биостимуляторов может быть вариантом решения поставленных задач. Подобные препараты способствуют повышению продуктивности растений, в сельскохозяйственной практике оказывают биостимулирующее воздействие на систему почва - микроорганизмы - растения (The European Biostimulants Industry Council, 2019; Du Jardin, 2015; Yakhin et al., 2017). В полной мере такая характеристика относится к гуминовым препаратам (ГП), полученным при низкотемпературной физико-механической обработке природных окисленных лигнитов (леонардита). Гидроксильные группы хинонов, фенолов и карбоксильные карбоновых кислот, присутствующие в структурах ГП, обладают физиологической активностью для растений, отвечают за антиоксидантные функции гуминовых кислот (ГК), помогают растениям перенести стресс (de Melo et al., 2016; Якименко, Терехова, 2011). К другим природным препаратам с физиологическими свойствами, которые были выбраны нами для исследования, относятся препараты на основе переработанных (измельченных до ультрадисперсного состояния) слоевищ лишайников. Из фенольных соединений в них большое значение имеет усниновая кислота, которая в достаточно высокой концентрации (1,6–1,7%) содержится в талломах лишайника, является их вторичным метаболитом (Cocchietto, 2002). Гидроксильные группы фенольных колец усниновой кислоты обладают сильными водородными связями и обеспечивают антиоксидантную, антибиотическую активность и стрессоустойчивость и обладают антибиотическими свойствами. Представленная работа основана на комплексном исследовании воздействия двух физиологически активных препаратов природного происхождения при выращивании овощной (картофель) и зерновой (ячмень) культур в различных агроэкологических условиях, что определяет ее актуальность.

Степень разработанности темы исследования. Научное сообщество активно работает над изучением ГП. Подробно рассмотрено их положительное влияние на растения: улучшение показателей всхожести семян (Воронина и др., 2012; Кирдей 2013), роста и развития (Кирдей 2013; Bettoni et al, 2016), увеличение урожайности и продуктивности растений (Хуснетдинова и др., 2018), повышение их устойчивости к стрессам различной природы (Куликова, 2008). В меньшей степени освещено влияние ГП на почвенную биоту. Отмечается

улучшение структурности почвы под действием ГП в результате увеличения прочности почвенных агрегатов из-за изменения численности микроорганизмов, определенных классическим методом посева на плотные питательные среды (Лыхман, 2016). В нашей работе проведено определение состава и численности микробного сообщества почв, подвергнувшегося влиянию ГП, по липидным маркерам мембранных структур клеток, которые определяли методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ–МС).

Публикации о прямом влиянии препаратов из лишайника на свойства растений и микробные сообщества почв в современной литературе встречаются редко (Фандеева, 2014). Предполагается, что основная роль лишайниковых кислот состоит в защитных функциях фенолов против окислительного стресса (Hidalgo et al., 1994), а также в борьбе с рядом бактериальных и протозойных инфекций (Huneck, Yoshimura, 1996). Рассматривается также роль химического ингибитора, которую проявляют одни виды лишайников против других видов в природной конкуренции за распространение в определенном местообитании (Lawrey, 1986). Антибиотические свойства таких соединений используются в разных областях: в медицине, фармацевтике, косметологии и сельском хозяйстве на этапах заготовки и переработки продукции в разных препаратах на основе лишайникового сырья (Аньшакова, 2013; Кершенгольц и др., 2010).

Цель работы: оценка воздействия препаратов с физиологически активными свойствами на рост и развитие овощной (*Solanum tuberosum* L.) и зерновой (*Hordeum vulgare* L.) культур на фоне внесения минерального удобрения в условиях полевого опыта на аллювиальной дерновой (Воронежская обл.) и дерново-подзолистой (Московская обл.) почвах.

Задачи исследования:

1. Оценить влияние гуминового препарата «Life Force» и препарата «Ягель-ДЕТОХ» на урожайность и качество картофеля (*Solanum tuberosum* L.) и ячменя (*Hordeum vulgare* L.), выращенных в различных агроэкологических условиях, на фоне внесения минерального удобрения и без него в условиях полевого опыта.

2. Проанализировать возможность снижения доз минеральных удобрений при выращивании картофеля с использованием гуминового препарата.

3. Определить направленность аэробно-анаэробных процессов, осуществляемых бактериями, и оценить воздействие гуминового препарата и минеральных удобрений на численность и структуру микробного сообщества почв при выращивании картофеля.

4. Сравнить влияние различных агроэкологических условий на продуктивность и качество сельскохозяйственной продукции.

Объекты исследования – ФАП (ГП «Life Force») и препарат на основе лишайника «Ягель-DETOX»), сельскохозяйственные культуры (картофель и ячмень), **предмет исследования** – воздействие исследуемых препаратов на растения и почвенные микроорганизмы.

Научная новизна: впервые представлены результаты влияния гуминового препарата «Life Force» (2017, 2018 гг.) и препарата на основе лишайникового сырья «Ягель-DETOX» (2017 г.) на урожайность и качество картофеля и ячменя, выращенных в различных агроэкологических условиях на фоне внесения минерального удобрения и без него. Впервые при выращивании картофеля определена направленность аэробно-анаэробных бактериальных процессов в почвах агроценозов при использовании гуминовых препаратов и минеральных удобрений путем выделения в структуре сообщества доминантных микробных ассоциаций, определенных методом липидных маркеров.

Теоретическая и практическая значимость работы. Работа представляет исследование воздействия ГП «Life Force» и препарата на основе лишайникового сырья «Ягель-DETOX» на овощную и зерновую сельскохозяйственные культуры, традиционно выращиваемые в европейской части России. Результаты работы расширяют существующие представления о применении физиологически активных препаратов в сельскохозяйственной практике. Полученные результаты могут быть использованы на практике для создания оптимальных условий культивирования картофеля и ячменя в разных агроэкологических условиях.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Применение физиологически активных препаратов оказывало положительное влияние на продуктивность картофеля. Увеличивалась прибавка валового урожая, и отмечалось улучшение фракционного состава урожая картофеля.

2. При совместном использовании физиологически активных препаратов и минеральных удобрений повышалась эффективность применения минеральных удобрений.

3. При выращивании картофеля в условиях Воронежской области в оба года исследования и в Московской области (2018 г.) применение ГП позволило вдвое снизить дозу минеральных удобрений без снижения выхода доли клубней крупной фракции, несмотря на уменьшение валового урожая.

4. Агроэкологические условия оказывали большее воздействие на показатель валового урожая изучаемых сельскохозяйственных культур, чем применение ФАП и минеральных удобрений.

Методология исследования. В рамках выполнения диссертационной работы был реализован комплекс лабораторных, вегетационных и полевых

исследований, включающих в себя стандартизированные традиционные и современные агрохимические и микробиологические методы анализа.

Степень достоверности и апробация работы. О достоверности результатов работы свидетельствует использование современных адекватных методов исследования, которые характеризуются высокой чувствительностью и поддерживаются современным программным обеспечением. Полученные экспериментальные данные обработаны общепринятыми статистическими методами в программах STATISTICA 10 (2011) и Microsoft Office Excel (2016).

Работа апробировалась на международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2017» (Москва, 2017); первой открытой конференции молодых ученых Почвенного института имени В.В. Докучаева «Почвоведение: горизонты будущего» (Москва, 2017); международном форуме «Агрохимия — фактор обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства, его экономичности и экологичности» (Нижний Новгород, 2017); Международной конференции молодых учёных "Применение инновационных гуминовых продуктов в сельском хозяйстве и природоохранных технологиях" (Москва, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них: 4 – статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных RSCI, и изданиях из перечня, рекомендованного Минобрнауки России, утвержденного для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В.Ломоносова, 9 – в сборниках материалов конференций и тезисов докладов.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 123 страницах, содержит 16 таблиц и 36 рисунков, состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, приложения. Список литературы включает 268 источников, в том числе 146 на иностранном языке.

Личный вклад автора заключается в анализе научной литературы по теме исследования, в планировании, организации и проведении вегетационных, полевых и лабораторных работ, в обобщении и интерпретации полученных результатов, статистической обработке экспериментальных данных, в представлении результатов исследования на научных конференциях и в виде публикаций, в написании диссертационной работы и настоящей рукописи.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.б.н., профессору Верховцевой Надежде Владимировне за помощь, поддержку и консультации на всех этапах выполнения работы, неподдельный интерес к теме исследования. Автор благодарит всех сотрудников кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения за обсуждение работы на кафедральных заседаниях, лично заведующих кафедры

Минеева Василия Григорьевича и Романенкова Владимира Аркадьевича, а также лично Пашкевич Елену Борисовну, Арзамазову Анну Вадимовну, Амелянчик Ольгу Анатольевну, Егорова Владимира Сергеевича за ценные советы и помощь в выполнении лабораторных исследований.

Особую благодарность автор выражает Осипову Георгию Андреевичу и Карпухину Михаилу Михайловичу за их неоценимый вклад в научное исследование. Автор признателен каждому сотруднику АНО «Экотерра» за понимание, поддержку и содействие в выполнении работы. Автор благодарит Костарева Игоря Александровича, Кубарева Евгения Никитича, Макарова Олега Анатольевича за содействие в проведении полевых опытов на территории УО ПЭЦ «Чашниково». Автор выражает сердечную благодарность своим друзьям – Комлевой Ксении Сергеевне за помощь с постановкой полевых опытов и Широковой Анне Алексеевне за бесценную помощь в работе с текстом диссертации и веру в автора.

Искреннюю благодарность автор выражает своей маме Остраевой Светлане Михайловне, бабушке Борисовой Ольге Андреевне, мужу Лукьянову Сергею Николаевичу и дочери Лукьяновой Арине, родственникам – Борисовым Надежде Митрофановне, Максиму Васильевичу и Сергею Васильевичу за невероятную поддержку, терпение и помощь в выполнении исследований, особенно в постановке вегетационных и полевых опытов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Влияние природных препаратов сельскохозяйственного назначения с физиологически активными свойствами на агрохимические и микробиологические характеристики почв агросистем и выращивание культурных растений (обзор литературы)

В обзоре литературы обобщены результаты отечественных и зарубежных исследований по изучению влияния физиологически активных препаратов природного происхождения на почвы и микробные сообщества, растения, их корневую систему и метаболиты, рассмотрены основные физиологически активные группы препаратов и их свойства.

Глава 2. Предварительные эксперименты с препаратом «Ягель-ДЕТОХ»¹

Необходимость проведения предварительных экспериментов была обусловлена устоявшимся мнением о способности лишайниковых кислот оказывать тормозящее действие на прорастание семян и развитие проростков (Федоров, 1977). Хотя описания механизма этого торможения нет, и отсутствуют точные данные о видах растений, подвергающихся угнетению на стадиях

¹ В данной главе обсуждаются результаты диссертационной работы автора, опубликованные в статьях [8 - 10, 13], перечисленных в списке работ, опубликованных по теме диссертации

прорастания и развития. В рамках предварительных исследований с препаратом «Ягель-ДЕТОХ» была проведена серия опытов:

а) предпосевная обработка семян (опудривание семян ячменя сорта Михайловский (*Hordeum vulgare* L.) препаратом в дозе 5г/кг по схеме: контроль и опудривание, в четырехкратной повторности по 100 семян;

б) микровегетационный опыт (ячмень выращивали на дерново-подзолистой почве различной степени окультуренности – пашня (P_2O_5 83 мг/кг, K_2O 114 мг/кг, pH 6,5) и участок лесного фитоценоза (P_2O_5 71 мг/кг, K_2O 66 мг/кг, pH 4,5 – стрессовые условия) по схеме – контроль и внесение в почву препарата в дозе 0,5г/кг, в четырехкратной повторности по 15 растений;

в) вегетационный опыт с ячменем (дерново-подзолистая почва: пашня (P_2O_5 98 мг/кг, K_2O 102 мг/кг, pH 6,2) и участок лесного фитоценоза (P_2O_5 38 мг/кг, K_2O 28 мг/кг, pH 4,3), по схеме: контроль, Ягель-D (доза – 0,5г/кг), NPK (доза – 0,1г/кг), Ягель-D+NPK (0,5 г/кг и 0,1 г/кг, соответственно), количество растений в сосуде 15, повторность четырехкратная).

По результатам предварительных опытов, на примере *Hordeum vulgare* L., было показано, что препарат «Ягель-ДЕТОХ»:

а) не снижает энергию прорастания семян и не влияет на их всхожесть при опудривании (энергия прорастания, сут.: 3,0 – контроль, 2,9 – Ягель-D, НСР_{0,05} 1,16); всхожесть, %: 95,25 – контроль, 95,75 – Ягель-D, НСР_{0,05} 4,32);

б) проявляет положительное антиоксидантное действие, которое выражается в увеличении содержания хлорофилла b (содержание пигмента от массы сырых листьев, %: 0,14 – контроль, 0,35 – Ягель-D, НСР_{0,05} 0,14) и каротиноидов (0,13% – контроль, 0,19% – Ягель-D, НСР_{0,05} 0,04) в растениях ячменя, выращенных в условиях стресса. Хлорофилл b в составе светособирающего комплекса фотосистемы растения при действии стрессовых факторов предотвращает деструкцию реакционных центров (Стржалка и др., 2003), а каротиноиды, служат дополнительными и защитными от активных форм кислорода пигментами;

в) усиливает действие минерального удобрения, что проявляется в положительном влиянии на морфометрические характеристики ячменя (длина побега увеличивается на 7 %, масса растений – на 20 % по сравнению с самостоятельным применением удобрений) и его урожай (масса тысячи зерен увеличивается на 6 %).

Глава 3. Полевой опыт. Объекты и методы

3.1. Объекты исследования

Культуры: картофель сорта Удача (*Solanum tuberosum* L.) и ячмень сорта Михайловский (*Hordeum vulgare* L.); почвы: аллювиальная (пойменная)

дерновая и дерново-подзолистая; гуминовые препараты и препарат на основе лишайникового сырья.

ГП «Life Force» – натуральные продукты природного происхождения, не подвергались процессам химической модификации и получены при низкотемпературной физико-механической обработке природных окисленных лигнитов (леонардита) и суббитуминозных углей, производитель НПО «Сила Жизни».

«Ягель-ДЕТОХ» (Ягель-D) – ультрадисперсный порошок механообработанного лишайника *Cladonia rangiferina* L., разработанный научно-образовательным центром «Механохимические биотехнологии», производитель ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».

Исследования проводили в условиях полевых опытов на территории экспериментальных участков в Верхнемамонском районе Воронежской области и Солнечногорском районе Московской области на территории Учебно-опытного Почвенно-экологического центра МГУ имени М.В. Ломоносова «Чашниково» в 2017 и 2018 годах.

Опыт проводили в четырехкратной повторности по схеме: контроль; NPK; ГП; ГП + NPK; ГП + $\frac{1}{2}$ NPK, Ягель-D, Ягель-D + NPK. Данная схема была использована для обеих культур (картофель, ячмень) и на обоих опытных участках в 2017 году. В 2018 году она была сокращена, делянки с «Ягель-ДЕТОХ» не закладывали, в качестве изучаемой культуры использовали только картофель. Источник NPK – нитроаммофоска (N – 16%, P₂O₅ – 16%, K₂O – 16%), расход для варианта NPK – 60 кг действующего вещества на 1 га, для варианта $\frac{1}{2}$ NPK - 30 кг/га. ГП использовали в дозе 500 кг/га для картофеля, 300 кг/га для ячменя, «Ягель-ДЕТОХ» – 60 кг/га. Препараты и удобрения вносили в сухой форме в пахотный слой (0–20 см) перед посадкой. В опытах с картофелем проводили два послевсходовых окучивания перед смыканием ботвы, для обеих культур - удаление сорняков в течение всего вегетационного периода. Растения выращивали без дополнительного полива.

Образцы почв для изучения состава и структуры микробных сообществ отбирали из корнеобитаемого слоя картофеля (5 -15 см) в конце вегетационного периода после уборки урожая. Для определения агрохимических характеристик образцы почв отбирали из слоя 0-20 см в мае – после весенней вспашки до посадки культур, в полевых условиях методом «конверта». Почву высушивали до воздушно-сухого состояния.

3.2. Метеорологические условия в период проведения исследований

Метеорологические данные в годы исследования существенно отличались (рис. 1), что определило значимость этого показателя для интерпретации данных

всего исследования. Неравномерное распределение осадков по сезону, а также отличие количества осадков и средней температуры от климатических норм в нашем полевом опыте рассматривались как стрессовые условия для растений.

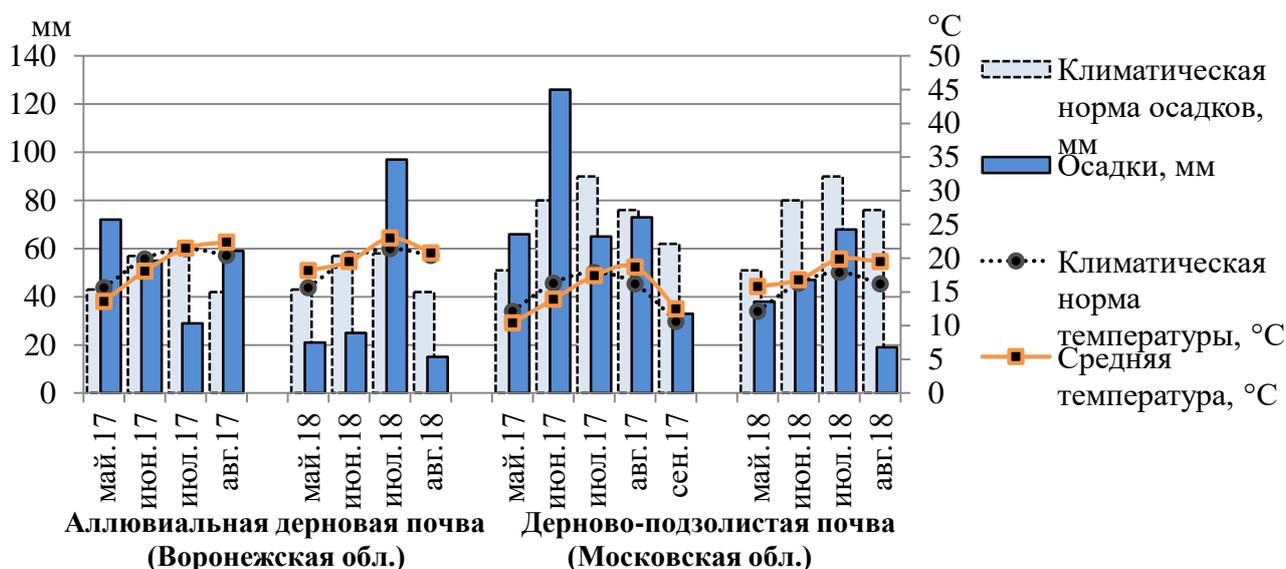


Рисунок 1. Метеоданные вегетационных периодов для районов исследования

В 2017 году как в Воронежской, так и в Московской областях распределение осадков в вегетационный сезон было неравномерным: первая половина сезона сопровождалась чрезмерными осадками, а вторая – недостаточным увлажнением по сравнению с нормой в данной местности. Кроме того, май и июнь характеризовались температурами ниже нормы, ночными заморозками. Гидротермические коэффициенты (ГТК) 0,68 (Воронежская обл.) и 1,5 (Московская обл.) соответствовали норме.

В 2018 году в Воронежской области количество осадков в первые месяцы вегетации было в половину меньше нормы, при этом температурный показатель был выше обычного, ГТК 0,7. В Московской области - пониженное количество осадков и повышенные температуры, ГТК 0,84 (норма 1,4).

3.3. Методы оценки урожая

По окончании опыта для картофеля определяли урожайность и товарность (ГОСТ 7176-85, ГОСТ 26832-86), структуру урожая картофеля (ГОСТ 7194-81) по наибольшему поперечному диаметру - крупная (≥ 90 мм), средняя (90–60 мм), мелкая (60–50 мм), определялась урожайность каждой фракции (Щербакова, 2014). В убранных клубнях картофеля определяли содержание: крахмала полиметрическим методом Эверса (ГОСТ 7194-81); витамина С по Мурри, нитратов ионометрическим методом, азота, фосфора, калия из одной навески (Дурынина, Егоров, 1998).

После уборки урожая ячменя растительный материал был оценен по морфометрическим характеристикам. Определяли длину наземной части растений (побега) ячменя, длину колоса, массу растений. Далее для оценки

качества урожая ячменя была определена его структура – общая масса зёрен, количество зёрен в колосе (озернённость), масса тысячи зёрен (ГОСТ 10842-89), содержание азота, фосфора, калия из одной навески (Дурынина, Егоров, 1998).

3.4. Агрохимические методы

Агрохимические параметры почвы изучали согласно общепринятым методикам: органическое вещество по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91); P_2O_5 и K_2O – по Чирикову (ГОСТ 26204-91) и Кирсанову (ГОСТ 54650-2011) для соответствующих типов почв; азот аммония (ГОСТ 26489-85); азот нитратов (ГОСТ 26488-85); pH (ГОСТ 26423-85); гранулометрический состав (скатывание шнура по Н. А. Качинскому).

3.5. Микробиологические методы

Реконструирование видового состава сообщества микроорганизмов проводили по липидным маркерам (жирным кислотам, альдегидам и гидроксикислотам), определенным молекулярным методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ–МС) на системе HP-5973 Agilent Technologies, США (Осипов, 1997). Биоразнообразие определяли с помощью индекса Шеннона, доминирование оценивали с помощью индекса Бергера-Паркера (Мэгарран, 1992), сходство сообществ микроорганизмов – с помощью коэффициента Жаккара (Одум, 1975).

Глава 4. Полевой опыт. Результаты и обсуждение²

4.1. Агрохимическая характеристика аллювиальной дерновой и дерново-подзолистой почв

В Воронежской области почва аллювиальная дерновая насыщенная (Классификация почв СССР, 1977), аллювиальная агротёмногумусовая (Классификация почв России, 2004). Агрохимическая характеристика: органическое вещество 2,8–2,9 %; очень высокое содержание подвижных форм фосфора и калия (по методу Чирикова) 1816–1823 и 378–382 мг/кг соответственно; содержание азота: аммонийного 20,3–21,2 мг/кг, нитратного – 148,9–150,2 мг/кг; степень кислотности – слабощелочная (pH 7,3–7,5), насыщена основаниями, с поверхности вскипает от нанесения 10%-ой соляной кислоты, по гранулометрическому составу – супесчаная.

В Московской области дерново-подзолистая почва (Классификация почв России, 2004), рассматривалась в качестве подтипа в типе подзолистых почв (Классификация почв СССР, 1977). Агрохимические показатели: органическое вещество 2,9–3,1 %; очень высокое содержание подвижных форм фосфора 435–

² В данной главе обсуждаются результаты диссертационной работы автора, опубликованные в статьях [1 - 7, 11- 12], перечисленных в списке работ, опубликованных по теме диссертации

442 мг/кг и повышенное калия 155–158 мг/кг (по методу Кирсанова); содержание аммонийного азота 18,8–19,0 мг/кг, нитратного – 108, –110,3 мг/кг; по степени кислотности – слабокислая (рН 5,7–6,1), по гранулометрическому составу – среднесуглинистая.

4.2. Урожайность и качество картофеля, выращенного с применением ФАП и минеральных удобрений

Важным критерием оценки при выращивании сельскохозяйственных культур, в том числе и картофеля, является урожайность (Карабаев, 2001). Товарность клубней определяет качество урожая и ценность картофеля (Коршунов, 2001).

Для выделения схожих вариантов внутри опыта был применен кластерный анализ, выделилось три достоверно различающихся между собой кластера (рис. 2). Первый – обособленный контрольный вариант, с самым низким валовым показателем урожайности.

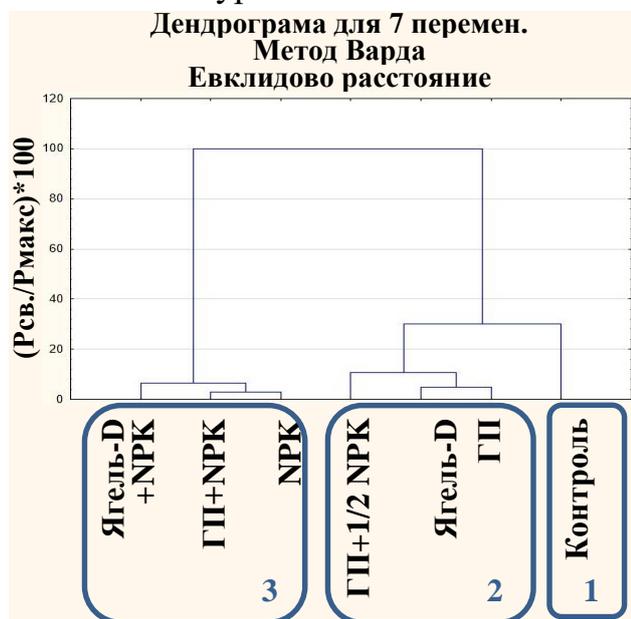


Рисунок 2. Дендрограмма сходства вариантов урожайности картофеля (Воронежская обл., 2017 г.)

Применение исследуемых ФАП во всех вариантах опыта способствовало значительному увеличению показателя по сравнению с контролем. Разница относительно контроля в вариантах с применением ГП, Ягель-D, а также ГП с половинной дозой минеральных удобрений существенная, превышала значение НСР, эти варианты опыта выделились во второй кластер. Прибавка урожая к контролю в 2017 году на аллювиальной дерновой почве: ГП – 7,1 %, Ягель-D – 8,6 %; ГП и ½ NPK – 11,6%; на дерново-подзолистой: ГП – 15,5 %, Ягель-D – 20,4 % и ГП и ½ NPK – 31,0 %. Наибольший эффект

проявился в вариантах с внесением минерального удобрения, эти варианты объединились в третий кластер. В 2017 году прибавка урожая к контролю составила от 20,1 до 22,4 % на аллювиальной дерновой почве и от 57,4 и до 60,3 % на дерново-подзолистой почве (рис. 3). В целом, данные по урожайности за 2018 год уменьшились относительно предыдущего года в обеих областях. Однако тенденции влияния препаратов были аналогичными за оба года.

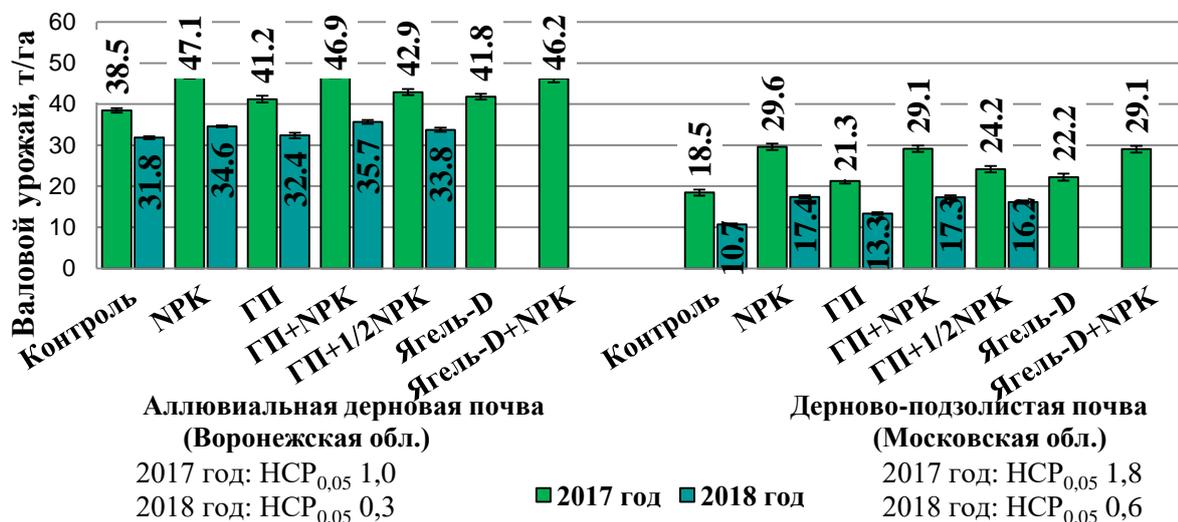


Рисунок 3. Урожайность картофеля, выращенного в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений (вертикальные планки погрешностей здесь и далее – стандартное отклонение от среднего внутри варианта)

Для подтверждения наличия и степени взаимосвязи между полученными показателями урожайности и применением ФАП и минеральных удобрений рассчитан коэффициент корреляции r Пирсона (уровень значимости $\alpha=0,05$). Урожайность картофеля тесно связана с применением НРК, сила связи по шкале Чеддока весьма высокая положительная: в Воронежской области в 2017 и 2018 годах $r = 0,92$, в Московской области в 2017 году $r = 0,95$, в 2018 году $r = 0,91$. Связь урожайности с применением ФАП заметная положительная: в Воронежской области $r = 0,67$ и $r = 0,58$, и в Московской области $r = 0,63$ и $r = 0,62$ для 2017 и 2018 годов соответственно.



Рисунок 4. Валовая урожайность картофеля по областям суммарно по всем вариантам опыта

Кроме внесения в почву ФАП и минеральных удобрений большое влияние на формирование урожайности картофеля оказывали погодные условия. Результаты свидетельствовали о различиях в количественных характеристиках урожая картофеля, выращенного в различных экологических условиях, несмотря на то, что сорт Удача высокопластичный и стабильный по урожайности (Фомин, 2012) (рис. 4).

Валовая урожайность картофеля по всем вариантам опыта в оба года исследования в Воронежской обл. была значимо выше, чем валовая урожайность картофеля в Московской обл.,

причиной такой разницы, по всей видимости, являлись агроэкологические факторы (характеристика почв, сумма эффективных температур, влажность). В 2017 г. высокая влажность и низкие температуры в начале вегетации наблюдались в обеих областях. Почва опытного поля Воронежской обл. супесчаная, и высокое количество выпавших осадков в начале вегетации не снизило урожайность, в Московской обл. на почве суглинистого гранулометрического состава высокая влажность негативно отразилась на структуре урожая (подробнее далее, стр. 15). Урожайность за 2018 г. уменьшилась относительно предыдущего года. Причиной этому послужили высокие температуры на фоне недостаточной влажности, корреляционная связь урожайности и суммы эффективных температур – высокая отрицательная $r = -0,87$, а урожайности и влажности – высокая положительная $r = 0,87$ в обеих областях.

В Воронежской обл. в 2017 г. существенных различий товарности во всех вариантах по сравнению с контролем не установлено, в 2018 г. – внесение минеральных удобрений и ГП одинаково повышает товарность по сравнению с контролем (рис. 5). В Московской области в 2017 г. проявилась та же тенденция влияния ФАП и минеральных удобрений на показатель товарности, как и на урожайность по опыту в целом. В результате кластерного анализа выделились три кластера, достоверно различающиеся между собой по $НСР_{0,05}$: 1 – контроль, 2 – ГП, Ягель-D, ГП+1/2NPK (выше контроля, но ниже вариантов с полной дозой NPK), 3 – NPK, ГП+NPK, Ягель-D+NPK; в 2018 г. показатель товарности был высоким во всех вариантах опыта, разницы с контролем нет.

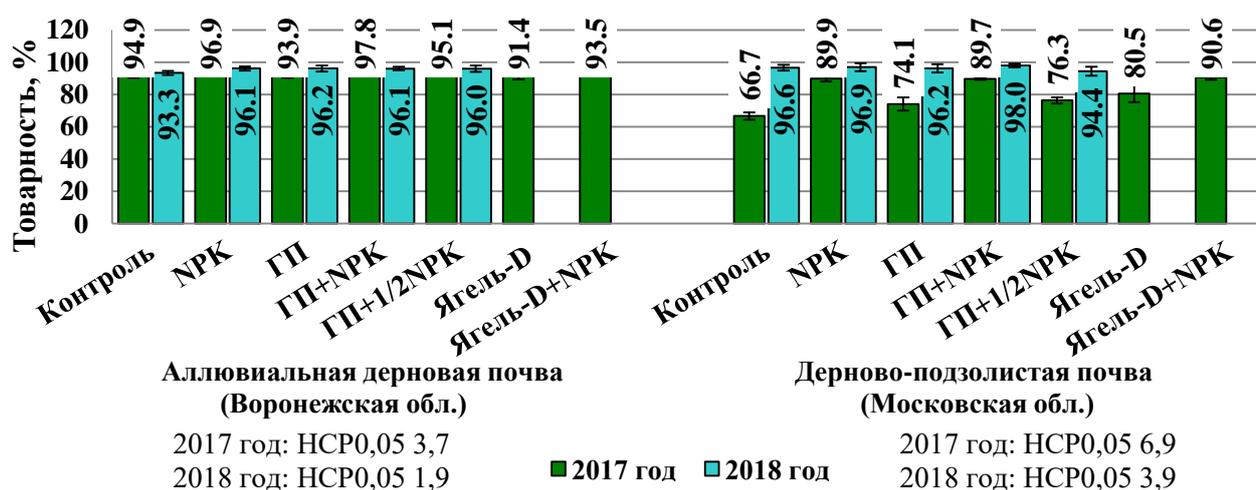


Рисунок 5. Товарность картофеля, выращенного в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений

Общие тенденции влияния препаратов на фракционный состав урожая сохранились: самостоятельное применение ФАП увеличивало выход наиболее ценной крупной фракции по сравнению с контрольным вариантом, наибольший

эффект проявился при совместном применении ФАП и минеральных удобрений. Анализ фракционного состава урожая показал, что в Воронежской области в оба года эксперимента (рис. 6) и Московской в 2018 г. (рис. 7) наибольший выход крупной фракции и наименьший мелкой обеспечивало внесение в почву ГП совместно с NPK. Разница во всех отмеченных вариантах опыта достоверно больше, чем в вариантах самостоятельного внесения минеральных удобрений в аналогичных условиях.

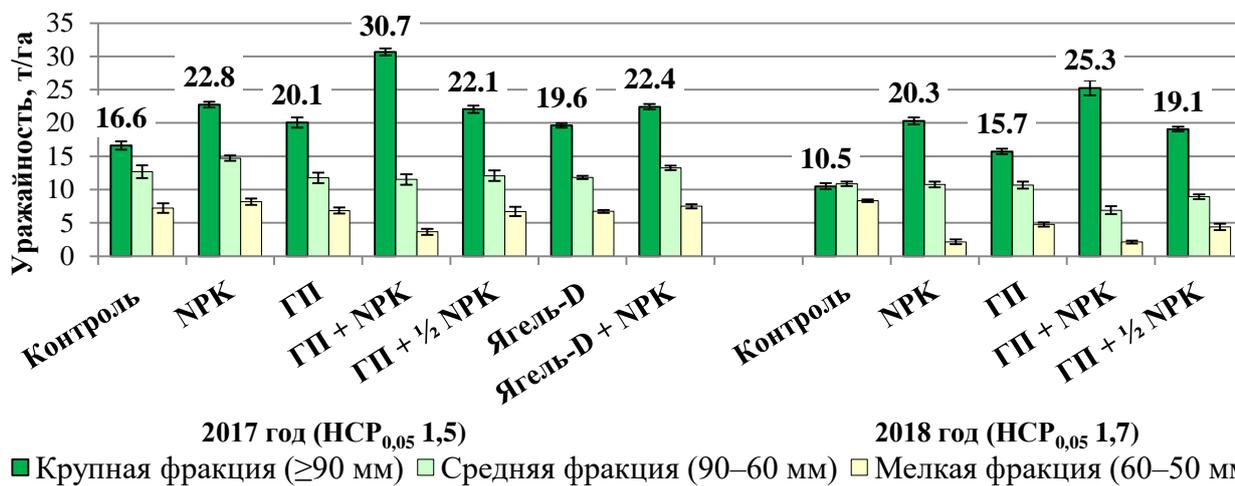


Рисунок 6. Урожайность товарного картофеля, выращенного на аллювиальной дерновой почве с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений, по фракциям (значение ряда данных и НСР_{0,05} указано для крупной фракции)

Корреляционная связь применения ФАП и удобрений с урожайностью клубней крупной фракции – высокая положительная: Воронежская обл. 2017г. $r (U_{кр}/\text{ФАП})=0,64$, $r (U_{кр}/\text{NPK})=0,74$; 2018г. $r (U_{кр}/\text{ФАП})=0,77$, $r (U_{кр}/\text{NPK})=0,88$; Московская область 2017г. $r (U_{кр}/\text{ФАП})=0,73$, $r (U_{кр}/\text{NPK})=0,83$; 2018г. $r (U_{кр}/\text{ФАП})=0,75$, $r (U_{кр}/\text{NPK})=0,90$.

Результаты анализа фракционного состава урожая в вариантах NPK и ГП+1/2NPK статистически неразличимы, что позволяет сделать заключение о том, что ГП, несмотря на уменьшение валового урожая (кроме варианта Московской обл. в 2017 г.), позволили без уменьшения выхода клубней картофеля крупной фракции вдвое снизить дозу минеральных удобрений.

В контрольном варианте опыта в условиях Московской обл. в 2017 г. крупная фракция не сформировалась, чрезмерно высокое количество осадков в июне затормозило появление всходов картофеля, а также отрицательно повлияло на весь период вегетации и результаты опыта. Добавка ФАП перед посадкой увеличила урожай и улучшила его структуру, позволив сформироваться всем трем размерным фракциям в равном количестве. Самостоятельное внесение препарата Ягель-D также активнее способствовало формированию крупной фракции картофеля, чем применение ГП. Выход крупной фракции в этом

варианте опыта оказался выше, чем в варианте с внесением половины дозы минерального удобрения совместно с ГП.

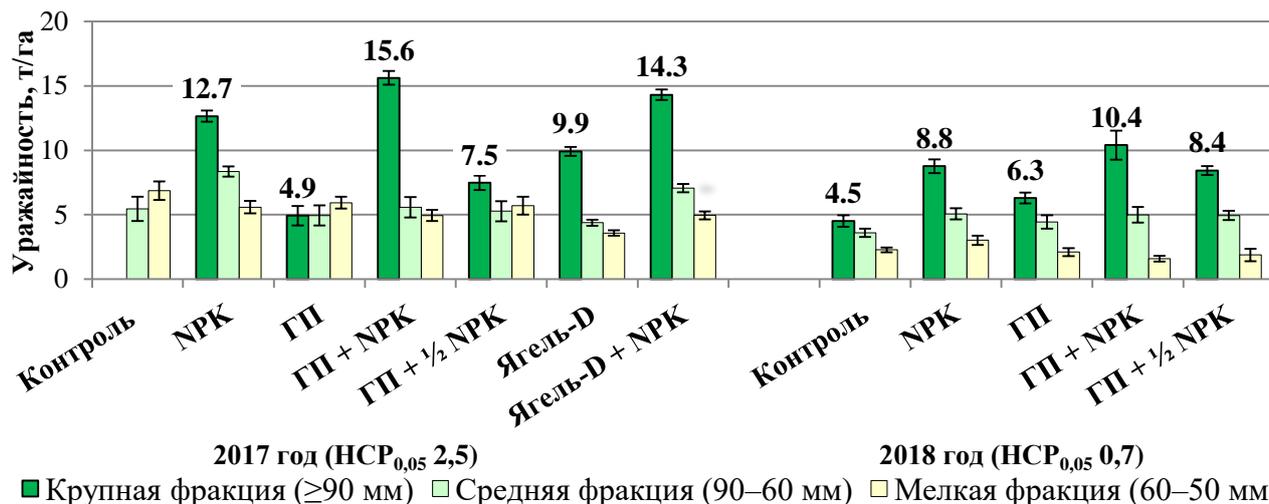


Рисунок 7. Урожайность товарного картофеля, выращенного на дерново-подзолистой почве с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений, по фракциям (значение ряда данных и НСР_{0,05} указано для крупной фракции)

Во всех вариантах опыта (Воронежская и Московская обл. 2017 и 2018 гг.) достоверно увеличилось содержание калия в клубнях картофеля по сравнению с контролем (табл. 1). По содержанию азота и фосфора, крахмала и витамина С явных повторяющихся тенденций влияния препаратов не было установлено. Среди частных случаев отметили следующие:

1. Содержание крахмала в клубнях картофеля (Воронежская обл.) относительно контроля увеличилось в вариантах ГП + НРК и ГП + ½ НРК, НСР_{0,05} между данными вариантами незначимая. Это позволяет отметить, что внесение ГП может вдвое снизить дозу минеральных удобрений под картофель без уменьшения содержания крахмала.

2. Уровень содержания нитратов по опыту в целом намного меньше допустимого (ПДК нитратов для сырых клубней 250 мг/кг). Однако, внесение ГП в Воронежской обл. снижало уровень NO₃ практически в два раза по сравнению с контролем.

3. В Московской обл. содержание витамина С увеличилось во всех вариантах опыта, отличных от контрольного. Рассматривая это увеличение с физиологической точки зрения и учитывая, что витамин С – природный антиоксидант растений, можно интерпретировать его повышение как защитную реакцию растительных организмов от стрессовых условий (избыточной влажности в начале вегетации) в 2017 г., ФАП и минеральные удобрения помогали растениям перенести стресс.

Таблица 1

Некоторые качественные показатели картофеля

Вариант	Крахмал, %		Вынос крахмала ОП**, т/га		Витамин С, мг%		Вынос вит. С ОП**, кг/га		N – NO ₃ -, мг/кг		N, %		P ₂ O ₅ , %		K ₂ O, %	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Аллювиальная дерновая почва (Воронежская обл.)																
Контроль	18,2	18,9	7,0	6,0	17,2	15,8	6,6	5,0	63,6	53,4	0,66	1,90	0,27	0,37	0,44	0,50
НРК	15,5	14,7	7,3	5,1	10,5	11,6	4,9	4,0	91,6	86,4	1,44	2,42	0,52	0,52	0,52	0,54
ГП	15,7	17,6	6,5	5,7	13,4	13,5	5,5	4,4	29,8	30,9	1,84	1,95	0,45	0,49	0,58	0,58
ГП + НРК	19,7	23,7	9,2	8,5	13,8	19,2	6,4	6,9	66,4	81,0	1,36	2,30	0,38	0,50	0,57	0,57
ГП + ½ НРК	19,4	23,4	8,3	7,9	13,2	13,0	5,7	4,4	35,3	42,7	1,51	1,99	0,41	0,45	0,57	0,57
Ягель-D	17,6	НД*	7,4	НД	13,5	НД	5,6	НД	45,6	НД	1,47	НД	0,41	НД	0,47	НД
Ягель-D + НРК	17,2	НД	7,9	НД	13,7	НД	6,3	НД	90,0	НД	1,54	НД	0,45	НД	0,54	НД
НСР _{0,05}	0,7	0,9	0,2	0,3	0,5	0,7	0,3	0,2	18,8	4,9	0,13	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02
Дерново-подзолистая почва (Московская обл.)																
Контроль	8,9	13,7	1,6	1,5	7,2	12,7	1,3	1,4	79,1	79,2	1,16	1,16	0,37	0,40	0,31	0,32
НРК	11,1	16,0	3,3	2,8	11,7	9,6	3,4	1,7	87,2	90,5	1,82	1,32	0,34	0,33	0,36	0,37
ГП	9,4	15,6	2,0	2,1	17,9	10,1	3,8	1,3	72,2	76,3	1,15	1,36	0,35	0,38	0,35	0,45
ГП + НРК	10,7	16,1	3,1	2,8	16,6	9,5	4,8	1,6	86,5	88,1	1,27	1,30	0,32	0,32	0,35	0,43
ГП + ½ НРК	10,1	15,4	2,4	2,5	16,8	11,0	4,1	1,8	81,3	81,7	1,21	1,28	0,34	0,36	0,34	0,42
Ягель-D	12,9	НД	2,9	НД	15,0	НД	3,3	НД	74,9	НД	1,20	НД	0,29	НД	0,35	НД
Ягель-D + НРК	11,9	НД	3,5	НД	16,0	НД	4,6	НД	77,6	НД	1,68	НД	0,37	НД	0,36	НД
НСР _{0,05}	0,6	0,4	0,4	0,1	0,6	0,4	0,3	0,1	4,2	3,5	0,19	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02

*НД – нет данных, **ОП – основная продукция

4.3. Урожайность и качество ячменя, выращенного с применением ФАП и минеральных удобрений

Для идентификации схожих вариантов внутри опыта применяли кластерный анализ. В Воронежской обл. (рис. 8) выделили три кластера (нумерация в порядке уменьшения урожайности): 1 – контроль и варианты с применением ФАП, характеризовались самым высоким показателем, 2 – совместное применение ФАП и удобрений, 3 – только минеральные удобрения (самый низкий урожай). Все кластеры достоверно различались между собой по показателю $HCp_{0,05}$ (рис. 11).

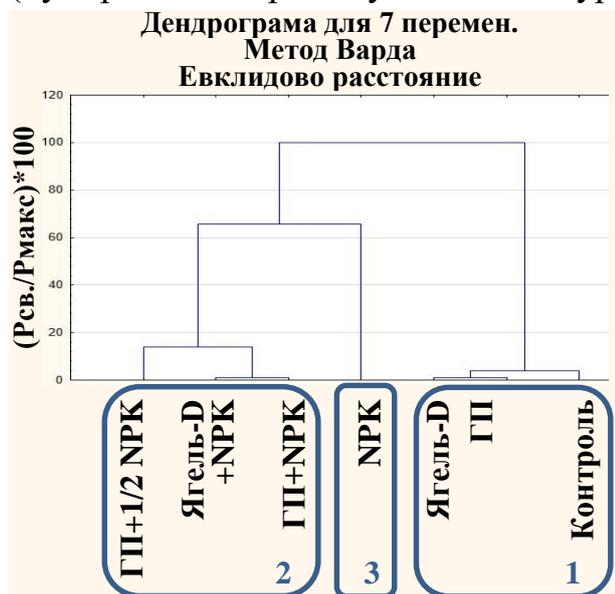


Рисунок 8. Дендрограмма сходства вариантов урожайности ячменя (Воронежская обл., 2017 г.)

81 снизился, сила связи урожайности и удобрений – высокая отрицательная r ($Uр/NPK$) = - 0,80. Однако, в вариантах совместного применения ФАП и NPK урожайность была значимо выше, чем в варианте с NPK, применение ФАП

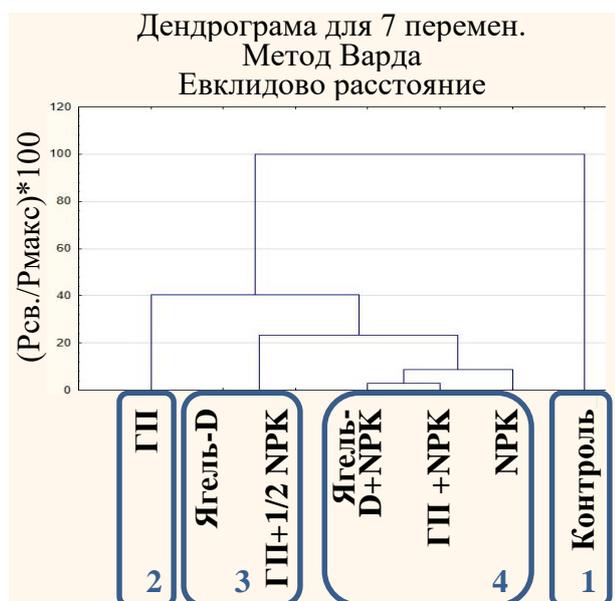


Рисунок 9. Дендрограмма сходства вариантов урожайности ячменя (Московская обл., 2017 г.)

благовременно повлияло на рассматриваемый показатель в условиях избытка минеральных веществ в почве.

Почвы опытного поля характеризовались очень высоким исходным содержанием подвижного фосфора и обменного калия, а дополнительный источник этих

элементов в вариантах с NPK послужил негативным фактором для культуры ячменя, вследствие чего урожай

снизился, сила связи урожайности и удобрений – высокая отрицательная r ($Uр/NPK$) = - 0,80. Однако, в вариантах совместного применения ФАП и NPK урожайность была значимо выше, чем в варианте с NPK, применение ФАП

благовременно повлияло на рассматриваемый показатель в условиях избытка минеральных веществ в почве.

В Московской обл. идентифицировали четыре кластера, достоверно различающихся между собой (рис. 9), кластеры пронумерованы в порядке увеличения урожайности. Масса урожая ячменя значимо увеличилась при внесении ГП. Влияние препарата из лишайника оказалось сильнее, чем ГП, и было сопоставимо с вариантом ГП+1/2 NPK. Наилучший эффект оказали препараты совместно с минеральными удобрениями (рис. 10). Связь урожая и

применения удобрений высокая положительная r (U_p/NPK) = 0,72 и заметная положительная для ФАП r ($U_p/ФАП$) = 0,52.

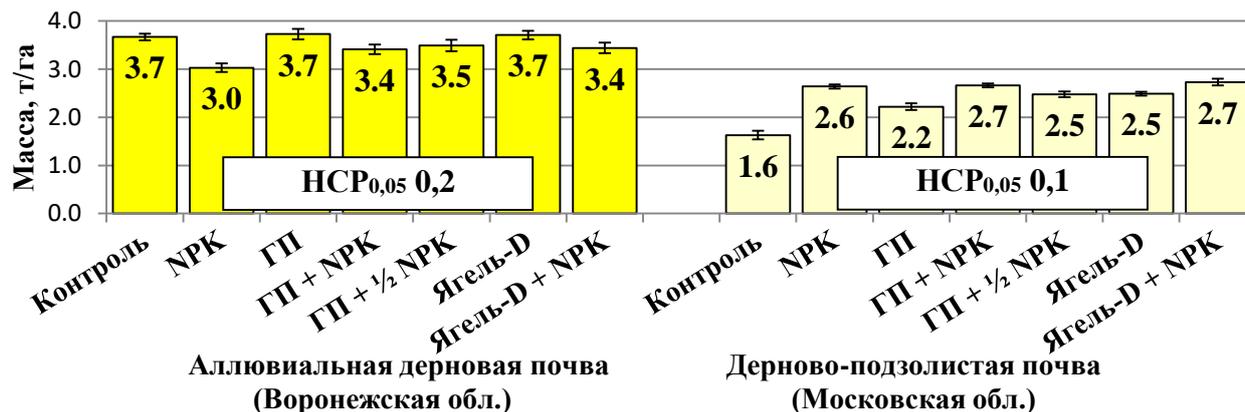


Рисунок 10. Урожайность ячменя, выращенного в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений

Во всех вариантах опыта в Воронежской и Московской обл. достоверно увеличилось содержание азота в ячмене по сравнению с контролем (табл. 2), зависимость содержания азота от ФАП и удобрений установить не удалось. Также не были отмечены явные тенденции влияния рассматриваемых препаратов на содержание фосфора и калия в растениях.

Таблица 2

Некоторые морфометрические и качественные показатели ячменя

Вариант	Масса растений, т/га	Длина побега, мм	Длина колоса, мм	Кол-во зёрен в колосе	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Аллювиальная дерновая почва (Воронежская обл.)							
Контроль	16,9	1103	104	22	1,85	0,91	0,48
NPK	12,5	1125	102	24	2,35	0,97	0,47
GP	12,1	1119	93	22	2,18	0,87	0,46
GP + NPK	12,4	1169	92	24	2,34	0,85	0,51
GP + 1/2 NPK	11,7	1133	94	22	2,21	0,90	0,48
Ягель-D	11,7	1132	91	23	2,24	0,84	0,44
Ягель-D + NPK	12,6	1174	91	23	2,34	0,85	0,46
HSP0,05	0,6	86	9	2	0,10	0,15	0,14
Дерново-подзолистая почва (Московская обл.)							
Контроль	6,9	1014	55	16	1,86	0,62	0,41
NPK	16,9	1117	58	18	2,28	0,48	0,44
GP	10,6	1023	57	17	2,21	0,51	0,43
GP + NPK	16,4	1160	67	18	2,24	0,50	0,45
GP + 1/2 NPK	14,7	1067	62	17	2,22	0,50	0,44
Ягель-D	11,5	1018	63	16	2,24	0,52	0,41
Ягель-D + NPK	16,7	1164	68	18	2,26	0,48	0,42
HSP0,05	0,5	94	5	2	0,11	0,16	0,10

Масса тысячи зёрен воздушно-сухого ячменя является качественным признаком сорта, и ее используют для определения соответствия стандартам и расчета выхода солода. Предпочтителен «тяжелый» ячмень с большим показателем массы тысячи зерен (> 45 г воздушно-сухой навески). По

результатам определения рассматриваемого показателя во всех вариантах опыта в рамках нашего исследования, включая контрольный вариант, ячмень относился к категории «тяжелый» (рис. 11).

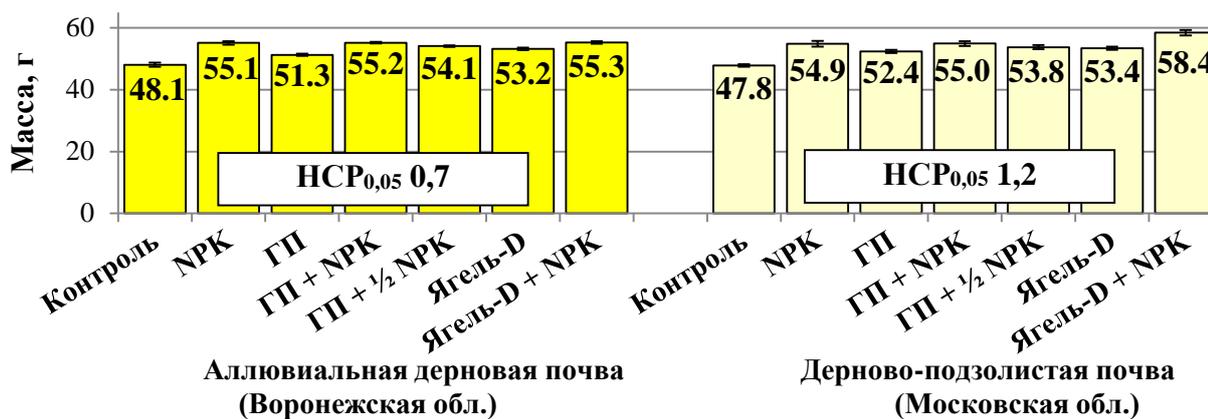


Рисунок 11. Масса тысячи зёрен ячменя, выращенного в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений

Прослеживалась та же тенденция влияния ФАП и удобрений на показатель массы тысячи зерен ячменя, как и на показатель урожайности картофеля. Самый низкий показатель массы тысячи зерен соответствовал контрольному варианту. Применение исследуемых ФАП во всех вариантах опыта способствовало значительному увеличению рассматриваемого параметра. Лучший показатель массы тысячи зерен у вариантов с внесением минерального удобрения (как самостоятельно, так и совместно с исследуемыми ФАП). Связь показателя тысячи зёрен с применением НРК – высокая $r = 0,79$ в условиях Воронежской обл. и $r = 0,77$ в условиях Московской. Связь рассматриваемого показателя с

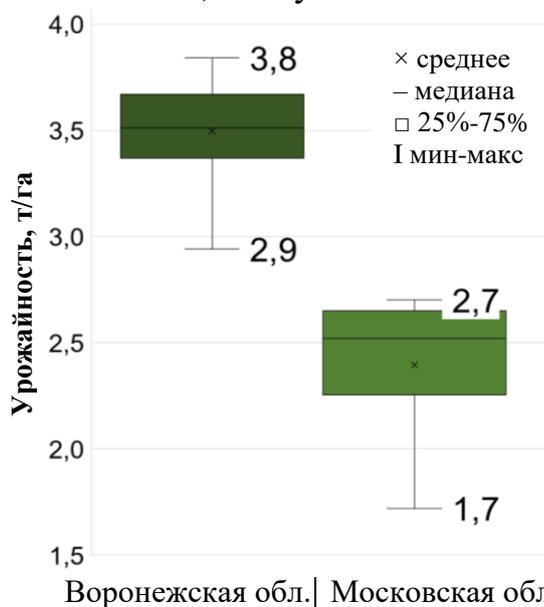


Рисунок 12. Валовая урожайность ячменя по областям суммарно по всем вариантам опыта

напрямую взаимосвязан с длиной

колоса. Значимые различия по данным

ФАП также высокая $r = 0,79$ и $r = 0,84$ для Воронежской и Московской областей. Влияние агроэкологических условий возделывания культуры ячменя оказалось значительнее, чем варьирование между вариантами опыта в пределах областей, также, как и для картофеля. Так в условиях Воронежской обл., характеризующихся высокой суммой активных температур, масса урожая ячменя во всех вариантах была значимо выше, чем в Московской обл. (рис. 12).

Количество зерен в колосе – важная составляющая продуктивности ячменя (Федосеев, 1979), этот показатель

показателям проявлялись только между растениями, выращенными в различных областях, и не зависели от применения изучаемых препаратов и минеральных удобрений (табл. 2).

4.4. Численность и филогенетическое разнообразие микроорганизмов в почве под посевами картофеля при применении ГП и минеральных удобрений

В составе микробного сообщества исследуемых почв методом ГХ-МС по липидным маркерам реконструировано в Воронежской области – 41 (2017 г.) и 38 (2018 г.) бактериальных видов, в Московской области – 39 (2017 г.) и 32 (2018 г.) вида. Идентифицированные микроорганизмы принадлежали к четырем филумам – Actinobacteria и Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, первые два филума намного превышали по численности два других (рис.13).

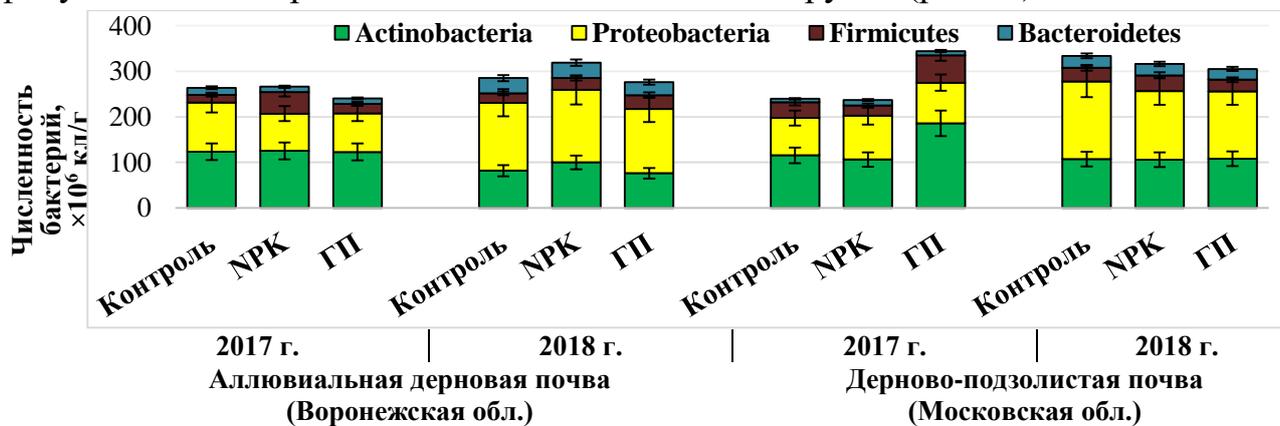


Рисунок 13. Численность микроорганизмов под картофелем, выращенным в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений

В целом во всех вариантах опыта численность микроорганизмов была достаточно высокой: $2,0 \times 10^8$ – $3,5 \times 10^8$ клеток на грамм почвы. Аллювиальная дерновая почва отличалась более высоким числом встречающихся видов. В более влажный и холодный 2017 год в обеих областях доминировали представители филума Actinobacteria (45–54 %), в сухой и теплый 2018 год – Proteobacteria (48–52 %), что подчеркивало значительное воздействие на микробиоту погодных условий. Статистически достоверной разницы в численности микроорганизмов по филумам между вариантами опыта Контроль – НРК – ГП в Воронежской области в оба года исследования и в Московской области в 2018 году установлено не было. В Московской области в 2017 году выделялся вариант с применением ГП, численность видов в котором значительно выше, чем в вариантах Контроль и НРК.

Рассмотрев видовой состав бактерий при разбиении его на филумы (Пиневиц, 2007), определили, что филум Actinobacteria в почве как Московской, так и Воронежской областей в наибольшем количестве представлен в оба года

исследования аэробным видом *Rhodococcus equi* – мощным гидролитиком органического вещества, в том числе и полимерных трудноокисляемых соединений почв. Субдоминантами выступали представители филума Proteobacteria – *Acetobacter* sp. и *Aeromonas hydrophila*. При избыточном увлажнении в опыте на дерново-подзолистой почве в 2017 году на варианте с ГП преобладал анаэробный *Propionibacterium jensenii* - гидролитик органического вещества, увеличением численности данного вида и был обусловлен общий рост численности микроорганизмов в варианте (рис. 14).

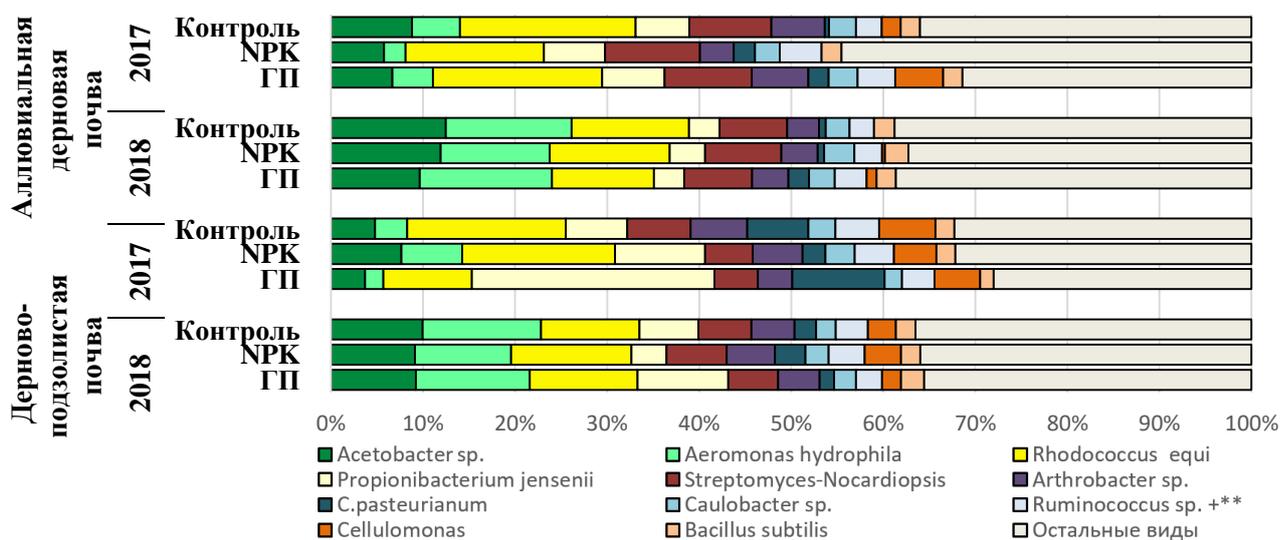


Рисунок 14. Структура микробных сообществ почвы под картофелем, выращенным в разных агроэкологических условиях с применением исследуемых ФАП и минеральных удобрений

Propionibacterium – факультативные анаэробы, но вариабельные по аэротолерантности; большинство культур растет в той или иной степени на воздухе, но лучше в анаэробных условиях (Определитель бактерий Берджи, 1997). Показано, что пропионобактерии способны к переработке полимерных трудноокисляемых соединений почв, природных углеводов (целлюлозы), в том числе и сложных органических соединений – гуминовых кислот, с извлечением из них азота (Benz et al., 1998). Предположительно росту численности анаэробного вида бактерий, который способен использовать в конструктивном метаболизме ГК, способствовало избыточное увлажнение в вегетационный период, что привело к созданию анаэробных условий в 2017 году в Московской области, а внесение ГП в данном варианте опыта послужило доступным источником энергетического эквивалента (водорода - H₂) для *Propionibacterium jensenii*, резко увеличив численность вида, корреляция между применением ГП и численностью микроорганизмов высокая положительная (r=0,77).

Экологический показатель – индекс выравнинности Бергера-Паркера (ИВ) для всех вариантов опыта на обеих почвах в оба года исследования находился в диапазоне 0,13 – 0,19; в варианте опыта с применением ГП на дерново-

подзолистой почве в 2017 г. ИВ был 0,26, что свидетельствовало об увеличении монодоминирования. С экологической позиции это считается неблагоприятным фактором, однако, в целом число видов бактерий в сообществе не уменьшилось для данного варианта опыта.

Индекс биоразнообразия Шеннона во всех вариантах опыта на обеих почвах был высокий (4,25–4,51), что свидетельствовало о выравненности и стабильности микробных сообществ, исключением оказался вариант с применением ГП на дерново-подзолистой почве в 2017 году (при избыточном увлажнении) за счет аэробных видов, биоразнообразие на данном варианте снижалось, индекс Шеннона был 3,49.

Путем выделения в структуре сообщества доминантных бактериальных ассоциаций была определена аэробная направленность бактериальных процессов во всех вариантах опыта (отношение аэробов к анаэробам 1,6–2,9), исключением являлся вариант с ГП при избыточном увлажнении в опыте на дерново-подзолистой почве в 2017 г., где направленность бактериальных процессов менялась на анаэробную (отношение аэробов к анаэробам 0,9).

Сравнительный анализ видового богатства бактерий между вариантами опыта, проводимого в одинаковых агроэкологических условиях, показал большое сходство сравниваемых пар. Коэффициент сходства Жаккара в парах: Контроль – ГП, Контроль – NPK, ГП – NPK в обеих областях в оба года исследования высокий 0,76 – 1, из этого следует, что по количеству видов микробные сообщества практически не отличались.

Достоверной связи и явных тенденций применения удобрений, ГП и общей численности микроорганизмов, вопреки нашим ожиданиям, установлено не было, также, как и не установлена связь численности микроорганизмов с урожайными данными картофеля. Учитывая высокое биоразнообразие (индекс Шеннона) и выравненность сообществ (ИВ Бергера-Паркера) и их сходство между вариантами опыта (коэффициент сходства Жаккара), можно говорить о значительной пластичности и устойчивости изученных микробных сообществ в разных агроэкологических условиях.

Выводы

1. Применение физиологически активных препаратов – ГП «Life Force» и «Ягель-ДЕТОХ» при возделывании картофеля оказало достоверное положительное влияние на валовый урожай продукции ($r=0,6$). Достоверно ($r=0,64–0,77$) улучшалась структура урожая, что проявлялось в возрастании доли клубней крупной фракции при самостоятельном применении ГП (увеличение на 25–50 % по сравнению с контролем) и совместном применении ГП+NPK (увеличение на 19–35 % в сравнении с вариантом применения только NPK). На

дерново-подзолистой почве в год с избыточной влажностью в начале вегетации (2017 г.) при использовании исследуемых препаратов и минеральных удобрений улучшились показатели товарности на 11-36% и фракционный состав урожая по сравнению с контролем.

2. Применение ГП «Life Force» и препарата «Ягель-Detox» в Московской области положительно повлияло на валовый урожай ячменя по сравнению с контролем (прибавка 38–56 %), наибольший эффект оказывали минеральные удобрения (прибавка 63–69 %). Увеличился показатель массы тысячи зёрен ячменя, выращенного в обеих областях: увеличение на 7–12 % при самостоятельном применении ФАП и на 12–22 % при совместном применении препаратов и минерального удобрения.

3. При выращивании картофеля в условиях Воронежской области в оба года исследования и в Московской области (2018 г.) применение ГП позволило вдвое уменьшить дозу минеральных удобрений без снижения выхода доли клубней крупной фракции ($r_{(Укр./ФАП)}=0,6-0,8$), несмотря на уменьшение валового урожая.

4. В микробном сообществе в почвах под картофелем после уборки урожая в разных климатических зонах на разных почвах формировалась аэробная гидролитическая ассоциация *Rhodococcus equi* – *Acetobacter* sp. – *Aeromonas hydrophila*, что свидетельствовало об аэробной направленности бактериальных процессов. При избыточном увлажнении на дерново-подзолистой почве в 2017 году на вариантах с ГП под картофелем доминирующим видом становился анаэробный вид бактерий *Propionibacterium jensenii*, направленность бактериальных процессов менялась на анаэробную.

5. Явных тенденций от применения удобрений и ГП, их связи с общей численностью микроорганизмов установлено не было, также, как и не установлена достоверная связь численности микроорганизмов с урожайными данными картофеля.

6. Агроэкологические условия оказали большее воздействие на показатель валового урожая изучаемых сельскохозяйственных культур, чем применение ФАП и минеральных удобрений. Полученные результаты свидетельствовали о значительных различиях в количественных характеристиках урожайности картофеля и ячменя, выращенных в различных условиях. Корреляционная связь урожайности и суммы эффективных температур – высокая отрицательная $r = - 0,87$, а урожайности и влажности – высокая положительная $r = 0,87$ в обеих областях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах из списков RSCI, Web of Science, Scopus и дополнительного списка Перечня МГУ:

1. Лукьянова М. В., Верховцева Н. В., Осипов Г. А. Структура микробного сообщества в почве под картофелем (*Solanum tuberosum* L.) в опыте с гуминовым препаратом и минеральными удобрениями // Проблемы агрохимии и экологии. — 2019. — № 3. — С. 47–56. DOI: 10.26178/AE.2019.13.77.010; ИФ РИНЦ (2019) 0,443.
2. Лукьянова М. В. Влияние гуминового препарата и препарата на основе лишайникового сырья на урожайность и качество картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Плодородие. — 2019. — Т. 109, № 4. — С. 46–49. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.15; ИФ РИНЦ (2019) 0,573.
3. Лукьянова М. В., Верховцева Н. В. Эффективность применения препаратов с физиологически активными свойствами при выращивании картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Проблемы агрохимии и экологии. — 2019. — № 2. — С. 31–36. DOI: 10.26178/AE.2019.49.26.006; ИФ РИНЦ (2019) 0,443.
4. Лукьянова М. В., Лукьянов С. Н., Верховцева Н. В. Продуктивность картофеля и ячменя при использовании гуминовых препаратов и минеральных удобрений в условиях микрополевых опытов на почвах Воронежской и Московской областей // Агрохимический вестник. — 2018. — Специальный выпуск приложение к № 1. — С. 38–42. ИФ РИНЦ (2018) 0,471.

Публикации в прочих научных изданиях

5. Лукьянова М. В., Верховцева Н. В. Влияние гуминового препарата на продуктивность картофеля в условиях полевого опыта на аллювиальной дерновой почве // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование - рекомендации - практические результаты: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. — Минск: БГУ, 2018. — С. 125–127.
6. Лукьянова М. В., Верховцева Н. В. Применение гуминового препарата при выращивании картофеля (*Solanum tuberosum* L.) на дерново-подзолистой почве // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - ВНИПТИОУ-филиал ФГБНУ "Верхневолжский ФАНЦ", 22-24 июня 2018 г. — ПресСто Иваново, 2018. — С. 164–167.
7. Лукьянова М. В., Верховцева Н. В., Пашкевич Е. Б., Кубарев Е. Н. Влияние препарата "Ягель-detox" на продуктивность картофеля сорта Удача в условиях полевого опыта на дерново-подзолистой почве //

- Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем
Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с
международным участием. — Т. 2. — Киров: ВятГУ, 2017. — С. 176–179.
8. **Лукьянова М. В.**, Лукьянов С. Н. Применение ультрадисперсного порошкообразного препарата ягеля (*Cladonia rangiferina* L.) при выращивании растений *Hordeum vulgare* L. и *Raphanus sativus* L. // Материалы докладов Первой открытой конференции молодых ученых Почвоведение: горизонты будущего, посвященной 90-летию института / Под ред. П. Г. Куст. — Т. 1. — Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева", 2017. — С. 100–105.
 9. **Лукьянова М. В.**, Верховцева Н. В., Кубарев Е. Н. Применение ультрадисперсного препарата ягеля (*Cladonia rangiferina* L.) при выращивании *Hordeum vulgare* L. в вегетационном опыте // Агрехимикаты в XXI веке: теория и практика применения: Материалы международной научно-практической конференции / под общ. ред. В.И. Титовой. — Н.Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. - 300с, 2017. — С. 70–73.
 10. **Лукьянова М. В.**, Верховцева Н. В., Пашкевич Е. Б., Аньшакова В. В. Применение ультрадисперсного порошкообразного препарата ягеля (*Cladonia rangiferina* L.) для предпосевной обработки семян // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Т. 2. — ООО Издательство Радуга-ПРЕСС г. Киров, 2016. — С. 194–197.
 11. Verkhovtseva N., **Lukianova M.**, Osipov G. Probiotic microorganisms in the rhizosphere of agricultural plants // Third Global Congress on Plant Biology and Biotechnology (GPB 2019). — Singapore, 2019. — P. 90.
 12. **Lukianova M.**, Lukianov S. The effect of humic substances on productivity of *Solanum tuberosum* and *Hordeum vulgare* at mineral fertilizer application in conditions of microfield experience // Books of Abstracts/Fourth International Conference of CIS IHSS on Humic Innovative Technologies From Molecular Analysis of Humic Substances – to Nature-like Technologies (HIT-2017). October 15- 21, 2017, Moscow State University, Moscow, Russia. — Т. 1 из Гуминовые инновационные технологии. — ООО "КЛУБ ПЕЧАТИ" Москва, 2017. — С. 66.
 13. **Лукьянова М. В.** Развитие зерновых и овощных культур при различных способах применения препарата "Ягель-detox" // ЛОМОНОСОВ-2017: XXIV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция "Почвоведение" 10-14 апреля 2017г., Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения: Тезисы докладов - М. — МАКС Пресс, 2017. — С. 236.