

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Колычихина Мария Сергеевна

**ЗАЩИТА КАРТОФЕЛЯ ОТ ВИРУСОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКТОРОВ БОЛЕЗНЕУСТОЙЧИВОСТИ**

Шифр и наименование научной специальности: 4.1.3. Агрохимия,
агрочвоведение, защита и карантин растений

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Белошапкина Ольга Олеговна

Москва – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ВИРУСНЫЕ БОЛЕЗНИ КАРТОФЕЛЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕРЫ БОРЬБЫ (обзор литературы)	10
1.1. Проблема и вредоносность фитопатогенных вирусов на картофеле ...	10
1.2. Роль векторов в распространении и вредоносности вирусов картофеля	16
1.3. Распространенные на территории России непersistентные вирусы картофеля	21
1.4. Методы диагностики вирусов картофеля	28
1.5. Меры профилактики и защиты картофеля от вирусных болезней	36
1.6. Индукторы болезнеустойчивости.....	42
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	47
2.1. Почвенно-климатические и метеорологические условия проведения опытов.	48
2.2. Объекты исследований	56
2.3. Методы исследования.....	63
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.....	77
3.1. Симптоматика изучаемых вирусов на сортах картофеля в полевых условиях	77
3.2. Выявленная вредоносность вирусов картофеля	87
3.3. Изучение эффективности ряда препаратов против PVY, PVM и PVS вирусов картофеля в мелкоделяночных опытах	103
3.4. Изучение влияния ряда препаратов на урожайность оздоровленных растений картофеля в мелкоделяночных опытах	120
3.5. Оценка биологической эффективности индукторов болезнеустойчивости против вирусов картофеля в полевых условиях и экономическая оценка рентабельности их применения	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	132
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	165

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований.

Согласно современным данным, на долю вирусных болезней приходится около 47% от общего объема потерь урожая сельскохозяйственных культур от болезней растений (Dutta et al., 2022). Проблема вирусных патогенов остается актуальной для вегетативно размножаемых культур, таких как картофель, поскольку передача инфекции продолжается из поколения в поколение, что приводит к снижению урожайности, к ухудшению качества клубней и дальнейшему вырождению сортов (Лорх, 1968; Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Стрельцова и др., 2014, Жевора и др., 2019).

Как в России, так и во всем мире, наиболее распространенной практикой решения задачи оздоровления картофеля и получения посадочного материала свободного от вирусов, является сочетание биотехнологических методов оздоровления и полевого клонового отбора. Указанная технология хорошо зарекомендовала себя на этапах оригинального и элитного семеноводства картофеля, но ее результаты существенно ослабевают на этапе семеноводства репродукционного. Это связано как с возможностью сохранения вирусов в зоне апикальной меристемы и их дальнейшего накопления в растениях, так и с реинфицированием посадочного материала в поле (Бабоша, Ладыгина, 1989; Лебенштейн и др., 2005; Гавриленко, 2005; Анисимов, 2010; Замалиева, 2013, 2016). Одним из возможных путей поддержания оздоровленного материала в исходном продуктивном состоянии в полевых условиях кроме контроля насекомых-переносчиков, является использование веществ, либо обладающих прямой антивирусной активностью, либо способных индуцировать естественные защитные механизмы растения (Колычихина, Белошапкина, 2018). В качестве таких соединений рассматриваются как вещества биогенной, так и абиогенной природы, например, производные азотистых оснований, фенолов, мочевины, арахидоновая, салициловая и янтарные кислоты,

хитозансодержащие соединения, интерфероны и т.п. (Огарков, 1984; Постников и соавт., 1989; Pospieszny et al., 1991; Чирков, 2002; Гаспарян, 2013; Рябцева, 2014; Тютерев, 2015; Павлова, 2016; Максимов и соавт., 2020).

Поскольку эти препараты не обладают универсальным действием на разных сортах против различных вирусов, необходимо продолжать поиски соединений наиболее эффективных на современном ассортименте сортов картофеля против доминирующих вирусных патогенов и их комплексов. Одним из таких перспективных соединений является Фармайод (Anson, 1941; Fraenkel-Conrat, 1955; Келдыш, 2013; Kolychikhina, Beloshapkina, 2016), антивирусная активность которого на картофеле в полевых условиях практически не была изучена.

Степень разработанности темы исследований.

Результаты химиопрофилактики большого ряда вирусных болезней разных растений впервые наиболее полно были описаны в монографии А.Д. Бобыря (1976). Одними их первых в нашей стране работы с антивирусными препаратами на картофеле были проведены В.А. Шмыглей и К.В. Попковой (1980), впоследствии были продолжены Н.Ф. Кинякиным и Д.А. Постниковым (Шмыгля, 1985, 1990, 1991; Постников, 1990; Постников и соавт., 1989, 1993).

За рубежом подобные исследования были начаты в конце 1940-х годов (Mathews, 1953). Производные 2,4-диоксогексагидро-2,5-триазина (ДГТ) 2-хлорэтилфосфоновой кислоты (Кампозан), Рибавирин, хитозан, салициловая кислота, арахидоновая кислота, 2-тиоурацил и интерферон человека получили широкое распространение, как средства защиты картофеля от вирусов (Огарков, 1984; Бабоша, Ладыгина, 1989; Pospieszny et al., 1991; Pospieszny, 1995; Трофимец и др., 1997, РФ № 2072779; Чирков, 2002; Рябцева, 2011, 2014; Гаспарян, 2013; Тютерев, 2015; Николаев и соавт., 2016; Ким и соавт., 2022). Их добавляли как в питательные среды для выращивания регенератов из апикальных меристем, так и для обработки ими растений-доноров меристем (Baglioni, 1979; Cassels, Long, 1982; Klein, Livingston 1982; Rosenberg et al., 1985; Vicente et al., 1987; Bittner et al., 1989; Лебенштейн и др., 2005; Mahmoud

et al., 2009; Panattoni et al., 2013; Karan et al., 2021). Были проведены единичные исследования по взаимодействию вируса табачной мозаики и соединений йода *ex vitro* (Anson, 1941; Fraenkel-Conrat, 1955).

Очень малая часть работ была посвящена исследованиям в полевых условиях для оздоровления исходных материнских растений или в качестве профилактических мер. С.Л. Тютеревым, Н.А. Павловой и Т.А. Евстигнеевой был проведен ряд исследований по изучению антивирусных свойств хитозана, салициловой кислоты, азоксистробина и их сочетаний против У-вируса не только путем добавления в питательную среду, но и при обработке вегетирующих растений (Евстигнеева, 2010, 2012; Павлова, 2015; Тютерев, 2015). Поскольку вредоносными являются и другие вирусы, поражающие как отечественные, так и зарубежные сорта картофеля, необходимо проводить расширенный поиск подобных препаратов и уточнять их свойства, в том числе влияние на урожайность культуры и возможность внедрения в существующие на производствах технологии защиты растений.

Целью наших исследований была оценка биологической эффективности многоцелевых препаратов с антивирусными свойствами и их влияния на заражённость вирусами растений и на продуктивность и урожайность картофеля в полевых условиях.

В соответствии с поставленной целью решали следующие задачи:

1. Уточнить динамику проявления симптомов вирусов и их вредоносности на инфицированных растениях картофеля в зависимости от погодных условий и особенностей сорта.

2. Изучить влияние индукторов болезнеустойчивости в мелкоделяночных и производственных опытах на распространённость вирусных болезней и динамику содержания вирусов в растениях для защиты картофеля в полевых условиях.

3. Определить влияние индукторов на урожайность картофеля в мелкоделяночных и производственных опытах.

4. Оценить экономическую эффективность применения препарата Фармайод, ГР в системе защитных мер от вторичной вирусной инфекции.

Научная новизна проведенных исследований.

Впервые доказана биологическая эффективность применения препаратов Фармайод и Иммуноцитифит, как индукторов болезнеустойчивости против Y- и M-вирусов, а также комплексов вирусов картофеля в полевых условиях. Получены новые знания об изменении содержания Y- и M-вирусов картофеля под действием исследуемых препаратов: Фармайод, Иммуноцитифит, Вирон, Зерокс, Экогель, Амулет. Приоритетно уточнен механизм действия йода на вирусные болезни, рост и развитие растений картофеля. Уточнена динамика проявления симптомов разных вирусов под влиянием погодных условий и особенностей сорта. Показано, что уровень скрытой зараженности растений вирусами был значительно выше, чем визуально наблюдаемый уровень распространенности болезней, особенно в отношении моноинфекции S-вируса. Приоритетно экспериментально доказана возможность повышения урожайности заражённых растений в результате применения препаратов Фармайод и Иммуноцитифит.

Теоретическая и практическая значимость результатов проведенных исследований.

Усовершенствованы элементы технологии защиты посадок картофеля от вирусной реинфекции Y-, M- и S- вирусов и их сочетаний применением препаратов разных химических классов против на вегетирующих растениях современных сортов картофеля. Разработаны регламенты применения препарата Фармайод в качестве средства защиты растений от Y- и M-вирусов, а также комплексной вирусной инфекции картофеля в полевых условиях в наиболее оптимальные сроки с учетом исходной зараженности посадочного материала и возможного инфицирования растений в поле.

На основе полученных данных препарат Фармайод внесен в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для

применения на территории Российской Федерации. Включение препарата Фармайод в систему защиты картофеля от болезней способствовало увеличению рентабельности производства продовольственного картофеля в среднем на 9-12%, использование Иммуноцитифита – на 7-10% в зависимости от региона. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с растениеводством и защитой картофеля, также в производстве семенного и товарного картофеля.

Методология и методы диссертационного исследования.

При проведении работы использованы полевые и лабораторные методы вирусологических исследований, общепринятые методики: ГОСТ 59551-2021; Доспехов, 1985, а также методики проведения биохимических анализов растительных образцов, которые подробно изложены в разделе «Материалы и методы» соответствующей главы диссертации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Как при явной вирусной симптоматике, так и при латентном течении заболевания происходит ухудшение биометрических показателей, снижение урожайности и потеря качества продукции на современных сортах картофеля в полевых условиях.

2. Препараты различных химических классов проявляют антивирусные свойства, а также выполняют роль индукторов неспецифического иммунитета растений разных сортов картофеля в полевых условиях

3. Препараты с антивирусным действием способствуют повышению урожайности низких репродукций картофеля в производственных посадках.

Степень достоверности и апробации результатов.

Результаты и выводы работы обоснованы, достоверны и подтверждены статистической обработкой экспериментальных данных в программе Microsoft Excel. Основные результаты работы доложены на Всероссийской научной конференции с международным участием «Растениеводство и луговое хозяйство» (18-19 ноября 2020 г., РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва), конференции «Система питания и интегрированная защита

сельскохозяйственных культур на основе биологических препаратов» (30 января 2019 г., ЦАС-АГРОХИМ, г. Майкоп), конференции «Органическое сельское хозяйство и биологизация земледелия – состояние и перспективы» (21 ноября, 2019 г., организатор – ФГБНУ ВНИИБЗР, ВКК «Экспоград Юг», г. Краснодар), Международной научной конференции, посвященной 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (4-6 декабря, 2018 г., РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва), VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные процессы в сельском хозяйстве» (20-22 апреля, 2016 г., РУДН, г. Москва). Результаты исследований были использованы для разработки регламентов применения пестицида Фармайод, ГР для включения его в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории Российской Федерации, 2022 г. (свидетельство о государственной регистрации № 3696 от 25 мая 2022 г., регистрант – ООО «НБЦ «Фармбиомед»)

Публикации материалов исследований.

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе 2 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в издании, входящем в международную реферативную базу данных Scopus.

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 184 страницах компьютерного текста, состоит из введения, обзора литературы (глава 1), методической главы (глава 2) экспериментальной главы (главы 3), заключения, приложений (12), включает 20 таблиц и 27 рисунков. Библиографический список состоит из 240 наименований, в том числе 95 иностранных.

Личный вклад соискателя

Работа является результатом оригинальных исследований. На 90% этапы работы были выполнены лично автором (обзор и анализ литературы по теме исследований, запланированные опыты и исследования, сбор и анализ, включая статистическую обработку, данных). Разработка программы

исследований и выбор необходимых методов исследований выполнены при участии научного руководителя.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность и глубокую признательность за ценные советы, личный пример, вдохновение, помощь и моральную поддержку на всех этапах проведения исследований и подготовки работы своему научному руководителю – д. с.-х. н., профессору О.О. Белошапкиной. Автор искренне благодарит коллектив ООО «НБЦ «Фармбиомед» и особенно ген. директора, к. т. н. О.И. Тихомирову и зав. лабораторией фитосанитарных исследований И.П. Борисову за возможность проведения лабораторных и полевых испытаний, за разрешение использовать полученные в ходе регистрационных испытаний необходимые данные, за всестороннюю поддержку и помощь, а также за бесценный опыт, полученный в период совместной работы. Автор благодарит специалистов ФГБУ ВНИКР - к.б.н. Ю.Н. Приходько и Т.С. Живаеву за помощь в освоении методики ИФА, за консультативную поддержку и отзывчивость.

ГЛАВА 1. ВИРУСНЫЕ БОЛЕЗНИ КАРТОФЕЛЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕРЫ БОРЬБЫ (обзор литературы)

1.1. Проблема и вредоносность фитопатогенных вирусов на картофеле

Вирусные болезни растений представляют собой серьезную фитосанитарную проблему для сельского хозяйства во всем мире. Во многом это связано с климатическими изменениями и переходом хозяйственной деятельности человека на высокоинтенсивное монокультурное производство ряда важных продовольственных культур (Назаров и соавт., 2020; Jones, 2021).

Изменение климата уже вызывает такие негативные явления, как распространение насекомых-переносчиков с юга на север стран, расширение их ареала; повышение частоты локальных вспышек тех или иных заболеваний, эпифитотийный характер их проявления; увеличение числа поколений вредителей и появление новых патогенных штаммов вирусов; рост вредоносности болезней и степени угнетения культурных растений и, соответственно, потерь урожая (Лапшинов, 2010; Roos et al., 2011; Krishnareddy, 2013; Jones, 2014; Gilbertson, 2015; Whitfield, 2015; Islam, 2019). Для вегетативно размножаемых культур, таких как картофель, плодовые, ягодные и декоративные, вопрос вирусных инфекций является особенно актуальным (Блоцкая, 2000; Келдыш, 2003; Защита картофеля..., 2009; Замалиева, 2013; Трускинов, 2014). Вегетативное размножение картофеля основано на способности к развитию растений из клубней, стеблей, почек, пазушных побегов и отводок. В этом случае образуются генетически однородные особи, но смены поколений не происходит. Таким образом закрепляются и сохраняются признаки сорта, но параллельно запускается и процесс вырождения разной этиологии. В конечном итоге вырождение сорта приводит к снижению урожая и ухудшению качества последующих

репродукций (Шмыгля, 1985; Шпаар, 2004; Анисимов, 2010; Стрельцова и соавт., 2014).

Вырождение сорта – результат совокупного влияния нескольких факторов, таких как климатические условия, технологии выращивания, особенности сорта и индивидуальные особенности растений, уровень обеспеченности посадок удобрениями, степень зараженности растений фитопатогенными микроорганизмами (Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Козлов и соавт., 2020).

Большинство исследователей признают, что одна из главных причин процесса вырождения сорта – развитие тяжелых форм вирусных болезней, поскольку даже при однократном заражении вирус, как правило, не исчезает, и его передача продолжается из поколения в поколение, приводя в итоге к потерям растениями сортовых качеств и продуктивности.

Количество возбудителей вирусных болезней картофеля неуклонно растет. Этот процесс связан как с увеличенным расселением различных организмов-переносчиков, так и с расширением круга растений-хозяев вирусов. Например, вирусы из родов *Tospovirus*, *Begomovirus* ранее считались возбудителями болезней только овощных, древесных и декоративных культур. Одновременно происходит обнаружение новых представителей или более опасных штаммов уже изученных вирусов из родов *Carlavirus*, *Potyvirus* (Рогозина и соавт., 2016). Так род *Potyvirus*, к которому принадлежат вирусы Y и A, включает в себя 200 видов, что составляет почти 25% известных вирусов растений (Гнутова, Золотарева, 2011).

Немалый вклад в эту статистику вносит и развитие методов инструментальной диагностики. Они позволяют обнаружить болезнь, и, следовательно, возбудителя на ранних стадиях (или в латентной форме), устанавливая первопричину низкой продуктивности растений и качества продукции при отсутствии чётко диагностируемых симптомов.

К настоящему времени в мире идентифицировано около 57 видов различных вирусов, поражающих картофель (Тийтс, 1991; Блоцкая, 2000;

Шпаар и др., 2004; Лебенштейн и др., 2005; Burrows, 2005; Защита овощных культур и картофеля., 2006; Защита картофеля..., 2009; Макарова и соавт., 2017; Назаров и соавт., 2020; Kreuze et al., 2020; Козлов и соавт., 2020).

Большинство из них – РНК-содержащие вирусы, геном которых представлен однонитевой (ss) РНК положительной полярности. К этой группе вирусов относятся следующие семейства и представители: *Secoviridae* (род *Comovirus*, андийский комовирус крапчатости картофеля); *Alphaflexiviridae* (род *Potexvirus*, X-вирус картофеля, вирус аукуба мозаики картофеля); *Betaflexiviridae* (род *Carlavirus*, М, S и Н вирусы картофеля, латентный вирус картофеля); *Tymoviridae* (род *Tymovirus*, андийский латентный тимовирус картофеля); *Bromoviridae* (род *Alfalmovirus*, вирус мозаики люцерны, альфамовирус пожелтения картофеля; род *Cucumovirus*, вирус обыкновенной мозаики огурца; род *Ilarvirus*, вирус стрика табака); *Closteroviridae* (род *Crinivirus*, кринивирус пожелтения жилок картофеля); *Potyviridae* (род *Potyvirus*, Y, A и V вирусы картофеля); *Luteoviridae* (род *Polerovirus*, вирус скручивания листьев картофеля); *Tombusviridae* (род *Necrovirus*, вирус некроза табака), *Virgaviridae* (род *Pomovirus*, вирус метельчатости верхушки картофеля; род *Tobravirus*, вирус погремковости табака; род *Tobamovirus*, вирусы мозаик томата и табака) (Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Рогозина и соавт., 2016).

Согласно опубликованным за последние десятилетия сведениям, высоко вредоносными и широко распространенными вирусными патогенами картофеля в общемировой практике признаны: Y-вирус картофеля, YBK (Potato virus Y, PVY); X-вирус картофеля, XBK (Potato virus X, PVX); S-вирус картофеля, SBK (Potato virus S, PVS); M-вирус картофеля, MBK (Potato virus M, PVM); A-вирус картофеля (Potato virus A, PVA); V-вирус картофеля (Potato virus V, PMV); вирус метельчатости верхушек картофеля (Potato mop-top virus, PMTV); вирус погремковости табака (Tobacco rattle virus, TRV) и вирус скручивания листьев картофеля, ВСЛК (Potato leafroll virus, PLRV, L-вирус) (Анисимов, 2010; Гнутова, 2014; Макарова и соавт., 2017). Однако, на

территории Российской Федерации такие вирусы, как PVA, PMTV и TRV имеют довольно ограниченный ареал распространения и наименее вредоносны (Защита картофеля..., 2009; Фоминых, Медведева, 2018).

При этом исследователи отмечают определенные изменения в доминирующем составе вирусного патокомплекса картофеля. Например, установлено снижение темпов распространенности PLRV в развитых и развивающихся странах за последние 50 лет (Kreuze et al., 2020). Вероятно, это обусловлено тем, что большинство картофельных вирусов, включая PVY, PVA, PVS и PVM передаются с помощью тлей и прочих насекомых по неперсистентному типу или контактно-механическим путем, в то время как для PLRV характерен именно персистентный механизм передачи. Поскольку переносчик становится вирофорным только через некоторый период времени обязательного питания на зараженных вирусом растениях, то применение инсектицидов оказывает выраженный положительный эффект в вопросе снижения распространенности болезни в поле.

Видовой состав вирусов, присутствующих на картофеле, претерпевает значительные изменения. Из-за увеличения среднегодовых температур по всему миру, вспышки вирусных болезней, передаваемых трипсами или белокрылками, становятся все более частыми. Вследствие этого Нью-Дели вирус курчавости листьев томата (Tomato leaf curl New-Deli virus, ToLCNDV), более известный как вирус Нью-Дели, недавно стал основным патогеном картофеля в Индии. В Австралии и Аргентине вирус пятнистого увядания (бронзовости) томата (Tomato spotted wilt virus, TSWV) из-за широкого его распространения на культуре вошел в перечень вирусов, наличие которых отслеживается при проверке схем производства семенного картофеля (Gilbertson, 2015; Kreuze et al., 2020).

Вирусные инфекции нарушают ростовые процессы растений, что может сопровождаться задержкой роста или карликовостью, также они вызывают различные поражения листового аппарата (мозаики, скручивание, морщинистость, некрозы, усыхание, увядание) и клубней (измельчение,

уродливость, некрозы клубней и мякоти) (Амбросов, 1975; Шмыгля, 1978; Насроллахнеджад и соавт., 2002; Романенко и соавт., 2002; Шпаар и др., 2004; Лебенштейн и др., 2005; Карташева, 2007; Кузнецова, 2007; Защита картофеля..., 2009; Жевора и др., 2019).

Тем не менее, в большинстве случаев вирусные заболевания не вызывают гибели больных растений, поскольку, являясь облигатными паразитами, находятся в полной зависимости от химического, ферментативного и энергетического метаболизма хозяина. Их действие проявляется главным образом в последовательном снижении урожая вследствие как прямого негативного действия на фотосинтетический аппарат растений (деформация листьев, мозаичность), так и опосредованного, связанного с током пластических веществ. При этом в процессе распространения по растению вирусное заболевание нередко переходит в форму системной, хронической инфекции, воздействуя на защитные механизмы растения-хозяина, что приводит к усилению или ослаблению реакций в зависимости от внешних факторов.

По данным Kreuze J. и соавторов, снижение урожайности картофеля от моноинфекции X-вируса может достигать 10-40% (в среднем – 25%), но в сочетании с Y- или A-вирусами картофеля может привести к потерям урожайности клубней до 80%, что связано с его синергизмом с обоими потивирусами. У растений, пораженных одновременно X- и M-вирусами, продуктивность снижается до 60%, а при поражении комплексом X+M+Y-вирусов – на 83,7%, т.е. растения практически не дают урожая (Kreuze et al., 2020).

Несмотря на повсеместное распространение, PVA поражает только определенные сорта картофеля и, как правило, не наносит существенного вреда при моноинфекции (Рогозина и соавт., 2016; Zhang et al., 2021). То же характерно и для V-вируса картофеля, поскольку большинство сортов обладают устойчивостью к данному патогену и в случае заражения не демонстрируют выраженных симптомов заболевания (EFSA PLH Panel, 2020).

В тоже время на чувствительных к вирусу сортах могут дополнительно развиваться некрозы клубней, что значительно усиливает ущерб от PVV (Fuentes et al., 2022).

Необходимо отметить, что приведенные сведения нередко относятся именно к прямым потерям без учета снижения или потерь клубнями тех товарных качеств, которые имеют большое значение для дальнейшей переработки и хранения картофеля. Например, помимо прямых повреждений клубней, вирус погремковости табака (внутренний некроз мякоти клубней) и вирус скручивания листьев картофеля (сетчатый некроз клубней) отрицательно влияют и на содержание крахмала. уменьшается количество сырого протеина, витаминов С, В1, В2 (Романенко и соавт., 2002; Кеное, 2016).

В зараженных фитопатогенными вирусами клубнях снижается по сравнению со здоровыми содержание сухого вещества и витаминов, и практически все вирусы при инфицировании снижают крахмалистость клубней (Бабоша, Ладыгина, 1989; Блоцкая, 2000; Екатеринбургская, 2018). Потери крахмала могут составлять от 0,8 до 4,6%. По данным Амбросова (1975) даже при латентном поражении вирусом Y содержание крахмала в клубнях снижается на 0,3-0,8% (Амбросов, 1975). Происходят и другие физиолого-биохимические изменения: отмечается уменьшение размеров крахмальных зерен в пораженных тканях, снижается кислотность крахмала и содержание амилазы (Анисимов, 2010; Амелюшкина, Семешкина, 2011).

И хотя в настоящее время по открытым данным портала «Картофельные системы» (<https://potatosystem.ru/kartofelnyj-krakhmal-perspektivy-rossijskogo-grupka/>, дата обращения – 22.03.2020 г), в структуре отрасли крахмалопаточной продукции картофельный крахмал занимает малую долю в сравнении с кукурузным или пшеничным, уровень крахмала в клубнях остается важной качественной характеристикой как столовых, так и технических сортов картофеля.

В России общие потери урожая картофеля, возникающие в результате поражения его инфекционными болезнями, составляют в среднем 20-40%, из

них – около 7% приходится на долю вирусов (Французов и соавт., 2018; Жевора и др., 2019).

Вследствие затрудненной полевой диагностики многих вирусных болезней (маскировки или отсутствия выраженных симптомов), установление вироза как причины потери урожайности нередко происходит постфактум. Возникающие от вирусов потери производства картофеля по регионам неодинаковы; они связаны с климатическими условиями, особенностями технологий выращивания и устойчивостью сорта, уровнем распространенности конкретного вируса и их сочетаний в растении, применяемых средств защиты (Колычихина, Белошапкина, 2017).

При этом немаловажное значение при разработке защитных мероприятий, особенно на семенных посадках, имеют тип передачи вируса, способ его распространения в полевых условиях и вид переносчика.

1.2. Роль векторов в распространении и вредоносности вирусов картофеля

Известно два основных типа передачи фитопатогенных вирусов от зараженных растений к здоровым: 1. вертикальный путь – от родительских форм к потомству (семена, плоды, клубни, луковицы, черенки); 2. горизонтальный путь – контактно-механическая передача (соприкосновение листьев или корней зараженных и здоровых растений, перенос вирусов в процессе ухода за растениями на руках, инструменте, одежде, оборудовании), с помощью векторов, таких как насекомые, клещи, нематоды, грибы, и пассивная передача с растительными остатками, почвой или поливной водой (Келдыш, 2003; Карташева, 2007; Пиневич, 2012; Аникина, Сейтжанова, 2015; Защита растений..., 2017).

Горизонтальная передача вирусов, распространенных на картофеле, осуществляется контактно-механически, в основном при повреждении ботвы в процессе междурядных обработок, и с помощью векторов. На первом месте по количеству переносимых вирусов находятся насекомые, затем

почвообитающие нематоды, и небольшое число вирусов переносится клещами и почвообитающими грибами (Лебенштейн и др., 2005; Защита овощных культур и картофеля..., 2006; Защита картофеля..., 2009; Защита растений..., 2017).

Вероятность успешного заражения растения вирусом при участии насекомого-вектора, значительно выше. Это связано не только с активным расселением векторов на различных растениях-хозяевах, но и с тем, что большинство насекомых-переносчиков являются фитофагами, питающимися растительным соком, и осуществляют прямую передачу вируса в клетки и сосуды растений (Gilbertson, 2015; Whitfield, 2015; Islam, 2019).

Насекомые-переносчики принадлежат к следующим отрядам: *Coleoptera*, *Orthoptera*, *Lepidoptera*, *Thysanoptera*, *Diptera*, *Dermaptera*, *Hemiptera*. Представители отряда Полужесткорылых (*Hemiptera*) являются переносчиками почти 55% всех известных вирусов растений. Наиболее широко распространенными и вредоносными среди таксонов отряда признаны семейства *Aphididae* (Настоящие тли) и *Aleyrodidae* (Белокрылки) (Защита растений..., 2002; Защита овощных культур и картофеля..., 2006; Krishnareddy, 2013).

Из семейства Настоящих тлей на посадках картофеля чаще встречаются: обыкновенная (*Aulacorthum solani* Kalt.) и большая (*Macrosiphum euphorbiae* Thom.) картофельные тли, крушинная (*Aphis nasturtii* Kalt.) и крушинниковая (*Aphis frangulae* Kalt.), зелёная персиковая (*Myzus persicae* Sulz.), свекловичная или бобовая (*Aphis fabae* Scop.), бахчевая или хлопковая (*Aphis gossypii* Glov.) тли (Дьяконов, 1966, 2005; Защита овощных культур и картофеля..., 2006; Защита картофеля..., 2009; Какарека и соавт., 2019; Козлов и соавт., 2020; Шаманин и соавт., 2020). Тли являются переносчиками таких распространенных вирусов картофеля как PLRV, PVY, PVM, PVA, PVV, PVS, поэтому в оригинальном семеноводстве картофеля вопросу прогнозу динамики численности и защиты посевов от тлей уделено огромное внимание

(Шмыгля, 1978; Амбросов, 1975; Блоцкая, 2000; Лебенштейн и др., 2005; Анисимов, 2010; Замалиева, 2013, 2016).

Для некоторых персистентных вирусов, таких как PLRV, переносчик также выполняет функцию резерватора инфекционного начала. Попадая с соком растения в желудок тли, в течение латентного периода вирус размножается и перемещается из кишечника насекомого в гемолимфу, затем в слюнные железы и, наконец, в слюну. Тля остается вирофорной до конца жизни. При этом вирус не передается от матери к молодой тле – только путем питания на зараженном растении (Radcliffe, Ragsdale, 2002; Багров, Леунов, 2020).

Эффективность передачи вирусов у разных видов одного семейства может значительно отличаться. Институтом биологических наук Северной Ирландии (AFBI) на основе данных многолетнего мониторинга были рассчитаны коэффициенты эффективности передачи вирусов PVY (неперсистентный механизм передачи) и PLRV (персистентный механизм передачи) различными видами тлей (<https://www.afbini.gov.uk/pvy-and-plrv-index-tables>), присутствующих в агробиоценозе картофельных посадок.

Согласно расчетам, наиболее высокую вредоносность имеет зелёная персиковая тля *Myzus persicae* Sulz. – вид-полифаг, круг растений-хозяев которого насчитывает более 40 семейств, включая картофель. Коэффициент эффективности для этого вида составляет 1,0 для обоих вирусов, для обыкновенной картофельной тли *Aulacorthum solani* Kalt. – 0,2 (PVY) и 0,3 (PLRV), для большой картофельной тли *Macrosiphum euphorbiae* Thom. – 0,2 (PVY) и 0,15 (PLRV), для крушинной тли *Aphis nasturtii* Kalt. – 0,4 и 0,25 соответственно.

По результатам экспериментов, проведенных исследователями в условиях Дальнего Востока России, не менее эффективна персиковая тля и как переносчик M- и S-вирусов картофеля. Было установлено, что в результате питания переносчика на вирусном растении в течение 1 мин., 1 ч. и 1 сут., и дальнейшей передаче инфекции на здоровые растения, число воспринявших

инфекцию кустов составило соответственно 30%, 30% и 100% от общего количества испытуемых растений. Во всех вариантах клубневое потомство от заразившихся растений было на 100% поражено PVS. Аналогичная картина наблюдалась и при передаче PVM. При кратковременном кормлении (1 мин. и 1 ч.) на зараженном растении векторы передавали инфекцию в 30-50% случаев; при питании в течение 1 сут. эффективность инокуляции повышалась до 80% (Какарека и соавт., 2019).

Таким образом, можно предположить, что при росте числа насекомых-переносчиков должна пропорционально возрасти и степень распространенности вирусных болезней в поле. Например, в исследованиях Лапшинова Н.А. (2010) по установлению взаимосвязи между численностью тлей-переносчиков и долей пораженного вирусами картофеля, была выявлена положительная зависимость, где коэффициент корреляции (r) составил 0,5107-0,9995 (Лапшинов, 2010). Т.В. Рябцевой и В.И. Куликовой в опытах по оценке устойчивости оздоровленного картофеля к вирусной реинфекции (2006-2010 гг.) также была установлена прямая, но слабая зависимость между количеством тлей-переносчиков и пораженностью растений вирусами в латентной форме, $r = 0,1847$ (Рябцева, Куликова, 2011).

Однако, в результате многолетних наблюдений (1997-2007 гг.) на производственных посадках оздоровленного семенного картофеля Ф.Ф. Замалиевой было показано, что гораздо большее значение имеет степень исходной зараженности посадочного материала, на которую в последствие накладывает влияние фактор активности и численности насекомых-переносчиков. Так, в ходе учетов на картофеле сорта Невский коэффициент роста вирусной зараженности не превышал расчетное значение 3-5 даже в годы с очень высокой численностью тлей при исходном уровне зараженности, приравненном к нулевому (Замалиева, 2013).

Помимо видов, колонизирующих посадки картофеля, растения могут быть инфицированы вирусами в результате пробных уколов потенциальными

переносчиками, например, злаковыми тлями *Rhopalosiphum padi* L. и *Sitobion avenae* F. (Лебенштейн и др., 2005; Шаманин и соавт., 2020).

Подтверждением служит работа Пазюк и соавторов (2017) по оценке переноса Y-вируса хищным клопом-энтомофагом *Orius majusculus* Reuter и злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rondani, используемой в качестве кормового субстрата для него. Исследователями не было отмечено случаев переноса указанного вируса хищником, при этом была выявлена существенная разница при оценке эффективности передачи PVY между персиковой тлей *Myzus persicae* Sulz. и злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rondani. На сортах картофеля Ред Скарлет и Удача последняя переносила вирус значительно чаще – от 40 до 60% зараженных растений. Для злаковой тли, имеющей более узкую пищевую специализацию, питание на картофеле, по всей видимости, приводило к постоянному поиску и более частым пробам субстрата, что и смогло в конечном счете привести к более широкому распространению вируса (Пазюк и соавт., 2017).

Представляют интерес результаты исследований 2019-2022 гг. о способах переноса таких вирусов, как PVY, PVM и PVS картофельной коровкой *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky (*Coleoptera: Coccinellidae*) в Приморском крае. Отечественными учёными было препарировано 55 особей картофельной коровки. Для особей, лишенных головы, было характерно наличие вирусов PVM, PVS, PVY. При этом только PVS был обнаружен на ротовых органах и в кишечнике насекомых, в отличие от PVM, что подтвердило передачу PVM картофельной коровкой только механическим путем. Y- и S-вирусы картофеля были также обнаружены в яйцекладках и личинках вредителя, но в куколках был обнаружен только Y-вирус. Авторы предполагают, что вирус циркулирует в гемолимфе и может передаваться из поколения в поколение (Собко, Мацишина, 2023). Персистентный тип передачи УВК 28-мипятнистой картофельной коровкой, и ее способность к миграции на дальние расстояния (Коваленко, 2018; Ермак и

соавт., 2022) позволяют отнести вредителя к наиболее опасному вектору данного вируса на Дальнем Востоке (Какарека и соавт., 2019).

Изучения системы «вирус-вектор» позволяет оценить и спрогнозировать динамику распространения тех или иных вирусных болезней. Риск полевого реинфицирования картофеля персистентными вирусами можно снизить до минимального, даже при наличии зараженного посадочного материала, при исключении насекомого-переносчика из жизненного цикла вируса. Данный подход применим и к непersistентным вирусам, но нередко он оказывается недостаточно эффективным. В первую очередь это касается вирусов, которые могут распространяться не только с помощью насекомых, но и контактно-механическим путем. Эта особенность позволила некоторым возбудителям вирусозов получить широкое распространение на посадках картофеля во всем мире. Борьба с ними требует разработки более сложных защитных схем и внедрения новых приемов контроля.

1.3. Распространенные на территории России непersistентные вирусы картофеля

1.3.1 Семейство *Potyviridae*, род *Potyvirus*

Y-вирус картофеля, УВК (*Potato virus Y*, PVY)

Вирионы гибкие, нитевидные, спиральной структуры с шагом 3,3 нм. Длина – 684 нм в очищенных препаратах или 730 нм (в препаратах, полученных из листьев) и шириной 11 нм. Вирионы содержат 5,4-6,4% рибонуклеиновой кислоты и 93,6-94,6% белка. Геном представлен одноцепочечной РНК положительной полярности, длиной 9704 нуклеотида, к началу которой (5'-концу) ковалентно присоединен вирус-кодируемый белок (VPg), а на 3'-конце находится полиадениловый «хвост» (Reichmann, 1992; Kerlan, 2004; Karasev, Gray, 2013; Рогозина и соавт., 2016; Naveed, Luqman, 2017).

Вирус широко распространен по всему миру и наносит ощутимый ущерб в районах выращивания картофеля, табака, томата и перца (преимущественно

в открытом грунте). Однако, общий диапазон растений-хозяев PVY включает 495 видов 72 родов 31 семейства (Warren et al., 2005; Kehoe, 2016; Naveed, Luqman, 2017).

Источником первичного заражения обычно являются клубни, полученные от больных растений, сорные и культурные растения семейства *Solanaceae* L. Основным резерваторм накопленной инфекции служат посадки продовольственного картофеля, в растениях и клубнях которого уровень вирусной нагрузки значительно выше, чем в картофеле, выращиваемом на семенные цели (Шпаар и др., 2004; Лебенштейн и др., 2005; Анисимов, 2010).

Согласно современным данным многих исследователей, Y вирус существует в виде комплекса штаммов, которые обеспечивают разнообразие симптомов на листьях и клубнях картофеля (Какарека, 2001; Mahmoud et al., 2009; Вологин, 2012; Макарова и соавт., 2017; Lacomme et al., 2017).

Наиболее типичными проявлениями вирусной инфекции при заражении картофеля PVY являются:

- морщинистая мозаика, вызванная усиленным разрастанием ткани между жилок листа, при этом края листьев загнуты вниз;
- полосчатая мозаика, которая сопровождается образованием штриховатых некрозов или некротических полос и пятен по жилкам нижней стороны листьев. Вследствие поражения проводящей системы, листья нижних ярусов постепенно отмирают, но остаются висеть на черешках, что приводит к оголению стебля и пальмообразному виду растения;
- сетчатый некроз клубней, проявляющийся в период хранения.

При заражении растений в конце вегетационного периода симптомы заболевания могут не проявляться, однако клубни уже несут вирусную инфекцию. Растения, развивающиеся из зараженных клубней – карликовые. На листьях проявляются расплывчатая мозаика и морщинистость. При высокой температуре крапчатость может становиться незаметной, но морщинистость остается. Пораженные растения преждевременно погибают (Тийтс, Айгур, 1991).

Исторически штаммы, изолированные с зараженных растений картофеля, разделены на три основные группы: обыкновенный PVY^o – вызывает слабую мозаичность листьев и задержку роста, PVY^C – штамм, обнаруженный в Европе, Австралии и Индии, вызывает слабые симптомы морщинистости или проявляется в виде штриховатости и некротический PVY^N – вызывает некроз жилок листьев и мякоти клубней (Gray, 2010; Badr, 2015; Coutts, Jones, 2015; Kehoe, 2016; Lacomme et al., 2017).

Некротический штамм подразделяют на группы PVY^N, PVY^{NTN} и PVY^{N-Wi}. На данный момент штамм PVY^{NTN} считается одним из самых опасных, поскольку, помимо некроза жилок листьев и некротических полос на стеблях, в конце вегетации вызывает образование вздутых колец на поверхности клубней. В период хранения пораженные участки некротизируются и углубляются в мякоть клубня до сосудистого кольца. Такие клубни не пригодны для дальнейшей переработки (Лебенштейн и др., 2005; Вологин, 2013; Козлов и соавт., 2020).

Заражение растений Y вирусом картофеля приводит к нарушениям биохимических и физиологических процессов: наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза вследствие уменьшения количества хлоропластов и их дегградации; нарушение ассимиляции CO₂ и усиление дыхания и транспирации; снижение содержания белка и крахмала в товарных клубнях (Амбросов, 1975; Блоцкая, 2000; Zhou et al., 2004; Tsedaley, 2015; Torrance, Taliansky, 2020; Kolychikhina et al., 2021).

Переносчиками вируса могут быть более 50 видов тлей, поскольку отсутствует выраженная видоспецифичность. Передача вируса осуществляется по непersistентному типу, поэтому отсутствуют стадии циркуляции и репликации вируса в организме насекомых, вследствие чего не происходит узнавания вируса рецепторами переносчика по принципу «белок-белок» (Radcliffe, Ragsdale, 2002; Naveed, Luqman, 2017).

1.3.2 Семейство *Alfalexiviridae*, род *Potexvirus*

Х-вирус картофеля, ХВК (*Potato virus X, PVX*)

Вирионы представляют собой нитевидные, как правило изогнутые, частицы длиной от 470 до 580 нм. Длина вирионов зависит от штамма вируса, модальная длина составляет 515 нм. Вирус содержит 6% РНК и 94% белка. Геном представлен одноцепочечной РНК положительной полярности, длиной 6435 нуклеотидов (Лебенштейн и др., 2005; Никитин и соавт., 2014).

Большая часть штаммов вируса не вызывает выраженных симптомов, а снижение урожайности у таких растений обычно не достигает 10%, поэтому ХВК долгое время не был включен в перечень вредоносных вирусов. Однако, в дальнейшем были обнаружены изоляты, способные вызывать тяжелую форму мозаик, верхушечные некрозы, курчавость и морщинистость листьев, что может приводить к значительным потерям урожая (Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Jones, 2021). Интенсивность проявления симптомов в значительной степени зависит не только от вирулентности штамма самого вируса, но и от особенностей сорта и внешних условий (Senanayake, Mandal, 2014).

Наиболее часто болезнь проявляется в виде расплывчатых светло-зеленых или слабозеленых пятен на листьях – крапчатая мозаика – которые лучше заметны в пасмурную погоду. Симптомы крапчатости исчезают при старении ботвы, поэтому ранние признаки заражения ХВК лучше заметны на молодых растениях до цветения (Интегрированная система защиты картофеля..., 2006; Защита картофеля..., 2009)

Как было описано ранее, наибольший ущерб ХВК наносит картофелю в составе комплексов с прочими вирусами. Смешанные инфекции с его участием приводят к повышению титров PVY, PVS или PLRV в клеточном соке растений, усиливая симптомы поражения. PVX также может усугублять заболевания, вызываемые фитопатогенными грибами *Verticillium dahliae* и *Colletotrichum armamentarium*, а также снижать восприимчивость клубней картофеля к *Fusarium roseum* и *Phytophthora infestans* (Fuentes et al., 2021).

Основные способы передачи вируса от больных растений к здоровым, это: контактный осуществляемый через соприкосновение побегов, листьев и корней и механический, при котором распространение вируса происходит с сельскохозяйственным оборудованием в процессе ухода за растениями, инвентарем, одеждой работников.

Среди насекомых не было обнаружено специфических переносчиков ХВК. Перенос тлями возможен в присутствии другого вируса-хелпера, относящегося к семейству *Alfalexiviridae* (Пиневиц и др., 2012). Имеются данные о переносе вируса грызущими насекомыми, такими как кузнечики, кобылки, жуки (Интегрированная система защиты картофеля, 2006; Какарека и соавт., 2019; Verchot, 2022; Ермак и соавт., 2022). Известно о возможности переноса ХВК зооспорами *Phytophthora infestans* (Али и соавт., 2010).

1.3.3 Семейство *Betaflexiviridae*, род *Carlavirus*

М-вирус картофеля, МВК (Potato virus M, PVM)

Вирионы прямые, слегка изогнутые, нитевидные, имеют спиральную симметрию, длиной 610-700 нм и шириной 12-15 нм. Геном представлен одноцепочечной РНК положительной полярности, чья полная последовательность составляет, по уточненным данным, 8553 нуклеотида. РНК вируса полиаденилирована (Рогозина и соавт., 2017; Юсубахмедов, Файзиев, 2022).

PVM встречается во всех зонах выращивания картофеля. Согласно результатам филогенетического анализа, проведенного Хи и соавторами (2010) при установлении нуклеотидной последовательности гена капсидного белка МВК все известные к настоящему времени изоляты вируса распределяются на две группы. Группа I включает изоляты из Италии, Германии, Китая, Польши и России, а группа II – изоляты из США и Канады.

Несмотря на то, что в некоторых регионах уровень зараженности посадок МВК может достигать 100%, наличие и выраженность симптомов на больных растениях в большей степени зависит от сорта картофеля и штамма

самого вируса. М-вирус картофеля часто присутствует в растениях в составе комплексной инфекции с S- или X-вирусами (Лебенштейн и др., 2005; Карташева, 2007; Анисимов, 2010; Колычихина, Белошапкина, 2021).

Для растений на ранних этапах онтогенеза характерна межжилковая мозаичность листьев, закручивание вверх краев долей верхних листьев в виде ложечки, волнистость края листьев. На особо восприимчивых к вирусу сортах картофеля наблюдается торможение роста, иногда – карликовость. Позднее заражение М-вирусом стареющих растений не дает выраженных симптомов, отмечают лишь слабую мозаику, а затем небольшой некроз листьев (Блоцкая, 2000; Защита овощных культур и картофеля..., 2006; Жевора и др., 2019). Возможно, подобное явление в некоторой степени объясняется медленным транспортом вируса в растениях старшего возраста.

Симптомы, как правило, ярче выражены в пасмурную погоду при умеренной температуре воздуха, поэтому в середине вегетационного периода при температуре выше 24°C внешние симптомы инфекции ослабевают и практически не наблюдаются (<https://ephytia.inra.fr/en/C/21044/Potato-Symptoms>; Интегрированная защита, 2006).

Распространение вируса тлями происходит по неперсистентному типу, аналогично Y-вирусу картофеля. Вирус также может распространяться с помощью полевых клопов и контактно-механическим путем.

S-вирус картофеля, SBK (Potato virus S, PVS)

Вирионы нитевидные, слегка изогнутые, длиной около 650 нм и шириной 12 нм. Содержат около 5% РНК и 95% белка. Геном представлен одноцепочечной РНК положительной полярности, длиной 8500 нуклеотидов (Matoušek et al., 2005; Gutiérrez, Mauricio, 2013).

Наиболее распространенными являются два основных штамма этого вируса, выявляемых по их реакции на индикаторном растении лебеде *Chenopodium quinoa* Willd: ординарный PVS⁰ и андийский PVS^A. Оба штамма индуцируют локальные некрозы на листьях при механической инокуляции соком, но только PVS^A способен перемещаться в листья верхнего яруса, тем

самым вызывая системное инфицирование растения (Lambert et al., 2012). С помощью тлей происходит передача в основном штамма PVS^A, а основная контактная передача не зависит от вида штамма (De Sousa, 2012; Santillan et al., 2018).

Болезнь часто развивается бессимптомно (латентная инфекция), но могут быть отмечены слабый хлороз листьев; глубокое жилкование на верхней стороне листьев, приводящее к морщинистости и складчатости последних; измельчение листьев; волнистость краев листьев и краевой некроз. У высоко восприимчивых сортов картофеля еще часто наблюдается бронзовый оттенок и некротическая крапчатость на листьях (Блоцкая, 2000; Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Павлова, 2014; Рогозина и соавт., 2017).

Снижение урожайности зараженных растений происходит из-за формирования ими более мелких клубней, и потери могут достигать 3-20% (Интегрированная система защиты картофеля, 2006; Защита картофеля..., 2009; Павлова, 2014; Колычихина, Белошапкина, 2020). Также как и М-вирус картофеля, PVS в подавляющем большинстве случаев обнаруживается в растениях в составе ко-инфекции, при этом его наличие явно усугубляет течение болезни и тяжесть симптомов, вызванных другим вирусом патоконплекса (Торкава et al., 2023; <https://potatoesnz.co.nz/updates/biosecurity-updates/important-potato-virus-s-pvs/>).

В 2014 году Lin и соавторы опубликовали результаты экспериментов, в которых учёным удалось установить негативное влияние S-вируса на устойчивость картофеля к фитофторозу. Опыт был проведен на сорте Defender – единственном в США сорте с устойчивостью как к листовой, так и клубневой форме поражения фитофторозом. При одновременном заражении растений указанного сорта *Phytophthora infestans* и PVS степень развития фитофтороза оказалась значительно выше, чем у контрольных растений (свободных от вируса) в тех же условиях. Поскольку PVS также является широко распространенным вирусом на территории США, исследователи рекомендуют

проверять устойчивые к фитофторозу сорта картофеля на восприимчивость к данному вирусу (Lin et al., 2014).

Поскольку вирусы, поражающие картофель, отличаются видовым и штаммовым разнообразием, обладают способностью существовать в виде латентной инфекции в течение длительного периода времени, существует необходимость в использовании более достоверной, чем визуальные обследования, инструментальной диагностике вирусных инфекций.

1.4. Методы диагностики вирусов картофеля

В общей системе защиты картофеля от вирусных болезней огромную роль играет правильная и достоверная идентификация возбудителей. Знание вида патогена, его биологических свойств и вредоносности позволяет разработать наиболее эффективную стратегию борьбы (Шмыгля, 1983; Лебенштейн и др., 2005; Анисимов, 2010; Павлова, 2019; Жевора и др., 2019).

К основным методам массовой диагностики фитопатогенных вирусов относятся: визуальный метод, серологический и молекулярно-генетический методы. Помимо перечисленных приемов, также могут использоваться метод растений-индикаторов; метод электронной микроскопии; метод включений, анатомо-цитологический, метод люминесцентного анализа и пр.

На начальных этапах становления фитовирусологических исследований широкое распространение и использование получили методы визуальной диагностики и растений-индикаторов. В настоящее время наиболее распространены и востребованы различные модификации серологического и молекулярно-генетического методов, в том числе их комбинации (Webster, 2004; Дрыгин и соавт., 2007; Передовые методы..., 2019; Методы диагностики..., 2020).

Метод визуальный диагностики предшествует всем остальным методам и является наиболее распространенным, а его применение практически беззатратно для идентификации болезней не только вирусной, но также бактериальной и грибной этиологии. Однако, правильнее считать данный

способ вспомогательным, позволяющим дать первую предварительную оценку о природе заболевания. Точная идентификация вирусов при визуальном осмотре требует уверенных знаний о внешних симптомах болезни и характере их проявления в зависимости от условий окружающей среды, вида растения-хозяина, фазы развития, его сорточувствительности и сортоустойчивости для сопоставления видимых признаков поражения с конкретным патогеном (Шмыгля, 1979; Келдыш, 2003; Карташева, 2007; Защита растений..., 2017; Жевора и др., 2019).

Согласно ГОСТ 59551-2021 «Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики фитопатогенов», для полного представления о зараженности растений вирусами в посадках необходимо проведение не менее двух осмотров: в период цветения (во время наибольшего их проявления) и перед предуборочным удалением ботвы. При этом рекомендуется учитывать чувствительность отдельных сортов к вирусной инфекции и их реакцию на заражение. Власовым Ю.И. и соавторами рекомендуется проведение дополнительного обследования картофеля в период всходов высотой 15-20 см (С.-х. фитовирусология, 2016).

Патологическое действие вирусов может проявляться в изменении окраски (мозаики, хлорозы) и деформациях листьев (морщинистость, скручивание, складчатость). Вирусы провоцируют появление некрозов, кольцевых пятнистостей, вызывают угнетение роста, израстание побегов (Келдыш, 2003; Карташева, 2007; Аникина, Сейтжанова, 2016; Защита растений..., 2017; Жевора и др., 2019). Вследствие этого часто можно предположить вирусную природу заболеваний по наблюдаемым внешним признакам.

Вместе с тем, многие свойственные вирусам симптомы могут быть вызваны другими причинами: температурные стрессы; нарушения минерального питания растений; некорректное применение гормональных препаратов (регуляторов роста) и гербицидов, вызывающее различные

деформации органов; фитоплазменные и некоторые бактериальные и грибные болезни.

Визуальная диагностика затруднена и в тех случаях, когда видимые симптомы заражения отсутствуют, т.е. инфекция присутствует в латентной форме, или наоборот, когда симптомы спровоцированы комплексом вирусов или сочетанной инфекцией «вирус-бактерия», «вирус-гриб» и т.п. Симптомы могут временно исчезать или ослабевать при высоких температурах воздуха и почвы, когда происходит снижение концентрации вируса в растениях.

Низкая достоверность разграничения между вирусными болезнями и неинфекционными поражениями, сложность типирования вида вируса и их комплексов при визуальной диагностике требуют дополнительного использования более точных, инструментальных методов. Но, несмотря на недостатки вышеописанного приема, его использование при проведении фитопрочисток для выбраковки больных растений не утратило актуальности. В современных протоколах сертификации семенного материала визуальный метод дополняется, но не заменяется серологическим и молекулярно-генетическими методами (Гнутова, 2010; ГОСТ 5951-2021).

В современных реалиях производства и семеноводства картофеля предпочтение отдают экспресс-диагностике, позволяющей проводить точную первичную оценку как вирусоустойчивости растений в полевых питомниках размножения, так и эффективности применяемых мер защиты от вирусных болезней.

Серологический метод основан на иммуногенных и антигенных свойствах фитовирусов. С помощью него можно установить вид, концентрацию и локализацию вируса в организме хозяина (Шмыгля, 1979, 1983; Гнутова, 2010; С.-х. фитовирусология, 2016; Аникина, 2016; Методы диагностики..., 2020). Массовая серодиагностика вирусов растений началась с усовершенствования М.С. Дуниным и Н.Н. Поповой (1937) капельного метода, основанного на работах М. Дворака (1927). В дальнейшем были разработаны латекс-тест и метод диффузии в геле – модифицированная

реакция преципитации (Карташева, 2007; Дьяков, 2012; С.-х. фитовирусология, 2016).

Благодаря автоматизации процессов и простоте их выполнения серологический метод в модификации *иммуноферментного анализа* (ИФА = ELISA) быстро завоевал популярность. Преимуществами использования ИФА являются быстрая детекция патогена в растении, в том числе и до появления симптомов болезни, использование в качестве образцов не только растительных тканей, но и субстрата или жидкостей, возможность количественного определения возбудителя, а также возможность отследить ход болезни в динамике. Количество тестов ELISA, используемых для обнаружения сельскохозяйственных патогенов во всем мире, достигает 10 млн в год (Шмыгля, 1983; Келдыш, 2003; Webster, 2004; Лебенштейн и др., 2005; Защита растений..., 2017; Передовые методы..., 2019; Varma, 2020).

Известны несколько разновидностей ИФА, но в диагностической фитопатологии и системах контроля состояния семенного и посадочного материала, получил широкое распространение твердофазный «сэндвич»-вариант (double antibody sandwich – enzyme-linked immunosorbent assay DAS-ELISA), который обладает чувствительностью определения патогенов в пределах 0,1...10 нг/мл (С.-х. фитовирусология, 2016; Методы диагностики..., 2020; ГОСТ 5951-2021). В настоящее время для рутинной диагностики используются и другие модификации ИФА: тканевой иммуноанализ (TBIA = Tissue Blot Immuno Assay); метод тканевых отпечатков (TP-ELISA = tissue-print ELISA) (Webster, 2004; Varma, 2020; Mehetre et al., 2021).

Принцип «сэндвич»-варианта заключается в «запечатывании» анализируемого антигена между двумя типами антител. Антитела «захвата», специфичные для определенного вида вируса, сорбируют на твердой фазе, которой является полистироловый планшет с лунками. Далее к ним добавляют образец с целевым антигеном, инкубируют, отмывают не связавшиеся частицы, и вносят меченые ферментом антитела «детекции». На заключительном этапе в лунки добавляют субстрат и отслеживают развитие

окраски. Интенсивность окрашивания напрямую связана с количеством образовавшихся комплексов, также как и значение оптической плотности, полученное на спектрофотометре, прямо пропорционально концентрации вирусных частиц в анализируемом образце.

Специфичные антитела могут быть поли- или моноклональными. Не всегда специфичность поликлональных антител оказывается достаточно высокой, что приводит к их взаимодействию с нецелевыми антигенами родственных вирусов. Для трудно дифференцируемых групп вирусов предпочтительно использование моноклональных антител. При этом из-за их высокой специфичности может быть затруднена идентификация природных диких изолятов вируса или изолятов, имеющих изменения в эпитопе в результате мутации. Последние рекомендации для ИФА включают использование в качестве антигенов рекомбинантных белков анализируемых вирусов. Помимо удешевления технологии получения антисывороток и повышения специфичности, эта мера также исключает трудоемкие операции по выделению и очистке вирусных препаратов от примесей.

Безусловно, ИФА, в сравнении с ранее описанными методами диагностики, имеет ряд неоспоримых достоинств. К ним можно отнести высокую чувствительность, возможность использования для анализа небольшого количества растительного материала из любого органа растения (в том числе замороженные экстракты), коммерческую доступность реагентов и высокую производительность, которая дает возможность проанализировать сотни образцов за короткое время. Тем не менее, в работах Шмыгли В. А. и соавторов (1983-1990) в части интерпретации результатов ИФА было отмечено, что данный метод прежде всего разработан для обнаружения вирусов в растениях. То есть при использовании ИФА можно достоверно судить только о наличии вируса, но не его отсутствии (Шмыгля и соавт., 1991).

Производителями коммерческих тест-систем для проведения ИФА предложено использовать статистический анализ для расчета порогового значения (точка отсечения, «cut-off value»), при достижении которого

принимается решение о наличии или отсутствии вируса в образце (из приложения к протоколу тест-систем Bioreba, «ELISA Data Analysis»). Такой способ обработки полученных данных помогает избежать ложноотрицательных результатов в случае слабых положительных образцов с концентрацией антигена вблизи предела обнаружения.

По мере увеличения объемов производства картофеля возникла необходимость проведения оперативной диагностики во внелабораторных условиях. Появилась потребность в простых и доступных методах, не требующих сложного дорогостоящего оборудования и наличия обученных технических специалистов. Решением этой задачи стало использование *иммунохроматографии (ИХА)*.

Принцип ИХА основан на использовании в качестве носителя пористых мембранных тест-полосок (иммунострипов) с нанесенными на них иммунореагентами (антитела, конъюгаты с окрашенными коллоидными частицами), которые способны взаимодействовать с искомым вирусом (Дрыгин и соавт., 2007; Передовые методы..., 2019; Метода диагностики..., 2020). Чувствительность определения варьирует в интервале от 0,08 до 2 мкг/мл в экстрагирующем буфере и в растительном экстракте и зависит главным образом от свойств поликлональных антител к соответствующему патогену (Методы диагностики..., 2020).

Целесообразно проводить массовый анализ вирусных заболеваний картофеля в поле в два этапа. Например, использовать на первом этапе экспресс-диагностику методом ИХА для выбраковки явно больных растений, а затем использовать ИФА или методы молекулярной диагностики для оставшихся растений.

Среди подобных методов в современной практике диагностики фитопатогенов наибольшее развитие получила *полимеразная цепная реакция (ПЦР, PCR – polymerase chain reaction)* – метод получения множества копий определенных фрагментов ДНК в образце.

Синтез большого числа копий (амплификация) ДНК осуществляется с помощью термостойкого фермента, Таq-полимеразы – ДНК-зависимой-ДНК полимеразы. Специфичные фрагменты нуклеотидной цепи для копирования ограничивают парой праймеров – синтетическими олигонуклеотидами длиной 15-20 нуклеотидов, комплементарными одной из цепей ДНК-матрицы. Праймеры определяют начало репликации. Работа полимеразы заключается в последовательном добавлении нуклеотидов, комплементарных последовательности ДНК-матрицы, до накопления необходимого для детекции количества копий фрагмента ДНК, определенного праймерами (Дрыгин и др., 2007; Гнутова, 2010; Kumar et al., 2019; Методы диагностики..., 2020).

Геном большинства фитовирусов представлен одноцепочечной РНК, поэтому для определения РНК последовательности с помощью ПЦР метод был модифицирован. Таq-полимераза не способна катализировать синтез ДНК на РНК-матрице, для этого используют РНК-зависимую ДНК-полимеразу – обратную транскриптазу (ревертазу). С помощью обратной транскриптазы синтезируется одноцепочечный комплементарный участок ДНК (кДНК), который затем используется в качестве матрицы для ПЦР с участием Таq-полимеразы. Эта модификация получила название ОТ-ПЦР или ПЦР с обратной транскрипцией (Дрыгин и др., 2007; Рязанцев, 2009; Гнутова, 2010; Kumar et al., 2019).

Основанный на данных о геномной последовательности вируса, метод ПЦР позволяет выявить единичные копии генома и напрямую подтвердить наличие возбудителя заболевания, определяя конкретную последовательность ДНК или РНК. Это является неоспоримым преимуществом использования ПЦР при диагностике латентных или хронических инфекций. Высокие специфичность и чувствительность метода, а также воспроизводимость результатов превратили его в один из самых перспективных и надёжных.

Метод растений-индикаторов успешно применяли при диагностике смешанных инфекций, для выделения отдельных патогенов, при

бессимптомном протекании заболевания и при определении концентрации вирусов методом биологического титрования (Белошапкина, 2002; Аникина, 2016; Методы диагностики..., 2020). Метод имеет ряд серьезных недостатков, в том числе требует наличия дополнительных площадей теплиц для выращивания растений-индикаторов, отличается длительностью проведения, поэтому в настоящее время для идентифицирующей рутинной диагностики практически не используется.

Метод электронной микроскопии остается незаменимым при изучении морфологии, биологии и внутреннего строения вирусов, характера их взаимодействий с растением-хозяином и переносчиком. Он также позволяет определить смешанную инфекцию фитоплазм, бактерий или других вирусов и является необходимым при отсутствии возможности применения более точных методов (С.-х. фитовирусология, 2016; Varma, 2020; Методы диагностики..., 2020; Mehetre et al., 2021). С целью повышения чувствительности микроскопирования низких концентраций вирионов и дифференциации схожих по морфологии вирусов был разработан метод *иммуноэлектронной микроскопии*. Он сочетает классическое микроскопирование и серологию, основанную на реакции «антитело-антиген». В качестве объектов исследования могут быть использованы как непосредственно образцы смесей вируса с антисывороткой, так и препараты адсорбированных на пленке подложки и обработанных антисывороткой вирусных частиц (Аникина, 2016; С.-х. фитовирусология, 2016).

Совершенствованию метода способствовало появление сканирующих микроскопов с высокой разрешающей способностью, что позволяет получить объемное изображение объектов и возможность их рассмотрения под разными углами зрения. Однако сложность изготовления вирусных препаратов и высокая стоимость сканирующего оборудования ограничивают массовое использование данного вида анализа.

Использование точных инструментальных методов, таких как ИФА, ИХА и ПЦР существенно повышает качество диагностики не только в

лабораторных, но и в полевых условиях. Некоторые вирусы картофеля обладают высокой вредоносностью даже при слабом выражении или отсутствии видимых симптомов. Описанные методы, помимо возможности обнаружения болезни на ранней стадии и отслеживания динамики их развития, дают возможность оперативно принять решение о начале защитных мероприятий в максимально сжатые сроки.

1.5. Меры профилактики и защиты картофеля от вирусных болезней

При рассмотрении вопроса минимизации ущерба, наносимого вирусами и прочими патогенами, в первую очередь важен комплексный подход. Вирусы, насекомые-переносчики и природные очаги вирусных диких растений являются неотъемлемыми элементами агроценоза (Дьяконов и соавт., 2005). Каждый из этих факторов оказывает влияние на степень и характер распространения болезни на посадках картофеля, поэтому единственно верным решением становится разработка системы интегрированной защиты для всех этапов производства: от получения безвирусного посадочного материала до предотвращения реинфекции в поле. При этом системный подход не может быть ограничен только антивирусными мерами. Борьба с грибными и бактериальными заболеваниями, сорняками-резервуарами также играет важную роль в поддержке иммунной устойчивости растений.

В обзоре основных мер борьбы с вирусами Э. В. Трускинов разделил их на естественные или биологические, и искусственные или технологические (Трускинов, 2014). К естественным мерам автор предлагает отнести размножение картофеля ботаническими семенами, а к искусственным – профилактические, терапевтические, селективные и биотехнологические методы оздоровления.

Отдельно рассматривается селекция сортов картофеля на устойчивость к вирусным болезням. Известно, что сорта картофеля различаются по восприимчивости к вирусам. Например, раннеспелые сорта поражаются в

меньшей степени, чем среднеспелые, при этом среди раннеспелых – меньше подвержены заражению вирусами наиболее засухоустойчивые сорта с медленным периодом роста. Современные методы селекции включают в себя: использование молекулярных маркеров к генам резистентности для отбора наиболее ценных генотипов с конкретными генами устойчивости: использование генных технологий TALENs (Transcription Activator-Like Effector Nucleases) и CRISPR/Cas (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), позволяющих редактировать геном (Гавриленко и соавт., 2005; Vreugdenhil et al., 2007; Макарова, 2017). Большое видовое и штаммовое разнообразие, высокая изменчивость вирусов приводят к трудностям в получении сортов с комплексной устойчивостью (Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля..., 2009; Анисимов, 2010).

Среди агротехнических приемов, способствующих сохранению исходного состояния семенного материала картофеля, широко применяются:

- пространственная изоляция семеноводческих участков и строгий карантин;
- ранние сроки посадки, что обеспечивает возрастную устойчивость растений как к вирусам, так и к насекомым-переносчикам;
- сокращенные сроки и ранняя уборка семеноводческих участков во избежание массового заселения посадок переносчиками;
- десикация ботвы перед уборкой урожая с целью недопущения распространения вируса в клубни, а также снижения плотности заселения посадок вредными насекомыми-переносчиками.

Главной профилактической мерой является использование оздоровленного, безвирусного семенного материала. В решении этой задачи в большинстве стран мира ведущая роль отведена системам оригинального семеноводства. Помимо тщательного клонового отбора, они включают в себя проведение регулярного фитосанитарного мониторинга, фитопрочисток, учёта и прогноза лёта насекомых-переносчиков (в основном – тлей), борьбу с

сорными растениями (Шмыгля, 1978; Замалиева, 2004, 2013; Шпаар, 2004; Burrows, 2005; Анисимов, 2010; Симаков и соавт., 2020).

Ранее в разделах 1.1, 1.2 было упомянуто, что в системе контроля и защиты посадок картофеля от вирусной реинфекции самым популярным приемом является проведение многократных обработок от насекомых-переносчиков. Разрешенные к применению на территории Российской Федерации инсектициды для борьбы с тлями указаны в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов. В последние годы активно развивается направление экологизации сельскохозяйственного производства, но ассортимент биологических инсектицидов недостаточен. К 2024 году список инсектицидов, разрешенных к применению на посадках картофеля против тлей-переносчиков, насчитывает около 40 коммерческих наименований и только 2 из них являются биоинсектицидами на основе бактерий *Bacillus thuringiensis* L. Основная часть препаратов представлена продуктами на основе пиретроидов, неоникотиноидов и фосфорорганических веществ или их сочетаний (Государственный каталог..., 2024).

Оздоровленные от вирусов растения картофеля получают методом апикальных меристем и методом клонового отбора. В современном семеноводстве часто используют их сочетание (Замалиева, Гареев, 2004; Лебенштейн и др., 2005; Гавриленко, 2005; Защита картофеля..., 2009; Анисимов, 2010; Замалиева, 2013; Трускинов, 2014; Евстратова и соавт., 2018; Симаков и соавт., 2020).

Метод верхушечных или апикальных меристем представляет собой изолирование меристемы здорового растения с последующим её культивированием на искусственных питательных средах до получения стерильного растения-регенеранта и сохранения сорточистоты. В виду особенностей строения апикальной меристемы, а именно отсутствия проводящей системы, быстрое проникновение вируса в ткань исключается, но допускается вероятность попадания вирусных частиц в конус нарастания через плазмодесмы. При этом достоверно установлена прямая связь между

размером меристем и их способностью к регенерации и приживаемостью на питательных средах, и одновременно установлена обратная зависимость размера меристем к риску наличия вируса (Лебенштейн и др., 2005; Anikina et al., 2020). По этой причине вопрос о действительной степени оздоровления микроклонов остается открытым. В работах В.А. Шмыгли, проводимых в 1983-1990 гг. на модельных растениях картофеля, было предположено, что в апексах происходит обратимое подавление репродукции вирусов, но не их элиминация. Следовательно, при дальнейшем размножении полученных мериклонов происходит восстановление исходной активности патогенов (Шмыгля и соавт., 1991).

Недостаточная эффективность данного биотехнологического приема дала толчок к поиску дополнительных мер обеззараживания исходного материала и веществ, способных ингибировать репликацию вируса в клетке. Большую популярность получили методы химио- и термотерапии, а также их комбинации (Белошапкина, 2005; Лебенштейн и др., 2005; Анисимов, 2010; Anikina et al., 2020).

Как следует из названия, *метод термотерапии* основан на воздействии на вирусы высокими или низкими (*криотерапия*) температурами. Термочувствительность многих мозаичных вирусов картофеля выше чувствительности клеток растительной ткани. Для инактивации вирусов ростки и клубни картофеля подвергают воздействию высоких температур в диапазоне +37...+42°C (Защита картофеля..., 2009; С.-х. фитовирусология, 2016). Предполагается, что в подобных условиях существенно снижается концентрация вирусных частиц уже присутствующих в клетках, происходит их разрушение, в результате которого вновь образующиеся ткани растений не содержат вируса (Защита картофеля..., 2009; Баматов, 2018; Ким и др., 2022). Экспозиция и температурный режим подбираются с учетом термостойкости вируса и сортовых особенностей культуры. При более подробном изучении метаболических процессов, участвующих в формировании защитных механизмов, появилась гипотеза о связи тепловой обработки и инактивации

вирусов с запуском вирус-индуцированного умолкания генов (Panattoni et al., 2013; Баматов, 2018). Повышенный тепловой стресс индуцирует повышение активности защитной системы растения-хозяина, создавая барьер для инфекции.

В противоположность классической термотерапии, *криотерапия* основывается на подавлении вирусной инфекции воздействием пониженных температур. В 2006 году Wang и соавторами (2006) была проведена серия испытаний по освобождению культуры картофеля от PLRV и PVY с использованием жидкого азота, взяв за основу хорошо изученные протоколы криоконсервации гермоплазмы картофеля. Исследователям удалось добиться эффективности обработок 83-86% для PLRV и 91-95% для PVY (Wang et al., 2006). Тем не менее отмечается, что метод криотерапии не универсален для подавления разных вирусов. Например, SBK и MBK локализируются в непосредственной близости от меристемной части из-за чего небольшая часть инфицированных клеток может остаться в живых и, соответственно, присутствовать в снятом экспланте (Овэс и соавт., 2024).

Метод химиотерапии in vitro заключается в оздоровлении исходного материала картофеля от вирусов с помощью веществ, обладающих антивирусными свойствами, посредством внесения их в питательную среду для эксплантов. Одно из условий применения таких веществ заключается в том, что они не должны оказывать токсического и/или мутагенного действия на клетки растений (Блоцкая, 2000; Лебенштейн и др., 2005; Рябцева, 2015).

В качестве антивирусных соединений в разное время испытывали экстракты растений, полисахариды дрожжей, человеческий лейкоцитарный интерферон, ингибиторы ферментов инозин монофосфат дегидрогеназы, S-аденозилгомоцистеин гидролазы, нейраминидазы, аналоги азотистых оснований нуклеиновых кислот, а также производные фенолов и мочевины, антибиотические препараты (Бобырь, 1976; Baglioni, 1979; Огарков, 1984; Бабоша, Ладыгина, 1989; Шмыгля и соавт., 1990; Pospieszny et al., 1991; Лебенштейн и др., 2005; Гаспарян, 2013; Шарипова и соавт., 2013; Рябцева,

2015; Тютюрев, 2015; Павлова, 2016; Максимов и соавт., 2020). Но лишь некоторые из них оказались эффективны или соответствовали вышеуказанному условию о безопасности для основной культуры. Так, несмотря на высокую эффективность интерферона в подавлении ХВК, МВК и УВК (75-90%), препарат не получил широкого применения из-за узкого диапазона концентраций, при превышении которого происходило нарастание титра вирусов (Бабоша, Ладыгина, 1989). Аналоги азотистых оснований нуклеиновых кислот могут оказывать угнетающее действие на синтез нуклеиновых кислот в клетках целевого растения (Бобырь, 1976).

В конечном итоге в современной химиотерапии тканей картофеля наиболее используемым соединением является рибавирин (Виразол). Хорошо известна его эффективность при включении в состав питательных сред: 20-50 мг/л рибавирина способствует увеличению получения растений-регенерантов картофеля, свободных от X, Y, S- и M-вирусов картофеля (Cassels et al., 1982; Klein, Livingston, 1983; Блоцкая, 2000). Он представляет собой синтетический аналог нуклеозида гуанозина – 1- β -D-рибофуранозил-1,2,4-триазол-3-карбоксамид, механизм его действия выяснен недостаточно. В настоящее время предполагается, что противовирусная активность обеспечивается метаболитами рибавирина, особенно рибавирин трифосфатом, образующимся в процессе фосфолирирования клеточной аденозинкиназой. Рибавирин ингибирует репликацию новых вирионов, что обеспечивает снижение вирусной нагрузки (Panattoni et al., 2013; Овэс и соавт., 2024). Рибавирин также используют в комбинации с другими соединениями: хитозаном, интерфероном, циклофероном (Рябцева, 2014, 2015; Ким и соавт., 2022).

В производственных условиях для химиотерапии ряда вирусов картофеля успешно применялись следующие препараты: ДГТ, 8-азагуанин, 2-тиоурацил, Рибавин, Цианогуанид, Пиразофурин, Кампозан (Бобырь, 1976; Щербина и др., авт. св-во № 1682388 А1 СССР, 1988; Постников и соавт., 1989, 1993). Также в производственных условиях было установлено наличие антивирусной активности у иманина – антибиотика растительного

происхождения, выделенного из зверобоя продырявленного. При обработке клубней растворами тиомочевины и гиббереллина было отмечено снижение репродукции X- и У-вирусов в растениях картофеля (Аникина, Сейтжанова, 2015).

Поиск новых соединений с противовирусными свойствами остается практически значимым, но использование целевых противовирусных препаратов в полевых условиях требует многократного применения для достижения лучшего эффекта, и потому их применение становится невыгодным экономически из-за сопутствующих затрат. По мнению М.Р. Шариповой и соавторов «антивирусные соединения должны противостоять наибольшему количеству вирусных заболеваний, быть нетоксичными для растений, человека, животных и микроорганизмов почвы, быстро разлагаться без накопления вредных остатков в растении и почве и быть доступными» (Шарипова и соавт., 2013, с. 29). Решением этой проблемы могут стать многофункциональные соединения, являющиеся индукторами стрессо- и болезнеустойчивости растений (Тютерев, 2002).

1.6. Индукторы болезнеустойчивости

В последние годы перспективным направлением является повышение неспецифической устойчивости растений к разным вирусам. Активация неспецифической или системной приобретенной устойчивости (СПУ) или иммунизация растений может происходить в результате воздействия на растение и его сигнальные системы веществами биогенной и абиогенной природы (Озерецковская, 1999; Тютерев, 2002; Поликсенова, 2009). Задача индуктора – реализация максимального иммунного потенциала растения и его защитных механизмов (Колычихина, Белошапкина, 2018).

Использование индукторов болезнеустойчивости одновременно эффективно против инфекций любой этиологии, включая комплексные, и поскольку индуцируются естественные защитные механизмы растения, то адаптация фитопатогенов маловероятна (Поликсенова, 2009). Особенно

актуально использование таких веществ для защиты картофеля от вирусной реинфекции в поле, поскольку растения довольно быстро подвергаются перезаражению. При этом сами соединения-индукторы могут не оказывать прямого виरोцидного действия.

Среди соединений, обладающих способностью к химической иммунизации, в системе оздоровления картофеля от вирусов хорошо себя зарекомендовали: арахидоновая, салициловая и гибберелловая кислоты, хитозан (Pospieszny et al., 1991; Трофимец и др., 1997, РФ № 2072779; Чирков, 2002; Тютерев, 2002; Евстигнеева, 2012; Павлова, 2015; Гриц и др., 2021; Ким и соавт., 2022). Известно о повышении вирусоустойчивости растений с помощью микробных и водорослевых полисахаридов, а также микробиологических агентов, таких как *Bacillus subtilis* и *Streptomyces* spp. (Малиновский, 2010; Nasr-Eldin et al., 2019; Максимов и соавт., 2020).

Арахидоновая кислота представляет собой полифункциональный иммуномодулятор. Предполагается, что, включаясь в состав фосфолипидов мембран, она выступает в качестве сигнальной молекулы для жирных кислот и запуска опосредованного ими защитного механизма растений (Васюкова и др., 2012; Morgunov et al., 2016). В процессе изучения роли и механизмов действия арахидоновой кислоты также было выяснено, что её метаболиты влияют на процессы экспрессии не только защитных генов, но и генов, контролирующих процессы роста и действия фитогормонов (Кульнев, 2018).

Для массового использования в сельскохозяйственном производстве был разработан препарат Иммуноцитифит – этиловый эфир арахидоновой кислоты, широко применяемый на большом ассортименте культур, включая картофель (Кульнев, Соколова, 1997). Так, эффективность двукратного применения Иммуноцитифита на картофеле сорта Бронницкий от вирусной реинфекции ХВК, МВК и УВК составляла до 70% (Трофимец и др., 1997, РФ № 2072779).

Широкое применение в защите растений от вирусов получил хитозан – производное хитина. (Тютерев, 2002; Васюкова и др., 2012). Он входит в

состав клеточных стенок грибов и наружных покровов насекомых, поэтому способен вызывать у растений сильный иммунный ответ, основанный на реакции их белковых рецепторов распознавания (Тютерев, 2015). Также он усиливает лигнификацию и образование активных форм кислорода, способствует усилению синтеза хитиназ, глюканаз, каллозы, фитоалексинов, ингибиторов протеиназ. Показана его эффективность в применении на картофеле для защиты от вириода веретеновидности клубней, X и Y-вирусов картофеля (Pospieszny et al., 1991; Чирков, 2002; Евстигнеева, Павлова, 2010; Павлова, 2015).

В последнее время большое внимание исследователей уделяется выяснению функциональной активности наночастиц серебра (Букина, Сергеева, 2012; Vargas Hernández et al., 2020). Ионы серебра демонстрируют выраженное бактерицидное и фунгицидное действие, а также высокую активность в отношении некоторых вирусов. Эффективность наночастиц серебра в качестве индуктора системной приобретенной устойчивости исследовали на растениях табака против вирусов мозаики томата и Y-вируса картофеля. Результаты показали, что обработка растений раствором серебра в концентрации 50 ppm значительно подавила вирусную инфекцию, снизила среднее количество локальных поражений вирусом мозаики томата, увеличила уровни общих растворимых белков и активность антиоксидантных ферментов по сравнению как со здоровыми, так и с инфицированными контролями. Также частицы серебра способствовали увеличению общих растворимых фенолов и свободного пролина (El-Dougdoug et al., 2018).

Представляет интерес возможность использования элементарного йода как индуктора устойчивости. Об антисептических свойствах йода известно давно. Препараты на его основе широко применяются в качестве дезинфектантов во многих сферах. Высокая противомикробная активность йода основана на его окислительной способности и реакциях замещения. Точный механизм противомикробной и противовирусной активности йода не установлен, поскольку, вероятно, включает множество неспецифических

взаимодействий с различными компонентами микробных клеток (Мохнач, 1974).

Келдыш М. А и соавторами был проведен ряд экспериментов, в ходе которых изучали влияние йодсодержащего препарата на уровень инфицированности вирусом мозаики томата семян и вегетирующих растений гибридов томата. В результате опытов с семенами было достоверно установлено подавление препаратом, в концентрациях 0,5-1,0% и 30-минутной экспозиции, поверхностной инфекции семян и противовирусный эффект препарата. Кроме того, отмечено сдерживание развития вироза в вегетирующих растениях при проведении двухкратного опрыскивания 0,05-0,07%-ным раствором препарата (Келдыш и др., 2013; Чанг, 2013). В более поздних исследованиях этой же группой исследователей изучалось влияние препарата в концентрациях 0,05, 0,07 и 0,08% на различные группы вирусов, в том числе и потивирусы, среди которых модельным объектом был выбран Y-вирус картофеля. Было достоверно установлено снижение концентрации вирусных частиц. Максимальный ингибирующий эффект был отмечен для родов *Nepovirus*, *Cucumovirus*, средний – для рода *Potyvirus* (Келдыш и др., 2019).

Основной путь поступления йода в растения – поглощение соединений его корнями из почвы и дальнейшее распространение по органам растения с восходящим током питательных веществ, дополнительные – через устьица по безбарьерному пути (Gonzali et al., 2016). Согласно В. К. Кашину, физиологическое действие йода на растения осуществляется посредством специфического участия его в азотном обмене и последующим неспецифическим влиянием на активность ферментов и окислительно-восстановительные процессы, а также на состояние воды в тканях, как элемента отрицательной гидратации (Кашин, 1987).

Число опубликованных исследований об эссенциальной роли йода для растений ограничено. Тем не менее, в ряде исследований было установлено усиленное влияние йода на выработку антиоксидантов, его способность

повышать устойчивость растений к засолению и отравлению тяжелыми металлами (Medrano-Macías et al., 2016; Kiferle et al., 2021). Поскольку индукция антиоксидантов считается основным механизмом адаптивных реакций растений к стрессу, то можно предположить, что йод способен индуцировать устойчивость растений и к потенциальным патогенам, в том числе и вирусам. На основании этих данных йод представляется перспективным противовирусным средством для защиты растений.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная научно-исследовательская работа проводилась в период с 2014 по 2019 гг. На участке лаборатории защиты растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в эти годы была заложена серия лабораторных и мелкоделяночных опытов. Полевые производственные опыты проводили в хозяйствах Астраханской (2016 г.), Липецкой (2015-2016 гг.) и Московской областей (2018 г.).

Выявление и идентификацию вирусов проводили на базе Испытательной лаборатории «АгросервисДиагностика (ООО «НБЦ «Фармбиомед»», в отделе биотехнологии и иммунодиагностики ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» и в лаборатории вирусологии ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений».

Содержание фотосинтетических пигментов определяли на кафедре физиологии растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Определение количества крахмала, общих сахаров, содержание редуцирующих сахаров, сухих веществ, витамина С, сырого протеина и нитратов в клубнях картофеля проводили в лаборатории агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха».

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа для однофакторного опыта и рассчитывали коэффициенты вариации и корреляции (Доспехов, 1985) и на персональном компьютере с помощью пакета анализа Excel.

Экономическая оценка эффективности применения препарата Фармайод проведена на основании технологических карт по общепринятой методике.

2.1. Почвенно-климатические и метеорологические условия проведения опытов.

2.1.1. Почвенно-климатические и метеорологические условия Московской области

Климат Московской области характеризуется теплым летом, умеренно-холодной зимой, устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами. Температура воздуха на территории области распределяется неравномерно, наблюдается общее повышение температуры с северо-запада на юго-восток. В зимние месяцы температура на $1,5^{\circ}\text{C}$ повышается с востока на запад.

Среднегодовое количество осадков выпадает до 500-600 мм, уменьшаясь с северо-запада на юго-восток; 600 мм или более выпадает на западных и юго-западных склонах возвышенностей, а также на западе и в центре области. Основное количество осадков выпадает летом, минимум – зимой. Засуха бывает редко. Интенсивность выпадения осадков в основном равномерная.

Почвы Московской области дерново-подзолистые, суглинистые. Содержание гумуса в пахотном слое – 1,6%. Содержание общего азота в пахотном слое – 0,1%. Гидролитическая кислотность – 2,8 мг. экв. Содержание почвенного фосфора (по Кирсанову) – 8,8 мг в пахотном слое, калия – 15,6 (по Масловой), $\text{pH}=5,0$.

Метеорологические условия вегетационного периода 2014 года были наиболее неблагоприятными для роста и развития опытных растений картофеля, т.к. в мае-июне количество выпавших осадков в 1,2 раза превышало среднюю многолетнюю норму по Московской области, а температура воздуха во II и III декадах июня была ниже средних многолетних данных на $2,5-3,6^{\circ}\text{C}$. При этом показатели температуры в I декаде месяца превышали средние многолетние данные, таким образом приблизив средние данные к стандартным по региону. Июль 2014 года был засушливым, количество выпавших осадков составляло лишь 3,4-3,8% от климатической нормы.

В 2015 году температура в Московском регионе в летние месяцы превышала среднюю многолетнюю на 5...7°C, за исключением последней декады июля, когда она опускалась ниже средней многолетней. В мае, а также во II и III декадах июня этого года осадков выпало существенно больше, по сравнению со средними многолетними показателями.

В 2016 году температура летних месяцев в целом была выше средней многолетней, только начало июня было прохладное. Количество выпавших осадков за вегетационный период составило 142% от среднего многолетнего показателя, из них 122 мм осадков выпало в июле (130 %) и 167 мм (217 %) – в августе в период выкопки картофеля.

Вегетационный период 2017 года был более холодным и влажным, чем среднемноголетние показатели. В июне средняя месячная температура была ниже климатической нормы на 2,1°C, количество выпавших осадков – 115,2 мм, что составляет 164,6% от среднего многолетнего показателя. Также в первых числах июня наблюдали выпадение осадков в виде мокрого снега. В июле средняя месячная температура была ниже климатической нормы на 0,3°C, количество выпавших осадков – 102,7 мм, то есть 120,8% от нормы. Совокупно за период вегетации сумма осадков составила 373,1 мм при норме 286 мм.

В 2018 году в Московской области в I декаду июня наблюдались ночные заморозки и температурные максимумы на уровне 10°C, но средняя месячная температура составила 17,3°C, в июле температура была выше климатической нормы на 2,3°C, а средняя месячная температура в августе составила 19,8°C. Совокупно за период вегетации сумма осадков составила 177 мм (79% от климатической нормы), при этом в июле количество выпавших осадков было 93 мм – на уровне среднего многолетнего показателя, август оказался засушливым – 28 мм осадков при климатической норме 76 мм.

В 2019 году показатели температуры и количество выпавших осадков значительно отличались от среднемноголетних показателей по каждому отдельному месяцу (май-сентябрь). Так в июле были зарегистрированы

ночные температуры на уровне 8°C , при этом средняя температура по трем летним месяцам 2019 года составила $17,4^{\circ}\text{C}$, что на $0,6^{\circ}\text{C}$ превышает климатическую норму. Июль и август отличались большим количеством затяжных дождей, при этом отклонение от среднемноголетних значений наблюдалось в каждом летнем месяце. Итоговое количество выпавших осадков в течение вегетационного периода составило 196 мм при норме в 286 мм.

На рисунках 1-2 представлены средние значения по показателям температуры воздуха и количества выпавших осадков в вегетационные периоды 2014-2019 гг.

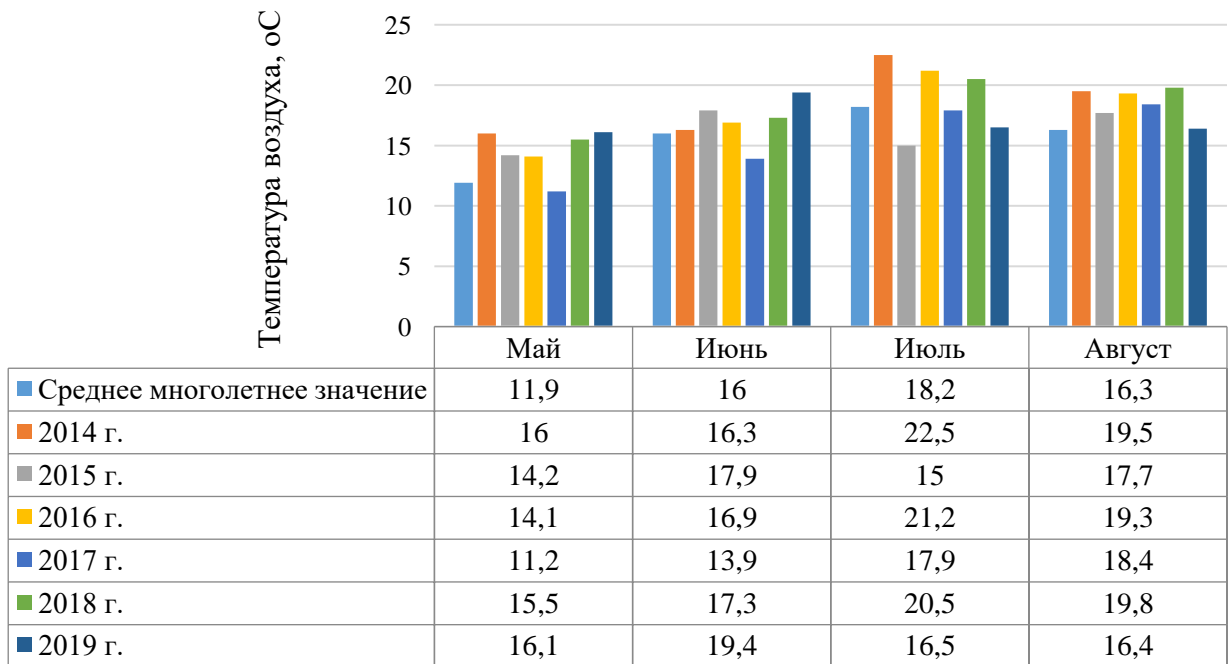


Рисунок 1 – Показатели температуры в вегетационные периоды 2014-2019 гг., $^{\circ}\text{C}$ (Московская область)

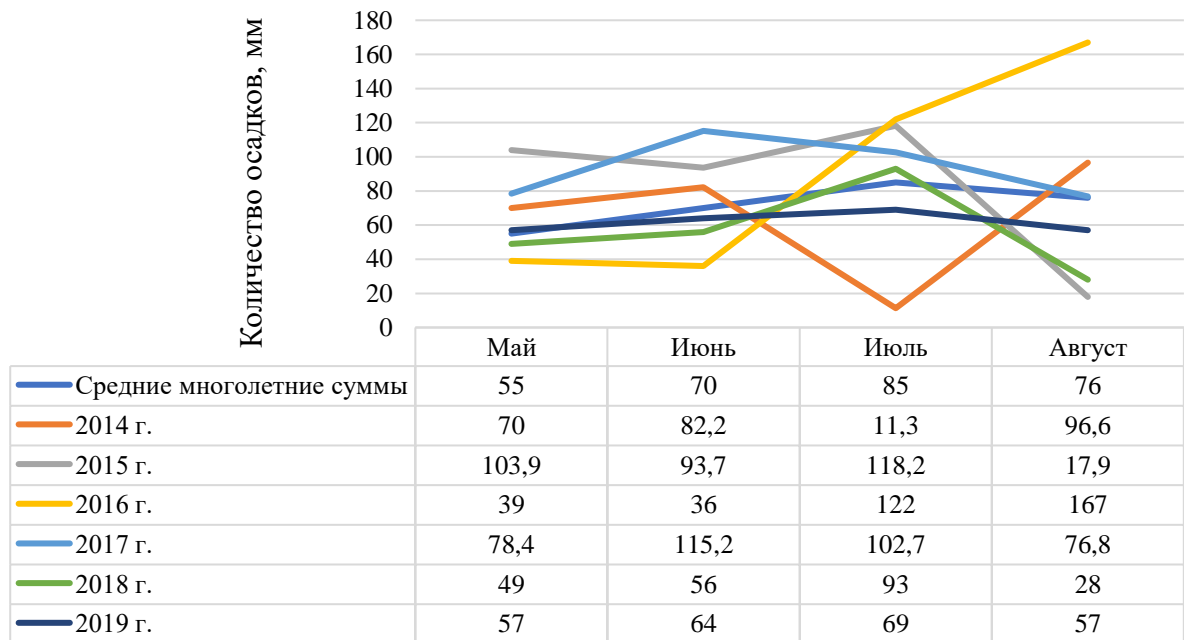


Рисунок 2 – Показатели количества выпавших атмосферных осадков в вегетационные периоды 2014-2019 гг., мм (Московская область)

Требования картофеля в разные фазы развития к температурным условиям окружающей среды и влагообеспеченности неодинаковы. Так, на начальных этапах роста его требования к влаге небольшие, но возрастают, достигая максимума, в фазы цветения и клубнеобразования. Оптимальный интервал температур в указанные фазы находится в пределах 15-22°C, при повышении температур до 28...35°C наблюдается осыпание цветков и бутонов, торможение роста надземной части растений и снижается прирост клубней.

Комплексным показателем, учитывающим сумму температур и осадков за вегетационный период, является гидротермический коэффициент (ГТК). В среднем для Москвы этот показатель равен 1,4. В 2015 г. он составил 1,45; в 2016 г. – 1,17. Таким образом, эти годы оказались наиболее благоприятными для выращивания картофеля.

Наиболее неблагоприятными для выращивания картофеля были 2014, 2017 и 2019 годы. Значение ГТК в вегетационный период для них составляло соответственно: 0,85 – недостаточная влагообеспеченность; 1,51 – избыточное увлажнение; 0,94 – недостаточная влагообеспеченность.

2.1.2. Почвенно-климатические и метеорологические условия Липецкой области

Климат Липецкой области умеренно континентальный. Самым теплым месяцем года является июль. Средняя температура его колеблется от +18,5°C на северо-западе до +20,2°C на юго-востоке. Абсолютный многолетний минимум температуры воздуха составляет по области -37°C...-42 °C, а абсолютный максимум +36... +39 °C.

Область расположена в зоне неустойчивого увлажнения. Осадки по сезонам года выпадают неравномерно, наименьшее количество их выпадает в холодный период года. Самое минимальное количество осадков приходится на февраль – 30-35 мм, среднее количество осадков в год – около 500 мм. Вегетационный период 180-190 дней. Почвы области представлены в основном черноземами выщелоченными и оподзоленными; на юго-востоке преобладают серые лесные и лугово-черноземные почвы.

Почва опытного участка была представлена черноземом выщелоченным, среднесуглинистым. Для этого чернозема характерно наличие выщелоченного от карбонатов горизонта В₀. По результатам агрохимического анализа (данные научно-исследовательской лаборатории ЕГУ им. И.А. Бунина), предоставленного хозяйством, содержание гумуса в пахотном слое – 5,6%, почвенного фосфора – 12,6 мг (по Чирикову), калия – 8,2 мг (по Чирикову), рН = 5,5. Гидролитическая кислотность – 4,7 мг/экв (по Капшену).

В 2015 году в Липецкой области температура в летние месяцы незначительно превышала средние многолетние показатели. Количество осадков за вегетационный период составило только 83,4% (255,4 мм) от среднего многолетнего показателя – 306 мм, при этом в августе осадков выпало 6,9 мм при норме 62 мм.

Вегетационный период 2016 года был теплым и влажным, количество осадков превысило средний многолетний показатель. В июле наблюдались затяжные дожди, но итоговая месячная сумма осадков составила только 80%

от среднегодового значения. В августе, наоборот, сумма выпавших осадков превысила стандартное значение практически в 2,1 раза. Показатели температуры и количества атмосферных осадков в вегетационные периоды 2015-2016 гг. в сравнении со средними многолетними представлены на рисунках 3, 4.

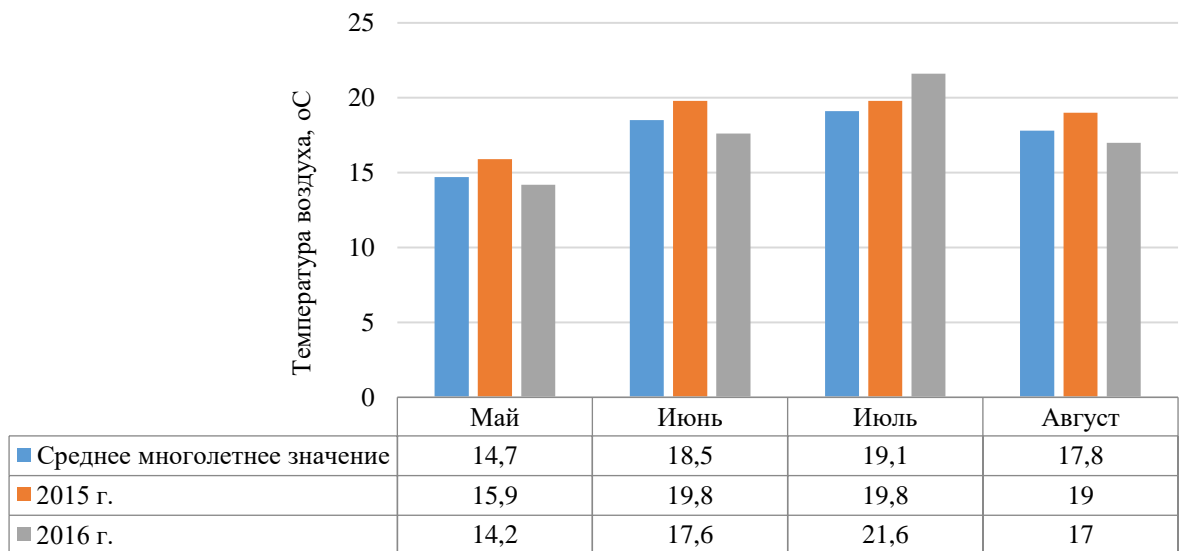


Рисунок 3 – Показатели температуры в вегетационные периоды 2015-2016 гг., °С (Липецкая область)

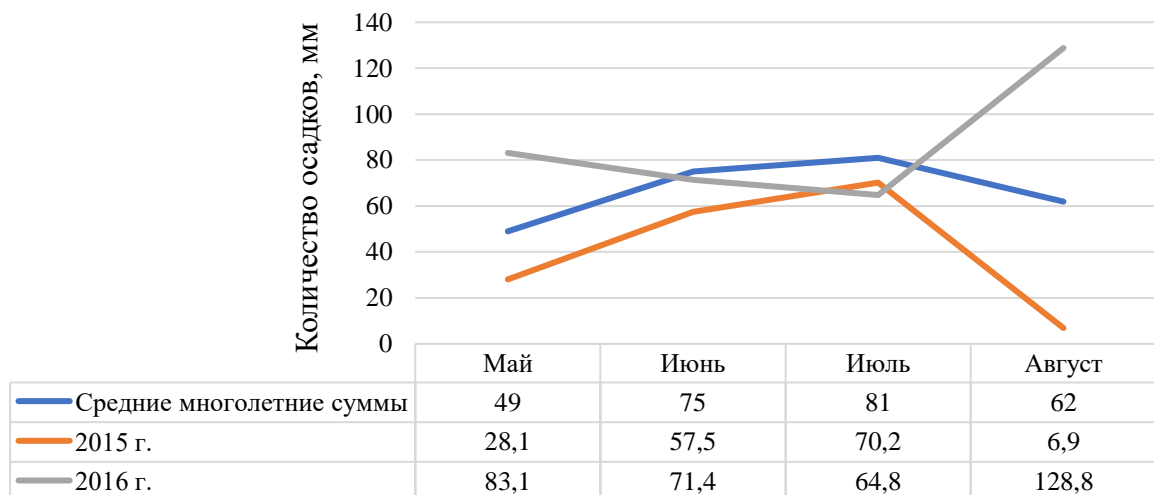


Рисунок 4 – Показатели количества выпавших атмосферных осадков в вегетационные периоды 2015-2016 гг., мм. (Липецкая область)

Вегетационные периоды 2015 и 2016 года по температурным условиям практически не отличались как между собой, так и в сравнении со средними многолетними данными по региону. Существенные отличия наблюдались по показателю количества выпавших осадков, особенно в последний месяц лета, где разница со среднемноголетними значениями составила 8,9 и 2,1 раза для 2015 и 2016 годов соответственно.

Однако, вследствие затяжных дождей в июле 2016 года обработки исследуемыми препаратами были затруднены, что привело к более интенсивному распространению вирусных болезней, также повышенное количество осадков в августе задерживало сроки уборки и в конечном итоге отразилось на урожайности опытных растений.

2.1.3. Почвенно-климатические и метеорологические условия Астраханской области

Климат области характеризуется сухой и жаркой весной, засушливым летом, холодной, обычно бесснежной и сопровождающимся ветрами зимой. Температура воздуха имеет резко выраженный годовой ход. Годовая амплитуда экстремальных температур воздуха составляет 70-80°C. Длительность теплового составляет 235-260 дней. Безморозный период длится от 160 до 200 дней. Тепловые ресурсы области велики, что позволяет успешно выращивать рис, теплолюбивые овощные и бахчевые культуры. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10° колеблется от 197 дней в северной части до 217 дней на юге. Сумма активных температур воздуха за этот период в южной половине области составляет 3500-3600°, в северной 3300-3400°.

Относительная влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой ход. Наименьшие ее значения отмечаются в июле – порядка 40–50 %, минимальные в отдельные дни могут снижаться до 15– 25 % и ниже. Количество осадков в течении года колеблется от 160-180 мм на побережье Каспия до 240-260 мм на северо-западе области. В теплый период осадков выпадает больше, чем в

холодный, и они носят ливневый характер. Малое количество осадков в сочетании с высокими температурами лета определяют большую сухость воздуха и почвы, вызывают интенсивное испарение влаги и водоёмов.

Почвы области представлены несколькими типами. В структуре почвенного покрова сельскохозяйственных угодий преобладают бурые полупустынные (42,3%) и пойменные луговые (19%) почвы. До 8% занимают светло-каштановые, 7,3% – солонцы степные каштановые, 7,5% – солонцы полупустынные, 7,7% – пески и 8,2% – прочие почвы.

Почвы опытного участка – пойменные, среднесуглинистые, содержание гумуса в пахотном слое – 2,1%. Подвижного фосфора на 1 кг почвы (по Мачигину в модификации ЦИНАО) – 61 мг, обменного калия – 226 мг (по Мачигину в модификации ЦИНАО), рН=6,8.

В Астраханской области в вегетационный период 2016 года показатели температуры в июне и августе превысили среднемноголетние значения на 2,6 и 3,7°C соответственно (таблица 1). В июне сумма выпавших осадков превысила многолетнюю норму в 2,8 раза, но основное их количество пришлось на кратковременные ливневые дожди в первую декаду месяца. Такая же ситуация сложилась и в июле. Засушливый период августа пришелся на начальные этапы роста и развития растений картофеля, что оказало слабое влияние на итоговую урожайность. Таким образом, условия 2016 года в Астраханской области были подходящими для выращивания картофеля.

Таблица 1. Метеорологические данные, Астраханская область, 2016 г.

Месяц	Температура, °С		Осадки, мм	
	2016 г.	Среднее многолетнее значение	2016 г.	Средние многолетние суммы
Июнь	25,7	23,1	70	25
Июль	26,3	25,6	36	24
Август	27,7	24,0	5	21
Сентябрь	17,7	17,2	11	17

2.2. Объекты исследований

2.2.1. Описание сортов картофеля

В качестве растительных объектов в лабораторных и мелкоделяночных опытах были использованы растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) различных зарубежных и отечественных сортов, основными из которых являлись: Ред Скарлетт (оригинатор – HZPC HOLLAND B.V.), Адретта (оригинатор – NORIKA NORDRING-KARTOFFELZUCHT- UND VERMEHRUNGS-GMBH GROSS LUSEWITZ), Ильинский (оригинатор – ФГБНУ «ФИЦ имени А.Г. Лорха»).

В полевых исследованиях в качестве растительных объектов использовали посадочный материал первой и второй репродукции сортов картофеля, имеющих в хозяйствах: в Астраханской области высаживали сорт Импала (оригинатор – AGRICO U.A., II репродукция), в Липецкой области – сорт Рамос (оригинатор – STET HOLLAND B.V, II товарная репродукция), в Московской области – сорт ВР 808 (I репродукция).

Далее приведена их краткая характеристика согласно «Государственному реестру селекционных достижений, допущенных к использованию».

Адретта – столовый сорт среднераннего срока созревания. Куст высокий, компактный, прямостоячий, цветки белые. Формируют округло-овальной формы клубни с желтой кожурой и светло-желтой мякотью. Средняя масса товарного клубня – 100-150 г, урожайность – 220 ц/га, максимальная – 396 ц/га. Содержание крахмала в клубнях – 13-18%, белка – 2-2,4%, витамина С – 13,5 мг%. Сорт устойчив к раку, восприимчив к фитофторозу, парше обыкновенной, ризоктониозу. Относительно устойчив к вирусам.

ВР 808 – среднеранний сорт, пригоден для производства чипсов. Растение средней высоты до высокого, листового типа, полупрямостоячее до раскидистого. Лист крупный, промежуточный, светло-зеленый до зеленого. Клубень очень длинный. Кожура и мякоть желтые. Масса товарного клубня

80-109 г. Товарная урожайность 187-223 ц/га, максимальная урожайность – 243 ц/га. Содержание крахмала 16,2-18,7%. Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематодой. Среднеустойчив к возбудителю фитофтороза, морщинистой мозаике.

Ильинский – среднеранний сорт столового назначения. Растение средней высоты, листового типа, полупрямостоячее. Лист и листочек среднего размера, зеленые. Волнистость края отсутствует или очень слабая. Соцветие маленькое. Венчик средний, красно-фиолетовый. Клубень овальный. Кожура красная, гладкая. Мякоть белая. Масса товарного клубня 54-158 г. Содержание крахмала 15,7-18,0%. Товарная урожайность – 176-346 ц/га, максимальная урожайность – 355 ц/га. Устойчив к возбудителю рака картофеля, восприимчив к золотистой картофельной цистообразующей нематодой. Восприимчив по ботве к изолятам возбудителя фитофтороза, выделенным в Московской области, Республике Коми, Омской области, Приморском крае; по клубням – умеренно восприимчив и умеренно устойчив к изоляту, выделенному в Московской области.

Импала – раннеспелый сорт, столового назначения. Глазки мелкие. Цветки белого цвета. Клубни овальной формы, желтого цвета, со светло-желтой мякотью. Масса товарного клубня 88-150 г. Содержание крахмала 10,5-14,6%, урожайность товарная – 180-360 ц/га, максимальная – 367 ц/га. Устойчив к раку и картофельной нематодой, восприимчив к фитофторозу и ризоктониозу, слабо поражается вирусными болезнями и паршой обыкновенной.

Рамос – среднеранний сорт, столовый и для переработки на картофель фри. Растение среднее до высокого, промежуточного типа, полупрямостоячее до раскидистого. Лист среднего размера до крупного, закрытый до промежуточного, зеленый до темно-зеленого. Волнистость края слабая. Венчик маленький до среднего размера, белый. Клубень удлиненно-овальный с мелкими глазками. Кожура слегка шероховатая, желтая. Мякоть светло-желтая. Масса товарного клубня 98-151 г. Содержание крахмала 13,4-16,0%.

Товарная урожайность – 208-364 ц/га, максимальная – 418 ц/га. Устойчив к возбудителю рака картофеля и золотистой картофельной цистообразующей нематоды. В полевых условиях отмечено сильное поражение фитофторозом.

Ред Скарлетт – раннеспелый сорт столового назначения. Растение низкое, промежуточного типа, полупрямостоячее. Лист зеленый. Листочек среднего размера. Волнистость края слабая. Венчик среднего размера, красно-фиолетовый. Клубень удлиненно-овальный, с мелкими глазками. Кожура красная. Мякоть желтая. Масса товарного клубня 56-102 г. Содержание крахмала 10,1-15,6%. Товарная урожайность – 164-192 ц/га, максимальная – 270 ц/га. Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематоды. Восприимчив к поражению фитофторозом по листьям и стеблям и умеренно восприимчив по клубням.

2.2.2. Исследуемые вирусы картофеля

Для мелкоделяночных вирусологических экспериментов исходные зараженные растения были отобраны О.О. Белошапкиной в 2001-2003 гг. из обследуемых партий товарного картофеля и коллекционного материала Н.Д. Романенко методом иммуноферментного анализа с подтверждением инфекции на общепринятых растениях-индикаторах *Nicotiana glutinosa* и *Chenopodium quinoa*. Далее выделенными изолятами моно-инфекций Y-вируса картофеля, M-вируса картофеля, S-вируса картофеля проводили искусственное заражение растений отдельных сортов в полевых условиях методом прививки.

В дальнейшем потомство, полученное от зараженных растений с подтвержденным методом ИФА наличием вирусов, использовали в мелкоделяночных опытах для оценки биологической эффективности и антивирусного действия ряда препаратов.

Ниже приведено краткое описание исследуемых вирусов, более подробная характеристика которых дана в Главе 1.

Y-вирус картофеля (Potato virus Y, PVY, YBK)

Широко распространенный потивирус, представленный несколькими штаммами, которые вызывают разные симптомы и различны по степени агрессивности. Передается тлями по непersistентному типу, а также контактно-механическим путем. Инфекционное начало сохраняется в клубнях, полученных от больных растений, и в растениях семейства Пасленовые.

При заражении растений картофеля PVY на листьях наблюдаются в основном мозаика и морщинистость. Некрозы также иногда развиваются на долях листьев, постепенно разрастаясь и охватывая всю листовую пластинку, что в конечном итоге приводит к гибели листового аппарата. Порой симптомы могут наблюдаться только на отдельных побегах картофельного куста. Растения, развивающиеся из зараженных клубней – карликовые.

Одним из характерных симптомов поражения картофеля полосчатой мозаикой является отмирание листьев нижнего яруса, при этом листья не опадают, а повисают на черешках, оставаясь на стеблях. Далее на стеблях растений образуются некрозы, штрихи, черешки становятся ломкими, что приводит к оголению стебля. Отмечено проявление описанных симптомов по окончании цветения (Тийтс, Агур, 1991).

При поражении растений некротическим штаммом Y^{NTN} на поверхности клубней в период хранения заметны некротические кольцевые пятна, которые затем заглубляются в мякоть. Развитию симптомов на клубнях способствуют высокие температуры в конце вегетационного периода и после уборки.

M-вирус картофеля (Potato virus M, MBK)

На молодых растениях и восприимчивых к вирусу сортах картофеля отмечены следующие симптомы: межжилковая мозаика листьев, ложечкообразная деформация листьев, иногда – красный оттенок. Также может наблюдаться отставание инфицированных растений в росте. Часто заражение растения указанным вирусом протекает бессимптомно.

Распространение вируса в полевых условиях происходит с помощью тлей и полевых клопов. Контактно-механический способ передачи присутствует, но в меньшей степени; ботаническими семенами вирус не передается.

S-вирус картофеля (Potato virus S, SBK)

К возможным симптомам PVS на картофеле относятся: осветление листьев, мягкая крапчатость, слабая морщинистость, волнистость краев листьев. В ряде случаев на чувствительных сортах наблюдается бронзовость листьев и некротическая крапчатость. Симптоматика вируса нечеткая и позволяет зараженным растениям оставаться незаметными в поле, вплоть до момента уборки, что приводит к массовому распространению вируса.

Сохраняется в клубнях и передается из года в год клубнями. В полевых условиях вирус передается контактным путем, при соприкосновении больных и здоровых листьев, роль насекомых-переносчиков в распространении вируса незначительна и характерна только для конкретных изолятов.

2.2.3. Исследуемые препараты с противовирусными свойствами

Испытывали следующие препараты: Фармайод, ГР (100 г/л йода); Иммуноцитифит, ТАБ (20 г/кг этилового эфира арахидоновой кислоты); Экогель, ВР (30 г/л лактата хитозана); Амулет, ТАБ (композиция линейных полиаминосахаридов (хитозана) в растворе янтарной кислоты); Зерокс, ВКР (3000 мг/л коллоидного серебра); Вирон, ВРК (биостимулятор на основе мочевины и лимонной кислоты с добавлением эфирных масел).

В 2014-2015 гг. опыты по определению эффективности йодсодержащего препарата были заложены в рамках проведения его регистрационных испытаний, где эталоном был регулятор роста Иммуноцитифит.

В 2016-2017 гг. дополнительно включили в схему опыта регуляторы роста Амулет и Экогель, действующие вещества которых по литературным данным обладают противовирусными свойствами. В 2018-2019 гг. препараты Амулет и Экогель были заменены на препараты Зерокс и Вирон.

Фармайод, ГР (100 г/л йода) (ООО «НБЦ «Фармбиомед») – фунгицид (вирулицид), основой которого является водорастворимый комплекс йода с неионогенным ПАВ. Препарат системного и контактного действия, высокоэффективен против комплекса вирусных, бактериальных и некоторых грибных инфекций. Не вызывает резистентности и обладает иммуномодулирующим эффектом. Рекомендован к применению на следующих культурах: томат открытого и защищенного грунта, огурец защищенного грунта, картофель, яблоня и виноград для защиты от вирусных болезней. Норма применения пестицида на картофеле – 2,5-4,0 л/га («Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 г.»).

Физиологическое действие йода на растения осуществляется посредством специфического участия его в азотном обмене и последующим неспецифическим влиянием на активность ферментов и окислительно-восстановительные процессы, а также на состояние воды в тканях, как элемента отрицательной гидратации. Кроме того, йод, индуцируя биосинтез азотистых веществ, повышает скорость образования запасных и опорных белков, необходимых для создания органической массы, что в конечном итоге приводит к увеличению урожая и улучшению его качественного состава.

Иммуноцитифит, ТАБ (20 г/кг (0,167 г/кг для ЛПХ) этилового эфира арахидоновой кислоты) (ЗАО «Агропромышленная компания ГИНКГО») – смесь этиловых жирных кислот и мочевины с содержанием действующего вещества – этилового эфира арахидоновой кислоты – 0,167 г/кг или 20 г/кг.

Катализирует рост, развитие растений и созревание плодов. Способствует повышению урожая на 20-30%, ускоряет образование пробкового слоя на корнеплодах и клубнях, снижает потери урожая при хранении. Обеспечивает заживление ран при повреждении насекомыми. Повышает антистрессовую активность. Обработанная Иммуноцитифитом ботва картофеля видоизменяет свою морфологическую структуру (цвет, жесткость тканей, размер ворсинок, толщина листа), а также вырабатывает

определенные виды алкалоидов-фитоалексинов (любимин, ришитин), которые, например, вынуждают вредителя переходить на более слабые растения. Норма применения – 1 таб./га (20 г/кг) или 1 таб./50 м² (0,167 г/кг) («Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 г.»).

Амулет, ТАБ (композиция линейных полиаминосахаридов (хитозана) в растворе янтарной кислоты) (ООО «БИОХИМТЕХ – БИОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ») — водорастворимый препарат на основе лактата хитозана в растворе янтарной кислоты, обладающий иммуностимулирующей и антистрессовой активностью. Норма применения – 120 таб./га.

Экогель, ВР (30 г/л лактата хитозана) (ООО «БИОХИМТЕХ – БИОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ») – антистрессовый биостимулятор растений. Основным действующим веществом является лактат хитозана – композиция из линейных полиаминосахаридов, растворенная в альфа-оксипропионовой кислоте. Препарат воздействует на растения в соответствии с теорией сигнальных систем запуска ростоактивирующих и защитных механизмов растений, а также теорией индуцированной иммунной устойчивости. Хитозан усиливает синтез глюканаз, хитиназ, каллозы, фитоалексинов, а также усиливает лигнификацию и образование активных форм кислорода. Норма применения – 1 л/100 л воды («Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 г.»).

Зерокс, ВКР (3000 мг/л коллоидного серебра) (ООО «НАНОБИОТЕХ») – фунгицид и бактерицид трансламинарного действия. Действие препарата основано на способности частиц коллоидного серебра закрепляться на стенках клеток фитопатогенных бактерий и грибов, что нарушает работу транспортных и мембранных белков клетки. Также происходит ингибирование ферментов дыхательной цепи, и разобщаются процессы окисления и окислительного фосфолирования, в результате чего наступает гибель клетки.

Норма применения на картофеле – 2-3 л/га («Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 г.»).

Вирон, ВР (биостимулятор фирмы Innako Ltd. на основе мочевины (3%), молочной кислоты (0,5%), лимонной кислоты (1%) с добавлением эфирных масел (ментол, корица, черный перец, тимьян) – препарат с заявленным производителем противобактериальным и противовирусным действием. Эффективность основана на свойствах молочной кислоты разрушать цитоплазматические мембраны бактериальных клеток, вызывая необратимые изменения последних. Антимикробное действие лимонной кислоты состоит ее способности свободно проникать через мембрану бактериальной клетки в цитоплазму, где диссоциация лимонной кислоты на анионы и протоны приводит к закислению внутриклеточной среды, вызывая функциональное и структурное повреждение клетки (Mani-Lopez et al., 2012; Wang, 2015). Норма применения по рекомендациям производителя – 0,45 л/га.

2.3. Методы исследования

Для выявления и идентификации вирусов и последующей оценки биологической эффективности препаратов использовали методы визуальной диагностики и иммуноферментного анализа (далее – ИФА). По изменениям показателя оптической плотности отслеживали динамику содержания вирусов в растениях. Растения, имеющие ярко выраженные признаки заражения вирусом, отмечали как референсные и в дальнейшем оценивали отдельно.

Для проверки и подтверждения результатов ИФА ряд образцов был протестирован методом полимеразной цепной реакции в реальном времени совмещенной с реакцией обратной транскрипции (ОТ-ПЦР-РВ).

В мелкоделяночных и вегетационном опытах для оценки влияния вирусных инфекций на динамику роста и развития опытных растений проводили биометрические учеты. Во время исследований измеряли следующие показатели: высота растений, количество стеблей, количество

листьев, масса клубней и их фракционный состав. Для проведения измерений были отмечены 10 растений с каждого варианта опыта с трех повторностей в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания с.-х. культур (1985).

Продолжительность межфазных периодов отмечали как в мелкоделяночных, так и в производственных испытаниях.

Учеты распространенности и степени поражения вирусами проводили непосредственно перед каждой обработкой препаратами и через 10 дней после выполнения заключительной обработки с предварительным отбором листовых проб.

Распространенность и степень развития (поражения) виروزов в поле рассчитывали по общепринятым формулам:

$$P = (a \times 100) / N, \text{ где}$$

P – распространенность болезни (количество больных растений) %,

a – число больных растений в пробе, штук,

N – общее число растений в пробе, штук.

$$R = (\sum ab \times 100) / NK, \text{ где}$$

R – развитие болезни, %,

$\sum ab$ – сумма произведений числа больных растений на соответствующий им балл поражения,

N – общее число учтенных растений (больных и здоровых), штук,

K – высший балл шкалы учета.

Биологическую эффективность испытуемых препаратов в производственных испытаниях рассчитывали по данным визуальной оценки и выборочно методом ИФА, в мелкоделяночных – по данным визуальной оценки и данным оптической плотности образцов, полученным в результате ИФА, с использованием формулы Аббота:

$$БЭ = (P_{\text{контр.}} - P_{\text{оп.}}) / P_{\text{контр.}} \times 100\%, \text{ где}$$

БЭ – биологическая эффективность препарата, %,

$P_{\text{оп}}$ – распространенность болезни в опытном варианте, %,

$P_{\text{контр.}}$ – распространенность болезни в контроле, %.

2.3.1. Визуальный метод учета

В ходе маршрутных визуальных обследований посадок картофеля наблюдали за симптоматикой вирусов и развитием растений поустно.

Для оценки полевой вирусоустойчивости растений картофеля ранее была разработана и зафиксирована в «Широком унифицированном классификаторе СЭВ и международном классификаторе СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L.» обратная 9-балльная шкала, где 1 балл – более чем 50% пораженных листьев на растениях, 3 – до 50%, 5 – до 25%, 7 – 10%, 9 – больных листьев не отмечено. Но поскольку нашей основной целью являлось установление биологической эффективности испытуемых препаратов, и фактор влияния сорта был сознательно исключен, вместо указанной шкалы для оценки степени поражения растений вирусозами в мелкоделяночных опытах мы использовали адаптированную 5-балльную шкалу, разработанную на основе полевых наблюдений и литературных данных об исследуемых вирусах, где:

0 баллов – видимое поражение отсутствует;

1 балл – поражено 5-10% листьев;

2 балла – поражено 15-30% листьев;

3 балла – поражено 35-50% листьев;

4 балла – поражено более 50% листьев;

5 баллов – поражено более 50% листьев, растение сильно угнетено

Учитывали следующие симптомы: крапчатость, желто-зеленая мозаика, морщинистость листьев, закручивание краев листьев, волнистость краев листьев, некротизацию, измельчение, угнетение роста.

Визуальный учет вирусных болезней проводили в фазы полных всходов, бутонизации и по окончании цветения растений картофеля. Для каждого вида или комплекса исследуемых вирусов процент поражения определяли отдельно.

В мелкоделяночных опытах учитывали все растения каждого варианта каждого сорта, в производственных испытаниях осматривали совокупно по 100 растений, выбранных рендомизированно на площади каждого варианта.

2.3.2. Иммуноферментный анализ

Поскольку метод визуальной диагностики не является окончательным критерием оценки эффективности препарата, и точная идентификация по внешним признакам поражения вирусами невозможна, достоверный ответ может быть получен только с использованием методов инструментальной диагностики, одним из которых является метод иммуноферментного анализа.

Существует несколько вариантов анализа, но мы выбрали прямой неконкурентный твердофазный ИФА или «double antibody sandwich» (DAS-ELISA) метод. Данный метод определяет количество антигенов искомого вируса, что одновременно подтверждает жизнеспособность последнего, в то время как при использовании метода ОТ-ПЦР-РВ может быть обнаружен как активный патоген, так и фрагменты РНК нежизнеспособного вируса.

ИФА проводили с помощью наборов для диагностики вирусов картофеля производства ФИЦ ВНИИКХ имени А.Г. Лорха на базе испытательной лаборатории «АгросервисДиагностика» ООО «НБЦ Фармбиомед». Работу проводили в соответствии с методическими рекомендациями, приложенными производителем тест-систем.

При отборе листовых проб руководствовались литературными данными об особенностях локализации исследуемых вирусов: PVY – листья среднего яруса; PVM – листья нижнего яруса (до цветения), листья верхнего яруса (после цветения); PVS – листья среднего и верхнего ярусов.

Анализ клубневого материала проводили после предварительного проращивания, поскольку исследование экстракта этиолированных тканей проростков является наиболее достоверным.

Ниже кратко изложены основные этапы проведения ИФА:

1. Иммунизация специфических антивирусных антител на твердую фазу (полистирольный планшет).

В соответствии с количеством анализируемых образцов рассчитывали необходимый объем рабочего раствора поликлональных антител, который приготавливали методом разведения концентрированного в 50% глицерине раствора антител в покровном буфере: 0,02 мл (20 мкл) концентрата + 10 мл покровного буфера для исследования 100 образцов.

Готовый рабочий раствор вносили в планшеты по 100 мкл в каждую лунку, накрывали платы крышками, и инкубировали планшеты в термостате при температуре 37°C в течение 2 часов или в холодильной камере при температуре 4°C в течение ночи.

2. Пробоподготовка исследуемых образцов.

Из отобранных листовых проб методом вырубki готовили навески массой 0,2 г и приливали к ним 4 мл пробно-конъюгатного буфера. Далее навески с буфером растирали в фарфоровых ступках, полученный гомогенат переносили в пробирки типа Эппендорф объемом 2 мл и центрифугировали.

3. Промывка планшет

Для проведения промывки готовили промывочный буфер из набора тест-систем путем растворения содержимого каждого флакона с этикеткой «Промывочный буфер» в 2 л дистиллированной воды с добавлением 0,5 мл Твина-20 (детергент). После окончания инкубации планшеты промывали, внося в каждую используемую в анализе лунку 100 мкл промывочного буфера, а затем удаляя раствор буфера из платы. Процедуру повторяли 3 раза.

4. Нанесение исследуемых образцов

После промывки в лунки планшета вносили полученные на этапе пробоподготовки гомогенаты, а также положительные и отрицательные контроли. Далее планшет накрывали крышкой и инкубировали в холодильной камере при температуре 4°C в течение ночи.

Контроли в наборах были представлены лиофильно-высушенными соками, полученными из здоровых (отрицательный контроль) и зараженных (положительный контроль) растений.

5. *Нанесение меченных антител (конъюгатов)*

После инкубации планшеты с внесенными образцами промывали трижды. Затем вносили в лунки рабочий раствор конъюгированных с пероксидазой хрена антител и буфер для проб и конъюгатов. Планшеты накрывали крышкой и инкубировали в термостате при температуре 37°C в течение 1 часа.

6. *Внесение раствора субстрата и проведение реакции*

Для определения количества меченных антител, связавшихся с антигеном образцов, необходимо проведение ферментативной реакции в присутствии субстрата. В наборах тест-систем ФИЦ ВНИИКХ имени А.Г. Лорха ферментом служит пероксидаза хрена. Субстратом для нее является о-фенилендиамин, который представляет собой светло-желтый кристаллический порошок, растворимый субстратным буфером с дистиллированной водой в присутствии перекиси водорода.

Планшеты с нанесенными мечеными антителами промывали 4 раза, затем сразу вносили 100 мкл раствора субстрата в каждую используемую в анализе лунку. Далее планшеты инкубировали при комнатной температуре без доступа солнечного света до развития окраски в лунках.

Регистрацию результатов осуществляли на спектрофотометре АИФР «Униплан» с интерференционным фильтром 492 нм.

В соответствии с методическими рекомендациями производителя тест-систем:

- анализ считается отрицательным, если значение экстинции образца ниже двукратной величины экстинции в отрицательном контроле;
- анализ считается положительным, если значение экстинции образца превышает трехкратную величину экстинции в отрицательном контроле.

Для расчета коэффициента экстинкции каждого образца использовали формулу:

$$K = A_o/A_k, \text{ где}$$

A_o – показатель оптической плотности образца

A_k – показатель оптической плотности отрицательного контроля

K – коэффициент экстинкции образца

При значении $K < 2,0$ – вирус отсутствует, $K = 2,0-3,0$ – недостоверно наличие вируса, $K > 3,0$ – достоверно наличие вируса.

Окончательное решение о наличии или отсутствии вирусов в слабоположительных образцах принимали после статистического анализа и расчета порогового значения оптической плотности по формуле:

$$CUF = (A + 3s) \times 1.1, \text{ где}$$

CUF – пороговое значение

A – среднее значение оптической плотности, рассчитанное по средним значениям оптической плотности всех образцов

s – стандартное отклонение

2.3.3. Методика определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений

Одним из основных симптомов инфицирования опытных растений исследуемыми вирусами является мозаика листьев, вызванная уменьшением количества или деградацией хлоропластов. Таким образом, возбудители виروزов могут оказывать прямое воздействие на интенсивность фотосинтеза.

В мелкоделяночных полевых опытах 2014-2015, 2019 гг. определяли количество основных фотосинтетических пигментов и динамику их изменения под действием фитопатогенных вирусов.

Измерения проводили на кафедре физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по методике Гавриленко В.Ф. (Гавриленко, 1975).

Образцы листьев картофеля каждого сорта каждого варианта опыта отбирали в трехкратной повторности в фазы бутонизации и после цветения.

Далее готовили постоянную навеску массой 200 мг (0,2 г), из которой проводили экстракцию пигментов путем гомогенизации с 100%-ным ацетоном. Экстракты пигментов фильтровали с помощью стеклянного фильтра и колбы Бунзена, насосом отсасывали жидкость, вытяжки переливали в мерные колбы. Затем полученные экстракты наливали в кюветы спектрофотометра. Контрольную кювету заполняли чистым растворителем – ацетоном.

Оптические плотности пигментных вытяжек определяли по центрам поглощения: для хлорофиллов *a* и *b* – 644 и 662 нм, для каротиноидов – 440,5 нм.

Расчет концентрации пигментов хлоропластов вели по уравнению Хольма-Вегтштейна для 100%-ного ацетона:

$$C_a = 9,784 \times D_{662} - 0,990 \times D_{664},$$

$$C_b = 21,426 \times D_{664} - 4,650 \times D_{662},$$

$$C_{a+b} = 5,134 \times D_{662} + 20,436 \times D_{664},$$

$$C_{кар} = 4,695 \times D_{440,5} - 0,268 \times C_{a+b}, \text{ где}$$

C – концентрация хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, мг/л,

D – оптическая плотность в центрах поглощения пигментов 440,5; 644 и 662 нм.

Содержание пигментов вычисляли по формуле:

$$A = (C \times V) / (P \times 1000), \text{ где}$$

A – содержание пигмента в мг на 1 г сырой навески,

C – концентрация пигмента, мг/л,

V – объём вытяжки, мл,

P – масса навески, г

Определение основных биохимических показателей в клубнях картофеля проводили лабораторией агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»: сухое вещество – в соответствии с ГОСТ 28561-90; содержание крахмала – по удельному весу в соответствии с ГОСТ 7194-81; содержание редуцирующих сахаров – в соответствии с Р 4.1.1672-03

«Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище» (метод Самнера) (М., 2004, – с.42); содержание витамина С – в соответствии с Р 4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище» (метод Мурри) (М., 2004, – с.43) или ГОСТ 24556-89; содержание нитратов – СанПиН 2.3.2.1078-01, МУ 5048-89; содержание сырого протеина – рефрактометрическим методом в соответствии с «Методикой физиолого-биохимических исследований картофеля» (М., 1989. – с.56).

2.3.4. Схемы и методы проведения лабораторных, мелкоделяночных и производственных полевых опытов.

2.3.4.1. Лабораторные опыты

Предварительно до начала всех испытаний была заложена серия экспресс-экспериментов по установлению фитотоксического действия и определения максимальной безопасной для растений рабочей концентрации выбранных препаратов. В пластиковые контейнеры, заполненные торфяным субстратом, были высажены чувствительные растения-индикаторы: огурец, томат, пеларгония, картофель. Далее растения были обработаны рабочими растворами препаратов. Визуальные учеты проводили на 3, 5 и 7 сутки после опрыскивания.

В зимне-весенние периоды 2016 и 2018 гг. в отапливаемой остекленной теплице, оборудованной столами для выращивания растений, были заложены опыты, целью которых являлось предварительная оценка антивирусного действия препаратов Экогель, ВР, Амулет, ТАБ – 2016 г., Вирон, ВР, Зерокс, ВКР – 2018 г. до закладки мелкоделяночных опытов в наступающем вегетационном сезоне.

Клубни, полученные от зараженных растений сортов Ред Скарлетт, Адретта, Ильинский в мелкоделяночных опытах предыдущего года, предварительно выводили из состояния покоя: $t=18-20^{\circ}\text{C}$, относительная

влажность воздуха – 75% до появления ростка длиной 1-2 см, анализировали методом ИФА на наличие вирусов, затем делили на равные части с таким расчетом, чтобы на каждой части оказалось не менее 1 глазка. Далее выращивали в пластиковых контейнерах объемом 3,5 л, субстрат – торфяная смесь. На период проведения опытов температуру поддерживали на уровне 20°C, влажность воздуха 60-65%.

В опытах проводили визуальные учеты развития симптомов вирусозов, отслеживали динамику роста и развития растений, изменения морфологии органов. В фазу полных всходов проводили отбор листовых проб для ИФА, далее – перед каждой обработкой и через 7 дней после последней.

Растения опрыскивали рабочими растворами препаратов с помощью бытового помпового опрыскивателя марки MAROLEX, расход рабочей жидкости – 0,1-0,3 л/3 растения в зависимости от стадии роста.



Рисунок 5 – Организация экспресс-экспериментов по установлению фитотоксичности и определения рабочей концентрации препаратов (2018 г.)

2.3.4.2. Описание мелкоделяночных полевых опытов

Мелкоделяночные полевые опыты ежегодно были заложены на экспериментальном участке лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с 2014 по 2019 гг. Растения картофеля сортов Ред

Скарлетт, Ильинский, Адретта выращивали из потомства ранее искусственно зараженных растений.

Для сравнения развития зараженных вирусами и здоровых растений и их урожайности в 2014, 2015 и 2019 гг. высаживали также и оздоровленные (сертифицированные) растения сортов Ильинский, Ред Скарлетт и Адретта.

В период вегетации проводили трехкратные опрыскивания посадок изучаемыми препаратами по схеме: первая обработка – спустя 3 недели после появления всходов, последующие – с интервалом 7-10 дней. Контрольные растения опрыскивали водой.

Количество учетных растений каждого сорта составляло 15 штук в каждом варианте с 3-я повторностями. Опрыскивание проводили бытовым помповым опрыскивателем марки MAROLEX.

Изменение содержания вирусов под действием испытываемых препаратов в растениях определяли в образцах, отобранных с 10 случайных растений варианта, методом ИФА. С каждого растения отбирали отдельный сборный образец. Референсные растения с выраженными признаками вирусносительства анализировали отдельно.

Дважды проводили профилактические и искореняющие обработки инсектицидами Актара, ВДГ и Фитоверм, КЭ для защиты посадок от тлей-переносчиков и колорадского жука. Основной уход за опытным участком включал ручную прополку сорняков в междурядьях и окучивание растений картофеля.

Уборку урожая проводили вручную, покустно, учитывали число товарных клубней, общую массу клубней, среднюю массу клубня, фракционный состав. Полученные данные пересчитывали на м² для учета урожайности.

Схемы опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Схемы мелкоделяночных опытов с учетом включения/исключения отдельных препаратов в разные годы, 2014-2019 гг.

Вариант опыта	Норма расхода, л/га, г/га, кг/га	Год проведения испытаний					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Фармайод, ГР	0,15	+	-	-	-	-	-
Фармайод, ГР	0,3	+	+	+	+	+	+
Иммуноцитифит, ТАБ	0,5	+	+	+	+	+	+
Экогель, ВР	3	-	-	+	+	-	-
Амулет, ТАБ	0,36	-	-	+	+	-	-
Вирон, ВР	0,45	-	-	-	-	+	+
Зерокс, ВКР	3	-	-	-	-	+	+
Контроль (вода)	300	+	+	+	+	+	+

2.3.4.3. Описание производственных полевых опытов

В условиях 1-й, 2-й и 3-й почвенно-климатических зон Российской Федерации, соответственно, в хозяйствах Московской (2018 г.), Астраханской (2016 г.) и Липецкой (2015-2016 г.) областей в полевых условиях проводили изучение антивирусной активности препарата Фармайод, ГР (100 г/л йода) и многоцелевого регулятора роста Иммуноцитифит, ТАБ (20 г/кг эфира арахидоновой кислоты) и изучали их влияние на урожайность картофеля разных сортов.

Схемы опытов:

Липецкая, Астраханская области

1. Фармайод, ГР – 0,3 л/га
2. Иммуноцитифит, ТАБ – 0,5 г/га
3. Контроль – без обработки

Московская область

1. Фармайод, ГР – 0,1 л/т + 0,3 л/га
2. Фармайод, ГР – 0,3 л/га
3. Контроль – без обработки

Препараты применяли способом трехкратного опрыскивания растений картофеля в период вегетации (первая обработка – в фазу полных всходов, последующие – с интервалом 10-14 дней). В хозяйстве Московской области дополнительно был включен вариант с предпосадочной обработкой клубней и

с 4-м опрыскиванием вегетирующих растений сразу после цветения. Контрольные участки обрабатывали согласно стандартной схеме, принятой в хозяйствах.

В качестве растительных объектов использовали посадочный материал первой и второй репродукции сортов картофеля, имеющихся в хозяйствах: в Астраханской области высаживали сорт Импала (РС₂), в Липецкой области – сорт Рамос (РС₂), в Московской области – сорт ВР-808 (РС₁).

В Липецкой области использовалась широкорядная гребневая схема посадки по голландской технологии (междурядье 90 см), предшественник – озимая пшеница. Осенью проводили лущение стерни, дискование, вносили хлористый калий под зяблевую вспашку (глубина 27-30 см). Весной – боронование зяби, при наступлении физической спелости проводили фрезерование на глубину 16-18 см. Посадку осуществляли широкорядной гребневой сажалкой Grimme GL 34N, глубина заделки клубня – 6-8 см, густота посадки – 60 тыс./га. Гектарные нормы удобрений: N₉₀:P₁₅₀:K₁₂₀. До всходов проводили обработку гербицидами Зенкор Ультра, КС 0,6 л/га + Боксер, КЭ 2 т/га, для десикации ботвы использовали Реглон Супер, ВР 2 л/га. Для защиты посадок от вредных насекомых проводили опрыскивания Децис Профи, ВДГ 0,03 л/га и Танрек, ВРК 0,1 л/га.

Общая площадь опыта – 300 м², площадь опытной делянки – 30 м², повторность – трехкратная.

В Астраханской области картофель сажали по общепринятой в зоне Нижнего Поволжья схеме посадки 70x30 см, предшественник – озимая пшеница. Обработка почвы: отвальная вспашка зяби осенью на глубину 22-25 см, весной – дискование, боронование, внесение под предпосадочную культивацию (глубина 10-12 см) удобрений в норме 1,5 т/га в физическом весе азофоски. Посадка гладкая, рядовая, орошение – спринклерное. Глубина заделки клубня 6-8 см, густота посадки – 50 тыс./га.

В период вегетации картофеля проводили довсходовую обработку гербицидом Зенкор Ультра, КС 0,6 л/га, 3 междурядные обработки

культиватором КРН-5,6, а также обработки инсектицидами Актара, ВДГ 0,06 кг/га и Децис Профи, ВДГ 0,03 л/га от тлей и колорадского жука, фунгицидом Ревус Топ, СК 0,6 л/га – от фитофтороза.

В фазу полных всходов по 25-30 растений сортов Импала и Рамос выборочно были обследованы на наличие Y-вируса картофеля, M-вируса картофеля и S-вируса картофеля.

В хозяйстве Московской области до начала испытаний был проведен рендомизированный отбор 150 клубней, предназначенных для посадки с целью определения уровня их инфицированности и видового состава вирусов.

Выявление и идентификацию вирусов в этиолированных проростках посадочных клубней, а также в листьях вегетирующих растениях проводили «сэндвич»-вариантом ИФА. Учеты распространенности и развития вирусных болезней визуально и методом ИФА с отбором листовых проб проводили перед каждым опрыскиванием препаратами и через 10 дней после выполнения заключительной обработки.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

3.1. Симптоматика изучаемых вирусов на сортах картофеля в полевых условиях

В процессе работы с вирусными изолятами мы описывали их симптоматику через 2 недели после фазы полных всходов растений исследуемых сортов, представленную ниже.

Y-вирус картофеля

Y-вирус картофеля на растениях сорта Ред Скарлетт проявлялся в виде характерной морщинистой мозаики листьев практически на протяжении всех лет исследований на полях лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 6). Также часто встречались растения с сильным угнетением роста, недоразвитием и деформацией листьев (рис. 7). Кроме того, в отдельные годы (2017, 2018) у 18-27% клубней, полученных от пораженных растений этого сорта, отмечали в мякоти различные чаще округлые некрозы коричневого-ржавого цвета. Многие клубни были деформированы, имели уродливую форму и низкую массу, визуально сильно отличались от требуемого стандарта (рис. 8).



Рисунок 6 – Комплекс симптомов на растениях с. Ред Скарлетт, зараженных Y-вирусом картофеля, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева



Рисунок 7 – Тяжелая форма заражения Y-вирусом картофеля (карликовость, закручивание и морщинистость листьев) растения с. Ред Скарлетт, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева



Рисунок 8 – Деформация и измельчение клубней картофеля с. Ред Скарлетт, зараженного Y-вирусом, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

В производственном опыте в хозяйстве Московской области на растениях картофеля сорта ВР 808 Y-вирус вызывал слабое развитие

хлоротической мозаики на верхних листьях, многовершинность и деформацию листьев, общее угнетение (рис. 9).

На картофеле сорта Рамос (Липецкая область) на растениях, пораженных PVY, отмечали морщинистость и деформации листьев, недоразвитость растений, карликовость (рис. 10).



Рисунок 9 – Фрагмент поля и растения картофеля с. ВР 808, пораженного Y-вирусом, Московская область, 2018 г.



Рисунок 10 – Поражение картофеля с. Рамос в полевых условиях Y-вирусом, Липецкая область, 2015 г.

М-вирус

На пораженных М-вирусом растениях картофеля сортов Адретта и Ильинский отмечали мозаичность большинства листьев, а также скручивание

и волнистость краев верхних листьев, особенно сильно проявившихся в первый год (2014) закладки мелкоделяночного полевого опыта в РГАУ-МСХА. В последующие годы такие четкие симптомы наблюдали на единичных растениях в период бутонизации. На старых листьях симптомы вируса заметно ослабевали или исчезали вовсе, таким образом М-вирус находился в растениях преимущественно в форме латентной инфекции. При этом клубни мельчали, встречались единичные деформированные клубни, но внутренних некрозов не было.

Нами отмечено, что сорт Адретта оказался более восприимчивым к данному вирусу, чем сорт Ильинский. Дальнейшее изучение развития симптомов и влияния на урожайность картофеля М-вируса проводили на восприимчивом сорте (рис. 11, 12).



Рисунок 11 – Мозаичность, частичное скручивание («ложечка») и деформация листьев картофеля с. Адретта, зараженного М-вирусом, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева



Рисунок 12 – Снижение выхода товарных клубней картофеля с. Адретта, зараженного М-вирусом (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

S-вирус

На протяжении всего периода исследований визуальные признаки заражения растений сорта Ильинский практически отсутствовали или проявлялись очень слабо. Для достоверного подтверждения наличия S-вируса в опытных растениях использовали метод ИФА.

На референсных растениях отмечали следующие симптомы: общее осветление листьев, слабая морщинистость и складчатость, измельчение клубней (рис. 13, 14). Только в 2014 году, который отличался особо засушливым вегетационным периодом, вирус проявился в виде уменьшения размера долей листьев с краевым некрозом на них.

По данным отечественных исследований (Белошапкина О.О., Романенко Н.Д.) на картофеле чаще встречается не моно-, а комплексная инфекция, например следующие сочетания вирусов: X+S, X+S+M, X+S+M+L, X+TRV, X+AMV, AMV+TRV+L (Агробиотехнологии XXI века..., 2022).



Рисунок 13 – Складчатость и слабая морщинистость, измельчение листьев на растениях картофеля с. Ильинский, зараженного S-вирусом (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)



Рисунок 14 – Измельчение клубней картофеля с. Ильинский, зараженного S-вирусом (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Эти наблюдения впоследствии были подтверждены нами при обследовании производственных посадок картофеля в хозяйствах Астраханской, Липецкой и Московской областей, где по данным ИФА были обнаружены в большинстве случаев такие сочетания, как PVM+PVS и PVM+PVS+PVY.

PVM+PVS

Данный комплекс был обнаружен на растениях картофеля сортов Рамос (Липецкая область) и Импала (Астраханская область). При этом в хозяйствах обеих областей в годы исследований на долю обнаруженной ко-инфекции приходился основной процент зараженных растений в поле: 27% и 24% соответственно, что подтверждает опубликованные сведения о широком распространении патоконплекса M- и S-вирусов картофеля в различных регионах Российской Федерации (Фоминых и соавт., 2017; Французов и соавт., 2018). Среди сопутствующих симптомов были отмечены неровность и волнистость краев долей, в большей степени верхушечных, листьев, слабый межжилковый хлороз и осветление их, скручивание листьев по главной жилке (рис. 14). На обоих сортах встречались отдельные растения, сильно отстающие в росте.



Рисунок 14 – Растения картофеля, пораженные комплексом M- и S-вирусов картофеля в поле (слева – сорт Рамос, справа – сорт Импала)

При поражении растений комплексной инфекцией симптомы могут значительно варьировать в сравнении с симптоматикой характерной для конкретного вируса, при этом часть симптомов могут не проявляться вовсе. Возможно, это связано как с соотношением каждого отдельного вируса в комплексе, так и с взаимодействием между ними (синергизм, антагонизм и пр.). Так, в опытах, проведенных Crespo O. и соавторами (2016-2017), на растениях цукини и огурца было отмечен антагонистический эффект между вирусом зелёной крапчатой мозаики огурца (*Cucumber green mottle mosaic tobamovirus*, CGMMV) и вирусом курчавости листьев томата Нью Дели (*Tomato leaf curl New Delhi begomovirus*, ToLCNDV). Эффект проявлялся в скорости накопления вирусов при моно- и ко-инфицировании. При инокуляции растений CGMMV вирус накапливался с одинаковой скоростью в обоих случаях, в то время как накопление ToLCNDV при комплексном заражении протекало значительно медленнее (Crespo et al., 2020).

PVM+PVS+PVY

Комплекс из трёх вирусов картофеля был обнаружен в хозяйстве Астраханской области на сорте Импала. Среди симптомов на листьях наиболее часто встречались: волнистость краёв листьев, скручивание и слабая складчатость долей листьев, хлоротическая мозаика (рис. 15). Отмечены раскидистость, нехарактерная для сорта, и общее недоразвитие растений.



Рисунок 15 – Внешний вид растения сорта Импала, пораженного комплексом трех вирусов PVM+PVS+PVY (Астраханская область, 2016 г.)

Поскольку известно, что частым сопутствующим симптомам вирусных болезней картофеля является угнетение роста или даже карликовость всего растения, что также наблюдалось в наших исследованиях, мы уточнили насколько изменяется габитус зараженного вирусами растения, исследовав его основные биометрические показатели (табл. 3) в сравнении с оздоровленными растениями опытных сортов, выращиваемых в тех же условиях.

Опираясь на полученные данные, нами была установлена тенденция по снижению высоты и общей облиственности зараженных вирусами растений в течение всего периода исследований.

Наибольшая разница в росте между зараженными PVY и оздоровленными контрольными растениями сорта Ред Скарлетт составила 27,78% (2014 г.) и 19,67% (2019 г.), что подтверждает общее отрицательное влияние Y-вируса. Так, в 2019 году средняя высота растений составила 0,49 м, что в 1,25 раза ниже значения, характерного для здоровых растений данного сорта. Кроме угнетения роста у зараженных вирусом растений отмечено сокращение числа продуктивных стеблей в среднем на 1,18. Вследствие снижения количества побегов, недоразвития и деформации листьев, общая облиственность зараженных растений сорта Ред Скарлетт была в среднем по годам на 20% ниже аналогичного показателя оздоровленного контроля.

Таблица 3. Оценка роста и развития растений картофеля сортов Ред Скарлетт, Ильинский и Адретта, зараженных вирусами, фаза цветения, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Год исследования	Средние значения основных показателей					
	Высота растений, см	Разность с контролем, %	Количество стеблей на 1 растении, шт.	Разность с контролем, %	Количество листьев на 1 растении, шт.	Разность с контролем, %
сорт Ред Скарлетт – PVY						
2014	39	27,78	4,13	17,73	22,47	27,58
2015	56	11,11	4,67	24,68	28,90	17,66
2016	55		4,50		28,73	
2017	48		4,20		24,37	
2018	52		4,33		28,33	
2019	49		19,67		4,33	

Продолжение таблицы 3

сорт Ред Скарлетт – здоровый (контроль)						
2014	54	-	5,02	-	31,03	-
НСР₀₅	2,03	5,08	0,60	12,02	0,83	3,00
2015	63	-	5,60	-	35,10	-
НСР₀₅	1,53	2,69	0,17	3,13	0,75	2,29
2019	61	-	5,40	-	32,50	-
НСР₀₅	1,27	2,26	0,17	3,57	0,56	1,84
сорт Ильинский – PVS						
2014	49	9,25	3,43	8,28	27,34	6,11
2015	53	8,62	4,20	9,09	30,90	3,68
2016	56		4,25		31,97	
2017	52		3,90		28,21	
2018	51		3,86		29,10	
2019	54	5,26	4,11	6,59	30,35	2,09
сорт Ильинский – здоровый (контроль)						
2014	54	-	3,74	-	29,12	-
НСР₀₅	1,21	2,38	0,04	1,14	0,69	2,55
2015	58	-	4,62	-	32,08	-
НСР₀₅	0,94	1,72	0,09	4,45	1,02	3,32
2019	57	-	4,40	-	31,00	-
НСР₀₅	0,86	1,54	0,12	2,83	0,60	1,99
сорт Адретта – PVM						
2014	53	10,16	2,81	6,95	38,80	8,83
2015	64	1,54	3,31	6,23	43,60	3,56
2016	61		3,30		44,02	
2017	54		3,17		43,70	
2018	54		3,18		41,19	
2019	57	9,52	3,20	5,88	42,47	4,77
сорт Адретта – здоровый (контроль)						
2014	59	-	3,02	-	42,56	-
НСР₀₅	0,94	1,67	0,08	2,73	0,81	1,99
2015	65	-	3,53	-	45,21	-
НСР₀₅	1,08	1,69	0,07	2,18	0,69	1,57
2019	63	-	3,40	-	44,60	-
НСР₀₅	0,86	1,43	0,12	3,59	0,73	1,71

На сорте Ильинский в течение всех лет наблюдений за биометрическими параметрами не было отмечено существенно влияния S-вируса на высоту и количество листьев зараженных растений. Среднее по годам количество листьев на 1 растении сократилось на 3,67%, средняя высота – на 7,71%, что подтверждает литературные данные о малой вредоносности S-вируса (Защита картофеля..., 2009) для развития вегетативных частей картофеля. Максимальное снижение высоты растений – на 9,25% – отмечено в 2014 г. Вероятно, это в большей степени было связано с неблагоприятными

погодными условиями, сложившимися в начале вегетационного периода, поскольку такая же тенденция наблюдалась на всех опытных сортах.

Наибольший негативный эффект, оказываемый М-вирусом на рост и развитие надземной части растений сорта Адретта, отмечали при измерении высоты главного стебля. За период с 2016 по 2019 гг. высота опытных растений в среднем составила 56,5 см, что на 13,1% ниже стандартных характеристик сорта. Полученные нами данные совпадали с наблюдениями зарубежных авторов об укороченности побегов растений картофеля, пораженных М-вирусом (Хи, 2010). Существенное изменение числа листьев на 1 растении наблюдалось в 2014 году, где разность с оздоровленным контролем по этому показателю составила 8,83%.

На высоту растений, количество стеблей и общую облиственность кроме вирусов большое влияние оказывали и погодные условия, которые различались по годам. Так, при учете количества стеблей на 1 кусте нам не удалось установить четкую зависимость между изменчивостью указанного признака и видом вируса (исключение – PVY), но была отмечена его взаимосвязь с метеорологическими условиями вегетационного периода.

Наиболее благоприятные условия для выращивания картофеля сложились в 2015 году, а самые значительные отклонения от контрольных параметров были зафиксированы в засушливом 2014 году.

Развитие подобных симптомов и изменения морфо-биометрических показателей у больных растений не могло не отразиться на урожайности клубней зараженных сортов.

3.2. Выявленная вредоносность вирусов картофеля

По многочисленным данным отечественных и зарубежных исследований вирусные болезни в латентной форме способны снижать урожайность картофеля в среднем на 10-20% (Швидченко и соавт., 2011). Тяжелые формы болезней вызывают до 70-85% потерь урожая, при этом потери клубней при хранении достигают 15-20% (Амелюшкина, 2011; Kreuze

et al, 2020). Оздоровленный посадочный материал картофеля используется в большинстве стран Центральной Европы и Северной Америки. Урожай картофеля при этом увеличивается на 20-50%.

В результате нашей работы мы выяснили, что урожайность зараженных вирусами растений во все годы была меньше, чем у здоровых растений тех же сортов, выращиваемых в тех же условиях с одинаковой агротехникой.

Таблица 4. Динамика снижения урожайности зараженных вирусами растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Сорт картофеля	Вирус	Урожайность, кг/м ²					
		2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Ред Скарлетт	PVY	1,51	2,35	1,93	1,36	1,20	1,06
Ред Скарлетт	-	3,20	3,76				3,51
НСР ₀₅ = 0,45							
Адретта	PVM	3,03	3,53	3,29	2,73	2,34	2,16
Адретта	-	3,57	4,12				4,02
НСР ₀₅ = 0,40							
Ильинский	PVS	1,80	2,15	1,46	1,40	1,15	1,10
Ильинский	-	2,05	2,77				2,56
НСР ₀₅ = 0,47							

Максимальное снижение урожайности в результате негативного влияния вируса было выявлено в опыте в 2019 г. на картофеле сорта Ред Скарлетт, зараженного PVY – 10,6 т/га в сравнении с оздоровленным контролем – 35,1 т/га (при пересчете из кг/м²). Урожайность сорта Ильинский, зараженного S-вирусом картофеля, снизилась до 11,0 т/га с 2015 по 2019 гг. Потеря урожайности сорта Адретта, вследствие многолетнего негативного влияния M-вируса, с 2014 по 2019 гг. составила 18,6 т/га.

В среднем за период испытаний 2014-2019 гг. в мелкоделяночных опытах урожайность инфицированных вирусами растений сорта Ильинский снизилась на 48,8%, сорта Ред Скарлетт – на 54,9%, сорта Адретта – на 52,3% от максимальных значений, полученных в 2015 г.

В первый год исследований (2014 г.) урожайность сорта Ред Скарлетт была на 52,8% ниже, чем урожайность оздоровленного контроля.

Мы предположили, что столь существенная разница обусловлена не только негативным влиянием Y-вируса на рост и развитие растений в период формирования урожая, но и высокой экологической пластичностью сорта. Сорт Ред Скарлетт, согласно исследованиям Мушинского А.А. и соавторов (2013-2015 гг.), имеет коэффициент регрессии $R_i = 1,08$, что подразумевает снижение продуктивности сорта на низком агрофоне, а также в неблагоприятные по погодным условиям годы (Мушинский и соавт., 2016).

Косвенным подтверждением нашей гипотезы является сокращение разницы между урожайностью инфицированных и оздоровленных растений в 2015 году до 37,5% в более благоприятный по метеорологическим характеристикам вегетационный период при неизменном агрофоне и уровне агротехники.

Начиная с 2016 года, мы наблюдали последовательное снижение урожайности всех опытных сортов при незначительном варьировании погодных условий следующих лет. Таким образом, прямой негативный эффект воздействия вирусов на урожайность был отмечен на третьем году выращивания картофеля из посадочных клубней, полученных от зараженных растений. Результаты наших наблюдений совпадают с опубликованными рядом исследователей данными о возрастании вредоносности вирусов с увеличением числа репродукций (Анисимов, 2010; Блоцкая, 2000; Григорян, Ткаченко, 2019; Колычихина, Белошапкина, 2020; Kolychikhina et al., 2021).

Основными элементами продуктивности сорта картофеля являются: количество клубней, их масса и размер, и продуктивность с 1 куста растения.

При учете продуктивности с 1 куста и подсчете количества клубней было установлено, что пораженность сорта вирусами практически не влияет на их количество. Нами было выявлено, что число клубней является устойчивым показателем сорта, и незначительно изменяется в зависимости от климатических условий года исследований. В течение всего периода проведения опытов этот показатель в среднем соответствовал хозяйственным характеристикам сортов.

Как показано в таблице 5, общее количество клубней слабо варьировало по годам как у зараженных, так и у оздоровленных растений. Коэффициент вариации в общем по сортам составил 2,79-6,90%.

У сорта Ред Скарлетт вследствие негативного влияния Y-вируса существенно снизилось число товарных клубней, которое в среднем по годам составило 3,6 шт./куст при 8,1 шт./куст в оздоровленном контроле. К нетоварным, помимо мелкой фракции, относили также не выровненные, нестандартные, угловатой формы клубни.

Кроме того, полученные от зараженных растений клубни сильно отличались по размеру, что повысило коэффициент вариации по показателю массы клубней с 1 куста до 32,82% при норме 7,52% в варианте с оздоровленными растениями.

Тем не менее, самое большое изменение этого параметра было среди зараженных S-вирусом картофеля растений сорта Ильинский, где коэффициент вариации средней массы клубней с 1 куста составил 36,41%. Это обусловлено формированием более мелких клубней в каждой последующей репродукции, что является основным фактором вредоносности указанного вируса. В результате вредное воздействие PVS отразилось на выходе товарных клубней сорта – 5,5 шт./куст при 8,9 шт./куст в контрольном варианте.

Как и Y-, и S-вирусы картофеля M-вирус не оказал значительного влияния на общее количество клубней на 1 кусте, но доля товарных клубней снизилась до 71,57%, при этом коэффициент вариации по годам составил 20,39%. Среднее значение общей массы клубней с куста составило 69,61% (806,14 г.) от значения того же показателя в варианте с оздоровленными растениями, что связано с уменьшением средней массы 1 клубня до 75,10 г.

Согласно результатам проведенных нами учетов, наибольшее негативное влияние исследуемых фитопатогенных вирусов на продуктивность зараженных растений картофеля разных сортов было выражено в существенном снижении массы их клубней, а также в количестве полученных

товарных клубней, при слабом варьировании их общего числа, характерного для сорта.

Таблица 5. Продуктивность растений картофеля сортов Ред Скарлетт, Ильинский и Адретта, зараженных вирусами, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Вариант опыта	Количество клубней, шт./куст				Масса, г			
	Общее		Товарных		1 клубня		Клубней с куста	
	Среднее по годам	V, %	Среднее по годам	V, %	Средняя по годам	V, %	Средняя по годам	V, %
Ред Скарлетт РУУ	7,8	6,90	3,6	24,49	48,39	22,77	377,44	32,82
Ред Скарлетт оздоровленный	9,2	3,21	8,1	8,61	85,62	3,07	857,70	7,52
Адретта РVM	11,4	3,75	9,3	20,39	75,10	20,03	806,14	27,18
Адретта оздоровленный	12,5	2,79	11,2	6,40	108,40	5,76	1 158,00	5,37
Ильинский PVS	9,6	5,34	5,5	27,22	53,60	24,57	514,56	36,41
Ильинский оздоровленный	10,4	3,95	8,9	7,02	79,85	3,39	930,44	6,14

*V – коэффициент вариации: < 10% – слабое разнообразие, 10-20% – среднее разнообразие, >20% – сильное разнообразие

При изучении структуры урожая зараженных вирусами сортов нами был проведен анализ фракционного состава клубней. Во все годы проведения исследований наблюдалась тенденция к его изменению с возрастанием доли маловесных или нетоварных фракций (рис. 16-18).

Согласно стандартным характеристикам сортов, описанным в Главе 2, масса товарного клубня сорта Ред Скарлетт составляет от 56 до 102 г., сорта Адретта – 100-150 г., сорта Ильинский – 54-158 г.

По результатам учетов клубней в среднем за 3 года исследований (2014-2016 гг.) нами были установлены средние значения массы 1 товарного клубня на уровне 56,8 г для сорта Ред Скарлетт, 86,3 г – для сорта Адретта и 74,7 г – для сорта Ильинский.

На основании полученных данных клубни были разделены нами на следующие фракции:

сорт Ред Скарлетт: крупные – весом >60 г, средние – от 40 до 60 г, мелкие – весом <40 г;

сорт Адретта: крупные – весом >90 г, средние – от 70 до 90 г, мелкие – весом <70 г;

сорт Ильинский: крупные – весом >80 г, средние – от 60 до 80 г, мелкие – весом <60 г.

К 2019 году доля клубней весом <40 г на сорте Ред Скарлетт (рис. 16) увеличилась до 20,08%. И хотя доля клубней средней фракции не претерпела существенных изменений и в последний год исследований составила 46,77%, общее увеличение процента клубней весом <60 г. достигло 34%.

Кроме того, большинство клубней весом 40-60 г. имели отклонения от стандартной характерной для сорта удлиненно-овальной формы клубня. Таким образом, вредоносность Y-вируса на сорте картофеля Ред Скарлетт в наших исследованиях проявилась как в снижении средней массы 1 клубня во всех фракциях, так и в снижении выхода товарных клубней при незначительном изменении соотношения фракционного состава.

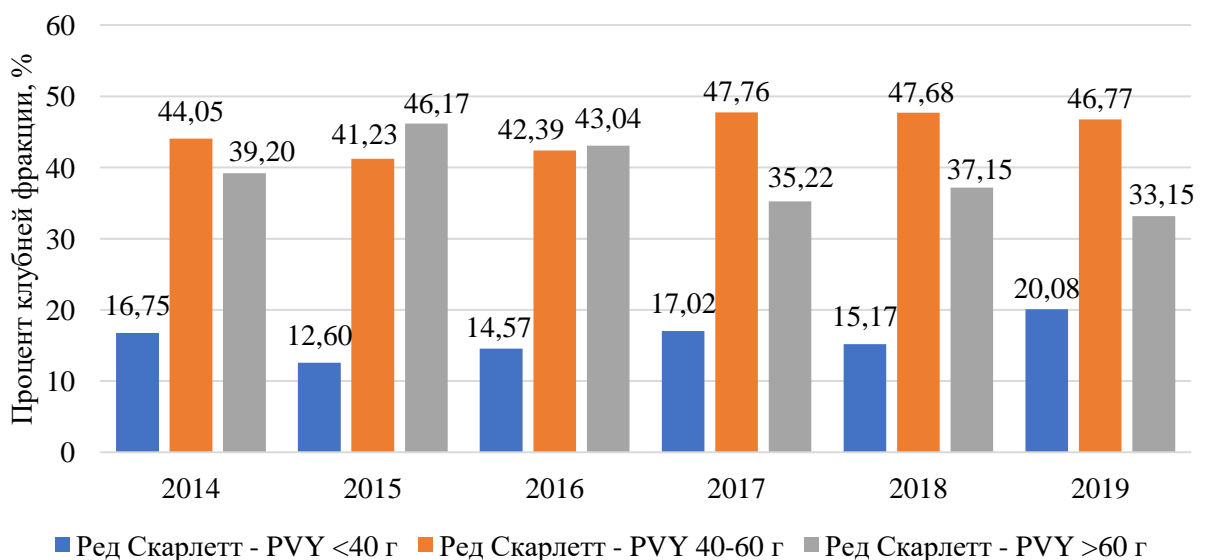


Рисунок 16 – Фракционный состав клубней, полученных от зараженных Y-вирусом картофеля растений сорта Ред Скарлетт, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 г.

На сорте Адретта минимальный процент клубней мелкой фракции был отмечен в 2015 году и составил 9,08% (рис. 17). В 2018 году произошло увеличение доли клубней весом <70 г до 15,39%, но при этом в 2019 году она составила только 13,06% в общей структуре фракционного состава.

Как и на сорте Ред Скарлетт, зараженном PVY, на сорте Адретта наблюдалась тенденция снижения средней массы клубня, что в 2019 году привело к росту общего количества клубней весом <90 г до 27% при доле средней фракции 58,63%.

В результате проведенного анализа можно предположить, что негативное влияние М-вируса на сорте Адретта проявилось не увеличением числа мелких клубней, а снижением массы 1 клубня средней и крупной фракций. Итоговое значение средней массы 1 клубня с 2014 по 2019 гг. составило 75,10 г против 86,3 г, полученного в период 2014-2016 гг.

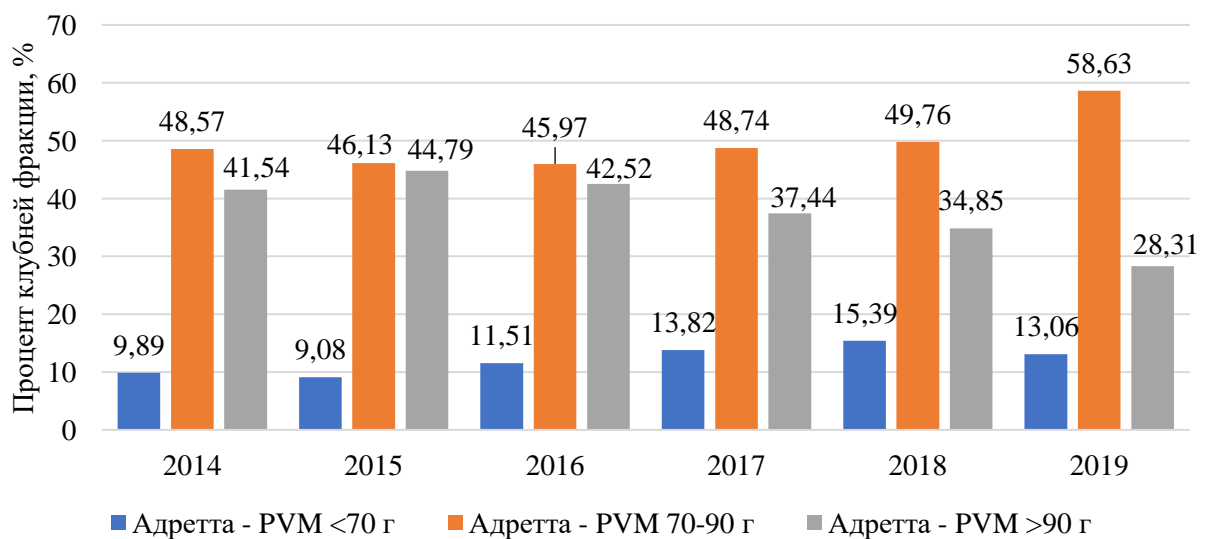


Рисунок 17 – Фракционный состав клубней, полученных от зараженных М-вирусом картофеля растений сорта Адретта, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 г.

При анализе структуры урожая на сорте Ильинский наблюдали стабильный рост доли мелких клубней весом менее 60 г на фоне уменьшения количества клубней весом >80 г. (рис. 18).

В 2014 году разница в соотношении указанных фракций в структуре урожая составляла 42,41%, а в 2019 году – 7,67%. Количество клубней весом 60-80 г. увеличилось на 21,48% и к 2019 году составляло 45,99%, при этом доля общего числа клубней весом <80 г. в последний год испытаний достигла 25%.

В отличие от Y-вируса, чья вредоносность выражалась возрастанием числа нестандартных клубней, S-вирус картофеля не оказывал влияния на морфологию клубней, которые сохраняли характерную для сорта округло-овальную форму. Также мы не отмечали существенного снижения средней массы 1 клубня средней фракции, что было характерно для сорта Адретта, зараженного M-вирусом.

Таким образом, снижение урожайности и выхода товарных клубней на сорте Ильинский в первую очередь было связано с возросшей долей клубней весом <60 г. Отрицательное воздействие S-вируса проявилось в формировании растениями все большего числа мелких клубней.

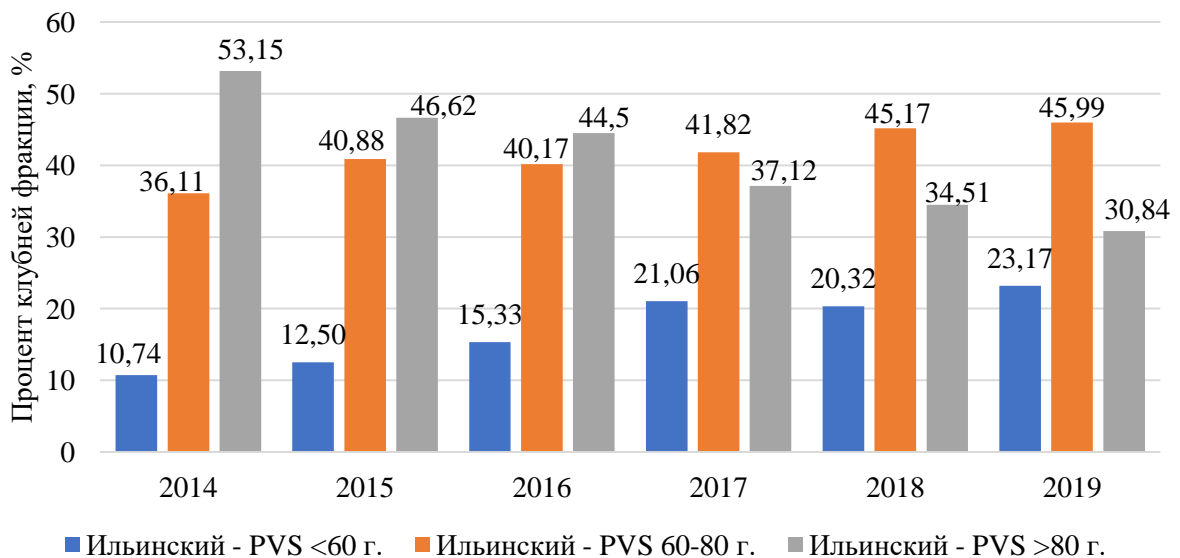


Рисунок 18 – Фракционный состав клубней, полученных от зараженных S-вирусом картофеля растений сорта Ильинский, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Одной из причин падения урожайности опытных растений на фоне заражения вирусами являлось снижение фотосинтетической ассимиляции CO_2 из-за тяжелых деформаций листьев, таких как скручивание, морщинистость и складчатость. Кроме того, наблюдаемые нами нарушения окраски листьев по типу межжилкового хлороза и мозаики, указывали на гибель хлоропластов в клетках растений.

Для подтверждения этого предположения в 2014, 2015 и 2019 гг. нами была проведена серия определений содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях больных и оздоровленных растений. Результаты представлены на рисунках 19-21.

В последние годы значительно возросло количество публикаций о расширении роли хлорофилла *b* в регуляции онтогенеза растений. Помимо прямого угнетения процесса фотосинтеза, отсутствие или деградация указанного пигмента вызывает задержку цветения и преждевременный запуск программ онтогенетического и индуцированного старения. (Тютерева, 2017).

В работе Бакунова А.Л. и соавторов (2019) была выявлена достоверная средняя зависимость урожайности сортов картофеля от концентрации в растениях хлорофилла *b*, при этом исследователями не была установлена такая же зависимость между содержанием хлорофилла *a* и каротиноидов и урожайностью опытных сортов. Одновременно при установлении корреляционной связи между продуктивностью сортов и соотношением хлорофиллов *a* и *b* была выявлена достоверно отрицательная зависимость – чем выше содержание хлорофилла *b* и меньше отношение между ним и хлорофиллом *a*, тем выше урожайность. (Бакунов и соавт., 2020) Проанализировав данные наших исследований, проводимых в 2014 и 2019 гг., мы наблюдали схожие зависимости.

В 2014 году значительное влияние на концентрации фотосинтетических пигментов на опытных сортах картофеля оказало нарушение водного режима опытных растений, поскольку водный стресс снижает, а порой и полностью ингибирует фотосинтез. В условиях почвенной засухи и повышенных

температур площадь листовой поверхности уменьшается как за счет деформации зрелых листьев, так и из-за снижения скорости образования новых листьев.

Сложившиеся погодные условия в совокупности с заражением растений сорта Ред Скарлетт Y-вирусом, который вызывал закручивание и мозаику листьев, привели к снижению концентрации общего хлорофилла *ab* на 34,64% от значения в контроле (рис. 19). Вегетационный период 2019 года также характеризовался недостаточной влагообеспеченностью (ГТК = 0,94). Концентрация общего хлорофилла *ab* у больных растений составила 1,20 мг/г (-26,83% от показателя контроля). В 2015 году, который был наиболее подходящим для выращивания картофеля, содержание общего хлорофилла *ab* в контрольном варианте было на 29,94% выше значения в варианте с исследуемым вирусом.

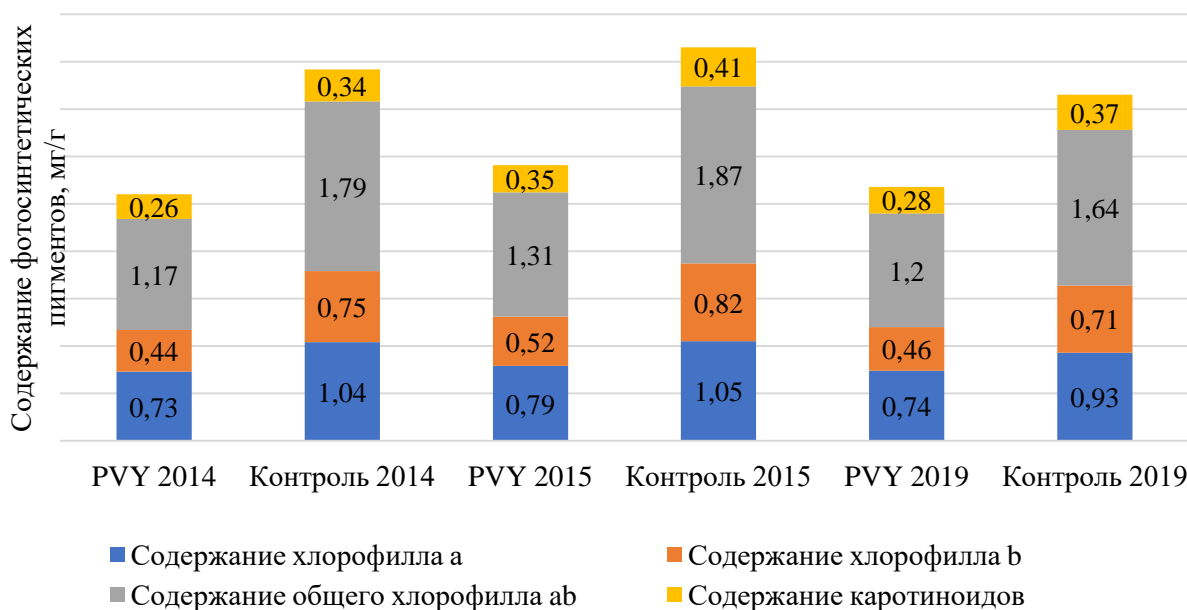


Рисунок 19 – Содержание основных фотосинтетических пигментов (мг/г) в пробах листьев зараженных Y-вирусом и оздоровленных растений сорта Ред Скарлетт, фаза начала бутонизации, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Концентрация каротиноидов во все годы исследований была в среднем на 25,71% ниже у больных растений в сравнении со здоровыми. При этом

максимальная разность отмечена в 2015 году – 29,27%, когда в благоприятных климатических условиях содержание каротиноидов в контроле составило 0,41 мг/г.

Группой зарубежных учёных (2014) было установлено, что вспомогательная протеиназа потивирусов – HC-Pro (Tu et al., 2015) в клетках листьев инфицированных растений взаимодействует с белком деления хлоропластов, нарушая процесс деления, в результате чего хлоропласты разрастаются до аномальных форм. Таким образом, можно предположить, что в 2015 году Y-вирус оказывал прямое негативное воздействие на фотосинтетическую активность зараженных растений, что привело к последовательному снижению концентраций всех пигментов в листьях больных растений.

Соотношение хлорофиллов *a* и *b* в зараженных растениях варьировало в пределах 1,51-1,67, в оздоровленном контроле – 1,28-1,38.

Нами также было проанализировано соотношение хлорофиллов и каротиноидов в листьях больных растений. В среднем по годам оно находилось в пределах 1:4,3 (каротиноиды к общему хлорофиллу *ab*). Вероятно, данные пигменты обладают равной чувствительностью в вредном воздействию вируса.

В 2019 году на сорте Адретта (рис. 20) была зафиксирована максимальная разница концентраций анализируемых пигментов между зараженными M-вирусом и оздоровленными растениями. Так количество общего хлорофилла *ab* снизилось на 20,18%, хлорофилла *b* – на 26,04%, при этом значительное снижение содержания каротиноидов пришлось на 2015 год – 18,2% в сравнении с контролем против 17,64% в 2019 году.

Тем не менее, в благоприятном для культуры 2015 году концентрация фотосинтетических пигментов в листьях больных растений в среднем снизилась на 17,31%. Это возможно связано с тем, что в засушливом, очень неблагоприятном для растений картофеля 2014 году из-за ослабленного состояния растений в них увеличилась концентрация вирусов, в частности, M-

вируса, что увеличило степень заражения полученных клубней. Из-за большей инфицированности и вредоносности вируса в 2015 году произошло снижение хлорофилла в растениях.

Соотношение хлорофиллов *a* и *b* в зараженных растениях варьировало в пределах 1,24-1,45, в оздоровленном контроле – 1,26-1,27.

Соотношение хлорофиллов и каротиноидов в листьях больных растений в среднем по годам составило 1:6,4 (каротиноиды к общему хлорофиллу *ab*), что, как и в случае Y-вируса на сорте Ред Скарлетт, предполагает равнозначную чувствительность искомым пигментов к M-вирусу картофеля.

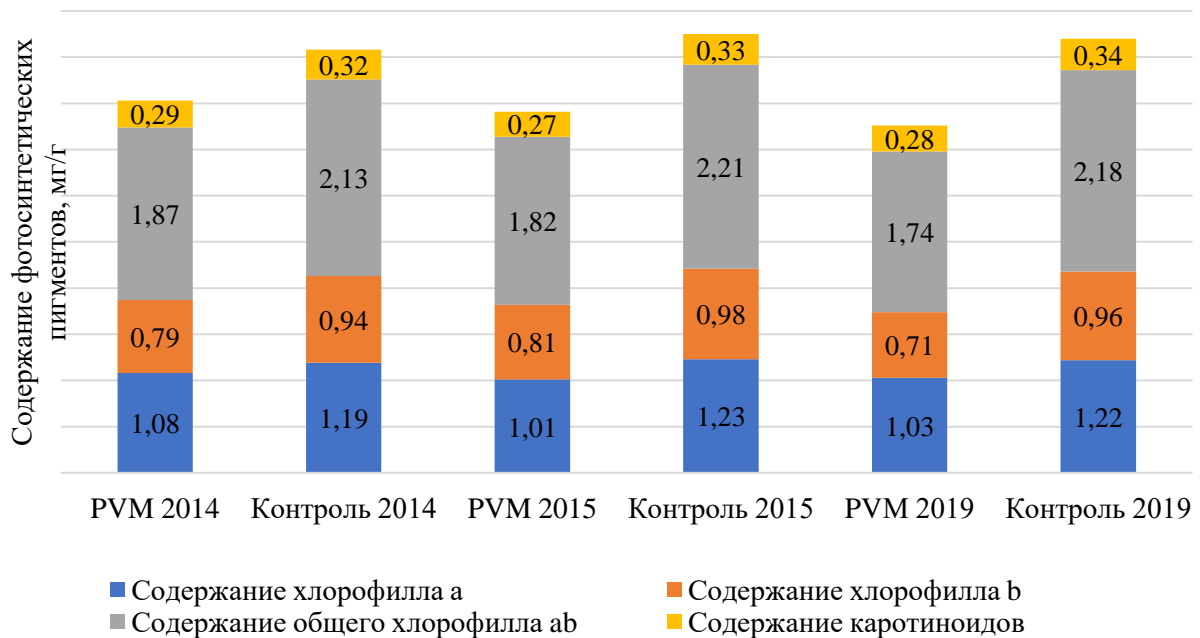


Рисунок 20 – Содержание основных фотосинтетических пигментов (мг/г) в пробах листьев зараженных M-вирусом и оздоровленных растений сорта Адретта, фаза начала бутонизации, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Тем не менее, в благоприятном для культуры 2015 году концентрация фотосинтетических пигментов в листьях больных растений в среднем снизилась на 17,31%. Это возможно связано с тем, что в засушливом, очень неблагоприятном для растений картофеля 2014 году из-за ослабленного состояния растений в них увеличилась концентрация вирусов, в частности, M-вируса, что увеличило степень заражения полученных клубней. Из-за большей

инфицированности и вредоносности вируса в 2015 году произошло снижение хлорофилла в растениях.

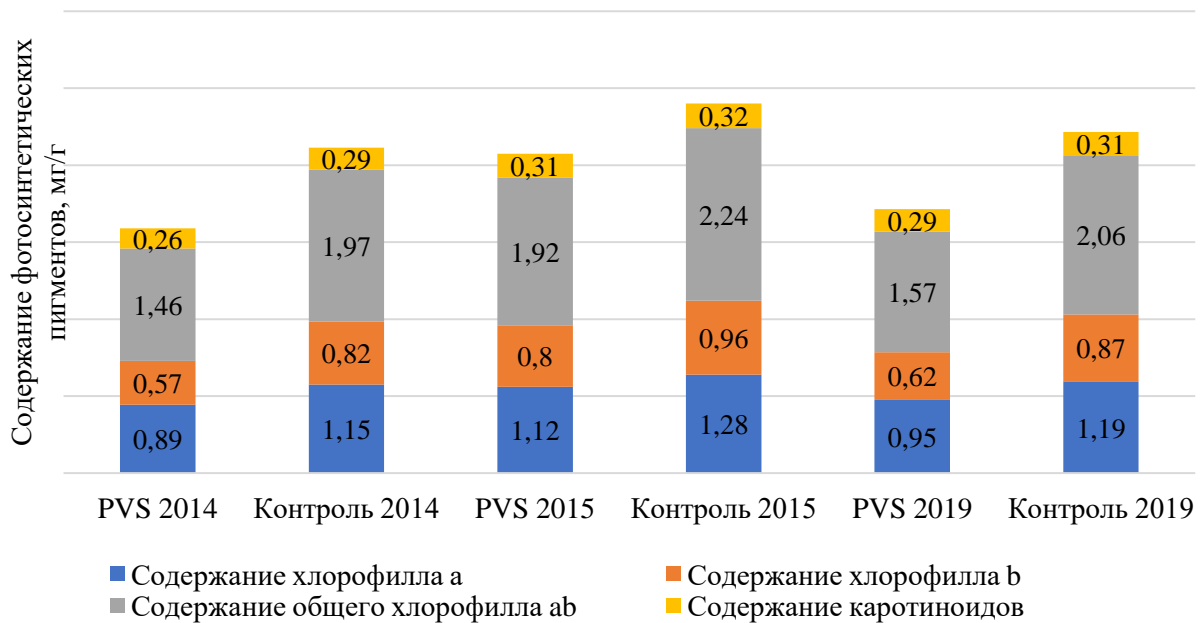


Рисунок 21 – Содержание основных фотосинтетических пигментов (мг/г) в пробах листьев зараженных S-вирусом и оздоровленных растений сорта Ильинский, фаза начала бутонизации, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

На растениях сорта Ильинский, зараженных S-вирусом картофеля, содержание общего хлорофилла *ab* в 2014 и 2019 гг. было ниже значений контрольных вариантов на 22,61 и 20,17% соответственно. В 2015 году эта разница составила 12,5%. Содержание каротиноидов снижалось по годам на 10,34 (2014), 3,12 (2015) и 6,45% (2019) от показателей оздоровленных растений и, согласно полученным результатам, в большей степени зависело от погодных условий вегетационного периода, чем от влияния S-вируса.

Соотношение хлорофиллов *a* и *b* в зараженных растениях варьировало в пределах 1,40-1,56, в оздоровленном контроле – 1,33-1,40. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов в листьях больных растений в среднем по годам составило 1:5,6 (каротиноиды к общему хлорофиллу *ab*).

Опираясь на данные проведенных исследований, в 2014-2015 и 2019 гг. S-вирус оказал наименьшее среди исследуемых вирусов воздействие на концентрации основных фотосинтетических пигментов в зараженных растениях.

В таблице 6 представлены результаты по установлению корреляции между урожайностью опытных растений и содержанием в них хлорофиллов и каротиноидов. В наших опытах, как и в исследовании Бакунова и коллег (2019), была установлена достоверная зависимость между концентрацией хлорофилла *b* и урожайностью картофеля в 2014 и 2019 гг., но такую же зависимость наблюдали и для концентрации каротиноидов.

Мы предполагаем, что это было связано с ролью данных пигментов в механизме адаптации растений к неблагоприятным абиотическим факторам, таким как засуха. Следовательно, при снижении хлорофилла *b* и каротиноидов, в результате негативного влияния фитопатогенных вирусов, снижается засухоустойчивость растений, что также влияет и на их урожайность.

Таблица 6. Корреляционная зависимость между урожайностью картофеля сортов Ред Скарлет, Ильинский, Адретта и концентрациями основных фотосинтетических пигментов, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Год исследований	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	Хлорофилл <i>a</i> / Хлорофилл <i>b</i>
2014	0,7465	0,8202*	0,8645**	-0,9171
2015	0,3069	0,5393	0,4114	-0,8437
2019	0,6565	0,8150*	0,8465*	-0,9727

Примечание: * значения достоверны на 5%-ном уровне значимости

** значения достоверны на 1%-ном уровне значимости

Известно, что фитопатогенные вирусы, помимо общего ухудшения физиологического состояния вегетирующих растений картофеля, также вызывают изменения биохимического состава клубней.

Один из основных показателей качества картофеля, влияющий на его пищевую ценность, выход и качество различных картофелепродуктов – количество в клубнях сухого вещества, в котором содержится 70-80% крахмала, а оставшиеся 20-30% приходятся на сахара, общий азот, белок, жиры, целлюлозу и золу (Гумеров, 2016). Реакция сортов картофеля на заражение неодинакова, несмотря на то что практически все они при инфицировании снижают крахмалистость клубней в среднем на 0,8-4,6% (Амелюшкина, Семешкина, 2011). Ряд исследователей отмечали, что в клубнях картофеля, зараженных X-, S- и M- вирусами, снижается по сравнению со здоровыми содержание сухого вещества и витаминов на 2,0% и 3,2% соответственно. Также отмечали уменьшение размеров крахмальных зерен в пораженных тканях, кислотность крахмала и содержание амилазы (Лебенштейн и др., 2005; Защита картофеля...2009; Анисимов, 2010; Ospankulova et al., 2023).

Заражение вирусами картофеля не оказывает такого критического влияния на качественные характеристики продовольственных сортов картофеля, поступающих в торговые сети для реализации населению, как на сорта, предназначенные для дальнейшей переработки (например, чипсовые сорта).

Для производства хрустящего картофеля (чипсы) содержание сухого вещества в клубнях должно находиться в пределах 21-24%, для картофеля-фри – 20-25%, для производства сухого картофельного пюре – 20-22%. (Пшеченков и соавт., 2008; Индустрия картофеля..., 2013)

Отечественными исследователями были проведены исследования, в ходе которых выяснили, что у растений сорта Адретта наблюдали наиболее существенное снижение содержания крахмала и увеличение содержания сахаров при комплексном заражении вирусами Y+M. Наряду с резким снижением количества крахмала на 2,9% от минимальных сортовых значений, был отмечен переизбыток сухого вещества на 4,2% от максимально

допустимых значений для картофеля, предназначенного для переработки на картофелепродукты (Белошапкина и соавт., 2013).

Ниже представлены результаты биохимического анализа клубней картофеля урожая 2019 года, полученных от зараженных растений.

Таблица 7. Влияние вирусов на биохимические показатели качества клубней сортов картофеля, ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», 2019 г.

Вариант опыта	Наименование показателя			
	Сухое вещество, %	Крахмал, % оп. / ст.*	Сырой протеин, %	Нитраты, мг/кг сырого картофеля
с. Ред Скарлетт PVY	21,37	14,00/10,1-15,6	1,20	35,00
с. Адретта PVM	22,68	13,70/13-18	1,40	71,00
с. Ильинский PVS	28,19	18,20/15,7-18	2,00	48,00

Примечание: * оп. – опытное значение для сорта, ст. – стандартное значение для сорта

Содержание сырого протеина в картофеле относительно невысокое и составляет около 2% (0,69— 4,63%). Но его перевариваемость у человека выше 90%, а соотношение незаменимых аминокислот в нем примерно такое же, как в протеине животного происхождения, поэтому он считается особенно ценным, приближаясь по составу фракций более чем на 80 % к белку куриного яйца. Среди растительных белков из культурных растений протеин картофеля имеет самую высокую биологическую ценность, обусловленную высокой долей абсорбированного азота от поглощенного, который задерживается в организме и используется для его роста и сохранения (<http://potatoveg.ru/ogorodnik/pishhevaya-cennost-kartofelya-i-ego-rol-v-zdorovom-pitanii-cheloveka.html>). По содержанию сырого протеина в клубнях картофель подразделяется на высокобелковый (более 1,23%), среднебелковый (1,15-1,23%), низкобелковый (1,06-1,15%)

Сорт Ред Скарлетт традиционно считается высокобелковым, поскольку в зависимости от условий выращивания содержание сырого протеина в нем

варьирует от 1,6 до 2,69%. В 2019 году в варианте с зараженными Y-вирусом растениями этот показатель составил 1,2%, снизив статус сорта до средне-белкового.

Биохимический анализ клубней урожая 2019 г., полученных на сорте Адретта (PVM), показал снижение количества сырого протеина с 2% (минимальное сортовое значение согласно данным оригинатора) до 1,4%, при этом показатели количества крахмала (13,7%) и сухого вещества (22,68%) находились на уровне средних сортовых значений.

Согласно полученным данным, в наших испытаниях исследуемые вирусы не вызвали достоверного снижения содержания сухого вещества и крахмала в исследуемых сортах и, несмотря на небольшие варьирования, все значения находились в пределах допустимых для сортов.

Вероятно, выявленное лишь некоторое ухудшение биохимических показателей клубней в большей степени было связано с влиянием внешних климатических факторов и адаптивным потенциалом сортов, чем с прямым воздействием изучаемых вирусов. Кроме того, в большинстве опубликованных работ по изучению взаимосвязи между снижением качественных показателей картофеля и степенью его зараженности фитовирусами речь идёт о ко-инфекции, а не моноинфекции конкретных вирусов, что позволяет нам выдвинуть предположение о существенном влиянии и синергетическом эффекте именно группы вирусов.

3.3. Изучение эффективности ряда препаратов против PVY, PVM и PVS вирусов картофеля в мелкоделяночных опытах

Совершенствование методик оздоровления исходных форм методом культуры апикальных меристем, а также последующего микроклонального размножения в сочетании с клоновым отбором, и ведение селекции сортов на устойчивость в настоящее время остаются основными инструментами в получении семенного материала картофеля, свободного от вирусов. Тем не менее, уже на этапе выращивания первого полевого поколения возникает

угроза вирусной реинфекции, что может приводить к интенсивному накоплению инфекции в последующих репродукциях.

По данным Замалиевой Ф.Ф. уже на второй-третий год выращивания 50-80% оздоровленного материала подвергается повторному заражению вирусами. Зараженность оздоровленного материала может существенно возрастать в зависимости от исходной зараженности семенного материала, площади его посадки, векторной активности тлей (Замалиева, 2013, 2016). При этом, согласно многолетним наблюдениям за динамикой нарастания заражения семенного картофеля вирусами в условиях естественного инфекционного фона, увеличение численности насекомых-переносчиков коррелировало с ростом зараженности у большинства сортов с ограниченным коэффициентом, а не вызывало увеличение количества инфицированных растений в геометрической прогрессии, как считалось ранее. По мнению автора, кратному росту степени зараженности растений вирусами предшествует длительный скрытый период накопления инфекции (Замалиева, 2011, 2013).

Это утверждение можно связать как с затрудненностью своевременного проведения диагностических мероприятий, так и с нередкими случаями бессимптомного течения вирусных болезней растений. Визуальные признаки проявления вирозов в таких условиях могут проявиться в результате дополнительной нагрузки на иммунитет растения под влиянием стресс-факторов (засуха, режимы температуры и влажности, недостаток питательных веществ) или присутствия других фитопатогенов.

Одним из возможных путей поддержания оздоровленного материала в исходном продуктивном состоянии в полевых условиях является использование веществ, либо обладающих прямой антивирусной активностью, либо способных индуцировать естественные защитные механизмы растения.

Нами были проведены испытания ряда многоцелевых препаратов-индукторов разных химических классов для установления их антивирусного

действия и оценки их биологической эффективности на зараженных растениях картофеля.

В мелкоделяночных полевых опытах применяли Иммуноцитифит (с 2014 г.), Фармайод (с 2014 г.), Экогель (с 2016 г.), Амулет (с 2016 г.), Зерокс (с 2018 г.) и Вирон (с 2018 г.), подробная характеристика и схемы применения которых приведены в Главе 2.

Вирусы растений – облигатные внутриклеточные паразиты, чей патогенез тесно связан с генотипом растения, поэтому одним из важных критериев при подборе ингибиторов вирусов является их безопасность для растения-хозяина. Перед началом полевых испытаний и введением в исследование новых соединений нами проводилась предварительная оценка возможного фитотоксичного действия исследуемых препаратов на тест-культурах, которая показала отсутствие какого-либо негативного влияния в лабораторных условиях.

Однако в ходе опыта, заложенного в 2014 году, было отмечено ингибирование роста растений картофеля на 3 см после очередной обработки Фармайодом в концентрациях 0,05 и 0,1% на фоне повышенных температур и воздушной засухи в июле. Во всех других вариантах опыта такого влияния не было обнаружено.

Поскольку в разбавленных растворах йод имеет тенденцию к испарению в силу крайней летучести самого элемента, то вероятно, такой эффект был связан с высокой активностью паров йода в жаркую погоду, что могло спровоцировать излишнее поглощение действующего вещества препарата листьями обрабатываемых растений. Это наблюдение учитывалось нами при последующих испытаниях и составлении рекомендаций по использованию Фармайода при высоких температурах и низкой влажности.

Обработки растений проводили по следующей схеме: 1-я – спустя три недели после появления всходов, 2-я – через 7 дней после предыдущей (фаза окончания бутонизации), 3-я – через 7-10 дней после предыдущей. Даты

наступления основных фенологических фаз развития растений и длительность межфазных периодов приведены в приложении А.

В 2014-2015 гг. схема мелкоделяночного полевого опыта включала варианты с применением Фармайода в двух нормах расхода: 0,15 и 0,3 л/га или 0,05% и 0,1% концентрации рабочего раствора по препарату. Далее нами был оставлен вариант с нормой применения 0,3 л/га (0,1%) вследствие ее более высокой биологической эффективности. Стандартом на протяжении всего периода испытаний был выбран стимулятор Иммуноцитифит.

По данным визуальных учетов биологическая эффективность трехкратной обработки растений Фармайодом с нормой расхода 0,3 л/га на сорте Ред Скарлетт составила в среднем по годам 73,7%. Биологическая эффективность применения Иммуноцитифита (эталон) – 46,9%. Прочие испытываемые регуляторы роста показали недостаточную биологическую эффективность: Амулет – 29,2%, Экогель – 35,9%, Зерокс – 31,3%, Вирон – 27,8% (табл. 8).

На протяжении всего периода исследований повышение уровня распространенности Y-вируса на опытном участке сорта Ред Скарлетт происходило неравномерно, что, вероятно, было связано с погодными условиями года испытаний. Так, например, в 2016 году, в целом благоприятном для выращивания картофеля, обильные осадки в период цветения повлияли на общее состояние растений, что в итоге привело к резкому увеличению количества симптоматичных растений к моменту проведения учета. Тем не менее, аналогичного повышения уровня развития ранее наблюдаемых симптомов не произошло, при этом была отмечена наибольшая биологическая эффективность всех испытываемых препаратов, что косвенно подтвердило их влияние на иммунитет растений и, следовательно, их опосредованное влияние на неспецифическую устойчивость к указанному вирусу. Также тенденция наблюдалась и на сорте Адретта.

На участках с опытными растениями сортов Адретта (М-вирус) и Ильинский (S-вирус) проведение визуальных учетов было сильно затруднено (табл. 9, 10), поскольку искомые вирусы чаще всего не проявляют четко выраженных симптомов, находясь в растениях в скрытой форме. Кроме того, описанные в литературных источниках рядом исследователей симптомы нередко могут быть вызваны неинфекционными причинами: недостаток элементов питания, реакция сорта на повышение или понижение температуры воздуха, низкую влажность и пр.

В данных обстоятельствах достоверно оценить уровень распространенности болезни и концентрацию вирусов в растениях возможно только методами инструментальной диагностики. Для этих целей нами был использован метод ИФА. Полученные данные были проанализированы и объединены на графиках, представленных ниже (рис. 22, 23, 24).

Так, например, в 2014 г. при проведении учетов для М- и S-вирусов картофеля процент их распространенности составлял 3,4-5,6% и 0%, уровень скрытой зараженности составлял 53,3-60,0% и 20,0-33,3% соответственно. Подобное значительное расхождение между визуальными учетами и данными инструментальной диагностики встречается нечасто, но поскольку для проведения опыта были отобраны моно-инфицированные клубни с уровнем зараженности около 92-95% для каждого вируса, то полученные результаты были приняты как достоверные. Тоже было равнозначно и для У-вируса.

Опираясь на данные визуальных учетов, мы установили, что средняя (по годам) биологическая эффективность испытываемых препаратов против М-вируса картофеля составила: Фармайода – 63,8% при норме расхода 0,3 л/га, Иммуноцитифита – 46,9%, Амулета – 39,9%, Экогеля – 47,6%, Зерокса – 35,8%, Вирона – 33,6%.

Что касается S-вирус картофеля, визуальные признаки заражения которым практически отсутствовали на протяжении всех лет испытаний, то с 2014 по 2019 гг. средний уровень биологической эффективности обработок Фармайодом в дозе 0,3 л/га был 13,7%, Иммуноцитифитом – 8,8%, Вироном –

6,2%. Для Амулета, Экогея и Зерокса это значение составило 7,2% в каждом случае.

Результаты ИФА показали, что уровень скрытой зараженности растений исследуемыми вирусами был значительно выше, чем визуально наблюдаемый уровень распространенности болезней что подтверждает литературные данные о маскировке или полном отсутствии/исчезновении видимых симптомов. На этом основании нами было принято решение о проведении дополнительной оценки биологической эффективности изучаемых препаратов с антивирусным действием не только по результатам визуальных учетов, но и по изменению процента скрыто зараженных растений, диагностируемых методом ИФА (табл. 11). В дальнейшем было проведено сравнение полученных данных (рис. 25, 26, 27).

Согласно результатам иммуноферментного анализа листовых проб, против Y- и M-вирусов картофеля наиболее эффективным в течение всего периода проведения испытаний было трехкратное применение препарата Фармайод с нормой расхода 0,3 л/га. Биологическая эффективность данного варианта на растениях сорта Ред Скарлет против PVY в среднем по годам составила – 92,6%, на сорте Адретта против PVM – 70,9%. Биологическая эффективность Иммуноцитифита против Y-вируса составила 44,7%, против M-вируса – 54,5%, Амулета – 27,3 и 22,2%, Экогея – 29,7 и 14,8%, Зерокса – 37,3 и 33,5%, Вирона – 26,1 и 22,3% соответственно.

Ни один из испытываемых препаратов не оказал существенного влияния на элиминацию S-вируса картофеля. Средняя биологическая эффективность на основе анализа проб всех опытных вариантов составила 6,8%. Мы предполагаем, что это явление непосредственно связано с особенностью локализации вируса в клетке растения. При исследовании ультратонких срезов клеток *Chenopodium quinoa*, зараженного S-вирусом картофеля, зарубежными учёными Hiruki и Shukla (1973) было обнаружено, что основная масса вирусных частиц сконцентрирована в непосредственной близости от ядра клетки (Hiruki, Shukla, 1973). Вероятно, активные компоненты препаратов не

способны туда проникнуть или не способны проникнуть в необходимом для подавления вируса количестве (Kolychikhina, Beloshapkina, 2016).

Как было указано в Главе 2, нами ежегодно отдельно отслеживался уровень концентрации вирусов в референсных растениях, имеющих наиболее выраженные симптомы вирусносительства (прил. В, Г, Д). Оптическая плотность в образцах листовых проб растений картофеля Ред Скарлетт, трехкратно обработанных Фармайодом с нормой расхода 0,3 л/га, в среднем снижалась на 78,9%, картофеля Адретта – на 64,7% и картофеля Ильинский – на 8,1% от первоначальных значений. Это позволило нам выдвинуть гипотезу о том, что йод в составе препарата не только выполняет роль индуктора устойчивости, но и оказывает прямое ингибирующее действие на репликацию вирусов в растении.

В настоящее время нет единого доказанного представления механизма взаимодействия йода с вирусами. В.О. Мохнач (1974) как причину слабой изученности этого вопроса указывал, что антисептические свойства йода приписывали отдельным молекулярным соединениям йода, например, I_2 или CHI_3 , а не его молекулярным формам, например, йодид-иону или аниону йодоватистой кислоты (Мохнач, 1974).

Зарубежные исследователи Anson (1941) и Fraenkel-Conrat (1955) в работах по элиминации вируса табачной мозаики описывали взаимодействие йода с -SH-группами нуклеопротеина вируса как процесс окисления последних и получения сульфенилйодидных групп. При этом оба автора отмечали, что для других белков возможен вариант окисления с образованием дисульфидных групп. Ильин (2000) предполагал, что йод замещает атом водорода в группах пуриновых и пиримидиновых оснований, входящих в состав молекул ДНК или РНК вирусов (Ильин, 2000). Авторы указанных гипотез сходятся в одном – в результате воздействия активного йода происходит дезактивация исходного соединения или его денатурация (белки).

Основой препарата Фармайод является йодполимерный комплекс, который связывает большую часть йода I_2 . При этом небольшое количество I_2 ,

который постепенно высвобождается, находится в состоянии динамического равновесия с комплексом, что обеспечивает поддержание постоянной концентрации раствора.

Мы полагаем, что при обработке растений водным раствором йодполимерного комплекса происходит высвобождение молекулярного йода I_2 и устанавливается равновесие, при котором из комплекса продолжается высвобождение йода по мере вступления последнего в различные реакции с белковыми структурами, аминокислотами, жирными кислотами. При этом в водном растворе одновременно протекает реакция молекулярного йода с водой с образованием йодид-иона и йодноватистой кислоты, обладающей высокой окислительной активностью. Таким образом, в растворе одновременно присутствуют несколько форм йода, но только молекулярный йод и йодноватистая кислота обладают биоцидным действием (Мохнач, 1974). Йодноватистая кислота нестабильна и диссоциирует на молекулярный свободный йод и йодноватую кислоту.

Вероятно, свободный йод реагирует с окисляемыми группами -SH или -ОН аминокислотных звеньев ферментов и структурных белков, а также ДНК и РНК патогенов, что приводит к дезактивации ферментов и денатурации белков. Остальные формы йода в растворе выполняют функцию «резервуаров» молекулярного йода.

В контексте изложенной гипотезы можно объяснить неодинаковую эффективность применения Фармайода против вирусов картофеля разностью строения их белковых структур и недостаточным количеством свободного йода для необратимой деактивации вирусов.

Для других испытываемых нами препаратов не было установлено сопоставимого эффекта, что говорит о том, что ингибирующее действие входящих в их состав компонентов либо выражено недостаточно, либо отсутствует. Подавление вирусной инфекции при их применении происходит посредством активации иммунного ответа самих растений.

Таблица 8. Распространенность (Р, %), развитие (R, %) Y-вируса картофеля на сорте Ред Скарлетт и биологическая эффективность (БЭ, %) индукторов устойчивости в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (визуальные учёты)

Вариант опыта	Фаза развития растений								
	Полные всходы			Бутонизация			Конец цветения		
	Р, %	R, %	БЭ, %	Р, %	R, %	БЭ, %	Р, %	R, %	БЭ, %
	2014/2015 гг.								
Фармайод, ГР 0,15 л/га	6,1/5,0	0,8/0,8	0/0	7,3/6,1	2,4/1,6	45,5/44,5	9,4/7,0	4,8/4,0	67,1/69,1
Фармайод, ГР 0,3 л/га	5,7/5,4	0,8/0,8	0/0	6,4/5,7	1,6/1,6	52,2/48,2	8,2/6,2	3,2/2,4	71,3/72,7
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	5,6/5,4	0,8/0,8	0/0	7,9/6,4	2,4/3,2	41,0/41,8	16,3/12,3	8,8/7,2	43,0/45,8
Контроль – вода	6,0/6,3	0,8/1,6	-	13,4/11,0	6,4/5,6	-	28,6/22,7	16,8/12,8	-
	2016/2017 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	4,2/6,2	0,9/0,9	0/0	4,7/6,4	0,9/0,9	50,5/36,6	5,5/6,9	1,9/3,8	80,1/73,5
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	4,6/5,7	0,9/0,9	0/0	6,6/7,0	1,9/3,8	30,5/30,7	14,2/13,5	5,7/7,6	49,1/48,1
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	3,0/5,0	0,9/0,9	0/0	6,4/7,3	2,8/3,8	32,6/27,7	19,4/18,7	8,6/13,3	30,2/28,1
Экогель, ВР 3 л/га	4,1/6,1	0,9/1,9	0/0	6,1/7,0	1,9/4,8	35,8/30,7	18,0/16,5	9,5/11,4	35,3/36,5
Контроль – вода	5,7/5,3	0,9/0,9	-	9,5/10,1	5,7/7,6	-	27,8/26,0	14,3/17,1	-
	2018/2019 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	7,5/6,3	1,9/0,9	0/0	7,7/6,5	1,9/0,9	44,2/36,3	8,1/9,2	2,8/3,8	73,4/71,2
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	6,9/6,0	0,9/0,9	0/0	9,1/7,2	2,8/3,8	34,1/29,4	15,7/17,0	4,8/7,6	48,4/46,7
Зерокс, ВКР 3 л/га	7,0/6,0	0,9/0,9	0/0	10,8/8,0	3,8/4,8	21,7/21,6	21,0/21,8	11,4/12,4	31,0/31,6
Вирон, ВР 0,45 л/га	7,2/5,8	1,9/0,9	0/0	11,1/8,4	5,7/7,6	19,6/17,6	22,0/23,0	12,4/16,2	27,6/27,9
Контроль – вода	7,3/5,4	1,9/0,9	-	13,8/10,2	6,7/5,7	-	30,4/31,9	15,2/18,1	-

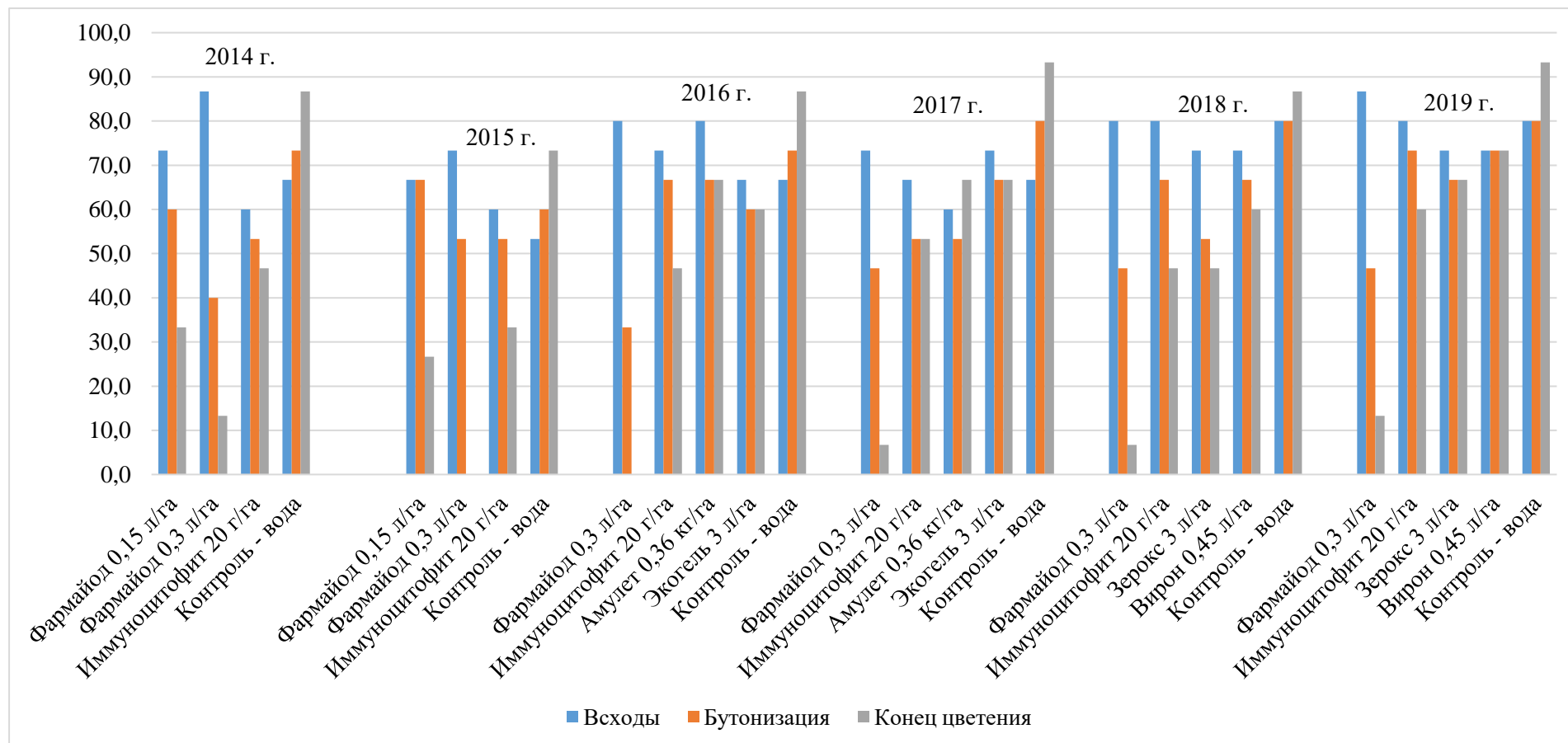


Рисунок 22 – Зараженность (%) растений Y-вирусом картофеля на сорте Ред Скарлетт в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (данные ИФА)

Таблица 9. Распространенность (Р, %), развитие (R, %) М-вируса картофеля на сорте Адретта и биологическая эффективность (БЭ, %) индукторов устойчивости в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (визуальные учёты)

Вариант опыта	Фаза развития растений								
	Полные всходы			Бутонизация			Конец цветения		
	Р, %	R, %	БЭ, %	Р, %	R, %	БЭ, %	Р, %	R, %	БЭ, %
	2014/2015 гг.								
Фармайод, ГР 0,15 л/га	4,3/5,7	0,8/1,6	0/0	6,7/6,2	3,2/2,4	34,3/30,3	9,8/9,0	3,2/1,6	55,0/62,5
Фармайод, ГР 0,3 л/га	5,6/5,1	1,6/0,8	0/0	6,3/6,4	1,6/2,4	38,2/39,3	7,4/7,6	1,6/1,6	66,3/68,3
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	3,4/5,0	0,8/0,8	0/0	5,9/6,9		42,1/22,5	10,7/13,6	2,4/4,8	51,1/48,7
Контроль – вода	4,2/4,9	0,8/0,8	-/	10,2/8,9		-	21,9/24,0	5,6/6,4	-
	2016/2017 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	6,9/6,0	0,9/0,9	0/0	7,0/6,0	1,9/0,9	48,1/40,6	8,5/10,0	1,9/0,9	73,3/60,8
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	7,3/5,5	1,9/0,9	0/0	7,5/6,0	1,9/0,9	44,4/40,6	14,8/13,5	2,8/1,9	53,5/47,1
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	6,0/5,5	0,9/0,9	0/0	6,5/6,0	0,9/0,9	51,8/40,6	18,0/16,2	4,8/4,8	43,4/36,5
Экогель, ВР 3 л/га	6,5/4,0	1,9/0,9	0/0	7,0/5,0	1,9/0,9	48,1/50,5	16,0/13,9	2,8/1,9	49,7/45,5
Контроль – вода	7,2/5,0	1,9/0,9	-	13,5/10,1	2,8/2,8	-	31,8/25,5	8,6/9,5	-
	2018/2019 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	5,4/5,0	0,9/0,9	0/0	6,7/6,5	0,9/1,9	31,5/29,3	8,0/9,4	0,9/1,9	56,5/57,3
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	5,1/4,5	0,9/0,9	0/0	7,4/6,5	0,9/0,9	29,6/29,3	10,8/13,2	1,9/3,8	41,3/40,0
Зерокс, ВКР 3 л/га	4,8/5,0	0,9/0,9	0/0	8,8/6,0	2,8/1,9	24,1/34,8	12,0/13,9	2,8/2,8	34,7/36,8
Вирон, ВР 0,45 л/га	5,2/4,0	0,9/0,9	0/0	8,7/6,5	2,8/1,9	23,1/29,3	11,8/15,1	5,7/6,7	35,9/31,3
Контроль – вода	5,5/4,5	0,9/0,9	-	11,0/9,2	3,8/2,8	-	18,4/22,0	6,7/8,6	-

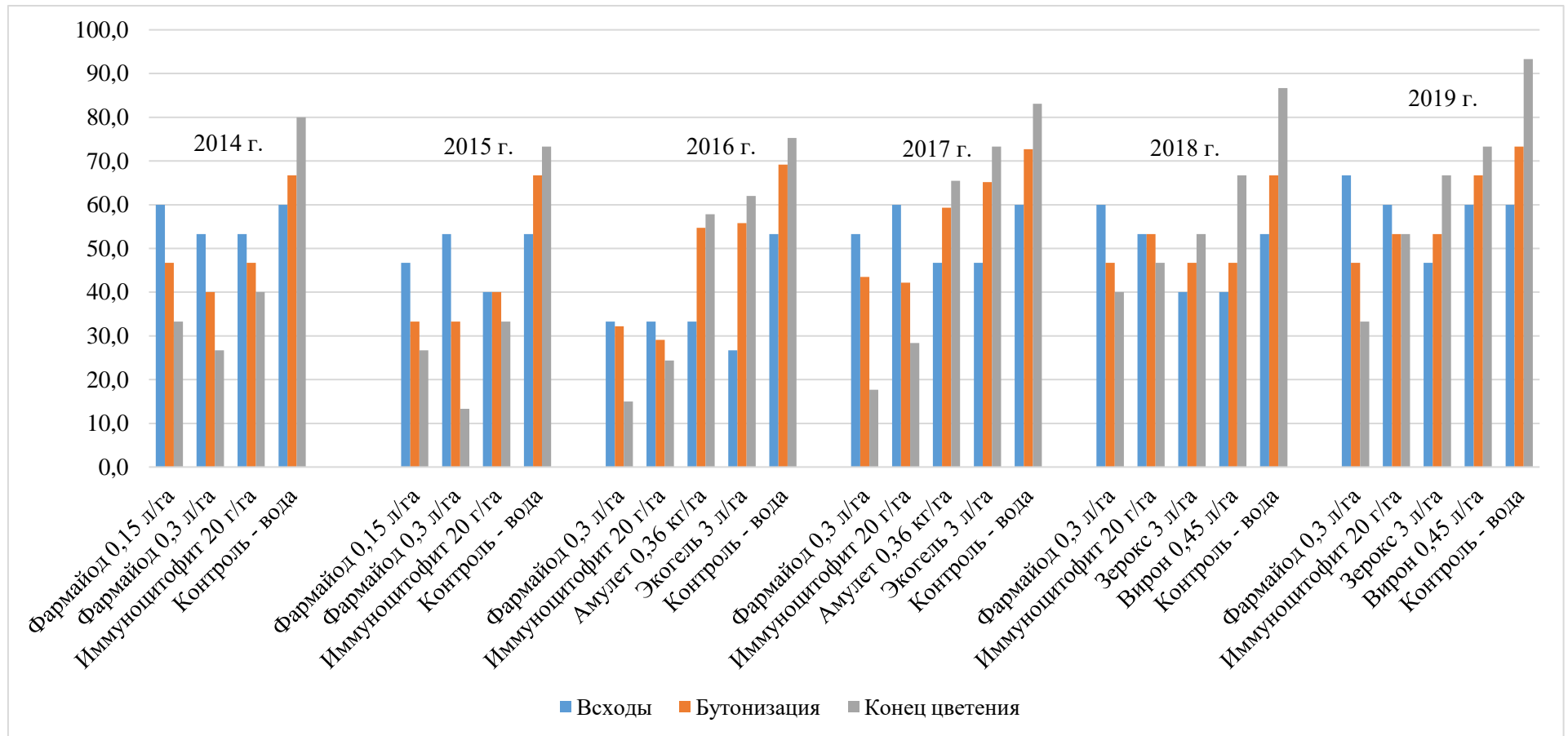


Рисунок 23 – Зараженность (%) растений М-вирусом картофеля на сорте Адретта в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (данные ИФА)

Таблица 10. Распространенность (P, %), развитие (R, %) S-вируса картофеля на сорте Ильинский и биологическая эффективность (БЭ, %) индукторов устойчивости в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (визуальные учёты)

Вариант опыта	Фаза развития растений								
	Полные всходы			Бутонизация			Конец цветения		
	P, %	R, %	БЭ, %	P, %	R, %	БЭ, %	P, %	R, %	БЭ, %
	2014/2015 гг.								
Фармайод, ГР 0,15 л/га	0/0	0/0	0/0	4,0/0,0	0,8/0,0	0/0	4,0/4,0	0,8/0,8	35,5/0,0
Фармайод, ГР 0,3 л/га	0/0	0/0	0/0	4,0/0,0	0,8/0,0	0/0	4,0/0,0	0,8/0,0	35,5/0,0
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	0/0	0/0	0/0	4,0/0,0	0,8/0,0	0/0	4,7/4,0	1,6/0,8	24,2/0,0
Контроль – вода	0/0	0/0	-/	4,0/0,0	0,8/0,0	-	6,2/4,0	4,8/0,8	-
	2016/2017 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	5,0/7,2	0,9/1,9	0,0/14,3
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	5,0/7,2	0,9/1,9	0,0/14,3
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	5,7/7,2	1,9/1,9	0,0/14,3
Экогель, ВР 3 л/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	5,0/7,2	0,9/1,9	0,0/14,3
Контроль – вода	0/0	0/0	-	0,0/5,7	0,0/1,8	-	5,0/8,4	0,9/2,8	-
	2018/2019 гг.								
Фармайод, ГР 0,3 л/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	0,0/5,7	0,0/0,9	0,0/32,1
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	0,0/7,2	0,0/1,9	0,0/14,3
Зерокс, ВКР 3 л/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	0,0/7,2	0,0/1,9	0,0/14,3
Вирон, ВР 0,45 л/га	0/0	0/0	0/0	0,0/5,0	0,0/0,9	0,0/12,3	0,0/8,4	0,0/1,9	0,0/0,0
Контроль – вода	0/0	0/0	-	0,0/5,7	0,0/1,8	-	0,0/8,4	0,0/2,8	-

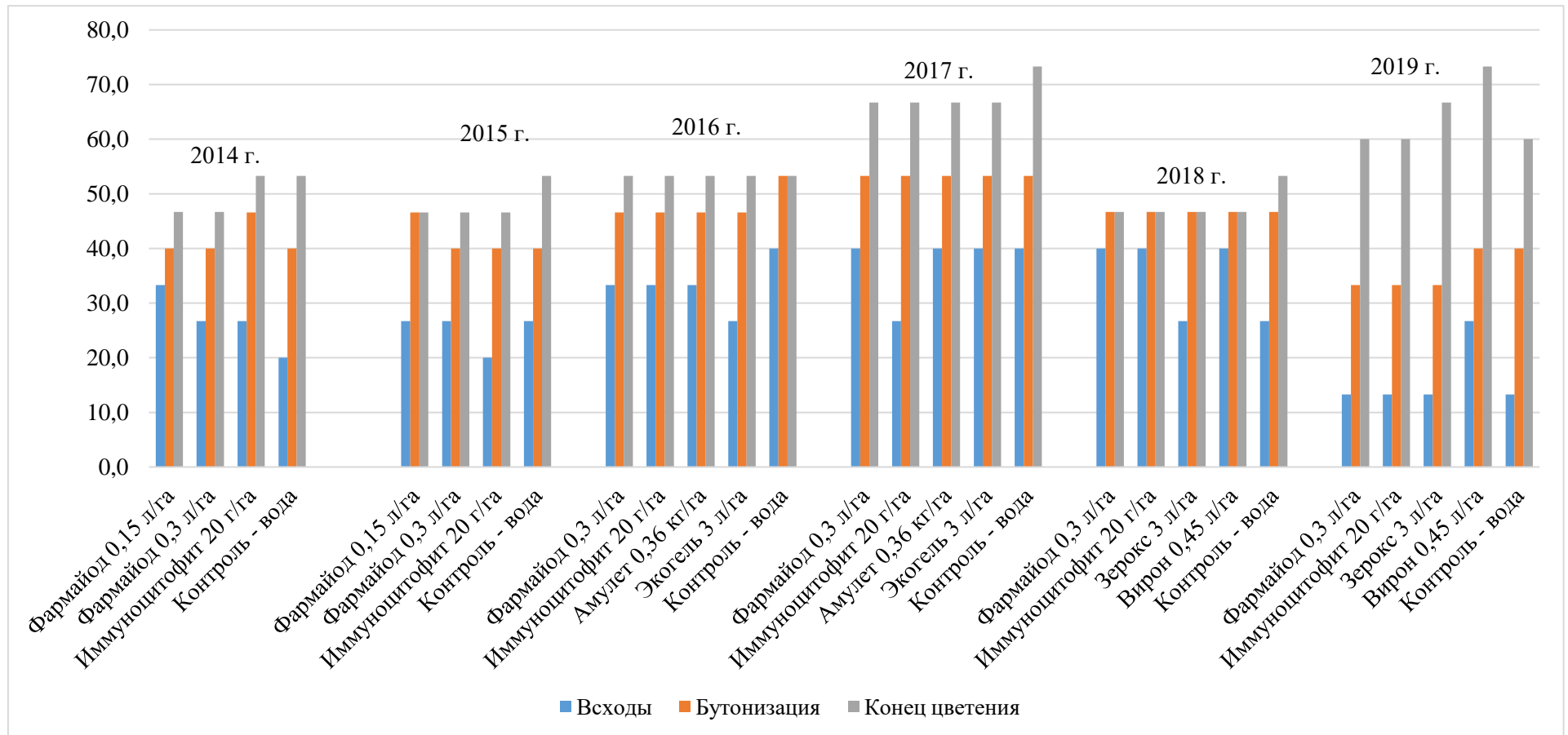


Рисунок 24 – Зараженность (%) растений S-вирусом картофеля на сорте Ильинский в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (данные ИФА)

Таблица 11. Распространенность (P_1 – степень распространенности до начала обработок, P_2 – степень распространенности после 3-й обработки, %) вирусов картофеля сортов Ред Скарлетт, Адретта, Ильинский и биологическая эффективность (БЭ, %) индукторов устойчивости в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг. (по данным ИФА листовых проб)

Вариант опыта	Сорт Ред Скарлетт (PVY)											
	2014 г.		2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,15 л/га	73,3/33,3	61,6	66,7/26,7	63,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	86,7/13,3	84,7	73,3/0,0	100,0	80,0/0,0	100,0	73,3/6,7	92,8	80,0/6,7	92,3	86,7/13,3	85,7
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	60,0/46,7	46,1	60,0/33,3	54,6	73,3/46,7	46,1	66,7/53,3	42,9	80,0/46,7	46,1	80,0/60,0	32,2
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	-	-	80,0/66,7	23,1	60,0/66,7	28,5	-	-	-	-
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	-	-	66,7/60,0	30,8	73,3/66,7	28,5	-	-	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	73,3/46,7	46,1	73,3/66,7	28,5
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	73,3/60,0	30,8	73,3/73,3	21,4
Контроль – вода	66,7/86,7	0,0	53,3/73,3	0,0	56,7/86,7	0,0	66,7/93,3	0,0	80,0/86,7	0,0	80,0/93,3	0,0
Вариант опыта	Сорт Адретта (PVM)											
	2014 г.		2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %	P_1/P_2 , %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,15 л/га	60,0/33,3	58,4	46,7/26,7	63,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	53,3/26,7	66,6	53,3/13,3	81,9	33,3/15,0	80,1	53,3/17,7	78,7	60,0/40,0	53,9	66,7/33,3	64,3
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	53,3/40,0	50,0	53,3/33,3	54,6	33,3/24,4	67,6	60,0/28,4	65,8	53,3/46,7	46,1	60,0/53,3	42,9
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	-	-	33,3/57,8	23,2	46,7/65,5	21,2	-	-	-	-
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	-	-	26,7/62,0	17,7	46,7/73,3	11,8	-	-	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	40,0/53,3	38,5	46,7/66,7	28,5
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	40,0/66,7	23,1	60,0/73,3	21,4
Контроль – вода	60,0/80,0	0,0	40,0/73,3	0,0	53,3/75,3	0,0	60,0/83,1	0,0	53,3/86,7	0,0	60,0/93,3	0,0

Продолжение таблицы 11

Вариант опыта	Сорт Ильинский (PVS)											
	2014 г.		2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,15 л/га	33,3/46,7	12,4	26,7/46,6	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	26,7/46,7	12,4	26,7/46,6	12,6	33,3/53,3	0,0	40,0/66,7	9,0	40,0/46,7	12,4	13,3/60,0	0,0
Иммуноцитопит, ТАБ 0,5 г/га	26,7/53,3	0,0	20,0/46,6	12,6	33,3/53,3	0,0	26,7/66,7	9,0	40,0/46,7	12,4	13,3/60,0	0,0
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	-	-	33,3/53,3	0,0	40,0/66,7	9,0	-	-	-	-
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	-	-	26,7/53,3	0,0	40,0/66,7	9,0	-	-	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	26,7/46,7	12,4	13,3/66,7	0,0
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	-	-	-	-	40,0/46,7	12,4	26,7/73,3	0,0
Контроль – вода	20,0/53,3	0,0	26,7/53,3	0,0	40,0/53,3	0,0	40,0/73,3	0,0	26,7/53,3	0,0	13,3/60,0	0,0

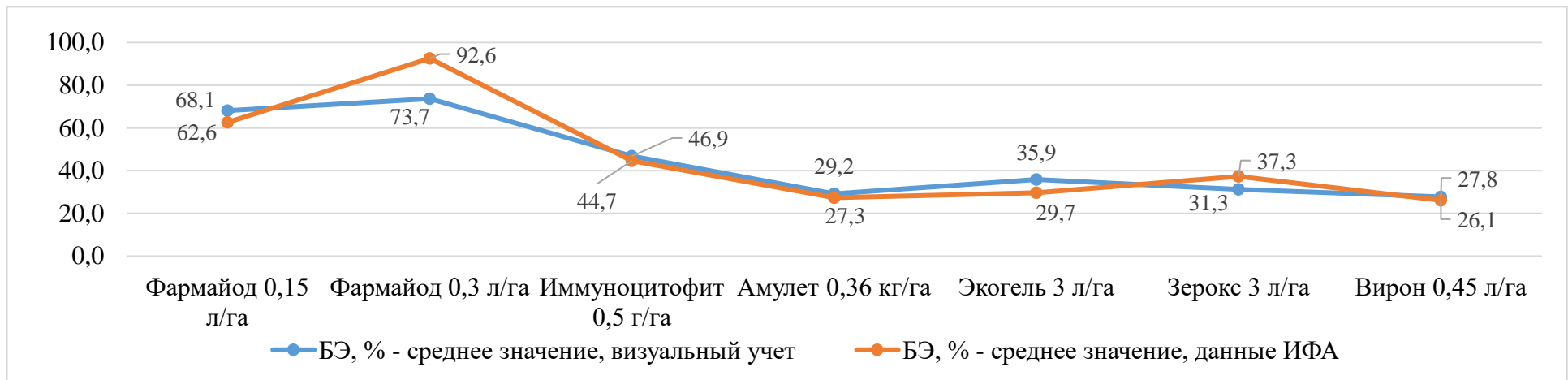


Рисунок 25 – Показатели биологической эффективности (БЭ, %), полученные в ходе визуальных учетов и после проведения ИФА листовых проб, на сорте Ред Скарлетт (PVY) в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

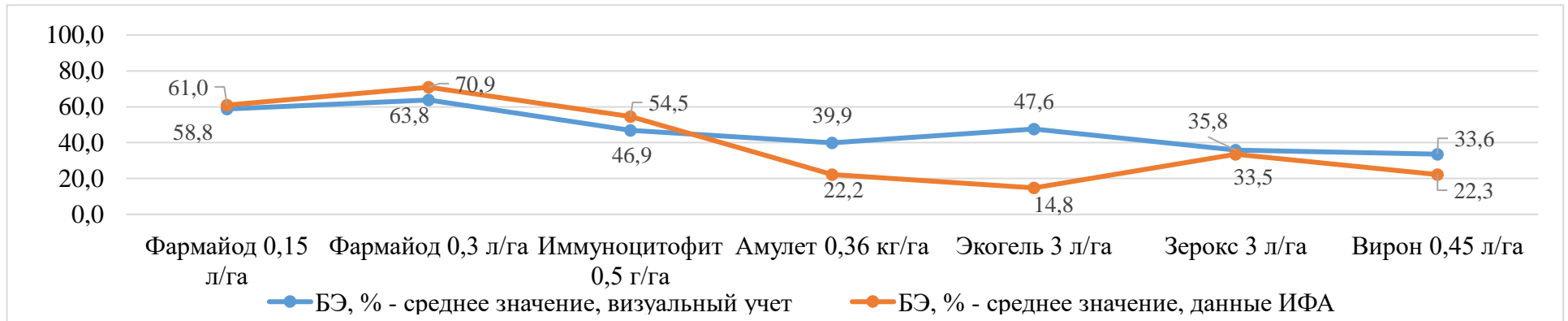


Рисунок 26 – Показатели биологической эффективности (БЭ, %), полученные в ходе визуальных учетов и после проведения ИФА листовых проб, на сорте Адретта (PVM) в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

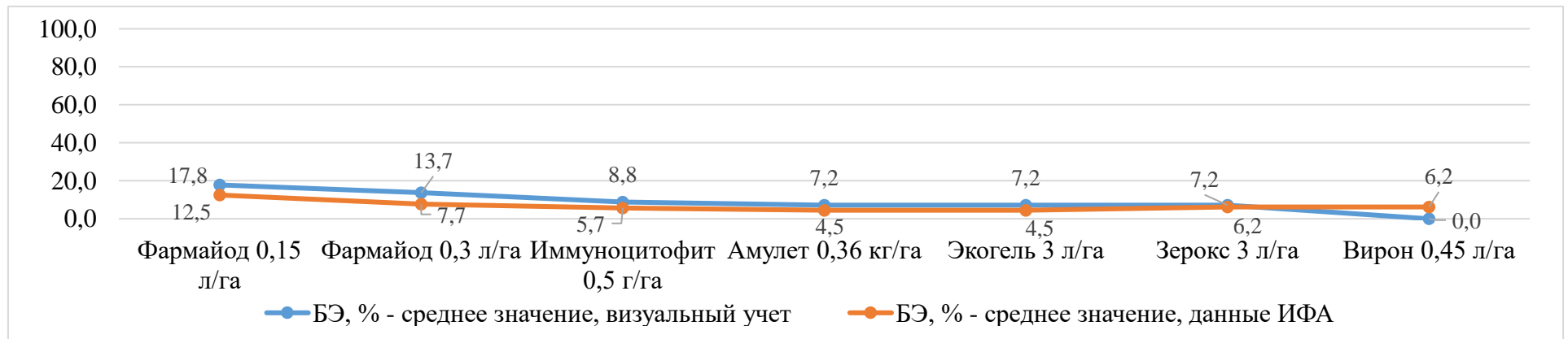


Рисунок 27 – Показатели биологической эффективности (БЭ, %), полученные в ходе визуальных учетов и после проведения ИФА листовых проб, на сорте Ильинский (PVS) в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

3.4. Изучение влияния ряда препаратов на урожайность оздоровленных растений картофеля в мелкоделяночных опытах

Несмотря на неодинаковую биологическую эффективность в отношении снижения вирусной нагрузки в растениях, все испытываемые препараты демонстрировали положительную тенденцию к сохранению/увеличению урожайности картофеля на всех опытных сортах (табл. 12, прил. Е).

Прибавка урожая клубней в вариантах с применением Фармайода в среднем по сортам составляла 1,3 кг/м², Иммуноцитифита – 0,9 кг/м², Вирона – 0,74 кг/м², Амулета – 0,57 кг/м², Экогеля – 0,46 кг/м², Зерокса – 0,42 кг/м².

Таблица 12. Влияние противовирусных препаратов на среднюю урожайность (кг/м²) зараженных вирусами растений картофеля сортов Ред Скарлетт, Адретта, Ильинский в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Вариант опыта	Средняя фактическая урожайность по годам, кг/м ²	Прибавка урожая	
		кг/м ²	% к контролю
Сорт Ред Скарлетт (PVY)			
Фармайод, ГР 0,3 л/га	2,97	1,40	89,20
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	2,46	0,89	56,70
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	2,10	0,53	33,76
Экогель, ВР 3 л/га	2,00	0,43	27,39
Зерокс, ВКР 3 л/га	2,45	0,88	56,05
Вирон, ВР 0,45 л/га	2,48	0,91	57,96
Контроль – вода	1,57	-	-
Сорт Адретта (PVM)			
Фармайод, ГР 0,3 л/га	4,32	1,31	43,52
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	3,66	0,65	21,59
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	3,59	0,58	19,27
Экогель, ВР 3 л/га	3,56	0,55	18,27
Зерокс, ВКР 3 л/га	3,38	0,37	12,29
Вирон, ВР 0,45 л/га	3,64	0,63	20,93
Контроль – вода	3,01	-	-
Сорт Ильинский (PVS)			
Фармайод, ГР 0,3 л/га	2,90	1,39	92,05
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	2,61	1,10	72,85
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	2,10	0,59	39,07
Экогель, ВР 3 л/га	1,92	0,41	27,15
Зерокс, ВКР 3 л/га	2,19	0,68	45,03
Вирон, ВР 0,45 л/га	2,19	0,68	45,03
Контроль – вода	1,51	-	-

Наибольший положительный эффект от применения индукторов болезнеустойчивости за все годы исследований наблюдали на сорте Ред Скарлетт и особенно сорте Ильинский, что, по-видимому, связано с увеличением доли стандартных товарных клубней и, следовательно, увеличением массы 1 клубня. Поскольку, как было отмечено выше, низкая урожайность зараженных вирусами сортов была обусловлена снижением массы 1 клубня и изменениями в долях товарных фракций. Коэффициент вариации по этим показателям для YVK и SBK был значительно выше, чем для M-вируса, что в целом объясняет выраженность эффекта, оказываемого препаратами на указанных сортах.

3.5. Оценка биологической эффективности индукторов болезнеустойчивости против вирусов картофеля в полевых условиях и экономическая оценка рентабельности их применения

В 2015-2016 гг., 2018 г. в хозяйствах Астраханской, Липецкой и Московской областей нами были проведены производственные испытания препаратов Фармайод и Иммуноцитифит, которые продемонстрировали высокую антивирусную активность в мелкоделяночных опытах.

В Липецкой и Астраханской областях в фазу полных всходов отбирали пробы с 25-30 растений сортов Импала и Рамос для проверки наличия PVY, PVM и PVS методами ИФА и ИХА (иммунострипы) (прил. Ж, З). В Московской области до начала испытаний был проведен анализ пробы посадочного материала картофеля в количестве 150 клубней с целью определения уровня их инфицированности и видового состава вирусов. Для проведения ИФА клубни предварительно проращивали (прил. И).

В Липецкой области на испытываемом сорте Рамос доминировал Y вирус картофеля (PVY). Его распространенность в целом на поле в 2015 г. составила 10%, в 2016 г. – 15%. Также был выявлен комплекс вирусов PVM+PVS с распространенностью 19% в 2015 г. и 27% в 2016 г.

По данным первого визуального учета симптомов на растениях в контрольном варианте распространенность вирусных болезней в 2015 году составляла 2,8%, в 2016 г. – 7,6%. В таблицах 13, 14 представлены результаты применения трехкратных опрыскиваний испытываемыми препаратами.

Таблица 13. Влияние обработок индукторами устойчивости на урожайность картофеля сорта Рамос, зараженного комплексом вирусов, Липецкая область, 2015-2016 гг.

Варианты опыта	2015		2016	
	т/га	% к контролю	т/га	% к контролю
Фармайод, ГР 0,3 л/га	33,1	+37,9	26,3	+34,8
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	27,8	+15,8	22,8	+16,9
Контроль	24,0	-	19,5	-
НСР ₀₅	1,61		2,75	

За 2015-2016 гг. испытаний средняя биологическая эффективность применения Фармайода составила 73,1%, Иммуноцитифита – 52,4%.

Прибавка урожайности в Липецкой области в 2015 году в варианте с применением Фармайода составила 9,1 т/га, Иммуноцитифита – 3,8 т/га при урожайности в контрольном варианте – 24,0 т/га. В 2016 г. прибавка валовой урожайности составила 6,8 т/га и 3,3 т/га для Фармайода и Иммуноцитифита соответственно, при урожайности в контроле – 19,5 т/га.

Таблица 14. Биологическая эффективность (БЭ, %) применения индукторов устойчивости против вирусов картофеля на сорте Рамос, Липецкая область, 2015-2016 гг.

Варианты опыта	2015 г.				2016 г.			
	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₃ /P ₄ , %	БЭ, %	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₃ /P ₄ , %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,3 л/га	2,7/3,3	0/61,6	3,9/3,9	67,8/75,2	7,8/7,9	0/50,3	8,3/8,6	61,6/71,0
Иммуноцитифит, ТАБ, 0,5 г/га	2,6/4,7	0/45,3	6,8/7,4	43,8/53,3	8,0/10,1	0/36,4	11,7/14,4	45,8/51,5
Контроль	2,8/8,6	-	12,1/15,8	-	7,6/15,9	-	21,6/29,7	-

**P₁ – степень распространенности вирусных болезней до начала обработок, P₂ – степень распространенности вирусных болезней после 1-й обработки, P₃ – степень распространенности вирусных болезней после 2-й обработки, P₄ – степень распространенности вирусных болезней после 3-й обработки*

В Астраханской области по результатам ИФА было установлено, что доминирующими вирусными комплексами на сорте Импала практически в равных долях были PVM+PVS – 24% и PVM+PVS+PVY – 21% (моноинфекция обнаружена не была). Анализ проводили до начала обработок.

Распространенность вирусных болезней на контрольных делянках составила 4,6%, на участке с применением Иммуноцитифита – 4,4%, а в варианте с применением Фармайода – 4,7%. Результаты производственного опыта представлены ниже (табл. 15, 16). Биологическая эффективность применения препарата Фармайод на сорте Импала составила 73,2%, Иммуноцитифита – 53,3%. Прибавка от применения Фармайода была 8,6 т/га, от Иммуноцитифита – 5,2 т/га при средней урожайности без обработок – 18,9 т/га.

Таблица 15. Биологическая эффективность (БЭ, %) применения индукторов устойчивости против вирусов картофеля на сорте Импала, Астраханская область, 2016 г.

Варианты опыта	2016 г.			
	P ₁ /P ₂ , %	БЭ, %	P ₃ /P ₄ , %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,3 л/га	4,7/5,5	0/47,1	6,7/7,00	61,3/73,2
Иммуноцитифит, ТАБ, 0,5 г/га	4,4/6,0	0/42,3	9,2/12,2	46,8/53,3
Контроль	4,6/10,4	-	17,3/26,1	-

Таблица 16. Влияние обработок индукторами устойчивости на урожайность картофеля сорта Импала, зараженного комплексом вирусов, Астраханская область, 2016 г.

Вариант опыта	2016 г.	
	т/га	% к контролю
Фармайод, ГР 0,3 л/га	27,4	+44,9
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	24,1	+27,5
Контроль	18,9	-
НСР ₀₅	2,71	

В хозяйстве Московской области по результатам ИФА исходный процент заражения Y-вирусом посадочного материала картофеля сорта ВР 808 составлял 23,3%. В фазу полных всходов распространенность вируса возросла до 31%. На обследуемых растениях визуально наблюдали вирусоподобные симптомы: сильная кустистость и деформация листьев, также отмечали мозаичность, реже некротические пятна на листьях. Визуально 28,3% растений на участке имели подобные симптомы.

Зараженность вегетирующих растений Y-вирусом картофеля после проведения трех обработок препаратом Фармайод уменьшилась в опытном варианте до 16%, оставаясь в контроле на уровне 31%. К моменту начала отмирания ботвы на участке с контрольными растениями распространенность вируса возросла до 44,0% (табл. 17). Дополнительная предпосадочная обработка клубней Фармайодом существенно не повлияла на его биологическую эффективность против вируса Y и урожайность картофеля сорта ВР-808 (табл. 18).

Таблица 17. Биологическая эффективность (БЭ, %) применения Фармайода, ГР против Y-вируса картофеля на сорте ВР 808, Московская область, 2018 г. (визуальные учеты)

Варианты опыта	После 1-й обработки		После 2-й обработки		После 3-й обработки		После 4-й обработки	
	Р, %	БЭ, %	Р, %	БЭ, %	Р, %	БЭ, %	Р, %	БЭ, %
Фармайод, ГР 0,1 л/т + 0,3 л/га	22,6	27,1	18,3	41,0	16	48,4	16,5	62,5
Контроль	31	0	31		31	-	44	-

Таблица 18. Влияние обработок индукторами устойчивости на урожайность картофеля сорта ВР 808, зараженного Y-вирусом, Московская область, 2018 г.

Вариант опыта	2018 г.	
	т/га	% к контролю
Фармайод, ГР 0,3 л/га	24,7	+12,8
Контроль	21,9	-

По результатам ИФА листовых проб, биологическая эффективность препарата Фармайод после 3-й обработки составила 74,9%, после проведения 4-й обработки – 81,8% (прил. К). Разница между биологической эффективностью по данным визуальных учетов и ИФА, вероятно, связана с тем, что видимые симптомы (например, мозаичность и деформация) сохраняются на растениях, в то время как вирусная нагрузка может быть существенно снижена.

После уборки урожая был проведен ИФА тканей этиолированных проростков клубней нового урожая, который показал, что в образцах после применения Фармайода выявлено 6% заражённых клубней, с контрольной деланки Y-вирус выявлен в 14% клубней (прил. Л).

Кроме биологической эффективности испытываемых препаратов целесообразно было провести оценку их экономической эффективности (табл. 19, 20).

Данные по общим затратам при производстве картофеля были рассчитаны согласно технологической карте, применяемой в хозяйстве Астраханской области. Рентабельность применения Фармайода для обработки вегетирующих растений картофеля составила 26,22%, превысив рентабельность стандартной технологии на 9,65%, Иммуноцитифита – 26,56%, что на 9,99% было выше контроля.

Таблица 19. Экономическая эффективность применения препарата Фармайод при производстве картофеля, Астраханская область, 2016 г.

№	Показатель	Фармайод	Стандартная технология	2 к 1
1	Урожайность, ц/га	274	189	0,69
2	Цена реализации 1 ц, руб.	1 056	1 056	1,00
3	Выручка от реализации с 1 га, руб.	289 344	199 584	0,69
4	Прямые затраты труда на 1 га, чел.-ч	74,8	66,21	0,88
5	Прямые затраты труда на 1 ц, чел.-ч:	0,27	0,35	1,29

6	Производственные затраты, руб.	209 884,00	155 834,28	0,74
8	Производственная себестоимость 1 ц, руб.	766,94	824,52	1,08
7	Полная себестоимость, руб.	855,14	919,34	1,08
9	Прибыль на 1 га, руб.	55 035,64	25 828,74	0,47
10	Уровень рентабельности, %	26,22	16,57	0,63

Таблица 20. Экономическая эффективность применения препарата Иммуноцитифит при производстве картофеля, Астраханская область, 2016 г.

№	Показатель	Иммуноцитифит	Стандартная технология	2 к 1
1	Урожайность, ц/га	241	189	0,78
2	Цена реализации 1 ц, руб.	1 056	1 056	1,00
3	Выручка от реализации с 1 га, руб.	254 496	199 584	0,78
4	Прямые затраты труда на 1 га, чел.-ч	74,8	66,21	0,88
5	Прямые затраты труда на 1 ц, чел.-ч:	0,27	0,35	1,29
6	Производственные затраты, руб.	194 330,81	155 834,28	0,87
8	Производственная себестоимость 1 ц, руб.	806,35	824,52	1,11
7	Полная себестоимость, руб.	899,08	919,34	1,02
9	Прибыль на 1 га, руб.	48 966,38	25 828,74	0,53
10	Уровень рентабельности, %	26,56	16,57	0,62

Как видно из выше представленных данных, применение индукторов устойчивости способствует не только общему оздоровлению разных сортов картофеля от вирусных болезней, но также повышает урожайность и рентабельность возделывания картофеля, в том числе и 2-й репродукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе многолетних полевых и лабораторных исследований, целью которых была оценка перспектив применения ряда препаратов против вирусных болезней картофеля в полевых условиях, были получены следующие **выводы**:

1. Уточнена симптоматика вирусов на разных сортах картофеля. В мелкоделяночных опытах Y-вирус картофеля вызывал на зараженных растениях четко идентифицируемые симптомы как на надземных органах, так и на клубнях. Наиболее типичные симптомы проявления M-вируса наблюдали в засушливые годы на бедном агрофоне, в отдельные годы признаки поражения растений этим вирусом отсутствовали. Визуальные признаки поражения растений картофеля S-вирусом в моноинфекции отсутствовали или проявлялись в короткий период времени отрастания листьев.

Сходные симптомы в дальнейшем наблюдали в производственных посадках. В Липецкой и Астраханской областях внешних проявлений вирусных болезней в фазу полных всходов не выявили, они появились в фазу цветения. Анализ методом ИФА показал наличие на картофеле сорта Рамос (Липецкая область) Y-вируса картофеля ($P = 10-15\%$), а вирусы M и S встречались не в моноинфекции, а в комплексе друг с другом ($P = 19-27\%$). В Астраханской области на сорте Импала вирусные патогены встречались только в комплексах: PVM+PVS ($P = 24\%$) и PVM+PVS+PVY ($P = 21\%$).

2. Установлена тенденция по снижению высоты и общей облиственности зараженных Y-вирусом растений в течение всего периода исследований в мелкоделяночных опытах. Вирусы M и S не оказывали существенного влияния на данные показатели. Наибольшее снижение высоты, практически в 1,5 раза, отмечали у зараженных Y-вирусом растений сорта Ред Скарлетт в сравнении с оздоровленными растениями. Облиственность в среднем по годам снизилась на 17,7%. На фоне заражения Y-вирусом снижалось содержание основных фотосинтетических пигментов в листьях: содержание общего хлорофилла – на 30,89%, хлорофилла *b* – на 36,39%.

В клубнях растений сорта Адретта, зараженных М-вирусом, отмечали снижение количества сырого протеина с 2 % до 1,4%, витамина С – с 13,1 мг% до 3,64 мг%.

В результате негативного влияния вирусов достоверно снижалась урожайность опытных растений. Максимальная разница между урожайностью оздоровленных и больных растений была отмечена в 2019 году на картофеле сорта Ред Скарлетт, зараженного PVY – 69,9%, М-вирус вызывал снижение урожайности на 46,3%, а S-вирус – на 57,0%. В среднем за период испытаний 2014-2019 гг. урожайность инфицированных вирусами растений сорта Ильинский снизилась на 48,8%, сорта Адретта – на 52,3%, сорта Ред Скарлетт – на 54,9%.

При этом возрастала доля маловесных и нетоварных, деформированных клубней. На сорте Ред Скарлетт Y-вирус вызвал снижение средней массы 1 клубня на 43,5% в сравнении с оздоровленным контролем; М-вирус на сорте Адретта – на 30,7%; на сорте Ильинский S-вирус увеличил долю клубней мелкой фракции на 23,1%.

3. В условиях мелкоделяночного полевого опыта наибольшая биологическая эффективность против PVY выявлена у препарата Фармайод при трехкратном опрыскивании растений – 92,6%, что в среднем по годам на 47,9% выше, чем у эталонного препарата Иммуноцитифит. Эффективность Фармайода против PVM составила 70,9%, Иммуноцитифита – 54,5%. Биологическая эффективность препаратов Амулет, Экогель, Зерокс и Вирон против Y-вируса была, соответственно: 27,3, 29,7, 37,3 и 26,1%, а против М-вируса – 22,2, 14,8, 33,5 и 22,3 %. Ни один из изучаемых препаратов не оказал значимого влияния на содержание S-вируса в анализируемых растениях.

В производственных условиях Липецкой области (2016 г.) биологическая эффективность препарата Фармайод против Y-вируса составила 79,1%, эталона – 47,9%. В хозяйстве Московской области в варианте с трехкратным опрыскиванием этот показатель был равен 74,9%. В Липецкой области эффективность Фармайода против комплекса вирусов в целом на поле

составила 75,2% (2015 г.) и 71% (2016 г.), эталона – 53,3 и 51,5%, соответственно. В Астраханской области этот показатель был равен 73,2%, у Иммуноцитифита – 53,2 %.

4. Испытываемые препараты оказали положительное влияние на повышение урожайности обработанных растений. Так после обработки Иммуноцитифитом средняя прибавка урожайности по годам на всех сортах картофеля в мелкоделяночных опытах составила 0,9 кг/м², в производственных опытах в Липецкой и Астраханской областях возросла на – 15,8-16,9 и 27,5%, соответственно. Средняя прибавка урожайности на всех сортах после трехкратного применения Фармайода была 1,3 кг/м², в производственных условиях Липецкой области урожайность возросла на 37,9-34,9%, в Астраханской области – на 45,5%.

5. Установлено, что в полевых условиях Фармайод и Иммуноцитифит имели устойчивую тенденцию к сохранению/увеличению урожайности зараженных растений разных сортов картофеля, как в мелкоделяночных опытах, так и в производственных условиях и повысили рентабельность производства низких репродукций картофеля до 26,5%.

Результатом наших исследований стали следующие **практические рекомендации:**

При выращивании семенного (посадочного материала, начиная с поколения «суперэлита», «элита») и для снижения накопления вирусов в более низких репродукциях картофеля, реализуемого на товарные цели, для защиты от вирусной реинфекции, рекомендуется включение в технологический процесс проведение трехкратной обработки вегетирующих растений 0,05-0,1%-ным раствором Фармайода, ГР (100 г/л йода) в указанные сроки: фаза всходов высотой 10-15 см, далее двукратно с интервалом между обработками 10-14 дней.

На основании полученных нами данных **считаем перспективным** продолжить скрининг соединений разных химических классов с антивирусными свойствами для применения в защите картофеля от вирусной

реинфекции. Предполагается дополнительно провести изучение применения Фармайода против вирусных болезней и его влияния на качественные показатели сортов картофеля, используемых для производства чипсов и других продуктов картофелепереработки.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГОСТ – межгосударственный стандарт

ГТК – гидротермический коэффициент

БЭ – биологическая эффективность

ИФА – иммуноферментный анализ

ПЦР – полимеразная цепная реакция

ОТ-ПЦР-РВ – полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией
в режиме реального времени

ГР – гликолевый раствор

ТАБ – таблетированная форма

ВКР – водный коллоидный раствор

ВР – водный раствор

ПАВ – поверхностно-активное вещество

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авторское свидетельство № 1682388 А1 СССР, МПК С12N 5/04, А01Н 4/00. Способ оздоровления картофеля от вирусов: № 4497325: заявл. 02.08.1988: опубл. 07.10.1991 / Н. В. Щербина, Ф. Е. Козар, А. Г. Коваленко [и др.]; заявитель Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии.
2. Аникина, И. Н. Фитовирусология: учебное пособие / И.Н. Аникина, Д. Д. Сейтжанова. – Павлодар: Кереку. – 2015. – 104 с.
3. Агробиотехнологии XXI века: коллективная монография / Коллектив авторов / Под ред. д.с-х.н., д.э.н., Академика РАН, профессора В. И. Трухачёва / ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – М.: ООО «Мегаполис». – 2022. – С. 171-188
4. Али, Х. Х. Новый переносчик вируса X картофеля – гриб *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary / Х. Х. Али, М. А. Келдыш, Ю. И. Помазков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2010. – № 3. – С. 18-23.
5. Амбросов, А. Л. Вирусные болезни картофеля и меры борьбы с ними / А. Л. Амбросов. – Минск: «Урожай», 1975. – 208 с.
6. Амелюшкина, Т. А. Защита семенных посадок картофеля от вирусных болезней / Т. А. Амелюшкина, П. С. Семешкина // Защита и карантин растений. – 2011. – № 3. – С. 21-23.
7. Ананьина, В. М. Вопросы физиологии устойчивости растений / В. М. Ананьина // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 1. – С. 120-124.
8. Анисимов, Б. В. Вирусные болезни и их контроль в семеноводстве картофеля / Б. В. Анисимов // Защита и карантин растений. – 2010. – № 5. – С. 12-18.
9. Бабоша, А. В. Антивирусное действие интерферона в растениях картофеля / А. В. Бабоша, М. Е. Ладыгина // Селекционно-генетические,

физиолого-биохимические и технологические аспекты производства картофеля: Тез. Докл. науч.- произв. конф. Уфа, 1989. – С. 85–86.

10. Багров, Р. А. Зелёная персиковая тля и вирус скручивания листьев картофеля: передача и контроль / Р. А. Багров, В. И. Леунов // Растениеводство и луговодство: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием/ под ред. А. В. Шитиковой. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА. – 2020. – С. 788-791. – DOI: <https://DOI.org/10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-178>.

11. Бакунов, А. Л. Содержание фотосинтетических пигментов как косвенный признак устойчивости сортов картофеля к высоким температурам воздуха и недостаточному увлажнению / А. Л. Бакунов, А. В. Милехин, С. Л. Рубцов, С. Н. Шевченко // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – Т. 5, № 2. – С. 8-13.

12. Баматов, И. М. Современные методы оздоровления растений / И. М. Баматов // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2018. – № 53(05). – С. 67-79. – DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-67-79

13. Белошапкина, О. О. Обзор методов диагностики вирусных заболеваний земляники / О. О. Белошапкина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2002. – Вып. 2. – С.177-183.

14. Белошапкина, О. О. Биологические и технологические основы оздоровления посадочного материала земляники от вирусов / О. О. Белошапкина. – М.: Изд. МСХА, 2005. – 162 с.

15. Белошапкина, О. О. Антиоксидантная система защиты у клубней картофеля при вирусных заболеваниях. / О. О. Белошапкина, О. Ф. Панфилова, А. А. Чернышов // Сб. докл. Всеросс. конф. «Инновации сельскому хозяйству». Калининград, 24-27 сент. 2013. – КГТУ, 2013. – С. 8-10.

16. Блоцкая, Ж. В. Вирусные, виroidные и фитоплазменные болезни картофеля / Ж. В. Блоцкая. – Минск: Технология, 2000. – 119 с.

17. Бобырь, А. Д. Химиопрофилактика и терапия вирусных болезней растений / А. Д. Бобырь. – Киев: «Наукова Думка», 1976. – 255 с.
18. Букина, Ю. А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра / Ю. А. Букина, Е. А. Сергеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 14. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibakterialnye-svoystva-i-mehanizm-bakteritsidnogo-deystviya-nanochastits-i-ionov-serebra> (дата обращения: 14.05.2023).
19. Васюкова Н. И. Элиситорная активность хитозана и арахидоновой кислоты: сходство и различие / Н. И. Васюкова, Н. Г. Герасимова, Г. И. Чаленко, О. Л. Озерецковская // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 109-115.
20. Васютин, А. С. Картофель на приусадебном и садово-огородном участках / А. С. Васютин. – М.: Колос-пресс, 2002. – 141 с.
21. Вирусные и вирусоподобные болезни и семеноводство картофеля: коллективная монография / отв. ред. Г. Лебенштейн, Ф. Х. Бергер, А. А. Брант, Р. Х. Лоусон. – ООО «Инновационный центр защиты растений, 2005. – 284 с.
22. Власов, Ю. И. Сельскохозяйственная фитовирусология / Ю. И. Власов, Э. И. Ларина, Э. В. Трускинов. – СПб, Пушкин: ФГБНУ ВИЗР: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2016. – 236 с. – (Приложение к журналу «Вестник защиты растений»; Выпуск 17).
23. Вологин, С. Г. Обнаружение кольцевого некроза клубней картофеля на территории Республики Татарстан / С. Г. Вологин, Н. Д. Былинкина, З. Сташевски, Ф. Ф. Замалиева // Вестник защиты растений. – 2013. – № 1. – С. 60-64.
24. Вологин, С. Г. Штаммовое разнообразие Y-вируса картофеля в Среднем Поволжье / С. Г. Вологин, Н. Д. Былинкина // Стратегия взаимодействия микроорганизмов и растений с окружающей средой:

материалы VI Всероссийской конференции молодых ученых. – Саратов: Научная книга, 2012. – С. 24.

25. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по физиологии растений: уч. пособие для биол. специальностей университетов: допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина; под ред. Б. А. Рубин. – М.: Высшая школа, 1975. – 392 с.

26. Гавриленко, Т. А. Создание устойчивых к вирусам растений картофеля на основе традиционных подходов и методов биотехнологии / Т. А. Гавриленко, Е. В. Рогозина, О. А. Антонова // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб. – 2005. – С. 644-662.

27. Гаспарян, И. Н. Применение противовирусных препаратов в картофелеводстве/ И. Н. Гаспарян // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2013. – № 3(59). – С. 37-39.

28. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений [Электронный ресурс]. – URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyu-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/>. – Текст: электронный

29. Гриц, А. Н. Действие комплексного препарата с индукторами устойчивости к патогенам на инфицирование X-вирусом растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) / А. Н. Гриц, Е. Н. Карасева, Т. Б. Макарова, Е. И. Рыбинская, А. Л. Ольшаникова и др. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 159–168. – DOI: 10.29235/1029-8940-2021-66-2-159-168

30. Гнутова, Р. В. Вирусные и виroidные болезни картофеля на Дальнем Востоке и методы их диагностики в семеноводстве / Р. В. Гнутова, К. А. Можяева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2010. – Вып. 2. – С. 35-43.

31. Гнутова, Р. В. Болезни овощных культур и картофеля на Дальнем Востоке России / Р. В. Гнутова, Е. В. Золотарёва. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 169 с.

32. Гнутова, Р. В. Разнообразие вирусов растений в восточноазиатском регионе России: итоги 50-летнего изучения / Р. В. Гнутова // С.-х. биология (Sel'skokhozyaistvennaya biologiya). – 2014. – № 5. – С. 16-27.

33. ГОСТ 33996 – 2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 января 2017 г. № 19-ст: введен впервые: дата введения 2018-01-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха» (ФГБНУ ВНИИКХ), Союзом участников рынка картофеля и овощей (Картофельный Союз), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский сельскохозяйственный центр» (ФГБУ «Россельхозцентр»). – Москва: Стандартинформ, 2017. – 41 с.

34. ГОСТ 59551-2021. Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики фитопатогенов: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 03 января 2021 г. № 505-ст: введен впервые: дата введения 2022-01-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха») и ООО «Независимая диагностическая лаборатория». – Москва: Стандартинформ, 2021. – 19 с.

35. Григорян, М. А. Получение оздоровленного картофеля и диагностика вирусных заболеваний в условиях Энгельсского района Саратовской области / М. А. Григорян, О. В. Ткаченко // Аграрная наука. – 2019. – № 3. – С. 60–63.

36. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. – Изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985 г. – 350 с.

37. Дрыгин, Ю. Ф. Высококчувствительные технологии молекулярной диагностики вирусных и виroidной инфекций картофеля / Ю. Ф. Дрыгин, С. Н. Чирков, О. А. Кондакова, Р. А. Зиновкин, П. А. Иванов, А. Н. Блинцов, Е. С. Гаврюшина, А. В. Жердев, Н. А. Бызова, Б. Б. Дзантиев, И. Г. Атабеков // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – №7. – С. 20-24. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokochuvstvitelnye-tehnologii-molekulyarnoy-diagnostiki-virusnyh-i-viroidnoy-infektsiy-kartofelya> (дата обращения: 23.04.2023).

38. Дьяков, Ю. Т. Типы устойчивости растений и их практическое использование / Ю. Т. Дьяков // Типы устойчивости к болезням (Матер. науч. семинара). – СПб, 2003. – С. 5-9.

39. Дьяконов, К. П. Переносчики вирусов картофеля на юге Дальнего Востока / К. П. Дьяконов // Вирусные болезни картофеля: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1966. – С. 46-52.

40. Дьяконов, К. П. Взаимоотношения в системе «Вирус-вектор-агробиоценоз» / К. П. Дьяконов, Ю. Г. Волков, Н. Н. Какарека, С. А. Романова // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 3. – С. 107-115.

41. Евстигнеева, Т. А. Эффективность индукторов болезнеустойчивости против Y-вируса картофеля / Т. А. Евстигнеева, Н. А. Павлова // Вестник защиты растений. – 2010. – № 4. – С. 47-55.

42. Евстигнеева, Т. А. Действие фитоактивного хитозана и салициловой кислоты на устойчивость растений картофеля к вирусу Y / Т. А. Евстигнеева, Н. А. Павлова, С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2012. – № 2. – С. 27-33.

43. Евстратова, Л. П. Сочетание методов апикальной меристемы и клонового отбора в оригинальном семеноводстве *Solanum tuberosum* L / Л. П. Евстратова, Л. А. Кузнецова, Е. В. Николаева, И. В. Евстратов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2018. – № 8(177). – С. 23-26. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sochetanie-metodov-apikalnoy-meristemy-i-klonovogo-otbora-v-originalnom-semenovodstve-solanum-tuberosum-l> (дата обращения: 03.10.2022).

44. Екатеринбургская, Е. М. Влияние вирусов на урожайность и качество клубней картофеля в условиях Костанайской области // Научное обеспечение агропромышленного производства: материалы Международной научно-практической конференции, ч. 1 (Курск, 20-21 февраля 2018 г.). – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2018. – С. 259-265.

45. Ермак, М. В. Двадцативосьмипятнистая картофельная коровка *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.) в Приморском крае: история вредителя (литературный обзор) / М. В. Ермак, Н. В. Мацишина, П. В. Фисенко // Овощи России. – 2022. – № 5. – С. 94-97. – DOI: <https://DOI.org/10.18619/2072-9146-2022-5-94-97>

46. Замалиева, Ф. Ф. Состояние и перспективы развития семеноводства картофеля на оздоровленной основе в Республике Татарстан / Ф. Ф. Замалиева, Р. Г. Гареев // Сб. Докладов Межрегионального научно-практического семинара «Семеноводство картофеля в современных рыночных условиях». – Татарстан, 2004. – С. 7–10.

47. Замалиева, Ф. Ф. Борьба с вирусными болезнями картофеля / Ф. Ф. Замалиева // Защита и карантин растений. – 2013. – № 3. – С. 17-21.

48. Замалиева, Ф. Ф. Эффективность защитных обработок в снижении реинфекции Y-вирусом семенного картофеля / Ф. Ф. Замалиева, Г. Ф. Сафиуллина, З. Сташевски, С. Г. Вологин, Е. А. Гимаева // Защита картофеля. – 2016. – № 1. – С. 9-12.

49. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков / Б. В. Анисимов, Г. Л. Белов, Ю. А. Варицев, С. Н. Еланский, Г. К. Журомский, С. К. Завриев, В. Н. Зейрук [и др.]. – М.: Картофелевод, 2009. – 272 с.

50. Защита овощных культур и картофеля от болезней / А. К. Ахатов, Ф. С. Джалилов, Ю. М. Стройков, О. О. Белошапкина, В. Н. Чижов, А. В. Трусевич. – М.: ГУП «Московская типография № 2», 2006. – 352 с.

51. Защита растений от вредителей / И. В. Горбачев, В. В. Гриценко, Ю. А. Захваткин и др./ под ред. В. В. Исаичева. – М. □ Колос, 2002. – 472 с.

52. Защита растений: фитопатология и энтомология / О. О. Белошапкина, В. В. Гриценко, И. М. Митюшев, С. И. Чебаненко / Ростов-на-Дону: ООО «Феникс», 2017. – 477 с.

53. Ильин, А. И. Препарат «Арменикум» как новое лекарство с противовирусными и антимикробными свойствами / А. И. Ильин // «Арменикум» — экспериментальные исследования. – Ереван: Гутуюн. – 2000. – С. 7-16.

54. Индустрия картофеля: (справочник) / Рос. акад. с.-х.н., ГНУ Всерос. НИИ картофельного хоз-ва им. А.Г. Лорха, ГНУ Всерос. НИИ крахмалопродуктов, ГНУ Всерос. НИИ механизации агрохим. обслуживания сел. хоз-ва [и др.]; под ред. д.т.н., проф. В.И. Старовойтова. – Изд. 2-е, доп. – Москва: НПФ АгроНИР. – 2013. – С. 120-121.

55. Интегрированная система защиты картофеля от фитофтороза, грибных, вирусных и бактериальных болезней: (практическое руководство) / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; [подгот. Н.Я. Кваснюк и др.]. – М.: Росинформагротех, 2006. – 76 с.

56. Какарека, Н. Н. Штаммовое разнообразие вирусов растений, идентифицированных на Дальнем Востоке / Н. Н. Какарека, Ю. Г. Волков, З. Н. Козловская // Международный форум по проблемам науки, техники и образования. – М.: Труды, 2021. – Т. 3. – С. 46-48.

57. Какарека, Н. Н. Насекомые-переносчики вирусных заболеваний картофеля на Дальнем Востоке / Н. Н. Какарека, В. Ф. Толкач, М. В. Сапоцкий

[и др.] // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. – 2019. – № 30. – С. 191-199. – DOI 10.25221/kurentzov.30.18. – EDN GCVTVW.

58. Карташева, И. А. Сельскохозяйственная вирусология: учебное пособие / И. А. Карташева. – М.: Колос, 2007. – 168 с.

59. Кашин, В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В. К. Кашин. – Л.: Наука, 1987. – 261 с.

60. Кашин, В. К. Значение йода в метаболизме растений / В. К. Кашин // Агрохимия. – 1981. – № 9. – С. 139-150.

61. Келдыш, М. А. Вирусы, виоиды и микоплазмы растений / М.А. Келдыш, Ю.И. Помазков. – М.: РУДН, 2003. – 156 с.

62. Келдыш, М. А. Оценка антивирусной активности препарата Фармайод на примере вируса мозаики томата / М. А. Келдыш, Н. Х. Чанг, О. Н. Червякова // Гавриш. – 2013. – № 6. – С. 16-18.

63. Келдыш, М. А. Оценка антивирусной активности препарата Фармайод / М. А. Келдыш, О. Н. Червякова, И. П. Борисова // Защита и карантин растений. – 2019. – № 11. – С. 30.

64. Ким, И. В. Применение методов биотехнологии в безвирусном семеноводстве картофеля / И. В. Ким, Е. В. Шищенко, П. В. Фисенко, А. С. Чибизова, А. Г. Клыков // Овощи России. – 2022. – № 5. – С. 29-34. – DOI: 10.18619/2072-9146-2022-5-29-34

65. Коваленко, Т. К. Устойчивость сортов картофеля к картофельной коровке *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.) / Т. К. Коваленко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 4(48). – С. 82-88. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-sortov-kartofelya-k-kartofelnoy-korovke-henosepilachna-vigintioctomaculata-motsch> (дата обращения: 07.03.2022).

66. Козлов, В. А. Изучение распространенности и структуры популяций вирусных болезней картофеля в Брестской области / В. А. Козлов, Н. В. Русецкий, А. В. Чашинский, И. А. Михалькович // Картофелеводство. – 2020. – № 27(2). – С. 69-77.

67. Колычихина, М. С. Амулет, Иммуноцитопит, Фармайод и Экогель в защите картофеля от вирусов / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. Коллективная монография / под ред. Л.И. Ильина / ФГБНУ «Верхневолжский аграрный научный центр». – Иваново: ПресСто. – 2018. – Т.2. – С. 69-72.

68. Колычихина, М. С. Защита картофеля от вирусов в полевых условиях / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Картофель и овощи. – 2017. – № 4. – С. 27-30.

69. Колычихина, М.С. Применение йодсодержащего препарата и регуляторов роста в защите картофеля от вирусных патогенов / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Становление и развитие науки по защите и карантину растений в Республике Казахстан: Сб. материалов Международной научной конференции (Алматы, 6 декабря 2018 г.). – Алматы: ТОО «Казахский НИИ защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», 2018. – С. 384-388.

70. Колычихина, М. С. Положительное влияние препаратов с антивирусной активностью на продуктивность картофеля / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Растениеводство и луговодство: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием/ под ред. А.В. Шитиковой. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2020. – С. 501-505.

71. Колычихина, М. С. Оценка биологической эффективности индукторов устойчивости к вирусным болезням и их влияния на урожайность картофеля в полевых условиях / М. С. Колычихина, О. О. Белошапкина // Картофель и овощи. – 2021. – № 10. – С. 32-36. – DOI: 10.25630/PAV.2021.27.84.002.

72. Крутецкая, З. И. Механизмы внутриклеточной сигнализации / З. И. Крутецкая, О. Е. Лебедева, Л. С. Курилова. – СПб.: Издательство С. Петербургского Университета, 2003. – 208 с.

73. Кузнецова, М. А. Защита картофеля. Библиотечка по защите растений // Защита и карантин растений. – 2007. – № 5. – С. 62-76.

74. Кульнев А. И., Соколова Е. А. Многоцелевые стимуляторы защитных реакций, роста и развития растений (на примере препарата иммуноцитифит) / А. И. Кульнев, Е. А. Соколова. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 100 с.

75. Кульнев, А. И. Роль арахидоновой кислоты в повышении урожайности и устойчивости агробиоценозов к техногенным воздействиям пестицидов (на примере препарата Иммуноцитифит) / А. И. Кульнев // Биологическая защита растений - основа стабилизации агроэкосистем : материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 11–13 сентября 2018 года. Том 10. – Краснодар: ИП Дедкова С.А. (типография «Гранат»), 2018. – С. 497-500.

76. Лапшинов, Н. А. Влияние вирусной инфекции на урожайность картофеля в условиях северной лесостепи Западной Сибири / Н. А. Лапшинов // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 9. – С. 27-29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-virusnoy-infektsii-na-urozhaynost-kartofelya-v-usloviyah-severnoy-lesostepi-zapadnoy-sibiri> (дата обращения: 05.03.2019)

77. Лорх, А. Г. Экологическая пластичность картофеля / А. Г. Лорх. – М.: Колос, 1968. – 32 с.

78. Макарова, С. С. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы / С. С. Макарова, В. В. Макаров, М. Э. Тальянский, Н. О. Калинина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 21(1). – С. 62-73. – DOI: 10.18699/VJ17.224.

79. Максимов, И. В. Биологические методы защиты растений от вирусов: проблемы и перспективы (обзор) / И. В. Максимов, А. В. Сорокань, М. Ю. Шеин, Р. М. Хайруллин // Прикладная биохимия и микробиология. – 2020. – Т. 56, № 6. – С. 536-550.

80. Малиновский, В. И. Механизмы устойчивости растений к вирусам / В. И. Малиновский. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 324 с.

81. Маркаров, А. М. Морфофизиология клубнеобразующих растений / А. М. Маркаров, Т. К. Головки, Г. Н. Табаленкова. – СПб.: Наука, 2001. – 231 с.

82. Методы диагностики возбудителей заболеваний овощных культур: аналит. обзор / Д. З. Богоутдинов, Т. С. Фоминых, Т. Б. Кастальева, Н. В. Гирсова, Н. Е. Павловская, И. Н. Гагарина, Н.П. Мишуров, Л. А. Неменуца, Н. А. Пискунова. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 116 с.

83. Молявко, А. А. Приемы снижения вирусной инфекции на семенном картофеле / А. А. Молявко, А. В. Марухленко, Н. П. Борисова, Н. М. Белоус, В. Е. Ториков // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2021. – № 5(87). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/priemy-snizheniya-virusnoy-infektsii-na-semennom-kartofele> (дата обращения: 06.07.2023).

84. Мохнач, В. О. Йод и проблемы жизни (Теория биологической активности и проблемы практического применения соединений йода с высокополимерами) / В. О. Мохнач. – Л.: Ленинград. отд., изд-во «Наука». – 1974. – 254 с.

85. Назаров, П. А. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений / П. А. Назаров, Д. Н. Балеев, М. И. Иванова, Л. М. Соколова, М. В. Каракозова // Acta Naturae (русскаяязычная версия). – 2020. – № 3(46). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/infektsionnye-bolezni-rasteniy-etiologya-sovremennoe-sostoyanie-problemy-i-perspektivy-zaschity-rasteniy> (дата обращения: 06.07.2023).

86. Насроллах Неджид, С. Вредоносность моно- и смешанных вирусных инфекций и экологически безопасные способы их контроля / С. Насроллах Неджид, Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина // Материалы докл. научн. конф. «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями». – Москва, 2002. – Вып. 3. – С. 216-217.

87. Никитин, Н. А. Изучение первых стадий сборки вириона у X-вируса картофеля / Н. А. Никитин, Е. А. Трифонова, Е. К. Петрова, О. В. Борисова, О. В. Карпова, И. Г. Атабеков // Сельхозбиология. – 2014. – № 5. – С. 28-34. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-pervyh-stadiy-sborki-viriona-u-h-virusa-kartofelya> (дата обращения: 10.07.2021).

88. Николаев, А. В. Влияние обработки клубней регуляторами роста на пораженность вирусными болезнями и урожайность семенного картофеля / А. В. Николаев, Г. Е. Черемин, И. Г. Любимская, С. С. Кузнецов, О. П. Прокофьева // Защита картофеля. – 2016. – № 2. – С. 10-14.

89. Овэс, Е. В. Современные способы освобождения сортов картофеля от вирусов (обзор) / Е. В. Овэс, Н. А. Гаитова, К. Т. Етдзаева, С. М. Стоянова // Земледелие. – 2024. – № 5. – С. 37-42. – DOI:10.24412/0044-3913-2024-5-37-42

90. Огарков, В. И. Подавление репродукции вирусов картофеля под влиянием интерферона человека / В. И. Огарков, И. Б. Каплан, М. Э. Тальянский, И. Г. Атабеков // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 276. – Вып. 3. – С. 743–745.

91. Озерецковская, О. Л. Индуцирование устойчивости растений / О. Л. Озерецковская // Аграрная Россия. – 1999. – № 1. – С. 4-9.

92. Павлова, Е. А. Диагностика скрытой вирусной инфекции картофеля – важный этап семеноводства / Е. А. Павлова // Защита и карантин растений. – 2014. – № 2. – С. 15-17.

93. Павлова, Н. А. Биологическая эффективность некоторых индукторов болезнеустойчивости в системе оздоровления и защиты картофеля от болезней в оригинальном семеноводстве / Н. А. Павлова // Вестник защиты растений. – 2015. – № 3. – С. 21–26.

94. Павлова, Н. А. Биологическое обоснование использования индукторов болезнеустойчивости в защите семенного картофеля от вируса Y: специальность 06.01.07 «Защита растений»: автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук / Павлова Наталья Александровна; ФГБНУ «ВНИИКХ имени

А. Г. Лорха». – СПб, Пушкин, 2016. – 24 с. – Место защиты: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. – Библиогр.: с. 23.

95. Пазюк, И. М. Оценка возможности переноса Y вируса картофеля хищным клопом *Orius majusculus* Reuter (*Hemiptera, Anthocoridae*) и обыкновенной злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rondani (*Homoptera: Aphididae*) / И. М. Пазюк, Т. С. Фоминых, К. Д. Медведева // Вестник защиты растений. – 2017. – № 1(91). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vozmozhnosti-perenosa-y-virusa-kartofelya-hischnym-klopom-orius-majusculus-reuter-hemiptera-anthocoridae-i-obyknovennoy> (дата обращения: 05.10.2022).

96. Панфилова, О. В. Влияние засухоустойчивости на физиолого-биохимические показатели листьев смородины красной / О. В. Панфилова, О. Д. Голяева // Современное садоводство. – 2013. – № 4(8). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zasuhoustoychivosti-na-fiziologo-biohimicheskie-pokazateli-listiev-smorodiny-krasnoy> (дата обращения: 06.04.2022).

97. Патент № 2072779 С1 Российская Федерация, МПК А01N 37/06, А01P 15/00, А01P 21/00. Индуктор устойчивости пасленовых к возбудителям вирусных болезней : № 93019503/04 : заявлено 14.04.1993 : опубликовано 10.02.1997 / Л. Н. Трофимец, О. Л. Озерецковская, Ш. Я. Гилязетдинов [и др.] ; заявитель Отдел биохимии и цитохимии УНЦ РАН.

98. Передовые методы диагностики патогенов картофеля: научный анализ. обзор / С. В. Жевора, В. Н. Зейрук, Г. Л. Белов [и др.]. – М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2019. – 92 с.

99. Пиневич, А. В. Вирусология. / А. В. Пиневич, А. К. Сироткин, О. В. Гаврилова, А. А. Потехин. – Издательство С.-Пб университета, 2012. – 432 с.

100. Поликсенова, В. Д. Индуцированная устойчивость растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам (на примере томата) / В. Д. Поликсенова // Вестник БГУ. – 2009. – Сер. 2. – С. 48-60.

101. Постников, Д. А. Защита картофеля от вирусных инфекций в полевой культуре путем применения ингибитора вирусов ДГТ и регуляторов роста / Д. А. Постников, В. А. Шмыгля, Г. Шустер // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 1989. – Вып. 4. – С. 95-99.

102. Постников, Д. А. Защита от вирусных болезней и поддержание высокой продуктивности оздоровительного материала картофеля с помощью ингибитора вирусов и регуляторов роста: специальность 06.01.11 «Защита растений»: автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук / Постников Дмитрий Андреевич; Научное производственное объединение по картофелеводству. – Москва, 1990. – 19 с. – Место защиты: Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева. – Библиогр.: с. 19.

103. Постников, Д. А. Применение кампозана-М и ингибитора вирусов ДГТ в семеноводческих посадках меристемного исходного материала картофеля / Д. А. Постников, Н. Ф. Кинякин, В. А. Шмыгля, В. П. Лядин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 1993. – № 1. – С. 94-97.

104. Прокофьев, Л. С. Оценка устойчивости к вирусным болезням и урожайности сортов картофеля в Среднем Поволжье / Л. С. Прокофьев, М. Н. Кинчарова // Защита и карантин растений. – 2013. – № 5. – С. 27-30.

105. Радкович, Е. В. Детекция ХВК, УВК, СВК и МВК методом ИФА в замороженном соке картофеля после разных сроков хранения / Е. В. Радкович, Г. Н. Гуца, Д. И. Галуза // Картофелеводство. – 2013. – № 21(2). – С. 140-151.

106. Рогозина, Е. В. Широко распространенные и потенциально опасные для российского агропроизводства возбудители вирусных болезней картофеля / Е. В. Рогозина, Н. В. Мироненко, О. С. Афанасенко, Ю. Мацухито

// Вестник защиты растений. – 2016. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shiroko-rasprostranennyye-i-potentsialno-opasnye-dlya-rossiyskogo-agroproduktstva-vozbuditeli-virusnyh-bolezney-kartofelya> (дата обращения: 06.07.2023).

107. Романенко, Н. Д. К вопросу о распространенности и вредоносности вирусов картофеля / Н. Д. Романенко, С. Насроллахнеджад, О. О. Белошапкина / Сб. науч. трудов «Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в XXI веке». – М: РАСХН. – 2002. – С. 294-304.

108. Романенко, Н. Д. Изучение вирусных и нематодных инфекций картофеля и разработка современных методов их диагностики / Н. Д. Романенко, О. О. Белошапкина, И. О. Попов / Материалы докл. науч. конф. РАСХН «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями». – М. – 2005. – Вып. 6. – С. 295-298.

109. Рябцева, Т. В. Оценка устойчивости оздоровленного семенного картофеля к вирусной реинфекции в условиях открытой части северной лесостепи Кемеровской области / Т. В. Рябцева, В. И. Куликова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 6. – С. 43-45. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ustoychivosti-ozdorovlennogo-semennogo-kartofelya-k-virusnoy-reinfektsii-v-usloviyah-otkrytoy-chasti-severnoy-lesostepi> (дата обращения: 15.10.2022).

110. Рябцева, Т. В. Эффективность применения противовирусных препаратов при оздоровлении картофеля / Т. В. Рябцева, В. И. Куликова, Л. С. Аношкина / Картофелеводство: материалы Международной научно-практической конференции «Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля»: сборник научных трудов / ответственные за выпуск Г. И. Филиппова, Н. А. Янюшкина; ГНУ ВНИИКХ Россельхозакадемии. – М.: ГНУ ВНИИКХ Россельхозакадемии, 2014. – С. 212-217.

111. Рябцева, Т. В. Оздоровление картофеля методом химиотерапии в культуре *in vitro* / Т. В. Рябцева, В. И. Куликова, О. Г. Илькевич //

Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Ч. 3, №10 (41). – С. 66-68.

112. Рязанцев, Д. Ю. Эффективный метод диагностики и идентификации вирусных патогенов картофеля / Д. Ю. Рязанцев, С. К. Завриев // Молекулярная биология. – 2009. – Т. 43. – Вып. 3. – С. 558– 567.

113. Сергеева, Е. М. Метаболизм крахмала у картофеля *Solanum tuberosum* L / Е. М. Сергеева, К. Т. Ларичев, Е. А. Салина, А. В. Кочетов // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – Вып. 26(3). – С. 250-263. – DOI: 10.18699/VJGB-22-32

114. Симаков, Е. А. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов, С. В. Жевора, А. В. Митюшкин, А. А. Журавлев, А. В. Митюшкин, А. С. Гайзатулин // Картофель и овощи. – 2020. – № 12. – С. 22-26.

115. Синцова, Н. Ф. Источники устойчивости картофеля к вирусным болезням / Н. Ф. Синцова // Вестник АГАУ. – 2019. – № 3(173). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istochniki-ustoychivosti-kartofelya-k-virusnym-boleznyam> (дата обращения: 03.07.2021).

116. Собко, О. А. Роль *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858 (*Coleoptera:Coccinellidae*) в переносе фитовирусов картофеля / О. А. Собко, Н. В. Мацишина // Амурский зоологический журнал. – 2023. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-henosepilachna-vigintioctomaculata-motschulsky-1858-coleoptera-coccinellidae-v-perenose-fitovirusov-kartofelya> (дата обращения: 02.03.2024).

117. Спеченкова, Н. А. Роль метионинового цикла в формировании ответа растений картофеля на Y-вирус картофеля в условиях повышенной температуры / Н. А. Спеченкова, И. А. Фесенко, А. Н. Князев [и др.] / Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: Сб. Тез. Докл. 20-й Всерос. конференции молодых учёных, посвященной памяти академика РАСХН Г.С. Муромцева, Москва, 27–29 октября 2020 года. – М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский

институт сельскохозяйственной биотехнологии», 2020. – С. 31-32. – DOI 10.48397/ARRIAB.2020.20.014.

118. Стрельцова, Т. А. Исследование биоресурсного потенциала новой коллекции картофеля при интродукции в Горный Алтай: монография / Т. А. Стрельцова, А. А. Оплеухин, М. С. Менохов / Горно-Алтайский госуниверситет. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2014. – 128 с.

119. Тийтс А. А. Картофель и его болезни. Проблемы и перспективы / А. А. Тийтс, М. О. Агур; под ред. Б. Х. Нурмисте. – Таллин: Институт экспериментальной биологии, 1991. – 173 с.

120. Трускинов, Э. В. Стратегия и тактика борьбы с вирусными болезнями растений на примере картофеля / Э. В. Трускинов // «Живые и биокосные системы». – 2014. – № 9. – URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-9/article-4>.

121. Трускинов, Э.В. Особенности изучения и поддержания коллекции картофеля на фоне вирусных и вирусоподобных заболеваний / Э. В. Трускинов, М. Н. Ситников // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – № 180(4). – С. 75-80. – DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-75-80.

122. Тютюрев, С. Л. Научные основы индуцированной болезнеустойчивости растений / С. Л. Тютюрев. – С-Пб, 2002. – 328 с.

123. Тютюрев, С. Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам / С. Л. Тютюрев // Вестник защиты растений. – 2015. – №1. – С. 3-13.

124. Тютюрева, Е. В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений / Е. В. Тютюрева, В. А. Дмитриева, О. В. Войцеховская // С.-х. биология, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. – 2017. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/hlorofill-b-kak-istochnik-signalov-reguliruyuschih-razvitie-i-produktivnost-rasteniy> (дата обращения: 02.07.2023).

125. Усков, А. И. Изучение штаммового состава Y-вируса картофеля из различных регионов Российской Федерации и Беларуси / А. И. Усков, Ю. А. Варицев, В. А. Бирюкова, П. А. Галушка, Г. П. Варицева, И. В. Шмыгля, Д. В. Кравченко // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 36-38.

126. Федин, М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М. А. Федин. – М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР, 1985. – 269 с.

127. Фоминых, Т. С. Мониторинг вирусных болезней картофеля в Псковской и Астраханской областях России / Т. С. Фоминых // Вестник защиты растений. – 2017. – № 4(94). – С. 29-34. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-virusnyh-bolezney-kartofelya-v-pskovskoy-i-astrahanskoj-oblastyah-rossii> (дата обращения: 19.05.2019).

128. Фоминых, Т. С. Вирусные болезни картофеля на северо-западе России / Т. С. Фоминых, К. Д. Медведева // Вестник защиты растений. – 2018. – № 4(98). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virusnye-bolezni-kartofelya-na-severo-zapade-rossii> (дата обращения: 06.07.2023).

129. Французов, П. А. Широкомасштабный скрининг РНК- и ДНК-содержащих патогенов картофеля при помощи ПЦР в матричном формате / П. А. Французов, М. М. Никитин, А. М. Малько, А. В. Живых, Н. В. Стацюк [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shirokomasshtabnyy-skrining-rnk-i-dnk-soderzhaschih-patogenov-kartofelya-pri-pomoschi-ptsr-v-matrichnom-formate> (дата обращения: 06.07.2023).

130. Фундаментальная фитопатология / Под ред. Ю. Т. Дьякова. – М.: КРАСАНД, 2012. – 512 с.

131. Чанг, Н. Х. Распространение и патогенез вирусных заболеваний томата в условиях Вьетнама и России / Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: ГНУ ВНИИФ. – 2013. – 22 с.

132. Чирков, С. Н. Антивирусная активность хитозана (обзор) / С. Н. Чирков // Прикладная биохимия и микробиология. – 2002. – Вып. 38. – С. 1–8.
133. Шаманин, А. А. Видовой состав и численность тлей на семенном картофеле в Архангельской области / А. А., Шаманин, Л. А. Попова, М. Н. Берим, Л. Н. Головина // Картофель и овощи. – 2020. – № 7. – С. 20-23.
134. Шарипова, М. Р. Механизмы устойчивости растений к инфекциям / М. Р. Шарипова, Н. П. Балабан, А. М. Марданова, Ч. Нямсурэн, Л. Р. Валеева / Учен. зап. Казанского университета. Сер. Естеств. Науки. – 2013. – Т. 155, № 4. – С. 29-58.
135. Шмыгля, В. А. О мерах защиты семеноводческих посадок картофеля от вирусных болезней // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 1978. – Вып. 1. – С. 159-164.
136. Шмыгля, В. А. Улучшение визуальной и серологической диагностики вирусов растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 1979. – Вып. 2. – С. 142-148
137. Шмыгля, В. А. Рациональное сочетание методов диагностики вирусов картофеля и томатов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 1983. – Вып. 1. – С. 148-152.
138. Шмыгля, В. А. Как оздоровить посадочный материал картофеля // Защита растений. – 1985. – № 2. – С. 19-20.
139. Шмыгля, В. А. Химиотерапия вирусных болезней / В. А. Шмыгля, Д. А. Постников, Н. Ф. Кинякин // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 5. – С. 57-59.

140. Шмыгля, В. А. Применение ингибитора вирусов ДГТ и регуляторов роста / В. А. Шмыгля, Д. А. Постников, Н. Ф. Кинякин // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 5. – С. 36-42.

141. Шмыгля, В. А. Иммуноферментная диагностика фитопатогенных вирусов / В. А. Шмыгля, О. И. Николаева, Л. В. Сальседо-Карденас // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 1991. – Вып. 4. – С. 68-74.

142. Шпаар, Д. Борьба с вирусными и виroidными болезнями / Д. Шпаар, П. Шуманн // Защита и карантин растений. – 2004. – Вып. 5. – С. 15-17.

143. Шпаар, Д. Картофель: выращивание, уборка, хранение. Текст. / под ред. Д. Шпаар, А. Быкин, Д. Дрегер [и др.]. – Минск: ЧУП «Орех», 2004. – 465 с.

144. Юсубахмедов, А. А., Файзиев, В. Б. Вирус картофеля М и его биологическая классификация / А. А. Юсубахмедов, В. Б. Файзиев // Academic Research in Educational Sciences, Multidisciplinary Scientific Journal. – Ташкент. – 2022. – С. 424-429.

145. Юсубахмедов, А. А., Файзиев, В. Б. Определение некоторых биологических свойств и идентификация М вируса картофеля с помощью метода ПЦР / А. А. Юсубахмедов, В. Б. Файзиев // Современная биология и генетика. – 2022. – № 1. – С. 14-20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-nekotoryh-biologicheskikh-svoystv-i-identifikatsiya-m-virusa-kartofelya-s-pomoschyu-metoda-ptsr> (дата обращения: 11.09.2023).

146. Abad, J. Tomato spotted wilt virus on potato in eastern North Carolina / J. Abad, J. W. Moyer, G. G. Kennedy, G. J. Holmes, M. A. Cubeta // American Journal of Potato Research. – 2005. – V. 82. – P. 255-261. – DOI: 10.1007/BF02853592.

147. Abdelbacki, A. M. Inhibition of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) using whey proteins / A. M. Abdelbacki, S. H. Taha, M. Z. Sitohy, Dawood AI Abou, Hamid M. M. Abd-El, A. A. Rezk // *Virology*. – 2010. – Feb 3;7. – P. 26. – DOI: 10.1186/1743-422X-7-26.
148. Alvarez Yepes, D. Characterization of Potato virus V (PVV) Infecting *Solanum phureja* using Next Generation Sequencing /D. Alvarez Yepes, S. Gutierrez, A. Pablo, M. M. Mauricio // *Acta Biologica Colombiana*. – 2016. – № 21(3). – P. 521-531.
149. Anson, M. L. Some effects of iodine and other reagents on the structure and activity of tobacco mosaic virus / M. L. Anson, W. M. Stanley // *J. Gen. Physiol.* – 1941. – № 24(6). – P. 679-690. – DOI:10.1085/jgp.24.6.679
150. Badr, A. B. Impact of Potato virus Y on anatomical leaflets and tubers of potato plants / A. B. Badr, A. A. Abou-zeid, A. M. Al-Naggar // *Egyptian J. Virology*. – 2015. – Vol. 12. – P. 113- 125.
151. Baglioni, C. Interferon - induced enzymatic activities and their role in the antiviral state / C. Baglioni // *Cell*. – 1979. – V.17. – P. 255–267.
152. Bittner, H. Elimination by chemotherapy of potato virus S from potato plants grown in vitro / H. Bittner, G. Schenk, G. Schuster [et al.] // *Potato Res.* – 1989. – V. 32. – P. 175–179. – DOI: 10.1007/BF02358230
153. Burrows, M. E. Virus Problems of Potatoes / M. E. Burrows, T. A. Zitter / USDA-ARS and Department of Plant Pathology. Cornell University Ithaca. – 2005. – № 4. – NY 14853.
154. Cassels, A. C. The elimination of potato viruses X, Y, S and M in meristem and explant cultures of potato in the presence of virazole / A. C. Cassels, R. D. Long // *Potato Research*. – 1982. – V. 25. – P. 165–173.
155. Coutts, B. A. Potato virus Y: Contact Transmission, Stability, Inactivation, and Infection Sources / B. A. Coutts, R. A. C. Jones // *Plant Dis.* – 2015. – Vol. 99(3). – P. 387-394. – DOI:10.1094/PDIS-07-14-0674-RE
156. De Sousa G. D. P. Complete genome sequence of the first Andean strain of potato virus S from Brazil and evidence of recombination between PVS strains /

G. D. P. De Sousa, S. B. Galvino-Costa, S. R. de Paula Ribeiro, R. Figueira Ados // Arch. Virol. – 2012. – Vol. 157(7). – P. 1357–1364. – DOI: 10.1007/s00705-012-1289-8.

157. Dědič, P. Potato virus S (PVS): puzzling virus for potato breeders and seed producers / P. Dědič, J. Ptáček, V. Horáčková, V. Matoušek, N. Čerovská, M. Filigarová // Plant Protect. Sci. – 2002. – Vol. 38. – P. 648-651.

158. Dutta, P. Advances in Nanotechnology as a Potential Alternative for Plant Viral Disease Management / P. Dutta, A. Kumari, M. Mahanta, KK. Biswas, K. A. Dudkiewicz, D. Thakuria, A. Abdelrhim, S. Basanta, G. Muthukrishnan, K.G. Sabarinathan, M. Mandal, N. Mazumdar // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 13. – P. 935193. – DOI: 10.3389/fmicb.2022.935193.

159. Dwelle, R. B. Photosynthesis and photoassimilate partitioning / R. B. Dwelle // Potatophysiology. H.L. Pauley. – Orlando: Academic Pr. – 1985. – P. 35-58.

160. El-Dougdoug, N. K. Evaluation of Silver Nanoparticles as Antiviral Agent Against ToMV and PVY in Tomato Plants / N. K. El-Dougdoug, A. M. Bondok, K. A. El-Dougdoug // Middle East J. Appl. Sci. – 2018. – V. 08. – P. 100–111

161. Fraenkel-Conrat, H. The reaction of tobacco mosaic virus with iodine / H. Fraenkel-Conrat // J. Biol Chem. – 1955. – V. 217(1). – P. 373-381.

162. Fuentes, S. The Phylogeography of Potato Virus X Shows the Fingerprints of Its Human Vector / S. Fuentes, A. J. Gibbs, M. Hajizadeh, A. Perez, I. P. Adams, C. E. Fribourg, J. Kreuze, A. Fox, N. Boonham, R. A. C. Jones // Viruses. – 2021. – V. 13(4): 644. – DOI: 10.3390/v13040644

163. Fuentes, S. Phylogenetics and Evolution of Potato Virus V: Another Potyvirus that Originated in the Andes / S. Fuentes, A. J. Gibbs, I. P. Adams, M. Hajizadeh, J. Kreuze, A. Fox, A. G. Blouin, R. A. C. Jones // Plant Diseases. – 2022. – Vol. 106(2). – P. 691-700. – DOI:10.1094/PDIS-09-21-1897-RE

164. Gilbertson, R. Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses / R.

Gilbertson, O. Batuman, C. G. Webster, S. Adkins // Annual Review of Virology. – 2015. – V. 2. – P. 67–93.

165. Gutiérrez, P. A. Complete genome sequence of a novel Potato virus S strain infecting *Solanum phureja* in Colombia / P. A. Gutiérrez, J. M. Mauricio // Archives of virology. – 2013. – № 158. – DOI: 10.1007/s00705-013-1730-7.

166. Gonzali, S. Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability / S. Gonzali, C. Kiferle, P. Perata // Curr. Opin. Biotechnol. – 2017. – № 44. – P. 16-26. – DOI: 10.1016/j.copbio.2016.10.004

167. Gray, S. Potato virus Y: An Evolving Concern for Potato Crops in the United States and Canada / S. Gray, S. De Boer, J. Lorenzen, A. Karasev, J. Whitworth, P. Nolte [et al.] // Plant Dis. – 2010, Dec 1. – № 94(12). – P. 1384–1397.

168. Guo, Y.-P. Photosynthetic responses of radish (*Paphanus sativus var. longipinnatus*) plants to infection by turnip mosaic virus / Y. -P. Guo, D.-P. Guo, Y. Peng, J.-S. Chen // Photosynthetica. – 2005. – V. 43. – P. 457–462.

169. Hiruki, C. Intracellular location of potato virus S in leaf tissue of *Chenopodium quinoa* / C. Hiruki, P. Shukla // Canadian Journal of Botany. – 1973. – V. 51(9). – P. 1699-1702. – DOI: 10.1139/b73-219

170. Islam, W. Plant insect vector-virus interactions under environmental change / W. Islam, A. Noman, H. Naveed, S. A Alamri, M. Hashem, Z. Huang, H. Y. H Chen // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 701. – P. 135044. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135044

171. Jones, R. Virus disease problems facing potato industries worldwide: viruses found, climate change implications rationalizing virus strain nomenclature and addressing the potato virus Y issue / The Potato, botany, production and uses. Ed. Navarre R. and Pavec M. – Washington State University. – 2014. – P. 202-225

172. Jones, R. A. C. Global Plant Virus Disease Pandemics and Epidemics // Plants (Basel, Switzerland). – 2021. – V. 10(2). – P. 233.

173. Karan, Y. Eradication of PVX, PVY, PVS, PVM and PLRV from Potato by Chemotherapy, Thermootherapy and Their Combinations / Y. Karan, D. C.

Scheuring, A. L. Chappell // Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG). – 2021. – V. 38(3). – P. 117-122. – DOI: <https://DOI.org/10.13002/jafag4787>

174. Karasev, A.V. Continuous and emerging challenges of Potato virus Y in potato / Karasev A.V., Gray S.M. // Annu Rev Phytopathol. – 2013. – V.51. – P. 571-586. DOI:10.1146/annurev-phyto-082712-102332

175. Kehoe, M.A. Improving Potato virus Y strain nomenclature: lessons from comparing isolates obtained over a 73-year period / Kehoe M.A., Jones R.A.C. // Plant Pathol. – 2016. – V.65. – P. 322-333.

176. Kerlan, C. Evolution in potato virus Y: from recombination in the genome to emergence and spreading of variants / C. Kerlan / Proc. 12th EARP Virology Section Meeting, Rennes. – 2004. – P. 26–30.

177. Kiferle C. Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants / Kiferle C., Martinelli M., Salzano A.M., Gonzali S., Beltrami S., et al. // Plant Science. - 2021. – V. 12. – P. 616-868. – DOI: 10.3389/fpls.2021.616868

178. Klein, R. E. Eradication of potato virus X and S from potato shoot-tip cultures with ribavirin / R. E. Klein, C. H. Livingston // Phytopathology. – 1983. – V.73. – P. 1049–1050.

179. Kolychikhina M.S. Change in potato productivity under the impact of viral diseases / Kolychikhina M.S., Beloshapkina O.O. and Phiri C. / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 663 (2021).

180. Kolychikhina M.S. Use of an iodine-based product against potato viruses / Kolychikhina M.S., Beloshapkina O.O. // Инновационные процессы в сельском хозяйстве: Сб. статей VIII Международной научно-практической конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.); на англ. языке. – М.: Издательство «Спутник+», 2016. – С. 31-33.

181. Kreuze, J. F. Viral Diseases in Potato / J. F. Kreuze, J. A. C. Souza-Dias, A. Jeevalatha, A. R. Figueira [et al.] // The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. – Springer. – 2020. – P. 389-430.

182. Krishnareddy, M. Impact of Climate Change on Insect Vectors and Vector-Borne Plant Viruses and Phytoplasma / M. Krishnareddy // *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies*. – 2013. – P. 255-277. – DOI: 10.1007/978-81-322-0974-4_23.
183. Kumar, R. Potato viruses and their diagnostic techniques: An overview / R. Kumar, R. Kumar Tiwari, A. Jeevalatha, P. Kaundal, S. Sharma, S. K. Chakrabarti // *J. Pharmacogn Phytochem*. – 2019. – V. 8(6). – P.1932-1944.
184. Lacomme C. Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management / Lacomme, C., Glais, L., Bellstedt, D.U., Dupuis, B., Karasev, A.V., & Jacquot, E. // *Cambridge International Law Journal*. – 2017. – P 261.
185. Lambert S. J. Strain Characterization of Potato virus S Isolates from Tasmania, Australia / Scott, J. B., Pethybridge, S. J., & Hay, F. S // *Plant Dis*. – 2012. – № 96(6). – P. 813-819. – DOI: 10.1094/PDIS-07-11-0573
186. Li, Y.-Y. Discovery and Characterization of a Novel Carlavirus Infecting Potatoes in China. / Y.-Y. Li, R.-N. Zhang, H.-Y. Xiang [et al.] // *PLoS ONE*. – 2013. -V. 8(6): e69255. – DOI: 10.1371/journal.pone.0069255
187. Lin, Y.-H. Effect of Potato Virus S Infection on Late Blight Resistance in Potato / Y.-Y. Lin, D. A. Johnson, H. R. Pappu // *American Journal of Potato Research*. – 2014. – Vol. 91 (6). – P. 642–648. – DOI:10.1007/s12230-014-9394-8
188. Lindner, K. Potato virus Y (PVY) in Seed Potato Certification / K. Lindner, F. Trautwein, A. Kellermann, G. Bauch // *Journal of Plant Diseases and Protection*. – 2015. – V. 122. – P.109-119. – DOI: 10.1007/BF03356539.
189. Liu, J. Molecular analysis of a divergent isolate of Potato virus H from potato reveals novel evolutionary feature of Carlaviruses / J. Liu, L. Zhang, F. Xu, M. Chai, X. Wu [et al.] // *Canadian Journal of Plant Pathology*. – 2020. – V. 42(1). – P. 116-124. – DOI: 10.1080/07060661.2019.1625947
190. Mahfouze, H. A. Virucidal activity of silver nanoparticles against Banana bunchy top virus (BBTV) in banana plants / H. A. Mahfouze, N. K. El-DougDoug, S. A. Mahfouze // *Bull Natl Res Cent*. – 2020. – V. 44. – P. 199. – DOI: 10.1186/s42269-020-00433-6

191. Mahmoud, S. Y. M. Evaluation of some therapies to eliminate potato Y potyvirus from potato plants / S. Y. M. Mahmoud, M. H. Hossney, M. H. Abdel-Ghaffar // *International Journal of Virology*. – 2009. – V. 5(2). – P. 64–76.
192. Makarova, S. Interactive Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plants to Heat Stress and Infection With Potato Virus Y. / S. Makarova, A. Makhotenko, N. Spechenkova, A. J. Love, N. O. Kalinina, M. Taliansky // *Front. Microbiol.* – 2018. – № 9. – P. 2582. – DOI: 10.3389/fmicb.2018.02582
193. Maksimov, I. V. Mechanisms of Plant Tolerance to RNA Viruses Induced by Plant-Growth-Promoting Microorganisms / I. V. Maksimov, A. V. Sorokan, G. F. Burkhanova, S. V. Veselova, V. Y. Alekseev, M. Y. Shein [et al.] // *Plants*. – 2019. – V. 8:575. – DOI: 10.3390/plants8120575
194. Mani-Lopez, E. Organic acids as antimicrobials to control *Salmonella* in meat and poultry products / E. Mani-Lopez, H. S. García, A. López-Malo // *Food Res. Int.* – 2012. – V. 45. – P. 713–721. – DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.043
195. Mariko, M. A molecular tug-of-war: Global plant proteome changes during viral infection. / M. A. Mariko, C. Michelle // *Current Plant Biology*. – 2016. – V. 5. – P. 13-24. – DOI: 10.1016/j.cpb.2015.10.003.
196. Mathews, R. E. Chemotherapy and plant viruses / R. E. Mathews // *J. Gen. Microbiol.* – 1953. – V. 8(2). – P. 277-288. – DOI: 10.1099/00221287-8-2-277
197. Matoušek, J. Complete nucleotide sequence and molecular probing of Potato virus S genome / J. Matoušek, J. Schubert, J. Ptáček, P. Kozlová, P. Dědič // *Acta Virol.* – 2005. – V. 49. – P. 195–205.
198. Medrano-Macías, J. Use of Iodine to Biofortify and Promote Growth and Stress Tolerance in Crops // J. Medrano-Macías, P. Leija-Martínez, S. González-Morales, A. Juárez-Maldonado, A. Benavides-Mendoza // *Front. Plant Sci.* – 2016. – V. 7. – P. 1146. – DOI: 10.3389/fpls.2016.01146.
199. Mehetre, G. T. Current Developments and Challenges in Plant Viral Diagnostics: A Systematic Review / G. T. Mehetre, V. V. Leo, G. Singh, A. Sorokan, I. Maksimov, M. K. Yadav, K. Upadhyaya, A. Hashem, A. N. Alsaleh, T. M.

Dawoud, K. S. Almaary, B. P. Singh // *Viruses*. – 2021. – V. 13(3): 412. – DOI: <https://doi.org/10.3390/v13030412>

200. Moreno, A. B. When viruses play team sports: mixed infections in plants / A. B. Moreno, J. J. López-Moya // *Phytopathology*. – 2020. – V. 110. – P. 29–48. – DOI: 10.1094/PHYTO-07-19-0250-FI

201. Morgunov, I. G. Application of organic acids for plant protection against phytopathogens / I. G. Morgunov, S. V. Kamzolova, E. G. Dedyukhina [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2016. – V. 101(3). – P. 921–932. – DOI:10.1007/s00253-016-8067-6

202. Moses, W. Effect of thermotherapy duration, virus type and cultivar interactions on elimination of potato viruses X and S in infected seed stocks / W. Moses, K. Rogers, O.-S. Mildred // *Afr. J. Plant Sci.* – 2017. – V. 11(3). – P. 61–70. – DOI: 10.5897/AJPS2016.1497

203. Murphy, A. M. Salicylic acid has cell-specific effects on Tobacco Mosaic virus replication and cell-to-cell movement / A. M. Murphy, J. P. Carr // *Plant Phys.* – 2002. – V. 128. – P. 552–563.

204. Murphyy, P. A. A comparison of some European and American virus diseases of the Potato / P. A. Murphyy, R. M'kay // *R. Dublin Soc. Sci. Proc.* – 1932. – V. 20(27). – P. 347-358.

205. Nasr-Eldin, M. Induction of potato systemic resistance against the potato virus Y (PVY^{NTN}), using crude filtrates of *Streptomyces* spp. under greenhouse conditions / M. Nasr-Eldin, N. Messiha, B. Othman [et al.] // *Egypt J. Biol. Pest Control.* – 2019. – V. 29: 62. – DOI: 10.1186/s41938-019-0165-1

206. Naveed, K. Potato virus Y: An evolving pathogen of potato worldwide / K. Naveed, A. Abbas, L. Amrao // *Pakistan Journal of Phytopathology*. – 2017. – V. 29. – P. 187-191. – DOI: 10.33866/phytopathol.029.01.0310

207. Nyalugwe, E. P. Biological properties of potato virus X in potato: effects of mixed infection with potato virus S and resistance phenotypes in cultivars from three continents / E. P. Nyalugwe, C. R. Wilson, B. A. Coutts, R. A. C. Jones // *Plant Dis.* – 2012. – V. 96. – P. 43–54. – DOI: 10.1094/PDIS-04-11-0305

208. Obidiegwu, Jude E. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement / Jude E. Obidiegwu, G. J. Bryan, H. G. Jones [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2015. – V. 6. – P. 23.
209. Ospankulova, G. Effect of infection of potato plants by Potato virus Y (PVY), Potato virus S (PVS), and Potato virus M (PVM) on content and physicochemical properties of tuber starch. / G. Ospankulova, V. Khassanov, S. Kamanova, D. Toimbayeva, S. Saduakhasova, B. Bulashev, G. Aidarkhanova, Y. Yermekov, L. Murat, B. Shaimenova, M. Muratkhan, W. Li // *Food science & nutrition*. – 2023. – V. 11(7). – P. 4002–4009. – DOI: 10.1002/fsn3.3386
210. Panattoni, A. Review. Elimination of viruses in plants: twenty years of progress / A. Panattoni, A. Luvisi, E. Triolo // *Spanish Journal of Agricultural Research*. – 2013. – V.11(1). – P. 173–188. – DOI: 10.5424/sjar/2013111-3201
211. Plisson, C. Structural characterization of HC-Pro, a plant virus multifunctional protein / C. Plisson, M. Drucker, S. Blanc, S. German-Retana, O. Le Gall, D. Thomas, P. Bron // *J Biol Chem*. – 2003. – V. 278. – P. 23753–23761.
212. Pollari, M. Effects of Poty-Potexvirus Synergism on Growth, Photosynthesis and Metabolite Status of *Nicotiana benthamiana* / M. Pollari, N. Sipari, S. Poque, K. Himanen, K. Mäkinen // *Viruses*. – 2023. – V. 15(1). – P. 121. – DOI: 10.3390/v15010121
213. Pospieszny, H. Induction of antiviral resistance in plants by chitosan / H. Pospieszny, S. Chirkov, J. Atabekov // *Plant Science*. – 1991. – V. 79. – P. 63–68.
214. Pospieszny, H. Inhibition of tobacco mosaic virus (TMV) infection by chitosan / H. Pospieszny // *Phytopath. polonica*. – 1995. – V. 22. – № 10. – P. 69–74.
215. Quenouille, J. Potato virus Y: a major crop pathogen that has provided major insights into the evolution of viral pathogenicity / J. Quenouille, N. Vassilakos, B. Moury // *Mol. Plant Pathol*. – 2013. – V. 14(5). – P. 439-452. – DOI:10.1111/mpp.12024.

216. Radcliffe, E. B. Aphid-transmitted potato viruses: The importance of understanding vector biology / E. B. Radcliffe, D. W. Ragsdale // *American Journal Potato Research*. – 2002. – Vol. 79. – P. 353–386. – DOI: 10.1007/BF02870173
217. Reichmann, J. L. Highlights and prospects of potyvirus molecular biology / J. L. Reichmann, S. Lain, J. A. Garcia // *Journal of General Virology*. – 1992. – Vol. 73. – P. 1–16.
218. Rogozina, E. V. Potato mosaic viruses which infect plants of tuber-bearing *Solanum spp.* growing in the VIR field gene bank / E. V. Rogozina, N. V. Mironenko, N. A. Chalaya, Y. Matsushita, H. Yanagisawa // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. – 2019. – V. 23. – P. 304–311.
219. Rosenberg, N. Antiviral activity of natural and recombination human leucocyte interferons in tobacco protoplasts / N. Rosenberg, M. Reichman, A. Gera, A. Weisback, I. Sela // *Virology*. – 1985. – V.140. – № 1. – P. 173–178.
220. Senanayake, D. M. J. B. Expression of symptoms, viral coat protein and silencing suppressor gene during mixed infection of a N–Wi strain of potato virus Y and an asymptomatic strain of potato virus X / D. M. J. B. Senanayake, B. Mandal // *Virus Diseases*. – 2014. – V. 25(3). – P. 314–321. – DOI: 10.1007/s13337-014-0204-1.
221. Šindelářová, M. Changes in key enzymes of viral-RNA biosynthesis in chloroplasts from PVY and TMV infected tobacco plants / M. Šindelářová, L. Šindelář, N. Wilhelmová, D. Procházková // *Biologia plantarum*. – 2005. – V. 49(3). – P. 471–474. – DOI: 10.1007/s10535-005-0032-7
222. Stare, T. Comparison between Proteome and Transcriptome Response in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Leaves Following Potato Virus Y (PVY) Infection / T. Stare, K. Stare, W. Weckwerth, S. Wienkoop, K. Gruden // *Proteomes*. – 2017. – Sep. 5(3). – P. 14.
223. Topkaya, S. Molecular Analysis of the Global Population of Potato Virus S Redefines Its Phylogeny, and Has Crop Biosecurity Implications / S. Topkaya, A. Celik, A. I. Santosa, R. A. C. // *Viruses*. – 2023. – V. 15(5). – P. 1104. – DOI: 10.3390/v15051104

224. Torrance, L. Potato Virus Y Emergence and Evolution from the Andes of South America to Become a Major Destructive Pathogen of Potato and Other Solanaceous Crops Worldwide / L. Torrance, M. E. Talianksy // *Viruses*. – 2020. – V. 12. – P. 1430. – DOI: 10.3390/v12121430
225. Tsedaley, B. A review paper on Potato virus Y (PVY) biology, economic importance and its managements / B. Tsedaley // *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. – 2015. – V. 5. – P. 110-126.
226. Tu, Y. Potato virus Y HC-Pro Reduces the ATPase Activity of NtMinD, Which Results in Enlarged Chloroplasts in HC-Pro Transgenic Tobacco / Y. Tu, Z. Zhang, D. Li, H. Li, J. Dong, T. Wang // *PloS One*. – 2015. – V. 10. – DOI: e0136210. 10.1371/journal.pone.0136210.
227. Vargas-Hernandez, M. Nanoparticles as Potential Antivirals in Agriculture / M. Vargas-Hernandez, I. Macias-Bobadilla, R. G. Guevara-Gonzalez, E. Rico-Garcia [et al.] // *Agriculture*. – 2020. – V. 10(10). – P.444. – DOI: <https://DOI.org/10.3390/agriculture10100444>
228. Varma, A. Diagnosis of plant virus diseases / A. Varma, M. K. Singh // *Applied Plant Virology*. – 2020. – P. 79–92. – DOI: <https://DOI.org/10.1016/b978-0-12-818654-1.00006-2>
229. Verchot, J. Potato virus X: A global potato-infecting virus and type member of the Potexvirus genus / J. Verchot // *Molecular plant pathology*. – 2022. – V. 23(3). – P. 315–320. – DOI: 10.1111/mpp.13163
230. Vicente, M. Inhibition of plant viruses by human gamma interferon / M. Vicente, G. De Fasio, M. E. Menezec, R. R. Golgher // *Phytopathology Z*. – 1987. – V.119. – № 1. – P. 25–31.
231. Vreugdenhil, D. Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives / D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers [et al]. – Elsevier, Oxford, Amsterdam, 2007. – 856 p. ISBN-13: 978-0-444- 51018-1
232. Wang, C. Antibacterial mechanism of lactic acid on physiological and morphological properties of Salmonella Enteritidis, Escherichia coli and Listeria

monocytogenes / C. Wang, T. Chang, H. Yang, M. Cui // *Food Control*. – 2015. – V. 47. – P.231–236. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.06.034

233. Wang, Q. Cryotherapy of Potato Shoot Tips for Efficient Elimination of Potato Leafroll Virus (PLRV) and Potato Virus Y (PVY) / Q. Wang, Y. Liu, Y. Xie, M. You // *Potato Research*. – 2006. – V. 49. – P. 119-129. – DOI: 10.1007/s11540-006-9011-4.

234. Warren, M. Potato virus Y (PVY) and potato leafroll virus (PLRV) / M. Warren, K. Kruger, A. S. Schoeman // *Literature review for potatoes South Africa*. – Pretoria, University of Pretoria. – 2005. – P. 3-16.

235. Webster, C. G. Diagnosis of plant viral pathogens / C. G. Webster, S. J. Wylie, M. G. K. Jones // *Current Science*. – 2004. – V. 86(12). – P. 1604–1607.

236. Whitfield, A. E. Insect vector-mediated transmission of plant viruses / A. E. Whitfield, B. W. Falk, D. Rotenberg // *Virology*. – 2015. – V. 480. – P. 278–289.

237. Whitworth, J. L. Distribution of Potato virus Y Strains in Tubers during the Post-Harvest Period / J. L. Whitworth, P. B. Hamm, P. Nolte // *Am. J. Pot. Res.* – 2012. – V. 89. – P. 136–141. – DOI: 10.1007/s12230-012-9235-6

238. Xu, H. Genomic variability in Potato virus M and the development of RT-PCR and RFLP procedures for the detection of this virus in seed potatoes / H. Xu, J. D'Aubin, J. Nie // *Virol. J.* – 2010. – V. 7. – P. 25.

239. Zhao, W. A Reduced Starch Level in Plants at Early Stages of Infection by Viruses Can Be Considered a Broad-Range Indicator of Virus Presence / W. Zhao, L. Wang, M. Liu, D. Zhang, I. B. Andika, Y. Zhu, L. Sun // *Viruses*. – 2022, May 28. – V. 14(6). – P.1176. – DOI: 10.3390/v14061176.

240. Zhou, Y. H. Effects of potato virus Y^{NTN} infection on gas exchange and Photosystem II function in leaves of *Solanum tuberosum* L. / Y. H. Zhou, Y. H. Peng, J. L. Lei, L. Y. Zou, J. H. Zheng, J. Q. Yu // *Photosynthetica*. – 2004. – V. 42. – P. 417–423.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Даты наступления и продолжительность (дни) межфазных периодов картофеля сортов Ред Скарлетт, Адретта, Ильинский в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Сорт	Посадка – всходы	Всходы – бутонизация	Бутонизация – цветение	Цветение – уборка урожая	Вегетационный период
Ред Скарлетт	12.05-02.06	02.06-23.06	23.06-01.07	01.07-13.08	93
	21	21	8	43	
Адретта	12.05-03.06	03.06-25.06	25.06-02.07	02.07-16.08	96
	22	22	7	45	
Ильинский	12.05-03.06	03.06-24.06	24.06-02.07	02.07-16.08	98
	22	21	8	47	
2015 г.					
Ред Скарлетт	18.05-09.06	09.06-01.07	01.07-09.07	09.07-23.08	97
	22	22	8	45	
Адретта	18.05-09.06	09.06-30.06	30.06-08.07	08.07-22.08	96
	22	21	8	45	
Ильинский	18.05-08.06	08.06-01.07	01.07-08.07	08.07-22.08	96
	21	23	7	45	
2016 г.					
Ред Скарлетт	23.05-14.06	14.06-04.07	04.07-12.07	12.07-24.08	94
	22	20	8	44	
Адретта	23.05-15.06	15.06-05.07	05.07-14.07	14.07-27.08	96
	23	21	9	43	
Ильинский	23.05-14.06	14.06-06.07	06.07-14.07	14.07-29.08	98
	22	22	8	46	
2017 г.					
Ред Скарлетт	21.05-16.06	16.06-08.07	08.07-16.07	16.07-02.09	104
	26	22	9	47	

Адретта	21.05-15.06	15.06-06.07	06.07-15.07	15.07-29.08	100
	25	21	9	45	
Ильинский	21.05-17.06	17.06-08.07	08.07-15.07	15.07-31.08	102
	27	21	7	47	
2018 г.					
Ред Скарлетт	28.05-27.06	27.06-21.07	21.07-29.07	29.07-09.09	104
	30	24	7	43	
Адретта	28.05-27.06	27.06-19.07	19.07-26.07	26.07-07.09	102
	30	22	7	43	
Ильинский	28.05-28.06	28.06-20.07	20.07-27.07	27.07-10.09	105
	31	22	7	45	
2019 г.					
Ред Скарлетт	21.05-12.06	12.06-03.07	03.07-10.07	10.07-20.08	91
	22	21	7	41	
Адретта	21.05-13.06	13.06-04.07	04.07-11.07	11.07-24.08	95
	23	21	7	44	
Ильинский	21.05-13.06	13.06-05.07	05.07-14.07	14.07-29.08	100
	23	23	9	45	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Даты наступления и продолжительность (дни) межфазных периодов картофеля сорта Рамос, Липецкая область, 2015-2016 гг.

2015 г.	Посадка – всходы 06.05-23.05	Всходы – бутонизация 23.05-20.06	Бутонизация – цветение 20.06-30.06	Цветение – уборка урожая 30.06-11.08	Вегетационный период
	20	26	12	39	97
2016 г.	Посадка – всходы 11.05-03.06	Всходы – бутонизация 03.06-25.06	Бутонизация – цветение 25.06-04.07	Цветение – уборка урожая 04.07-17.08	Вегетационный период
	23	22	9	44	98

Даты наступления и продолжительность (дни) межфазных периодов картофеля сорта Импала, Астраханская область, 2016 г.

2016 г.	Посадка – всходы 15.07-02.08	Всходы – бутонизация 02.08-19.08	Бутонизация – цветение 19.08-30.08	Цветение – уборка урожая 30.08-05.10	Вегетационный период
	19	17	11	36	83

Даты наступления и продолжительность (дни) межфазных периодов картофеля сорта ВР 808, Московская область, 2018 г.

2018 г.	Посадка – всходы 09.05-01.06	Всходы – бутонизация 01.06-15.06	Бутонизация – цветение 15.06-26.06	Цветение – уборка урожая 26.06-23.08	Вегетационный период
	23	14	11	58	106

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты ИФА листовых проб референсных растений сорта Ред Скарлетт, зараженного Y-вирусом картофеля, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Год исследований	2014 г.					
Вариант опыта	№ пробы	ОП* до начала обработок	ОП после 1-й обработки	ОП после 2-й обработки	ОП после 3-й обработки	% снижения
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,461	0,398	0,273	0,157	65,9
	2	0,430	0,370	0,269	0,134	68,8
Фармайод 0,3 л/га	3	0,452	0,364	0,211	0,102	77,4
	4	0,395	0,267	0,154	0,095	75,9
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,410	0,375	0,316	0,214	47,8
	6	0,400	0,359	0,298	0,179	55,3
Контроль	7	0,406	0,479	0,524	0,602	+48,3
	8	0,419	0,451	0,509	0,617	+47,3
Год исследований	2015 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,501	0,473	0,362	0,193	61,5
	2	0,496	0,382	0,319	0,167	66,3
Фармайод 0,3 л/га	3	0,574	0,481	0,324	0,129	77,5
	4	0,615	0,507	0,370	0,156	74,6
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,530	0,492	0,381	0,226	57,4
	6	0,524	0,487	0,393	0,251	52,1
Контроль	7	0,476	0,528	0,614	0,681	-43,1
	8	0,534	0,571	0,609	0,692	-29,6

* ОП – значение оптической плотности образца, полученное на спектрофотометре АИФР «Униплан» при длине волны 492 нм

Год исследований	2016 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,356	0,251	0,150	0,091	74,4
	2	0,362	0,248	0,172	0,082	77,3
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,370	0,302	0,256	0,151	59,2
	4	0,371	0,298	0,261	0,174	53,1
Амулет 0,36 кг/га	5	0,405	0,392	0,350	0,277	31,6
	6	0,338	0,301	0,283	0,241	28,7
Экогель 3,0 л/га	7	0,355	0,305	0,280	0,257	27,6
	8	0,372	0,298	0,279	0,249	33,1
Контроль	9	0,394	0,419	0,462	0,519	+31,7
	10	0,355	0,413	0,471	0,511	+43,9
Год исследований	2017 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,470	0,342	0,257	0,116	75,3
	2	0,458	0,339	0,219	0,092	79,9
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,415	0,374	0,284	0,197	52,5
	4	0,397	0,321	0,265	0,189	52,4
Амулет 0,36 кг/га	5	0,369	0,341	0,291	0,255	30,9
	6	0,402	0,383	0,306	0,272	32,3
Экогель 3,0 л/га	7	0,416	0,395	0,316	0,281	32,5
	8	0,408	0,389	0,303	0,279	31,6
Контроль	9	0,362	0,423	0,495	0,542	+49,7
	10	0,388	0,460	0,499	0,569	+46,6

Год исследований	2018 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,566	0,459	0,316	0,138	75,6
	2	0,545	0,433	0,304	0,142	73,9
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,568	0,509	0,476	0,267	53,0
	4	0,531	0,488	0,407	0,275	48,2
Зерокс 3,0 л/га	5	0,519	0,475	0,398	0,319	38,5
	6	0,528	0,489	0,406	0,333	36,9
Вирон 0,45 л/га	7	0,498	0,456	0,402	0,385	22,7
	8	0,517	0,486	0,416	0,397	23,2
Контроль	9	0,506	0,561	0,605	0,638	+26,1
	10	0,503	0,559	0,597	0,654	+30,0
Год исследований	2019 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,622	0,459	0,316	0,110	82,3
	2	0,653	0,433	0,304	0,119	81,8
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,615	0,509	0,476	0,306	50,2
	4	0,599	0,488	0,407	0,278	53,6
Зерокс 3,0 л/га	5	0,631	0,475	0,398	0,419	33,6
	6	0,565	0,489	0,406	0,411	27,3
Вирон 0,45 л/га	7	0,614	0,580	0,523	0,495	19,4
	8	0,617	0,586	0,518	0,495	19,8
Контроль	9	0,598	0,622	0,659	0,771	+28,9
	10	0,606	0,638	0,698	0,763	+25,9

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты ИФА листовых проб референсных растений сорта Адретта, зараженного М-вирусом картофеля, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Год исследований	2014 г.					
Вариант опыта	№ пробы	ОП* до начала обработок	ОП после 1-й обработки	ОП после 2-й обработки	ОП после 3-й обработки	% снижения
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,339	0,241	0,195	0,132	61,1
	2	0,328	0,233	0,189	0,137	58,2
Фармайод 0,3 л/га	3	0,312	0,222	0,179	0,106	66,0
	4	0,358	0,254	0,206	0,115	67,9
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,385	0,312	0,278	0,256	33,5
	6	0,372	0,301	0,268	0,263	29,3
Контроль	7	0,366	0,436	0,553	0,502	+37,2
	8	0,374	0,445	0,565	0,498	+33,2
Год исследований	2015 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,365	0,259	0,210	0,152	58,4
	2	0,344	0,244	0,198	0,149	56,7
Фармайод 0,3 л/га	3	0,369	0,262	0,212	0,125	66,1
	4	0,405	0,288	0,233	0,131	67,7
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,329	0,266	0,237	0,198	39,8
	6	0,317	0,257	0,229	0,183	42,3
Контроль	7	0,322	0,383	0,452	0,499	+55,0
	8	0,351	0,418	0,493	0,519	+47,9

* ОП – значение оптической плотности образца, полученное на спектрофотометре АИФР «Униплан» при длине волны 492 нм

Год исследований	2016 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,557	0,395	0,320	0,176	68,4
	2	0,438	0,311	0,252	0,164	62,6
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,412	0,334	0,297	0,249	39,6
	4	0,403	0,326	0,291	0,246	39,0
Амулет 0,36 кг/га	5	0,375	0,341	0,304	0,289	22,9
	6	0,369	0,336	0,299	0,293	20,6
Экогель 3,0 л/га	7	0,349	0,314	0,280	0,276	20,9
	8	0,358	0,322	0,287	0,264	26,3
Контроль	9	0,410	0,472	0,528	0,597	+45,5
	10	0,363	0,417	0,468	0,519	+43,0
Год исследований	2017 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,446	0,317	0,256	0,126	71,7
	2	0,481	0,342	0,277	0,141	70,7
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,415	0,336	0,299	0,239	42,4
	4	0,399	0,323	0,288	0,254	36,3
Амулет 0,36 кг/га	5	0,428	0,389	0,347	0,315	26,4
	6	0,412	0,375	0,334	0,307	25,5
Экогель 3,0 л/га	7	0,413	0,372	0,331	0,302	26,9
	8	0,415	0,374	0,332	0,319	23,1
Контроль	9	0,369	0,424	0,475	0,542	+46,8
	10	0,371	0,427	0,478	0,540	+45,5

Год исследований	2018 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,523	0,371	0,301	0,182	65,2
	2	0,516	0,366	0,297	0,176	65,9
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,509	0,412	0,367	0,304	40,3
	4	0,468	0,379	0,337	0,293	37,4
Зерокс 3,0 л/га	5	0,514	0,468	0,416	0,392	23,7
	6	0,531	0,483	0,430	0,406	23,5
Вирон 0,45 л/га	7	0,497	0,447	0,398	0,347	30,2
	8	0,493	0,444	0,395	0,369	25,2
Контроль	9	0,516	0,593	0,665	0,738	+43,0
	10	0,524	0,603	0,675	0,736	+40,4
Год исследований	2019 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,402	0,285	0,231	0,127	68,4
	2	0,399	0,283	0,229	0,134	66,4
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,367	0,297	0,265	0,241	34,3
	4	0,354	0,287	0,255	0,213	39,8
Зерокс 3,0 л/га	5	0,400	0,364	0,324	0,299	25,3
	6	0,347	0,316	0,281	0,258	25,6
Вирон 0,45 л/га	7	0,412	0,371	0,330	0,319	22,6
	8	0,409	0,368	0,328	0,301	26,4
Контроль	9	0,396	0,455	0,510	0,571	+44,3
	10	0,426	0,490	0,549	0,593	+39,1

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты ИФА листовых проб референсных растений сорта Ильинский, зараженного S-вирусом картофеля, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Год исследований	2014 г.					
Вариант опыта	№ пробы	ОП* до начала обработок	ОП после 1-й обработки	ОП после 2-й обработки	ОП после 3-й обработки	% снижения
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,379	0,371	0,365	0,359	5,3
	2	0,344	0,337	0,331	0,326	5,2
Фармайод 0,3 л/га	3	0,362	0,351	0,341	0,336	7,2
	4	0,349	0,338	0,329	0,323	7,4
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,361	0,359	0,350	0,344	4,8
	6	0,337	0,335	0,327	0,321	4,8
Контроль	7	0,380	0,437	0,468	0,517	+36,0
	8	0,319	0,367	0,393	0,429	+34,6
Год исследований	2015 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,15 л/га	1	0,405	0,396	0,390	0,382	5,6
	2	0,399	0,391	0,384	0,376	5,7
Фармайод 0,3 л/га	3	0,415	0,402	0,391	0,381	8,2
	4	0,419	0,406	0,395	0,384	8,4
Иммуноцитифит 0,5 г/га	5	0,421	0,418	0,408	0,400	4,9
	6	0,387	0,385	0,375	0,369	4,7
Контроль	7	0,430	0,495	0,529	0,590	+37,2
	8	0,379	0,436	0,466	0,512	+35,1

* ОП – значение оптической плотности образца, полученное на спектрофотометре АИФР «Униплан» при длине волны 492 нм

Год исследований	2016 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,392	0,380	0,370	0,353	10,1
	2	0,369	0,358	0,348	0,331	10,2
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,405	0,403	0,393	0,381	6,0
	4	0,365	0,363	0,354	0,344	5,7
Амулет 0,36 кг/га	5	0,391	0,389	0,380	0,370	5,3
	6	0,362	0,361	0,353	0,344	5,0
Экогель 3,0 л/га	7	0,378	0,375	0,365	0,355	6,0
	8	0,401	0,399	0,385	0,375	6,6
Контроль	9	0,387	0,445	0,476	0,532	+37,6
	10	0,397	0,457	0,489	0,552	+38,9
Год исследований	2017 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,465	0,451	0,438	0,414	11,0
	2	0,439	0,425	0,414	0,386	12,1
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,399	0,397	0,387	0,371	7,0
	4	0,429	0,426	0,416	0,392	8,6
Амулет 0,36 кг/га	5	0,451	0,449	0,439	0,423	6,3
	6	0,432	0,431	0,422	0,409	5,2
Экогель 3,0 л/га	7	0,412	0,409	0,398	0,379	7,9
	8	0,430	0,428	0,413	0,396	7,9
Контроль	9	0,410	0,472	0,505	0,585	+42,6
	10	0,428	0,492	0,527	0,597	+39,5

Год исследований	2018 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,336	0,326	0,317	0,301	10,3
	2	0,338	0,328	0,319	0,302	10,7
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,345	0,343	0,334	0,324	6,1
	4	0,325	0,323	0,315	0,303	6,7
Зерокс 3,0 л/га	5	0,390	0,388	0,380	0,373	4,3
	6	0,361	0,360	0,352	0,346	4,2
Вирон 0,45 л/га	7	0,327	0,326	0,320	0,318	2,7
	8	0,342	0,341	0,336	0,335	2,0
Контроль	9	0,334	0,384	0,411	0,472	+41,4
	10	0,379	0,436	0,466	0,543	+43,2
Год исследований	2019 г.					
1	2	3	4	5	6	7
Фармайод 0,3 л/га	1	0,442	0,428	0,417	0,395	10,5
	2	0,507	0,491	0,478	0,448	11,7
Иммуноцитифит 0,5 г/га	3	0,491	0,488	0,476	0,456	7,1
	4	0,425	0,422	0,412	0,397	6,7
Зерокс 3,0 л/га	5	0,496	0,494	0,483	0,473	4,5
	6	0,506	0,504	0,494	0,480	5,2
Вирон 0,45 л/га	7	0,506	0,504	0,496	0,492	2,8
	8	0,421	0,420	0,414	0,411	2,3
Контроль	9	0,463	0,532	0,570	0,631	+36,2
	10	0,468	0,538	0,576	0,661	+41,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Влияние противовирусных препаратов на урожайность (кг/м²) зараженных вирусами растений картофеля сортов Ред Скарлетт, Адретта, Ильинский в мелкоделяночных полевых опытах, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014-2019 гг.

Вариант опыта	Сорт Ред Скарлетт (PVY)					
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Фармайод, ГР 0,15 л/га	2,57	2,85	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	2,87	3,01	2,96	2,78	3,09	3,16
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	2,45	2,58	2,27	2,12	2,73	2,61
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	2,64	1,55	-	-
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	2,34	1,64	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	2,47	2,44
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	2,48	2,46
Контроль – вода	1,51	2,35	1,93	1,36	1,20	1,06
Вариант опыта	Сорт Адретта (PVM)					
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Фармайод, ГР 0,15 л/га	3,98	4,22	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	4,41	4,47	4,52	3,63	4,56	4,31
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	3,39	3,52	3,86	4,14	3,68	3,34
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	4,05	3,06	-	-
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	4,15	3,03	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	3,41	3,35
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	3,68	3,59
Контроль – вода	3,03	3,53	3,29	2,73	2,34	2,16
Вариант опыта	Сорт Ильинский (PVS)					
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Фармайод, ГР 0,15 л/га	2,38	2,76	-	-	-	-
Фармайод, ГР 0,3 л/га	2,86	3,01	4,1	3,15	2,51	2,29
Иммуноцитифит, ТАБ 0,5 г/га	2,13	2,41	3,82	2,79	2,35	2,15
Экогель, ВР 3 л/га	-	-	3,62	2,22	-	-
Амулет, ТАБ 0,36 кг/га	-	-	3,75	2,37	-	-
Зерокс, ВКР 3 л/га	-	-	-	-	2,21	2,17
Вирон, ВР 0,45 л/га	-	-	-	-	2,31	2,06
Контроль – вода	1,80	2,15	1,46	1,40	1,15	1,10

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результаты ИФА листовых проб растений сорта Рамос, фаза полных всходов, Липецкая область, 2015 г.

№ пробы п/п	PVM			PVS			PVY			PVX		
	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**
1	0,248	2,70	+-	0,098	1,72	-	0,097	1,70	-	0,084	1,47	-
2	1,983	21,55	+	0,070	1,23	-	0,102	1,79	-	0,090	1,58	-
3	0,269	2,92	+-	0,234	4,11	+	0,093	1,63	-	0,094	1,65	-
4	0,171	1,86	-	0,085	1,49	-	0,096	1,68	-	0,080	1,40	-
5	1,487	16,16	+	0,087	1,53	-	0,408	4,43	+	0,094	1,65	-
6	0,152	1,65	-	0,530	9,30	+	0,296	3,22	+	0,093	1,63	-
7	0,231	2,51	+-	0,355	6,23	+	0,321	3,49	+	0,121	2,12	+-
8	0,162	1,76	-	0,142	2,49	+-	0,581	6,32	+	0,120	2,11	+-
9	0,132	1,43	-	0,272	4,77	+	0,089	1,56	-	0,089	1,56	-
10	0,203	2,21	+-	0,089	1,56	-	0,090	1,58	-	0,095	1,67	-
11	1,142	12,41	+	0,068	1,19	-	0,102	1,79	-	0,071	1,25	-
12	1,239	13,47	+	0,086	1,51	-	0,331	3,60	+	0,113	1,98	-
13	0,882	9,59	+	0,071	1,25	-	1,285	13,97	+	0,092	1,61	-
14	1,273	13,84	+	0,150	2,63	+-	1,540	16,74	+	0,123	2,16	+-
15	0,225	2,45	+-	0,127	2,23	+-	1,457	15,84	+	0,102	1,79	-
16	0,193	2,10	+-	0,084	1,47	-	1,397	15,18	+	0,093	1,63	-
17	0,235	2,55	+-	0,193	3,39	+	1,289	14,01	+	0,070	1,23	-
18	1,467	15,95	+	0,070	1,23	-	0,680	7,39	+	0,075	1,32	-
19	1,832	19,91	+	0,129	2,26	+-	1,026	11,15	+	0,086	1,51	-
20	0,926	10,07	+	0,080	1,40	-	0,165	1,79	-	0,083	1,46	-
21	0,926	10,07	+	0,090	1,58	-	0,138	1,50	-	0,094	1,65	-
22	0,680	7,39	+	0,069	1,21	-	0,361	3,92	+	0,079	1,39	-
23	1,026	11,15	+	0,114	2,00	+-	0,157	1,71	-	0,096	1,68	-
24	0,111	1,21	-	0,097	1,70	-	0,183	1,99	-	0,076	1,33	-
25	0,331	3,60	+	0,102	1,79	-	0,124	1,35	-	0,102	1,79	-

Положительный контроль: PVM – 1,006, PVY – 0,962, PVS – 1,008, PVX – 0,997
Отрицательный контроль – 0,079

Результаты ИФА листовых проб растений сорта Рамос, фаза полных всходов, Липецкая область, 2016 г.

№ пробы п/п	PVM			PVS			PVY			PVX		
	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**
1	1,285	13,97	+	0,093	1,63	-	0,329	3,58	+	0,085	1,49	-
2	1,540	16,74	+	0,096	1,68	-	0,263	2,86	+-	0,079	1,39	-
3	1,457	15,84	+	0,089	1,56	-	0,384	4,17	+	0,093	1,63	-
4	1,397	15,18	+	0,090	1,58	-	0,306	3,33	+	0,081	1,42	-
5	1,289	14,01	+	0,102	1,79	-	0,260	2,83	+-	0,075	1,32	-
6	0,268	2,91	+-	0,134	2,35	+-	0,249	2,71	+-	0,089	1,56	-
7	0,195	2,12	+-	0,091	1,60	-	0,253	2,75	+-	0,084	1,47	-
8	0,253	2,75	+-	0,137	2,40	+-	0,228	2,48	+-	0,095	1,67	-
9	0,301	3,27	+	0,109	1,91	-	0,300	3,26	+	0,093	1,63	-
10	0,361	3,92	+	0,118	2,07	c	0,281	3,05	+	0,084	1,47	-
11	0,165	1,79	-	0,097	1,70	-	0,197	2,14	+-	0,089	1,56	-
12	0,138	1,50	-	0,569	9,98	+	0,312	3,39	+	0,072	1,26	-
13	0,157	1,71	-	0,102	1,79	-	0,179	1,95	-	0,080	1,40	-
14	0,183	1,99	-	0,120	2,11	+-	0,431	4,68	+	0,076	1,33	-
15	0,124	1,35	-	0,117	2,05	+-	0,183	1,99	-	0,071	1,25	-
16	0,209	2,27	+-	0,116	2,04	+-	0,296	3,22	+	0,095	1,67	-
17	0,224	2,43	+-	0,118	2,07	+-	0,272	2,96	+-	0,093	1,63	-
18	0,123	1,34	-	0,089	1,56	-	0,201	2,18	+-	0,083	1,46	-
19	0,457	4,97	+	0,141	2,47	+-	0,207	2,25	+-	0,097	1,70	-
20	0,175	1,90	-	0,090	1,58	-	0,312	3,39	+	0,093	1,63	-
21	0,299	3,25	+	0,352	6,18	+	0,238	2,59	+-	0,113	1,98	-
22	0,147	1,60	-	0,084	1,47	-	0,297	3,23	+	0,082	1,44	-
23	0,906	9,85	+	1,672	29,33	+	0,271	2,95	+-	0,083	1,46	-
24	1,755	19,08	+	0,174	3,05	+	0,255	2,77	+-	0,080	1,40	-
25	0,600	6,52	+	0,137	2,40	+-	0,323	3,51	+	0,078	1,37	-
Положительный контроль – PVM – 1,215, PVY – 1,062, PVS – 0,898, PVX – 1,117												
Отрицательный контроль – 0,092												

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Результаты ИФА листовых проб растений сорта Импала, фаза полных всходов, Астраханская область, 2016 г.

№ пробы п/п	PVM			PVS			PVY			PVX		
	X*А ₀	А ₀ /А _К	**	X*А ₀	А ₀ /А _К	**	X*А ₀	А ₀ /А _К	**	X*А ₀	А ₀ /А _К	**
1	0,259	3,05	+	0,235	2,76	+-	0,274	3,22	+	0,095	1,67	-
2	0,283	3,33	+	0,216	2,54	+-	0,263	3,09	+	0,093	1,63	-
3	0,223	2,62	+-	0,237	2,79	+-	0,282	3,32	+	0,083	1,46	-
4	0,249	2,93	+-	0,226	2,66	+-	0,251	2,95	+-	0,097	1,70	-
5	0,226	2,66	+-	0,226	2,66	+-	0,326	3,84	+	0,093	1,63	-
6	0,301	3,54	+	0,903	10,62	+	0,925	10,88	+	0,113	1,98	-
7	0,362	4,26	+	0,461	5,42	+	0,367	4,32	+	0,082	1,44	-
8	0,434	5,11	+	0,239	2,81	+-	0,261	3,07	+	0,079	1,39	-
9	0,261	3,07	+	0,257	3,02	+	0,294	3,46	+	0,096	1,68	-
10	0,263	3,09	+	0,223	2,62	+-	0,257	3,02	+	0,073	1,28	-
11	0,265	3,12	+	0,279	3,28	+	0,511	6,01	+	0,072	1,26	-
12	0,353	4,15	+	0,391	4,60	+	0,354	4,16	+	0,072	1,26	-
13	0,234	2,75	+-	0,355	4,18	+	0,174	2,05	+-	0,083	1,46	-
14	0,239	2,81	+-	0,248	2,92	+-	0,189	2,22	+-	0,080	1,40	-
15	0,222	2,61	+-	0,295	3,47	+	0,223	2,62	+-	0,078	1,37	-
16	0,259	3,05	+	0,235	2,76	+-	0,315	3,71	+	0,095	1,67	-
17	0,283	3,33	+	0,216	2,54	+-	0,156	1,84	-	0,093	1,63	-
18	0,223	2,62	+-	0,237	2,79	+-	0,149	1,75	-	0,084	1,47	-
19	0,319	3,75	+	0,155	1,82	-	0,358	4,21	+	0,089	1,56	-
20	0,126	1,48	-	0,161	1,89	-	0,089	1,05	-	0,072	1,26	-
21	0,129	1,52	-	0,154	1,81	-	0,075	0,88	-	0,080	1,40	-
22	0,221	2,60	+-	0,098	1,15	-	0,116	1,36	-	0,076	1,33	-
23	0,123	1,45	-	0,215	2,53	+-	0,174	2,05	+-	0,071	1,25	-
24	0,115	1,35	-	0,155	1,82	-	0,189	2,22	+-	0,097	1,70	-
25	0,319	3,75	+	0,161	1,89	-	0,223	2,62	+-	0,093	1,63	-
Положительный контроль – PVM – 0,915, PVY – 1,002, PVS – 1,198, PVX – 1,107 Отрицательный контроль – 0,085												

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Результаты ИФА посадочного материала (клубни) растений сорта ВР 808, Московская область, 2018 г.

№ пробы п/п	PVY			№ пробы п/п	PVY		
	X*А ₀	А ₀ /А _К	**		X*А ₀	А ₀ /А _К	**
1	0,261	4,21	+	26	0,129	1,90	-
2	0,08	1,29	-	27	0,132	1,82	-
3	0,118	1,90	-	28	0,11	1,80	-
4	0,145	2,37	+ -	29	0,115	1,89	-
5	0,069	1,11	-	30	0,265	4,34	+
6	0,302	4,87	+	31	0,304	4,98	+
7	0,164	2,69	+ -	32	0,101	1,64	-
8	0,128	2,10	+ -	33	0,119	1,95	-
9	0,079	1,27	-	34	0,107	1,75	-
10	0,089	1,44	-	35	0,314	5,15	+
11	0,294	4,74	+	36	0,163	2,67	+ -
12	0,204	3,29	+	37	0,154	2,52	+ -
13	0,083	1,34	-	38	0,096	1,57	-
14	0,078	1,26	-	39	0,251	4,11	+
15	0,079	1,27	-	40	0,273	4,48	+
16	0,081	1,31	-	41	0,277	4,54	+
17	0,061	0,98	-	42	0,082	1,34	-
18	0,164	2,65	+ -	43	0,082	1,34	-
19	0,068	1,10	-	44	0,197	3,23	+
20	0,244	3,94	+	45	0,102	1,67	-
21	0,082	1,32	-	46	0,115	1,89	-
22	0,152	2,45	+ -	47	0,207	3,39	+
23	0,171	2,76	+ -	48	0,117	1,92	-
24	0,062	1,00	-	49	0,321	5,26	+
25	0,207	3,34	+	50	0,079	0,93	-
Положительный контроль – 1,001							
Отрицательный контроль – 0,068							

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Результаты ИФА листовых проб растений сорта ВР 808, Московская область, 2018 г.

№ пробы п/п	После 3-й обработки						После 4-й обработки					
	Фармайод			Контроль			Фармайод			Контроль		
	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**	X*А _о	А _о /А _к	**
1	0,215	3,65	+	0,159	2,61	+/-	0,115	1,89	-	0,391	6,41	+
2	0,124	2,10	+/-	0,172	2,82	+/-	0,110	1,80	-	0,374	6,13	+
3	0,150	2,54	+/-	0,11	1,80	-	0,173	2,84	+/-	0,328	5,38	+
4	0,090	1,52	-	0,115	1,89	-	0,101	1,66	-	0,171	2,81	+/-
5	0,293	4,97	+	0,265	4,34	+	0,093	1,52	-	0,053	0,87	-
6	0,287	4,86	+	0,304	4,98	+	0,188	3,09	+	0,262	4,30	+
7	0,365	6,19	+	0,161	2,64	+/-	0,120	1,97	-	0,151	2,48	+/-
8	0,067	1,14	-	0,119	1,95	-	0,097	1,59	-	0,128	2,10	+/-
9	0,101	1,72	-	0,107	1,75	-	0,097	1,59	-	0,067	1,10	-
10	0,077	1,30	-	0,314	5,15	+	0,111	1,82	-	0,245	4,02	+
11	0,077	1,31	-	0,163	2,67	+/-	0,098	1,61	-	0,303	4,97	+
12	0,146	2,48	+/-	0,154	2,52	+/-	0,182	2,98	+/-	0,146	2,39	+/-
13	0,133	2,26	+/-	0,096	1,57	-	0,132	2,18	+/-	0,103	1,69	-
14	0,120	2,03	+/-	0,251	4,11	+	0,080	1,31	-	0,399	6,54	+
15	0,098	1,61	-	0,273	4,48	+	0,092	1,51	-	0,180	2,95	+/-
16	0,070	1,19	-	0,277	4,54	+	0,193	3,16	+	0,119	1,95	-
17	0,139	2,35	+/-	0,082	1,34	-	0,087	1,43	-	0,347	5,69	+
18	0,081	1,37	-	0,082	1,34	-	0,084	1,38	-	0,400	6,56	+
19	0,168	2,85	+/-	0,197	3,23	+	0,103	1,69	-	0,083	1,36	-
20	0,125	2,12	+/-	0,102	1,67	-	0,130	2,13	+/-	0,087	1,43	-
21	0,084	1,42	-	0,115	1,89	-	0,081	1,33	-	0,098	1,61	-
22	0,093	1,57	-	0,207	3,39	+	0,097	1,59	-	0,259	4,25	+
23	0,161	2,73	+/-	0,117	1,92	-	0,077	1,26	-	0,324	5,31	+
24	0,059	1,00	-	0,321	5,26	+	0,070	1,15	-	0,101	1,64	-
25	0,094	1,60	-	0,179	2,93	+/-	0,092	1,51	-	0,092	1,51	-
Положительный контроль – 1,130												
Отрицательный контроль – 0,065												

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Результаты ИФА клубней нового урожая растений сорта ВР 808, Московская область, 2018 г.

№ пробы п/п	Фармайод 0,3 л/га			Контроль		
	X*А _О	А _О /А _К	**	X*А _О	А _О /А _К	**
1	0,030	0,46	-	0,237	3,65	+
2	0,056	0,86	-	0,152	2,34	+/-
3	0,053	0,82	-	0,107	1,65	-
4	0,042	0,65	-	0,113	1,74	-
5	0,158	2,43	+/-	0,214	3,29	+
6	0,218	3,35	+	0,271	4,17	+
7	0,024	0,37	-	0,081	1,25	-
8	0,030	0,46	-	0,106	1,63	-
9	0,035	0,54	-	0,096	1,48	-
10	0,025	0,39	-	0,251	3,86	+
11	0,074	1,14	-	0,119	1,83	-
12	0,105	1,62	-	0,124	1,91	-
13	0,121	1,86	-	0,113	1,74	-
14	0,062	0,95	-	0,054	0,83	-
15	0,081	1,25	-	0,061	0,94	-
16	0,076	1,17	-	0,063	0,97	-
17	0,065	1,00	-	0,061	0,94	+
18	0,131	2,02	+/-	0,144	2,22	+/-
19	0,105	1,62	-	0,210	3,23	+
20	0,047	0,72	-	0,103	1,58	-
21	0,165	2,54	+/-	0,108	1,66	-
22	0,169	2,60	+/-	0,052	0,80	-
23	0,119	1,83	-	0,204	3,14	+
24	0,136	2,09	+/-	0,078	1,20	-
25	0,097	1,50	+/-	0,232	3,57	+
Положительный контроль – 0,994						
Отрицательный контроль – 0,065						

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Pharmbiomed

ФАРМБИОМЕД

Научно-биологический центр

Научные исследования и разработки, консалтинговые услуги
в области защиты растений, дезинфекции, ветеринарии

Юридический адрес: 119620, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Солнцево, пр-кт Солнцевский, д. 14, этаж 1, помещ. VI, ком. 1, офис Б4А
Фактический адрес: 129226, Россия, Москва, ул. Сельскохозяйственная, д. 12а
Адрес для почтовой корреспонденции: 129226, Москва, а/я 60

ИНН 7729062199 КПП 772901001
р/с 40702810710000011342, к/с 30101810200000000593, в АО «Альфа-Банк», г. Москва
Тел./факс: + (495)787-58-69, 8 (499) 181-00-56. E-mail: info@pharmbiomed.ru

Исх. №

Б/к

«04» октября 2024 г.

АКТ

о внедрении научных и практических результатов Колычихиной М.С. и авторского коллектива на тему: «Применение препарата Фармайод, ГР для защиты картофеля от вирусных болезней в полевых условиях»

Научные и практические результаты работы соискателя Колычихиной М.С. использованы при планировании производственных испытаний и разработке регламентов применения вирулицида Фармайод, ГР, которые послужили основой для проведения испытаний препарата с целью государственной регистрации.

Настоящий АКТ составлен комиссией в следующем составе:

Генеральный директор
ООО «НБЦ «Фармбиомед»



Тихомирова О.И.