

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и
агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский
институт» (НИЦ «Курчатовский институт — ВНИИРАЭ»)

На правах рукописи



ЧИЖ ТАРАС ВАСИЛЬЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАННОСТЬ И
КАЧЕСТВО ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Специальность 1.5.1 – Радиобиология

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Н.Н. Лой

Обнинск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1 Анализ проблем сохранности овощной продукции.....	12
1.1.1 Технологии хранения овощной продукции	12
1.1.2 Влияние процесса прорастания на сохранность и качество овощной продукции	13
1.2 Использование радиационных технологий для снижения потерь и увеличения сроков хранения овощной продукции.....	14
1.2.1 Радиобиологические основы использования ионизирующих излучений с целью подавления процесса прорастания овощной продукции.....	15
1.3 Технические условия проведения радиационной обработки.....	20
1.3.1 Характеристики источников ионизирующих излучений	20
1.3.2 Физические характеристики радиационной обработки.....	21
1.4 Факторы, влияющие на эффективность радиационной обработки овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур	22
1.4.1 Влияние величины и мощности дозы ионизирующего излучения	22
1.4.2 Влияние сортовых различий и температуры хранения	26
1.4.3 Влияние интервала времени между уборкой урожая и облучением.....	27
1.5 Влияние радиационной обработки на биохимические показатели качества продукции.....	29
ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	39
2.1 Объект исследования	39
2.2 Условия облучения.....	39
2.3 Хранение облученной продукции.....	42
2.4 Определение потери массы клубней и луковиц	44
2.5 Качественный и количественный анализ эндогенных гормонов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).....	46
2.6 Определение биохимических показателей качества облученной продукции.....	48
2.7 Технологии выращивания картофеля с применением различных агромелиорантов.....	49
ГЛАВА III. ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ХРАНЕНИЯ ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ПРОРАСТАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	52

3.1	Методологические подходы применения ионизирующего излучения для продления сроков хранения картофеля и луковичных	52
3.1.1	Анализ факторов, определяющих лежкость картофеля, репчатого лука и чеснока при хранении	52
3.1.2	Определение условий и технологических режимов применения ионизирующих излучений для повышения сохранности и обеспечения качества облученной продукции.....	54
3.1.2.1	Дозиметрия процесса облучения	54
3.2	Действие гамма-облучения на морфофизиологические показатели качества	56
3.2.1	Влияние γ -излучения на подавление образования ростков клубней и луковиц	56
3.2.2	Влияние γ -излучения на содержание эндогенных гормонов в клубнях картофеля	57
3.2.3	Влияние γ -излучения на изменение массы клубней картофеля при хранении	60
3.2.4	Влияние γ -излучения на изменение массы луковиц репчатого лука и чеснока	106
3.3	Влияние γ -облучения на биохимические показатели качества	124
3.3.1	Содержание нитратов в клубнях и луковицах.....	124
3.3.2	Содержание крахмала в клубнях картофеля.....	127
3.3.3	Содержание сухого вещества в клубнях картофеля	128
3.3.4	Содержание редуцирующих сахаров в клубнях и луковицах.....	130
3.3.5	Содержание витамина С в клубнях и луковицах	134
3.4	Оценка эффективности применения ионизирующего излучения для повышения сохранности и обеспечения морфофизиологических и биохимических показателей качества овощной продукции.....	137
ГЛАВА IV. РЕКОМЕНДАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ХРАНЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ, РЕПЧАТОГО ЛУКА И ЧЕСНОКА		139
4.1	Нормативное регулирование радиационной обработки продукции растительного происхождения с целью ингибирования прорастания и продления сроков хранения	139
4.1.1	Международные нормативные документы.....	139
4.1.2	Состояние нормативной базы в ЕАЭС и РФ	140
4.1.3	Предложения по совершенствованию нормативной базы по применению ионизирующего излучения для ингибирования прорастания картофеля и луковичных культур.....	141

4.3 Технологические регламенты применения гамма-облучения в технологиях хранения картофеля, репчатого лука и чеснока	142
4.3.1 Технологический регламент применения гамма-облучения для подавления прорастания и продления сроков хранения картофеля	142
4.3.2 Технологический регламент применения гамма-облучения для подавления прорастания и продления сроков хранения овощной продукции луковичных культур	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
ВЫВОДЫ	155
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	156
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	157
Приложение А.....	176
Приложение Б	240
Приложение В.....	243

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации среди приоритетов, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, выделен переход к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству, включая разработку технологий хранения и переработки продукции для создания безопасных и качественных продуктов питания [30]. Способность агропромышленного комплекса в полной мере обеспечивать потребности населения в безопасной и качественной продукции является индикатором его устойчивого развития. Увеличение производства сельскохозяйственной продукции и улучшение ее качества является одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности. Развитие новых инновационных технологий связано с необходимостью снижения потерь сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции в технологической цепочке «от поля до прилавка»; обеспечения микробиологической и фитосанитарной безопасности; увеличения сроков годности и реализации продукции в связи глобализацией рынка поставок продовольствия; снижения негативного воздействия химических токсикантов и повышения экологической безопасности производства.

В России ежегодно выращивается свыше 10 млн т овощной продукции, однако лишь 50-80% от этого количества достигает реализации. Одна из причин такого положения дел заключается в потерях продукции на всех этапах ее движения к потребителю, среди которых этап хранения занимает важнейшее место. Потери таких видов продукции как картофель, репчатый лук и чеснок, помимо прочих причин, связаны с их прорастанием при хранении. Традиционные способы предупреждения прорастания основаны на искусственном понижении температуры в хранилищах и использовании химических ингибиторов роста. Актуальным остается и вопрос о безопасности химических соединений – показано, что даже остаточные их количества в перспективе могут наносить вред здоровью человека. В связи с этим существуют вполне очевидные предпосылки к поиску и развитию технологий, способных если не заменить, то усовершенствовать традиционные методы хранения. Одним из перспективных направлений технологического развития является разработка и внедрение технологий с применением физических факторов воздействия, в частности, ионизирующего излучения, которое является основой радиационных биотехнологий.

Эффективность и безопасность применения радиационной обработки подтверждена результатами многочисленных исследований, однако существует проблема встраивания

процесса облучения в технологический цикл переработки и хранения, которая требует адаптации как в плане наиболее подходящих видов облучения, так и в плане подбора оптимальных диапазонов и мощностей доз. На эффективность радиационной обработки влияют видовые и сортовые характеристики, различия по физиологическим и биохимическим показателям, условия хранения облучаемой продукции, многие другие факторы и их сочетание, что определяет необходимость проведения широко спектра фундаментальных и прикладных исследований. Исследование механизмов и закономерностей ингибирующего действия ионизирующего излучения на процесс прорастания овощной продукции является актуальной научной задачей и соответствует современным тенденциям развития радиобиологии.

Актуальность проведения научных изысканий в этом направлении подкрепляет и тот факт, что в настоящее время радиационные технологии являются одним из приоритетных направлений исследований в РФ [31; 32].

Таким образом, развитие научных основ применения ионизирующего излучения в технологиях хранения овощной продукции; определение оптимальных условий и режимов радиационной обработки для предотвращения прорастания, обеспечения качества и продления сроков хранения продукции являются актуальной проблемой развитие новых инновационных технологий для реализации целей и задач Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Степень разработанности проблемы. Изучению ингибирующего действия ионизирующего излучения на прорастание сельскохозяйственной продукции посвящен целый ряд исследований, как в нашей стране, так и за рубежом [21; 25; 42; 53; 75; 88; 184; 195]. Влияние радиационной обработки изучалось на широком спектре видов и сортов сельскохозяйственной продукции. Установлены общие диапазоны доз и мощностей доз, определены наиболее значимые биохимические и потребительские показатели облучаемой продукции, а также влияние на них факторов различной природы и их совместного действия. Изучались молекулярные механизмы ингибирующего действия ионизирующего излучения на процесс прорастания [41; 82; 99; 116; 148;]. Вместе с тем, аналитический обзор результатов исследований показал, что технология облучения требует совершенствования. Крайне мало работ посвящено изучению реакции на облучение видов и сортов, представленных в настоящее время на отечественном рынке сельскохозяйственной продукции. Поскольку диапазоны применяемых доз и мощностей доз зависят от факторов, способных влиять на эффективность радиационной обработки, они нуждаются в уточнении. Перечни контролируемых показателей продукции, облученной с целью подавления прорастания, могут значительно отличаться в зависимости от конечной цели ее

использования и требуют адаптации под радиационные технологии. На сегодняшний день отсутствует информационная база видов и сортов, где указывалась бы информация об оптимальных диапазонах доз и мощностей доз облучения, условиях и времени хранения после облучения в зависимости от назначения продукции. Остается малоизученным вопрос о механизмах ингибирующего действия ионизирующего излучения на широкий спектр видов и сортов овощной продукции.

Цель диссертационной работы: исследование механизмов биологического действия ионизирующего излучения, вызывающего ингибирование прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур, и определение оптимальных условий облучения для обеспечения ее сохранности и качества в зависимости от дозы облучения, условий хранения, видовых и сортовых особенностей.

Задачи исследований:

1. Определить оптимальные диапазоны доз ионизирующего излучения, обеспечивающие подавление прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур.
2. Оценить влияние радиационной обработки на сохранность облученной овощной продукции в зависимости от температуры хранения, сортовых особенностей, условий выращивания и интервала времени между уборкой урожая и облучением.
3. Исследовать влияние радиационной обработки, применяемой для ингибирования процессов прорастания, на морфофизиологические и биохимические показатели качества овощной продукции.
4. Изучить влияние ионизирующего излучения на изменение баланса основных классов фитогормонов в облученной овощной продукции.
5. Разработать технологические регламенты применения гамма-облучения картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения продукции.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в выявлении механизмов биологического действия ионизирующих излучений, вызывающих ингибирование прорастания овощных культур (клубнеплодов и луковичных), и закономерностей изменения физиологических процессов, происходящих в запасающих органах растений при длительном хранении. Получены приоритетные данные о влиянии облучения на морфофизиологические и биохимические показатели качества овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур в зависимости от дозы облучения, температуры хранения, условий выращивания, сортовых особенностей и интервала времени между сбором урожая и облучением. Показано, что при радиационной обработке клубней картофеля против прорастания соотношение эндогенных гормонов

антагонистов в почках снижается с течением времени хранения пропорционально увеличению дозы γ -излучения.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных основ применения ионизирующего излучения в технологиях хранения овощной продукции. Исследованы закономерности действия ионизирующего излучения на изменение физиологических процессов и биохимические показатели качества в запасающих органах овощных культур. Установлены дозовые зависимости и определены оптимальные дозы гамма-облучения, обеспечивающие подавление прорастания клубнеплодных и луковичных культур при хранении.

Практическая значимость работы заключается в определении оптимальных условий и режимов облучения овощных культур с целью обеспечения их сохранности и качества в зависимости от дозы облучения, условий хранения, технологии выращивания, сортовых особенностей и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Разработаны технологические регламенты гамма-облучения для предотвращения прорастания, обеспечения качества и продления сроков хранения клубнеплодов (картофель) и луковичных культур (лук, чеснок).

Полученные результаты являются научным и практическим основанием для развития и широкого использования ионизирующего излучения в технологиях хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции. Высокая эффективность радиационной обработки и разработанные регламенты ее применения для овощной продукции расширяют возможности и потенциальные объемы рынка облучения, который в настоящее время формируется в Российской Федерации.

Результаты диссертационной работы были использованы ООО «Региональный центр облучательных технологий «Эра» для разработки технологического регламента облучения опытных и коммерческих партий овощной продукции (Приложение В).

Методология и методы исследования. В работе применен комплексный подход к изучению механизмов и закономерностей биологического действия ионизирующего излучения на процесс подавления прорастания. В качестве объекта исследования были выбраны виды овощей, представленные на отечественном рынке сельскохозяйственной продукции – картофель, репчатый лук и чеснок, которые являются важными пищевыми культурами и хорошо изученными биологическими объектами. Для оценки влияния условий выращивания на эффективность радиационной обработки против прорастания также использовался картофель, выращенный на радиоактивно-загрязненных территориях Брянской области.

Облучение проводилось на установке «ГУР-120» (^{60}Co) (НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, г. Обнинск). Установка внесена в реестр УНУ (регистрационный номер УНУ на портале skr-rg.ru: 2795259; дата регистрации: 12.10.2021). В качестве дозиметрических величин использовали поглощенную дозу и мощность поглощенной дозы гамма-излучения. Дозу излучения измеряли с помощью дозиметра ДКС-101 (Россия).

Эффективность радиационной обработки определялась по сохранности и качеству продукции на основе определения ее морфофизиологических и биохимических показателей. Лежкость клубней и луковиц оценивалась по убыли массы в процессе хранения. Массу, выраженную в граммах, определяли весовым методом с точностью до 0,1 г. Качественный и количественный анализ фитогормонов осуществлялся методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Оценка биохимических показателей проводилась аккредитованной испытательной лабораторией «LIGHT GROUP» по действующим методикам Государственной системы обеспечения единства измерений (ГОСТ). Определение содержания фитогормонов в почках картофеля проводилось методом ВЭЖХ.

Полученные результаты анализировали с помощью программных средств Microsoft Excel 2019 и StatSoft Statistica 10.0.

Положения, выносимые на защиту.

1. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 100 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока приводит к полному подавлению прорастания и достоверному снижению связанных с ним потерь при хранении по сравнению с необлученным контролем независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Воздействие γ -излучения в дозе 50 Гр приводит к достоверному по сравнению с контролем снижению потери массы клубней и луковиц при хранении, однако для полного подавления прорастания этой дозы недостаточно.

2. Баланс эндогенных гормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания картофеля, меняется после обработки клубней γ -излучением. Соотношение гормонов антагонистов в почках и прилегающих к ним тканях снижается при хранении пропорционально увеличению дозы гамма-излучения.

3. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 50 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока не вызывает ухудшения биохимических показателей их качества при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением.

4. При облучении в диапазоне доз от 50 до 150 Гр условия возделывания картофеля могут не оказывать влияния на эффективность радиационной обработки в целях ингибирования прорастания.

5. Разработаны технологические регламенты гамма-облучения для предотвращения прорастания, обеспечения качества и продления сроков хранения клубнеплодов (картофель) и луковичных культур (репчатый лук, чеснок).

Достоверность результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных; использованием современной аппаратурно-методической базы; определением широко спектра контролируемых параметров и применением аттестованных методов их определения; статистическим анализом экспериментальных данных с использованием современных программных средств (Microsoft Excel 2019 и StatSoft Statistica 10.0.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В соответствии с формулой специальности 1.5.1 «Радиобиология», охватывающей исследования закономерностей биологического ответа на воздействие ионизирующих излучений и разработку эффективных средств и способов управления радиобиологическими эффектами (п.2), исследования действия ионизирующего излучения на сельскохозяйственные объекты (микроорганизмы, насекомые вредители, возбудители болезней, растения, животные) (п.14), в диссертационном исследовании представлены результаты изучения влияния ионизирующего излучения на сохранность и качество овощной продукции.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на: II Международной (XV Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск-2018» (Обнинск, 2018); Международной научно-практической конференции «Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы» (Обнинск, 2018); Международной молодежной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиозэкологии и агроэкологии» (Обнинск, 2019); 15-ой и 16-ой Международных научно-практических конференциях «Будущее атомной энергетики – AtomFuture (Обнинск, 2019, 2020); Международной научно-практической конференции «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве» (Обнинск, 2020); IV Международной (XVII Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2021); VII Международной научно-практической конференции «Продукты питания: химия, реология, технологии» (CFSCRT2021) (Москва, 2021); IAEA Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST-2022) (Австрия, 2022).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 19-316-90012.

Личный вклад диссертанта в работу. Автор принимал непосредственное участие в постановке целей и задач, анализе литературных данных, планировании и проведении экспериментов, статистической обработке данных и интерпретации результатов, подготовке докладов на научных конференциях и публикаций в рецензируемых научных журналах.

Публикации. Полнота изложения материалов настоящей работы обеспечена публикацией 14 работ, 3 статьи из общего списка научных работ опубликованы в рецензируемых научных журналах, относящихся к перечню ВАК, а также индексируемых Scopus.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, списка использованной литературы, включающего 210 источников, из которых 148 на иностранном языке, и приложения. Диссертация изложена на 243 страницах, содержит 71 таблицу и 207 рисунков.

Выражаю искреннюю и глубокую благодарность научному руководителю, кандидату биологических наук Лой Н.Н. Также хочу выразить благодарность Санжаровой Н.И., Переволоцкому А.Н., Переволоцкой Т.В., Павлову А.Н., Цыгвинцеву П.Н., Поляковой И.В., Битаршвили С.В., Макаренко Е.С., Губаревой О.С., коллективу лаборатории №1 и всем тем, кто оказал мне неоценимую помощь и поддержку в подготовке диссертационной работы.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В обзоре представлены результаты исследований влияния ионизирующих излучений на сохранность и качество овощной продукции после обработки с целью подавления процессов прорастания и продления сроков хранения. Анализ опубликованных данных демонстрирует высокую эффективность применения и перспективность развития радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

1.1 Анализ проблем сохранности овощной продукции

1.1.1 Технологии хранения овощной продукции

Овощную продукцию, закладываемую на хранение, составляют клубне- и корнеплодные, а также луковичные культуры. Среди клубнеплодных культур наиболее часто употребляемым в пищу является картофель, из корнеплодных – морковь, свекла, редька, сельдерей, среди овощных луковичных культур – репчатый лук и чеснок. Основной объем клубне- и корнеплодов выращивается в зоне умеренного климата, луковичных – в зоне умеренного климата, а также в субтропической зоне. В настоящее время наблюдается устойчивое распространение этих культур в нехарактерные для них холодные и теплые, влажные и сухие ареалы. Большинство видов указанных сельскохозяйственных культур имеют длительный срок хранения. Высокий процент лежкости позволяет сохранять урожай товарного качества более чем до полугода. Будучи экономически значимыми пищевыми источниками, выращиваемыми и потребляемыми в большинстве регионов мира клубне- и корнеплодные, а также луковичные культуры являются важными элементами международной торговли и для обеспечения наилучшего качества нуждаются в условиях бережной транспортировки и хранения.

Потери овощной продукции при хранении складываются из естественной убыли массы (связанной в основном с процессом дыхания), технических отходов (механические повреждения), абсолютной гнили и отходов на ростки.

Классические способы хранения основаны на подавлении обменных процессов понижением температуры в хранилищах или химической обработке ингибиторами метаболизма и роста, такими как, этилен, хлорпрофам и др. Первый способ достаточно эффективен, но весьма дорог из-за затрат на электроэнергию. Второй способ трудоемок и плохо поддается механизации. Спорным остается вопрос о безопасности химических ингибиторов прорастания – попадая в пищу виде остатков, несмотря на свою невысокую токсичность, некоторые из них все же способны оказывать негативное влияние на здоровье человека [204].

Возможность применения ионизирующих излучений для подавления обменных процессов при хранении сельскохозяйственной продукции изучается уже давно и до сих пор служит темой для дискуссий. Этот вид обработки позволяет сохранить качество продуктов при более высоких, чем обычно принято, температурах хранения. При этом открываются перспективы в экономии холода, производство которого энергоемко [46]. Сельскохозяйственная продукция, прошедшая радиационную обработку в отличие от продукции, обработанной химическими агентами, негативного влияния на здоровье человека не оказывает [133].

Продовольственный и предназначенный для переработки картофель обычно сохраняется в течение 2–11 месяцев в зависимости от условий хранения, сортовых особенностей и видов дополнительных предпринимаемых мер по предотвращению прорастания. Картофель начинает прорастать после выхода клубней из состояния покоя, при этом некоторые сорта с коротким периодом покоя начинают прорастать уже в зимний период [23]. У большинства сортов картофеля прорастание прекращается при температуре ниже 4 °С при хранении без доступа света. Температура от 4 до 5 °С и относительная влажность от 92 до 95% считаются идеальными для длительного хранения картофеля [203]. Однако при этой температуре содержание свободных сахаров в картофеле постепенно увеличивается, что является основной причиной нежелательного изменения цвета продуктов переработки, таких как чипсы и картофель фри.

Для репчатого лука и чеснока оптимально хранение в темном помещении при температуре от 0 до 4 °С и относительной влажности воздуха 70–75 %. В таких условиях лук и чеснок в зависимости от сорта и степени зрелости способны храниться в течение 3–6 месяцев.

1.1.2 Влияние процесса прорастания на сохранность и качество овощной продукции

Сохраняемость (также известная как долговечность или стабильность) – это способность плодоовощной продукции сохранять свои качественные характеристики (текстуру, цвет, аромат, питательность и т. д.) на протяжении всего периода хранения. Вследствие высокого содержания воды, особых условий хранения, транспортировки и обращения, сохраняемость клубне- и корнеплодных, а также луковичных культур снижается, и потенциальные потери урожая могут быть очень высоки. Среди физиологических факторов, которые влияют на сохранность, прорастание оказывает наиболее негативное действие, и в гораздо большей степени на клубнеплоды и луковицы, чем на корнеплоды [120]. Потери продукции, связанные с процессом прорастания могут достигать 30–40 %.

Прорастание начинается не сразу после сбора урожая, и обычно наблюдается период покоя, который может длиться несколько недель, прежде чем начнется активный рост. Период

покою зависит от сорта, климатических условий выращивания и хранения, в частности температуры, от степени зрелости урожая, наличия механических повреждений и инфекций. Прорастание при хранении может нанести ущерб питательной ценности и товарному виду продукции. Нежелательные последствия прорастания включают потерю товарного веса, снижение питательной ценности, изменения внешнего вида и цвета, что приводит к снижению привлекательности для потребителя, а также проблемы при обращении с проросшим материалом. В проросшем картофеле, особенно в ростках и кожуре, содержится большое количество токсичных гликоалкалоидов – соланина и чаконина. Считается, что картофель, содержащий свыше 20 мг/100 г гликоалкалоидов, опасен для использования в пищу [47].

Потеря массы клубнями и луковичами происходит при хранении в результате двух процессов – транспирации воды и дыхания. В процессе дыхания расходуются сахара, поглощается кислород и выделяется углекислый газ, при этом образуется вода. Сахара образуются в клубнях в процессе гидролиза. В общем виде результат потери крахмала при дыхании можно записать как:



На примере картофеля, переведя это в весовые соотношения, можно утверждать, что при распаде 162 г крахмала клубень теряет 72 г сухого вещества в процессе дыхания, а оставшиеся 90 г преобразуются в воду, которая может удаляться в процессе транспирации [53].

1.2 Использование радиационных технологий для снижения потерь и увеличения сроков хранения овощной продукции

С конца 1950-х годов XX века началось изучение и постепенное введение в обращение технологии облучения сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением с целью предотвращения прорастания и продления сроков хранения. Впервые на подавление образования ростков под действием рентгеновского излучения обратили внимание еще в 1936 г. [25]. В более позднем исследовании 1950 года было наглядно продемонстрировано, что небольшая доза рентгеновского излучения в 45 Гр оказала ингибирующее действие на развитие ростков семенного картофеля [189].

В 1997 году Международной консультативной группой по облучению пищевых продуктов (ICGFI) на основании анализа имеющихся на тот момент результатов исследований, проведенных во многих странах мира, были выпущены рекомендации по обработке клубнеплодных и луковичных культур ионизирующими излучениями [120].

1.2.1 Радиобиологические основы использования ионизирующих излучений с целью подавления процесса прорастания овощной продукции

Цель обработки клубней и луковиц низкими дозами ионизирующего излучения заключается в том, чтобы затормозить физиологические процессы, приводящие к прорастанию во время хранения. Несмотря на обводненность клубней и луковиц, а также на обилие запасных энергетических и строительных материалов, интенсивность метаболизма в период покоя резко снижается, в 10 раз сокращается число активно экспрессирующихся генов, повышается устойчивость к атакам патогенов. Длительность периода покоя зависит от сортовых особенностей (генотипа), от условий выращивания и условий хранения. Механизмы ингибирования роста почек и его снятия при завершении покоя не выяснены в полной мере, однако обнаружены их существенные характеристики. Показано, например, что клетки покоящегося клубня картофеля блокированы на стадии перехода от G₁-фазы к S-фазе клеточного цикла [82]. При переходе глазков клубней к прорастанию, а также при искусственной стимуляции роста усиливается экспрессия генов, контролирующих репликацию ДНК и ход клеточного цикла, включая циклин D3 [116]. Активация этих генов является одним из условий перехода покоящихся почек к прорастанию.

Рубин Б.А и Метлицкий Л.В показали, что при выходе клубней картофеля из состояния покоя и переходе к прорастанию синтез рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот (РНК и ДНК) в почках интенсифицируется. Об этом свидетельствуют следующие данные (Таблица 1).

Таблица 1 – Содержание РНК и ДНК в глазках клубней (мкг фосфора на 1 г сухого веса)

Материал исследования	РНК	ДНК
Глазки клубней в состоянии покоя	60,0	15,9
Глазки проросших клубней	83,0	23,7

Ионизирующее облучение вызывает изменения анатомического строения почек, содержания и распределения нуклеиновых кислот в различных тканях, изменения скорости дыхания и многие другие [113]. Прежде всего видны очень важные изменения в морфологии: на почках появляются своего рода ожоги, похожие на те, что бывают на молодых побегах обожженных солнцем растений. Авторы исследования [64], опираясь на данные микроскопии почек клубней картофеля, отмечают, что после облучения в дозе 125 Гр и выше, клеточное деление и рост полностью прекращались независимо от условий, в которых находились клубни во время последующего хранения.

Однако вышеперечисленные изменения происходят не сразу, а спустя некоторое время после облучения. Даже после обработки клубней в дозе 100 Гр, сделавшей их совершенно неспособными к прорастанию, существенных изменений в содержании нуклеиновых кислот сразу после облучения не наблюдалось. Было отмечено лишь незначительное снижение содержания РНК. Со временем разница в содержании как РНК, так и ДНК между облученными и контрольными клубнями становилась все более заметной [41].

Характер изменений, происходящих в клетках почек облученных клубней картофеля схематично изображен на Рисунке 1.

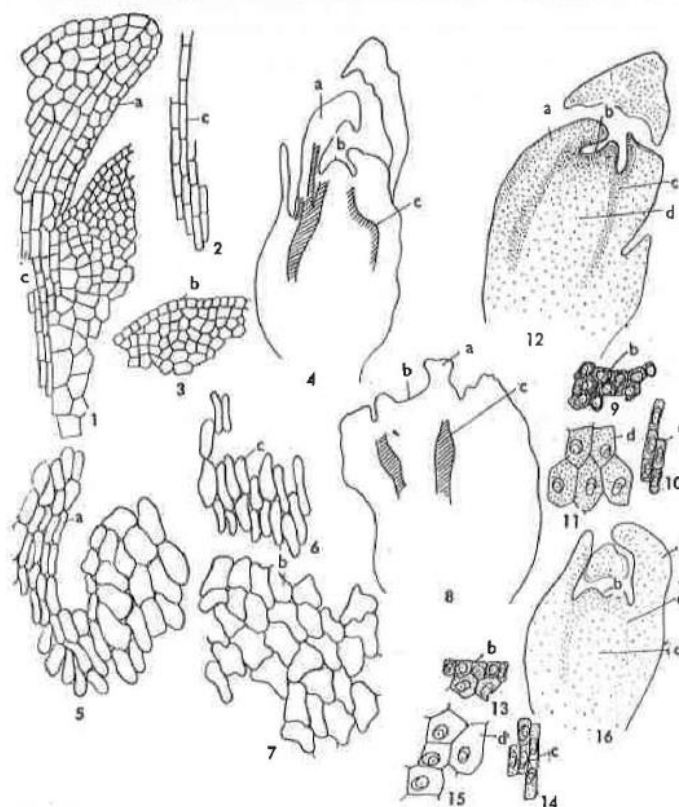


Рисунок 1 – Анатомические и цитологические изменения в почках клубней, облученных в дозе 100 Гр. 1–4: строение почки при выходе из состояния покоя; 5–8: строение почки спустя 4 месяца после облучения; 9–12: содержание РНК в почках необлученных клубней; 13–16: содержание РНК в почках спустя 3 часа после облучения. 1, 2, 3, 5, 6, 7: увеличение 280; 4, 8, 12, 16: увеличение 56; 9, 10, 11, 13, 14, 15: увеличение 400; а – листовые зачатки; b – туника; с – прокамбий; d – центральная стержневая меристема [41].

Меристематические ткани в почках облученных клубней теряют способность к делению, а образовавшиеся до облучения клетки листовой почки увеличиваются в размерах, становятся удлиненными и сильно вакуолизированными. Характерной особенностью анатомического строения почек клубней, лишенных способности к прорастанию, является то, что все входящие в их состав клетки, за исключением части прокамбия, имеют одинаковую форму, размеры и

содержание нуклеиновых кислот. Таким образом, неоднородность ткани, столь типичная для этих органов в их нормальном состоянии, здесь не проявляется. В клетках таких дегенеративных почек содержание нуклеиновых кислот и их распределение сильно отличаются от таковых в почках необлученных клубней: синтез ДНК ослаблен, в цитоплазме исчезает РНК, содержание ядерной ДНК снижается. Эти резкие изменения в структуре тканей почек — их «дегенерация» — являются одной из причин того, что под действием ионизирующих излучений клубни теряют способность к прорастанию.

Вышеперечисленные явления становятся более выраженными, если облучать уже пробудившиеся почки. В частности, сразу после облучения наблюдается снижение содержания РНК в цитоплазме, что проявляется в снижении базофилии. Это свидетельствует о повышенной чувствительности к излучению клубней по мере их выхода из состояния покоя. Показано, что в первые месяцы после облучения содержание нуклеиновых кислот в почках клубней незначительно увеличивалось, но после 6–7 месяцев хранения резко снижалось (Таблица 2).

Таблица 2 – Динамика изменения содержания нуклеиновых кислот в глазках клубней картофеля (мкг фосфора на 1 г сухого веса)

Материал	Состав нуклеиновых кислот	Время определения					
		Ноябрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Контроль	РНК	68,5	120,0	99,3	107,9	101,4	118,8
	ДНК	16,6	23,9	22,0	30,2	20,7	27,1
	Общее	85,1	143,9	121,3	138,1	122,1	145,9
100 Гр	РНК	59,8	95,2	92,1	87,8	76,9	70,2
	ДНК	16,5	22,3	20,1	46,5	17,5	25,5
	Общее	76,3	117,5	112,2	114,3	94,4	95,7

Не исключено, что вызванное радиацией замедление синтеза нуклеиновых кислот и их последующий распад связаны с активацией рибонуклеазы, что подтверждается и другими авторами [41; 44; 175]. Изменения происходят и в составе нуклеиновых кислот мякоти клубней. Они связаны с действием тех же механизмов, но менее выражены.

Помимо снижения базофилии цитоплазмы, о чем говорилось выше, облучение смещает изоэлектрическую точку белков и нуклеопротеидов в кислую сторону [41]. Это свидетельствует о структурных изменениях нуклеопротеидов, что можно рассматривать как один из начальных эффектов облучения. Изучение положения рН изоэлектрической точки белков и нуклеопротеидов показало, что по мере выхода клубней из состояния покоя изоэлектрическая точка постепенно смещается в щелочную сторону (от рН 4,4 до 5), рН изоэлектрической точки

ядра всегда больше, чем у протоплазмы и ядрышка. Белковые коллоиды клеток паренхимы коры, вторичной меристемы, эпидермиса и медуллярной меристемы имеют свою изоэлектрическую точку в более щелочной зоне, чем клетки белковой оболочки и наружной меристемы. У клубней, облученных в дозе 100 Гр, изоэлектрическая точка смещается в кислую сторону (на 0,4–0,6 ед.), а не в щелочную. Этот сдвиг начинается сразу после облучения и сохраняется на протяжении всего последующего хранения картофеля. Не менее важно и то, что при этой дозе облучения полностью исчезают различия в положении изоэлектрической точки белков в различных клетках и тканях почек, так что все ткани, включая эпидермис и паренхиму кожуры, имеют свои изоэлектрические точки в тех же пределах рН. Смещение рН изоэлектрической точки в кислую сторону пропорционально дозе облучения. Однако наиболее выражено оно при дозе около 100 Гр. При увеличении дозы до 150 Гр происходит дальнейшее смещение, хотя и не столь выраженное.

Отмечается также влияние облучения на процесс дыхания в клубнях [41; 192]. Дозы γ -лучей, способные затормозить рост клубней, заметно подавляют дыхание почек, обычно пропорционально дозе облучения. Так, после обработки в дозе 100 Гр интенсивность дыхания тканей составляла 90 % от контроля и 60 % после обработки в дозе 150 Гр [41].

Наиболее эффективными регуляторами покоя и прорастания клубней и луковиц являются эндогенные гормоны. Регуляция процессов покоя и прорастания обеспечивается скоординированным во времени взаимодействием разных групп гормонов [38]. Показано, что ауксины, гиббереллины, цитокинины и абсцизовая кислота вовлечены в механизмы регуляции состояния покоя картофеля [17; 97; 191], репчатого лука [63; 183] и чеснока [66; 67; 171]. На это указывают как связанная с этапами покоя и прорастания динамика изменения содержания этих гормонов, так и возможность изменять сроки покоя и прорастания с помощью обработки клубней и луковиц гормональными препаратами. Результаты исследований свидетельствуют о том, что изменения гормонального баланса отражают и, в определенной степени, определяют отмену прорастания и снижение интенсивности метаболических процессов при радиационной обработке [99; 132; 148; 201].

Определение содержания свободного ауксина в кожуре необлученного и облученного в дозе 100 Гр картофеля показало, что количество индолилуксусной кислоты (ИУК), присутствующей в необлученных клубнях, находящихся в состоянии покоя, составляет от 0,7 до 1 мкг/кг сырого веса, в то время как в облученных клубнях ИУК обнаружено не было. Эти данные свидетельствуют о том, что после облучения в картофеле происходит полное разрушение ИУК [65].

Основываясь на наблюдении, что картофель, подвергшийся воздействию γ -излучения в дозах 80 и 120 Гр, прорастал после обработки гиббереллиновой кислотой (ГК), Mathur P.V. пришел к выводу, что излучение нарушает систему синтеза эндогенного гиббереллина в клубнях и что эффекты этого нарушения могут быть устранены введением экзогенной ГК [147]. Однако Baraldi D. и его коллегами подобного эффекта на прорастание облученного картофеля при введении ГК или кинетина ни по отдельности, ни в комбинации обнаружено не было [71]. В дальнейшем Mathur P.V. обнаружил также, что среди облученных клубней после применения метилового эфира ИУК количество клубней с признаками гниения было ниже, чем у необработанных метиловым эфиром ИУК. И хотя эффект подавления прорастания среди облученных клубней сохранялся, было сделано предположение о том, что γ -излучение обратимо инактивирует систему синтеза эндогенной ИУК, и последствия этой инактивации можно преодолеть применением экзогенной ИУК [147; 148]. Исследования, проведенные Ussuf K.K. и Nair P.M., по-видимому, подтверждают эту гипотезу [201; 202]. Показано, что облучение при подавляющей прорастание дозе 100 Гр нарушало систему синтеза ИУК, при этом также снижалось содержание ИУК, изначально присутствующей в клубнях. Сразу после облучения наблюдалось 30%-ное повышение активности синтеза ИУК, затем резкое его падение через 24 часа и плавное снижение почти до полного прекращения синтеза в течение последующих 5 недель. Помимо нарушения синтеза этого фермента, облучение также ускорило деградацию уже имеющегося фермента за счет активации протеазы, активация синтеза которой наблюдалась через 6 ч после облучения. Облученные клубни после замачивания в растворе ГК начинали прорастать через 30–35 дней. Однако ростки у облученного картофеля, обработанного ГК, были меньше по размеру по сравнению с контролем. Облученный картофель, обработанный ИУК прорастал в течение 45 дней так же, как и контрольный. Снятие подавления прорастания у облученных клубней обработанных ИУК наблюдалось только в том случае, если обработка проводилась в течение 6 ч после облучения; если же обработка ИУК проводилась спустя 12 ч и более после облучения данный эффект отсутствовал. Было высказано предположение, что генетический механизм синтеза ИУК может репрессироваться в течение нескольких часов после облучения [201].

Одной из важных ролей пероксидазы является деградация активности индолуксусной кислоты (ИУК), которая участвует в регуляции роста и покоя луковиц репчатого лука [73; 164]. Результаты исследования, проведенного на четырех сортах лука показали, что после γ -облучения повысилась активность пероксидазы, а так как активность пероксидазы обратно

пропорциональна скорости роста [105], то пероксидаза может играть одну из ключевых ролей в эффекте подавления прорастания облучением [157].

Показано, что эндогенные гормоны, в частности ауксины, участвуют в долгосрочном механизме радиационно-индуцированного подавления прорастания чеснока. Даже после облучения в дозе 10 Гр в экстрактах зубчиков чеснока на 25-е и 100-е сутки были обнаружены различные ингибиторы роста и относительно более активные ауксиноподобные соединения [87].

1.3 Технические условия проведения радиационной обработки

1.3.1 Характеристики источников ионизирующих излучений

В соответствии с Общим стандартом на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome) для радиационной обработки пищевых продуктов разрешено применять установки со следующими видами ионизирующего излучения:

- электронное излучение с энергией не более 10 МэВ;
- γ -излучение радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,25$ МэВ);
- γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ);
- рентгеновское (тормозное) излучение, генерируемое ускорителями электронов с энергией не более 5 МэВ.

При облучении любого пищевого продукта минимальная поглощенная доза излучения должна быть достаточной для достижения технологической цели, а максимальная не должна отрицательно сказываться на показателях безопасности и качества пищевого продукта. Кроме того, максимальная поглощенная доза излучения не должна превышать 10 кГр, кроме тех случаев, когда это необходимо для достижения технологической цели.

Каждый вид излучателя, генерирующий перечисленные типы излучений, имеет собственные характеристики. Для ускорителей электронов основными характеристиками являются энергетический спектр электронов, ток пучка и, в зависимости от конструкции, мгновенный (импульсный) ток с указанием длительности импульса и частоты следования [128], для рентгеновской установки – напряжение между электродами, ток трубки, материал анода, его толщина; спектр рентгеновского излучения [127]. Для установок с гамма-источниками, состоящих из герметизированных элементов и представляющих собой, как правило, набор стержней и образующих плоскую или цилиндрическую решетку или несколько таких решеток, содержащих внутри изотопы ^{60}Co (^{137}Cs), основными характеристиками являются тип

облучателя, активность источника и геометрия гамма-излучателя, а также спектр излучения [129].

Выбор типа излучения и его источника при проведении радиационной обработки зависит от вида продукции. При использовании гамма-установок облучение продукции происходит в промышленных упаковках, обеспечивается облучение больших объемов продукции с соблюдением технологически рекомендуемого верхнего предела значений поглощенной дозы. Основной проблемой использования установок с радиоактивными источниками является потребность в корректировке технологического процесса облучения в зависимости от распада радионуклидов и периодическая замена источников излучения.

1.3.2 Физические характеристики радиационной обработки

Поглощенная доза. Метод базируется на ионизации и возбуждении атомов вещества вследствие передачи ему энергии излучения. Интенсивность физико-химических процессов, запускаемых излучением, зависит от его физических характеристик, таких как тип и энергия воздействующих частиц, переданная объему продукта энергия, интенсивность излучения, линейная передача энергии излучения, линейная плотность ионизации и др. [16]. Не вся переданная энергия расходуется в пределах данного объема. Та часть энергии, которая остается в рассматриваемом объеме, составляет поглощенную энергию. Средняя поглощенная энергия рассматривается как детерминированная величина, а ее величина рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta E = \sum \varepsilon_{in} - \sum \varepsilon_{out} + \sum Q_1 - \sum Q_2 \quad (2)$$

где $\sum \varepsilon_{in}$ – сумма кинетических энергий всех частиц, как непосредственно, так и косвенно ионизирующих, входящих в рассматриваемый объем; $\sum \varepsilon_{out}$ – суммарная кинетическая энергия всех частиц, покинувших данный объем; $\sum Q_1$ – суммарная выделившаяся в результате ядерных превращений энергия; $\sum Q_2$ – суммарная затраченная на ядерные превращения энергия.

Для обработанных ионизирующем излучением продуктов питания, формула (2) принимает вид (3), т.к. используемые в радиационном методе энергии не инициируют ядерные превращения:

$$\Delta E = \sum \varepsilon_{in} - \sum \varepsilon_{out} \cdot \quad (3)$$

Важнейшей характеристикой радиационного метода является доза D , поглощенная объектом обработки. Она равна отношению средней энергии dE , поглощенной элементарным объемом dV , к массе dm вещества в этом объеме [16]:

$$D = \frac{dE}{dm} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад.} \quad (4)$$

При проведении радиационной обработке важно контролировать не только интегральную дозу, но и ее распределение по объему продукта. Различные режимы обработки предполагают отличные друг от друга дозовые распределения по глубине обрабатываемого объекта. Также необходимо учитывать такие параметры, как движение конвейера во время облучения, энергию излучения, схему, геометрию образцов, их плотность и т.п. Таким образом, интегральная доза, поглощенная продуктом, ее распределение по объему зависят от физических параметров радиационной обработки (энергия источника излучения; тип источника и его геометрия; технология облучения; плотность, размеры и геометрия упаковки). Указанные параметры являются основными составляющими эффективности процесса облучения [2; 35; 54; 77].

1.4 Факторы, влияющие на эффективность радиационной обработки овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур

1.4.1 Влияние величины и мощности дозы ионизирующего излучения

Эффективность подавления прорастания ионизирующим излучением оценивают прежде всего по наличию ростков на поверхности клубней и луковиц и по потере массы клубнями и луковицами в процессе хранения.

Анализ результатов исследований показал, что для полного подавления прорастания картофеля, как правило, используются дозы в диапазоне от 50 до 150 Гр, предпочтительно от 70 до 150 Гр [19; 27; 40; 41; 53; 80; 117; 119; 185; 195]. При использовании доз ниже 50 Гр подавление прорастания чаще всего оказывалось не полным [21; 98; 140], в то время как применение доз, превышающих 150 Гр чаще являлось избыточным с точки зрения поставленной цели [53; 90].

Еще в 1960-е гг. XX века был реализован масштабный проект по облучению картофеля с целью подавления прорастания. С помощью передвижного облучателя в четырех провинциях Канады за сезон с 1961 по 1962 гг. было облучено 400 т картофеля в дозе 80 Гр, что обеспечило полное подавление прорастания, независимо от сорта, температуры, способа и продолжительности хранения [172].

Мальцевым С.В. и соавторами установлено, что потери массы картофеля при хранении зависели главным образом от температуры (влияние фактора 42,2 %) и дозы γ -излучения

(влияние фактора 22,5 %). Для продовольственного картофеля (хранение при 6–7 °С) оптимальными являлись дозы γ -облучения 15 и 25 Гр; для картофеля, предназначенного для переработки на обжаренные картофелепродукты (9–10 °С), – 50 Гр. Облучение в этих дозах существенно снижало прорастание клубней и величину общих потерь при хранении [21]. Однако стоит отметить, что в данном исследовании подавление прорастания не было полным, на клубнях имелись ростки, хотя они были менее развитыми, чем в контроле. В более раннем исследовании этого же коллектива авторов на картофеле сорта Леди Клэр было показано, что полного подавления прорастания удалось достичь лишь применением доз 100 и 150 Гр, тогда как дозы в 75 Гр оказалось также недостаточно (хранение при температуре 10 °С) [22].

Облучение в дозе 100 Гр вдвое снизило количество ростков по сравнению с контролем, а в дозе 120 Гр и выше – полностью предотвратило прорастание при хранении картофеля в течение свыше 5 месяцев при температуре 4–6 °С, 10–12 °С и 18–22 °С [53]. Клубни картофеля сортов Janka, San и Bobr не прорастали в течение 6 месяцев хранения при температуре 4, 7 и 13 °С после обработки γ -излучением в дозе 150 Гр [141].

Анализ опубликованных исследований показал, что для подавления прорастания в них, как правило, использовалось γ -излучение от радионуклидов ^{60}Co или ^{137}Cs , в то время как количество работ, выполненных с применением ускоренных электронов чрезвычайно мало, что не позволяет получить достаточно четкое представление о дозах, наиболее эффективно подавляющих прорастание, при использовании ускорителей. В работе [103] для подавления прорастания картофеля сорта Russet Burbank использовался линейный ускоритель с энергией электронов 18 МэВ. Отсутствие ростков после 9 месяцев хранения при температуре 7 °С было достигнуто применением доз от 40 до 50 Гр. В исследовании, выполненном на ускорителе электронов ИЛУ-6 в режиме тормозного γ -излучения, облучение картофеля проводилось в дозах 120, 240 и 360 Гр. Контрольные и облученные образцы клубней хранились в течение свыше 5 месяцев при температуре 4–6 °С, 10–12 °С и 18–22 °С. Во всех вариантах опыта с облучением клубни не прорастали на протяжении всего срока хранения [53].

Подавление прорастания луковичных культур ионизирующим излучением также было продемонстрировано рядом исследователей [89; 142; 176]. Минимальная поглощенная доза, необходимая для эффективного контроля прорастания луковичных культур, ниже, чем для клубнеплодных [150; 195]. Для луковичных, как и для клубнеплодных культур поглощенная доза также зависит от условий выращивания, степени регенерации урожая после уборки, сортовых различий, периода покоя, температуры хранения и влажности. Поглощенная доза варьирует в пределах от 20 до 150 Гр в зависимости от вышеупомянутых факторов и их взаимного действия.

Дозы от 20 до 70 Гр эффективны, если облучение проводится в течение 1–2 месяцев после сбора урожая. Если облучение проводят позднее этого периода (то есть, когда луковицы больше не находятся в состоянии покоя), как правило, требуются дозы выше 80 Гр. Если облучение проводится вскоре после сбора урожая, то эффективными и достаточными могут оказаться поглощенные дозы в диапазоне 20–60 Гр. При облучении в более поздние сроки потребуются дозы в диапазоне 100–150 Гр [117].

Эффект подавления прорастания был продемонстрирован на луке сорта Rouge Amposta после обработки в дозах 150 и 200 Гр с последующим хранением в условиях трех температурных режимов – при температуре 4, 10 и 20 °С [75]. Для подавления прорастания и продления срока хранения луковиц чеснока сорта Egyptian γ -облучение в дозе 120 Гр оказалось более эффективным, чем применение гидразида малеиновой кислоты [96]. Некоторые авторы указывают на то, что высокие дозы в диапазоне от 120 до 250 Гр могут вызывать временную стимуляцию прорастания луковиц, однако, рост побегов не поддерживается, и впоследствии они отмирают [186; 192].

Теперь рассмотрим, как обработка ионизирующим излучением влияет на потерю массы картофеля, лука и чеснока в процессе хранения. Облучение в дозах 120 Гр и выше снизило потерю массы клубней при хранении в 1,5–2,0 раза по сравнению с необлученным картофелем [53]. Результаты исследования, проведенного в промышленных масштабах на японских сортах картофеля также показали, что облучение замедляет потерю массы клубней [150; 200]. В эксперименте с использованием двух сортов картофеля потери массы в течение 6 месяцев хранения при 20 °С варьировали от 28 до 51 % в вариантах опыта без облучения по сравнению с 17–40 % в вариантах опыта с облучением в дозе 100 Гр [135]. У клубней картофеля сорта Agata после обработки в дозе 150 Гр и последующего хранения в течение 35 дней потери массы были ниже, чем в контроле. После облучения в дозе 2 кГр наблюдалось ускорение потери массы клубнями, однако различия с контролем не были достоверными. Авторы исследования делают предположение об усилении скорости дыхания клубней после обработки высокими дозами излучения [188]. На картофеле сорта Kufri Jyoti, облученном в дозе 100 Гр и хранившемся в течение 5 месяцев при 15 °С, было показано, что потери массы в вариантах опыта с облучением составили 0,62 % против 27,4 % в контроле [177].

Несмотря на то, что результаты большинства исследований указывают на то, что картофель лучше сохраняет свою массу после облучения, Ezekiel L. и коллеги на основании полученных ими данных пришли к выводу о том, что картофель, облученный в дозах 10 Гр и 50 Гр, хранившийся при температуре 8 °С и 12 °С в течение 4 месяцев, по показателю потери

массы сохранился хуже, чем необлученный [98]. Вероятно, такой вывод связан с ошибочной интерпретацией результатов, поскольку в тексте публикации указывается на то, что уже спустя месяц хранения, потери массы облученного картофеля достигли 100 %, но при этом облученный картофель сохранялся в течение всего срока эксперимента, что указывает на невозможность подобной ситуации, и представленные в работе графики лишь подтверждают это предположение. Кроме того, в качестве контроля в исследовании использовались клубни картофеля, дважды обработанные хлорпрофамом – химическим ингибитором прорастания, что делает сравнение между облученным и необлученным картофелем не вполне корректным. Такие результаты позволяют предположить, что после обработки хлорпрофамом картофель сохраняется лучше, чем после облучения. Однако результаты сравнительного исследования, проведенного на сортах картофеля Pontiac, Kennebec и Russet Burbank продемонстрировали обратное [94]. Эффективное подавление прорастания наблюдалось как у облученных клубней, так и у обработанных хлорпрофамом в течение 1 года хранения при температуре 12,8 °С и относительной влажности 75 %. Необработанные клубни начали прорасти через 2 месяца после сбора урожая, через 6 месяцев проросли обильно, а через 7 месяцев были удалены из теста из-за очень низкого качества. Облученные клубни и клубни, обработанные хлорпрофамом, показали почти одинаковую степень усадки, при этом облученные клубни через 9 месяцев после сбора урожая по этому показателю оказались лучше.

Потеря массы луковиц репчатого лука сорта *Valenciana Sintetica* 14, выращенного в Аргентине, по истечению 270-дневного хранения при температуре от 6 до 32 °С и относительной влажности от 50 до 90 % составила 43,3 % в контроле по сравнению с 22,8 % в образцах, обработанных в дозе 30 Гр [88]. В исследовании, проведенном в Индии, потеря массы луковиц репчатого лука после 4,5 месяцев хранения при температуре от 23 до 32 °С и относительной влажности 60–80 % составила 15,2 % в образцах облученных в дозе 60 Гр, против 27,7 % в необлученных [194]. Потери массы луковиц чеснока сорта *Red* к концу 300 суток хранения при температуре от 6 до 32 °С и относительной влажности 58–86 % составили 55 % и 24 % в контроле и после облучения в дозе 30 Гр соответственно [88]. Облучение луковиц чеснока сорта *PG-18* в дозе 120 Гр с последующим хранением в течение 6,5 месяцев при температуре 27–35 °С и относительной влажности воздуха 34–76 % позволило минимизировать потери массы за счет подавления прорастания и обеспечить высокое качество [184].

Что касается мощности дозы излучения, то некоторыми исследователями в работах, проведенных на картофеле [26; 131; 148; 179] и луке [104; 118; 165] была показана зависимость эффективности радиационной обработки с целью подавления прорастания от мощности дозы

ионизирующего излучения – чем выше мощность дозы, тем эффективнее обработка, в то время в другими она не была обнаружена [138]. Однако здесь стоит отметить, что для практических целей наибольшее значение имеет равномерное распределение дозы в объеме облучаемой продукции, а не скорость ее обработки.

1.4.2 Влияние сортовых различий и температуры хранения

Для клубнеплодных культур, в частности для картофеля, минимальная доза необходимая для эффективного подавления прорастания имеет выраженные сортовые различия [79; 80; 115; 148; 152; 154; 155; 168; 173; 178].

В работе [95] оценивалась эффективность подавления прорастания четырех сортов картофеля в зависимости от температуры хранения. Показано, что для всех опытных сортов требуется увеличение дозы для подавления прорастания при хранении в условиях повышенной температуры. Для белого картофеля сортов Sebago и Katahdin доза 46,5 Гр предотвратила прорастание при 5 °С, но при 12,8 °С была необходима доза 69,8 Гр. Для сорта Red Pontiac потребовалась доза 69,8 Гр при низкой температуре хранения и 116,3 Гр при хранении в условиях повышенной температуры. Доза 46,5 Гр полностью подавляла прорастание картофеля сорта Russett Burbank, хранившегося при 5 °С, и заметно подавляла прорастание картофеля, хранившегося при 12,8 °С. По результатам исследования [80] на картофеле сорта McIntosh показано, что доза в 35 Гр дала коммерчески приемлемый результат. После облучения в дозе 85 Гр уже имеющиеся ростки полностью погибали и их образования в дальнейшем не происходило. В то же время на других сортах было показано, что для полного уничтожения ростков дозы 85 Гр оказалось недостаточно. Burton и De Jong (1959) [79] также показали, что эффективность подавления прорастания облучением широко варьирует в зависимости от сорта и физиологического состояния картофеля, а также от способа его хранения. В работе [155] показано, что облучение в дозе 46,5 Гр было менее эффективным, чем после облучения в дозе 139,5 Гр если картофель хранился при температуре 14 °С, однако облучение в дозе 46,5 Гр давало приемлемый результат при хранении в условиях более низкой температуры. Прорастание картофеля, обработанного в дозе 75 Гр, полностью подавлялось при хранении в условиях низкой температуры, однако хранение при повышенной температуре требовало применения дозы 90 Гр [168]. Согласно данным [148] доза в 60 Гр была оптимальной для обработки картофеля сорта Gola, тогда как для сорта Up-to-Date требовалось применение дозы 90 Гр. Метлиским Л.В. показано, что для подавления прорастания картофеля сорта Лорх необходима доза 100 Гр, тогда как другим сортам оказалось достаточно 80 Гр [154]. Freund G.A. пришел к выводу, что

облучение картофеля в диапазоне доз от 70 до 100 Гр должно подавлять прорастание при любых условиях хранения [190].

Для луковичных культур влияние сортовых различий изучено недостаточно. Известно, что величина дозы, необходимой для подавления прорастания зависит от того, находятся ли луковицы в состоянии покоя или уже вышли из него на момент облучения. Период покоя некоторых сортов лука может быть продлен путем хранения их при более высоких температурах (26–30 °С). Для других сортов больше подходит низкотемпературное хранение, например, при 3–5 °С. Таким образом, становится очевидным, что оптимальная доза облучения и условия хранения до и после облучения должны определяться для каждого конкретного сорта.

1.4.3 Влияние интервала времени между уборкой урожая и облучением

На эффективность подавления прорастания как клубнеплодных, так и луковичных культур влияет временной интервал между уборкой урожая и облучением [121; 199]. Согласно рекомендациям МАГАТЭ картофель перед облучением следует выдерживать не менее 2-х недель для заживления повреждений, имеющихся на клубнях, полученных ими в ходе уборки и транспортировки, поскольку облучение существенно замедляет процессы регенерации [120]. Так, например, в исследовании [145] показано, что спустя 5 дней после уборки урожая облучение клубней картофеля в дозах 0,04, 0,08, 0,12 и 1 кГр полностью подавляло прорастание на протяжении 3-х месяцев хранения в помещении с температурой воздуха 20–22 °С. При этом отмечено, что количество клубней с признаками гниения во всех вариантах опыта с облучением было выше, чем в контроле (8, 4, 4 и 42 % в опыте по сравнению с 2 % в контроле соответственно). После обработки спустя 30 дней после уборки урожая в вариантах опыта с облучением в дозе 40 Гр количество проросших клубней составило 10 % (в контроле 100 %). Количество подгнивших клубней в этом случае было ниже, чем в контроле (5,6 % по сравнению с 11,1 % соответственно). В вариантах опыта с облучением в дозах 0,08, 0,12 и 1 кГр проросшие клубни отсутствовали, а количество подгнивших клубней при облучении в максимальной дозе составило всего 7,4 %.

Установлено, что для практических целей подавления прорастания картофеля применение доз в диапазоне от 70 до 100 Гр является достаточным независимо от величины интервала между уборкой урожая и облучением [195]. Для большинства сортов картофеля подавление прорастания облучением оказывается наиболее эффективным, если оно проводится в течение не более чем одного месяца после уборки урожая, пока клубни находятся в состоянии физиологического покоя. Показано, что картофель сорта Лорх, облученный через две недели после уборки урожая

сохранился лучше, чем картофель, вышедший из состояния покоя [26]. В краткосрочном эксперименте на картофеле сорта Kufri Juoti показано, что клубни, облученные в дозах 150 и 500 Гр на 15-е и 30-е сутки после уборки урожая не прорастали в течение двух месяцев хранения при 6 °С, 15 °С и 34–37 °С [90]. Облучение в дозе 100 Гр на 10-е и 30-е сутки после уборки урожая полностью подавляло прорастание картофеля сортов Agria и Marfona, но при облучении на 50-е сутки не прорастал только картофель сорта Agria. Облученные на ранних сроках хранения клубни также лучше сохранялись по показателям потери массы и удельного веса [173]. При облучении в период покоя с увеличением интервала времени между уборкой и облучением растет и необходимая для эффективного подавления доза ионизирующего излучения [26; 131; 148; 174]. Также стоит отметить, что на поздних сроках хранения для подавления прорастания может потребоваться применение более высоких доз. Lee M. и Kim H. удалось достичь полного подавления прорастания картофеля сорта Irish Cobbler на протяжении двух месяцев хранения при комнатной температуре облучением в дозе 160 Гр. Клубни, обработанные в дозах 20, 40 и 80 Гр, проросли. И здесь важно отметить, что предварительно клубни хранились в течение 4,5 месяцев при 5 °С [140]. В работе [210] показано, что для подавления роста уже имеющихся ростков и предотвращения развития новых потребовалась доза 140 Гр.

Для некоторых сортов зависимость от интервала времени между уборкой урожая и облучением не обнаружена. По-видимому, ключевую роль в этом вопросе играет величина дозы излучения, и чем она выше, тем менее выраженной будет данная зависимость. Так, например, задержка между уборкой и облучением не повлияла на эффективность подавления прорастания картофеля сорта Russett Burbank, облученного в дозе 110 Гр спустя 6, 22 и 32 недели после сбора урожая и хранившегося при температуре 4,4 °С [117]. Рубин Б.А. с коллегами в своем всестороннем обзоре использования радиации для подавления прорастания картофеля отмечают: несмотря на то, что картофель, обработанный в дозе 100 Гр, не дает всходов, такая доза не обязательно является оптимальной. Максимальная чувствительность к радиации возникает не у всех сортов одновременно. Авторами обзора было показано, что сорта Московский, Передовик и Эпрон проявили наибольшую чувствительность к облучению в период покоя, а сорта Берлинка и Приекульский ранний – при появлении первых ростков. Некоторые сорта более чувствительны, чем другие, независимо от того в какой стадии они находятся. Так, сорта Ранняя роза, Московский, Передовик, Лорх требовали меньших доз для подавления прорастания, чем сорта Эпрон и Берлинка [40].

Луковичные культуры, в отличие от клубнеплодных, не нуждаются в длительном этапе регенерации повреждений, поэтому их допустимо облучать сразу после уборки урожая [100].

Результаты исследований, проведенных на широком спектре видов и сортов луковичных, выращенных в различных агроклиматических условиях, показали, что дозы в диапазоне от 20 до 90 Гр обеспечивают подавление прорастания при облучении в течение первых 2–4 недель [83; 91; 110; 112; 114; 137; 152; 160; 169; 187; 193; 194; 197; 198; 209]. В некоторых случаях хороших результатов удавалось достичь применением доз вышеуказанного диапазона даже спустя 1–3 месяца после уборки урожая [88; 149], тогда как в других необходимо было использовать дозы свыше 100 Гр [143; 186].

1.5 Влияние радиационной обработки на биохимические показатели качества продукции

Подобно другим методам обработки пищи, облучение может вызвать изменения ее химического состава и пищевой ценности. В 1980 году Объединенный комитет экспертов ФАО / МАГАТЭ / ВОЗ сделал заключение, что потребление пищевых продуктов, облученных в дозах до 10 кГр является безопасным (не представляет токсикологической опасности для здоровья человека) [205]. Что касается питательной ценности облученной пищевой продукции, то потери микро- и макронутриентов либо оказываются чрезвычайно малы, если проводить сравнение с потерями, связанными с порчей продукции в результате ее прорастания. Объединенный комитет экспертов ФАО / МАГАТЭ / ВОЗ также счел, что облучение пищевых продуктов в дозах до 10 кГр не приводит к серьезным изменениям пищевой ценности, однако подчеркнул необходимость уделять особое внимание значению любых изменений в отношении каждого конкретного облученного продукта и его роли в рационе [205].

Сухое вещество представляет собой органические и неорганические компоненты, не содержащие влаги. На 90–95 % сухое вещество растений представлено органической частью – углеводами (сахарами, крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами). Остальная часть приходится на свободные аминокислоты, белки и жиры. Содержание сухого вещества в сельскохозяйственной продукции может широко варьировать в зависимости от видовых и сортовых особенностей, технологии выращивания, агроклиматических условий и других факторов. Содержание сухого вещества, в особенности крахмала, имеет важное значение для перерабатывающей промышленности. Чем выше содержание сухого вещества, тем выше выход готовой продукции. В клубнях картофеля содержание сухого вещества составляет в среднем около 25 %, в репчатом луке – 15 %, в луковицах чеснока – 35–40 % [45].

Известно, что прорастание увеличивает активность ферментов α -амилазы и различных протеаз, что приводит к деградации как крахмала, так и белков, а также к потере общего сухого

вещества при хранении [137]. Можно предположить, что благодаря своей способности тормозить физиологические процессы в запасающих органах растений облучение ингибирует работу вышеуказанных ферментов, что отразится на содержании сухого вещества.

Анализ опубликованных результатов исследований показал, что в контексте радиационной обработки с целью подавления прорастания в качестве критерия оценки влияния ионизирующего излучения сухое вещество используется довольно редко. Исследователи чаще прибегают к определению содержания крахмала и свободных сахаров [41; 90; 103; 188; 193], т.к. эти показатели представляют больший интерес для технологов. Однако использование сухого вещества в качестве показателя позволяет получить более полное представление о процессах метаболизма в облученной продукции, поскольку, как уже отмечалось выше, оно включает в себя все компоненты, не содержащие влагу, и более полно отражает интенсивность хода этих процессов. К сожалению, имеющихся на сегодняшний день исследований недостаточно для того, чтобы получить четкое представление о том, как ионизирующие излучения влияют на содержание сухого вещества.

Показано, что обработка клубней γ -излучением в дозе 15 Гр способствовала снижению содержания сухих веществ в клубнях (на 0,7 % по сравнению с контролем). Однако после облучения в более высоких дозах 25–150 Гр подобного эффекта не наблюдалось [21]. Облучение в дозах свыше 120 Гр снизило потери сухого вещества клубней в процессе хранения в 1,5–2,0 раза по сравнению с необлученным картофелем [53]. Результаты исследования, проведенного Miladi Lari, показали, что после облучения изменение содержания сухого вещества в репчатом луке сильно зависит от сорта. У сорта White-Qom наименьшее (7,57 %) и максимальное (12,45 %) содержание сухого вещества наблюдалось при дозах 90 и 120 Гр соответственно, и имело достоверные отличия от контроля (9,8 %), тогда как у сорта Red-Ray-Corrugated самое высокое содержание сухого вещества наблюдалось после облучения в дозе 30 Гр (12,85 %) [157].

Как уже отмечалось выше, ряд исследований был посвящен изучению влияния ионизирующих излучений на метаболизм углеводов, в особенности на соотношение редуцирующих и нередуцирующих сахаров. Редуцирующие сахара – это сахара, которые могут взаимодействовать с молекулами других веществ, например, с водой или белками, образуя химические связи. Такие сахара обладают способностью к восстановлению (редукции), то есть могут передавать электроны другим молекулам. К редуцирующим сахарам относятся, например, глюкоза, фруктоза. Редуцирующие сахара играют существенную роль в процессах переработки, где подразумевается воздействие высокой температуры, например, в процессе приготовления чипсов, картофеля фри, луковых колец, хлопьев. Чем выше содержание редуцирующих сахаров,

тем темнее цвет конечного продукта, так как при высокой температуре в присутствии воды между редуцирующими сахарами и аминокислотами происходит реакция сахароаминной конденсации (реакция Майяра). В результате данной реакции изменяется не только цвет готового продукта, но также его вкусовые и ароматические свойства, что необходимо учитывать в процессе производства. При изготовлении массовых продуктов питания содержание редуцирующих сахаров должно быть как можно ниже. Так, при производстве чипсов их количество в сыром картофеле не должно превышать 0,4 %, при производстве картофеля фри и столового сушеного картофеля – 0,5 % [43].

В условиях хранения при низких положительных температурах происходит увеличение количества сахаров. Сахара накапливаются за счет их образования из крахмала и особенно интенсивно при температуре ниже 3 °С. Таким образом, содержание сахаров может достигать 8–10 %, и тогда, например, картофель становится сладким на вкус. При повышении температуры процесс накопления сахаров замедляется, а при температуре 18–20 °С и т.д. происходит ресинтез крахмала и увеличивается расход сахаров на процессы дыхания и прорастания. В России в силу большого временного интервала между уборкой и посадкой хранение картофеля осуществляется при низкой температуре (2–4 °С), что приводит к накоплению сахаров. Картофель, предназначенный для переработки, рекомендуется хранить при температуре 8–10 °С. Однако сохранить сырье при высокой температуре в течение 11 месяцев сложно, поэтому перед переработкой с целью снижения содержания редуцирующих сахаров проводят т.н. рекондиционирование – выдерживание клубней при температуре около 20 °С в течение двух-трех недель [43].

Таким образом, изучение влияния радиационной обработки на содержание редуцирующих сахаров в облучаемой продукции представляет интерес не только для исследователей, но и для технологов.

По данным Объединенного комитета экспертов ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ общая концентрация углеводов после облучения картофеля в дозах до 100 Гр меняется незначительно, хотя сразу же наблюдается увеличение содержания свободного сахара. Облучение лука в диапазоне доз от 20 до 150 Гр не вызывает закономерных изменений в общем содержании сахара и редуцирующих сахаров [25]. Противоречивые результаты исследований могут быть связаны с сортовыми различиями, условиями хранения и другими факторами.

В работе [193] показано, что содержание редуцирующих сахаров в клубнях картофеля японского сорта *Nayashi 1* после облучения в дозе 100 Гр и хранения в течение 6 месяцев при комнатной температуре не превышало контрольных значений.

После обработки клубней картофеля сортов Janka, San и Bobr γ -излучением в дозе 150 Гр и хранения в течение 6 месяцев при температуре 4, 7 и 13 °С снизилось содержание крахмала, почти вдвое увеличилось содержание редуцирующих сахаров и наблюдалось 6-кратное увеличение содержания сахарозы [139]. В клубнях картофеля сорта Агата, облученных в дозах 0,10, 0,15 и 2 кГр спустя 35 дней хранения при температуре 24 °С содержание редуцирующих сахаров, в частности, глюкозы, увеличивалось пропорционально увеличению дозы γ -излучения [188]. Рост содержания редуцирующих сахаров наблюдался после обработки клубней картофеля сорта Russet Burbank в дозах выше 50 Гр. Уровень глюкозы в облученных клубнях составил 0,25 % от сырой массы, а в необлученных всего 0,08 %, однако после 2–6 месяцев хранения он возвращался к контрольным значениям. Концентрация глюкозы в обработанных клубнях также снижалась до значений в контроле после повышения температуры хранения с 7,2 °С до 14,4 °С [103].

Имеются также сообщения о том, что облучение вызывало снижение содержания редуцирующих сахаров после облучения [41; 101; 166]. Снижение содержания редуцирующих сахаров в 2,0–2,5 раза в клубнях картофеля сортов Гранд, Вымпел, Гала и Ред Скарлетт отмечено после облучения в дозе 50 Гр и хранения при температуре 9–10 °С, что позволило получить конечный продукт при обжаривании более высокого качества по показателю цвета [21]. Постепенное снижение содержания редуцирующих сахаров с увеличением дозы облучения также наблюдалось у картофеля сортов Agria и Russet Burbank после облучения в дозах 50 и 200 Гр и последующего хранения при температуре 9 °С в течение 6 месяцев [108].

Исследования показывают, что на содержание редуцирующих сахаров в облученном картофеле большое влияние оказывает температура хранения. В клубнях, хранившихся при 1,5 °С в течение 7 месяцев содержание сахаров было выше, чем в необлученных, тогда как при более высокой температуре хранения в облученных клубнях сахаров было меньше, чем в контрольных. Подобным образом повышенное содержание редуцирующих сахаров наблюдалось в клубнях, обработанных в дозах 100 и 250 Гр, и хранившихся при температуре от 0° до 4 °С в течение одного месяца, по сравнению с клубнями, хранившимися при 25 °С [154]. На картофеле сортов Kufri Jyoti, Kufri Chipsona-1 и Kufri Chipsona-2 было показано, что в клубнях, облученных в дозе 50 Гр, хранившихся в течение 4 месяцев при температуре 8 °С, содержание редуцирующих сахаров было выше, чем в клубнях, хранившихся при температуре 12 °С. В облученном картофеле содержание редуцирующих сахаров было выше, чем в необлученном обработанном хлопрофамом [98]. На картофеле сорта Russet Burbank было показано, что после облучения в дозах 52 Гр и 140 Гр и последующего хранения при температуре 4 °С и 21 °С на 16 сутки после

облучения наблюдался рост содержания как редуцирующих, так и не редуцирующих сахаров. Через 16 дней после облучения в клубнях, хранившихся при температуре 4 °С содержание сахарозы, выросло в 3 раза по сравнению с контролем. Накопление фруктозы и глюкозы происходило менее интенсивно, причем в клубнях, облученных в дозе 140 Гр, их содержание было ниже, чем в клубнях, облученных в дозе 52 Гр. В облученном картофеле, хранившемся при температуре 21 °С, содержание глюкозы было выше, чем в контроле, достигая максимума на 4 сутки после облучения, а затем постепенно снижалось до контрольных значений. Спустя пять месяцев хранения, содержание редуцирующих и нередуцирующих сахаров в вариантах опыта с облучением не превышало контрольные значения [182]. Обработка клубней в дозе 15 Гр с последующим хранением в течение 8 месяцев при 10 °С способствовала увеличению содержания редуцирующих сахаров (до 0,15 %), что, по мнению авторов, связано с более интенсивным процессом дыхания клубней, однако при облучении клубней в более высоких дозах 25–150 Гр этого эффекта не наблюдалось [22].

Касательно облучения репчатого лука Объединенный комитет экспертов ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ заявил, что после обработки γ -излучением в диапазоне доз от 20 до 150 Гр не отмечается закономерных изменений в общем содержании сахара и редуцирующих сахаров [36].

Результаты исследования, выполненные с использованием лука сорта *Jaune d'Espagne* показало, что после 6 месяцев хранения при 4 °С, 10 °С и 20 °С достоверных различий между необлученным контролем и вариантами опыта с облучением в дозе 150 Гр выявлено не было. В вариантах опыта с облучением в дозе 300 Гр уровень глюкозы оказался достоверно ниже, чем в контроле. Содержание фруктозы во всех вариантах опыта с облучением также было достоверно ниже, чем в контроле [73]. Метлицким Л.В. и его коллегами было показано, что углеводный состав различных сортов лука, облученного в дозе до 100 Гр, варьировал слабо, и через 2 месяца после облучения содержание редуцирующих и нередуцирующих сахаров составляло 3,05 и 5 % соответственно против 2,15 и 5 % в необлученном контроле [27]. После 5 месяцев хранения не было обнаружено достоверных различий в содержании редуцирующих сахаров и общего сахара в луке сортов *Grano*, *Egyptian*, и *Riverside*, выращенного в Израиле и облученного в дозе 70 Гр [158]. Облучение лука 11 сортов, произрастающих в разных префектурах Японии, в дозах от 50 до 500 Гр не оказывало достоверно значимого влияния на общее содержание свободных сахаров (сахарозы, глюкозы и фруктозы) [163]. В работе [142] отмечается, что с момента начала прорастания в необлученных луковицах репчатого лука наблюдался значительный рост содержания редуцирующих сахаров, тогда как в облученном луке этого не происходило.

В организм человека нитраты поступают главным образом при потреблении в пищу растительных продуктов. Для высших растений нитраты являются важными питательными соединениями. Азот поступает в почву с дождем в виде аммиака, который образуется во время электрических разрядов в атмосфере, а также при разложении органических веществ, попадающих в почву. Микроорганизмы расщепляют белки и другие органические соединения до аминокислот, а затем до более простых соединений. От аминокислоты отщепляется аминогруппа (NH_2), из которой и образуется аммиак (NH_3). Часть аммиака улетучивается, а часть связывается в почве в форме солей аммония, а также окисляется нитрифицирующими микроорганизмами до нитратов и нитритов [28].

Содержание нитратов в растительной продукции зависит от видовых и сортовых особенностей, степени зрелости урожая, почвенно-климатических условий, технологии выращивания и в особенности от соблюдения регламентов применения азотных удобрений. Согласно постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 14 ноября 2001 г. № 36 «О введении в действие санитарных правил» (с изменениями от 31 мая, 20 августа 2002 г., 15 апреля 2003 г.) допустимый уровень содержания нитратов в картофеле не должен превышать 250 мг/кг, в репчатом луке – 80 мг/кг, в чесноке содержание нитратов не нормируется.

Анализ литературы показал, что исследований, в которых оценивалось содержание нитратов в облученной сельскохозяйственной продукции критически мало, и их результаты не позволяют сделать какой-либо однозначный вывод. Показано, например, что в клубнях картофеля сортов Russet Burbank и Kennebec, облученных в дозах 0,1 и 1 кГр, содержание нитратов спустя 3 месяца хранения при температуре 5 и 20 °С значительно превышало контрольные значения [159]. Однако авторы другого исследования на сортах картофеля Гранд, Вымпел, Гала и Ред Скарлетт показали, что после облучения в дозах 15, 25 и 50 Гр и последующего хранения при температуре 6–7 °С и 9–10 °С превышения содержания нитратов в клубнях не наблюдалось [21]. Облучение картофеля в дозах от 70 до 100 Гр через две недели после уборки урожая не оказало заметного влияния на содержание азотистых соединений, за исключением начального периода хранения, когда содержание небелкового азота увеличилось за счет разложения белкового. При длительном хранении содержание белкового и небелкового азота оказалось равным как в облученных, так и в контрольных клубнях [18].

Здесь также важно отметить, что представленные в докладах ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ токсикологические данные не указывают на какую-либо опасность для здоровья при потреблении облученного картофеля и лука [36].

Клубнеплодные и луковичные культуры являются богатыми источниками витаминов и играют важную роль в рационе питания человека. В ряде исследований было показано, что после обработки различных видов пищевой продукции ионизирующим излучением наблюдается снижение содержания витаминов, чувствительных к радиационно-индуцированному окислению, таких, например, как витаминов группы А, тиамин (витамин В₁), витамина С и токоферола (витамин Е), в то время как рибофлавин (В₂), ниацин (В₃), пиридоксин (В₆), биотин и др. являются относительно устойчивыми [55; 107; 136]. По этой причине изучению стабильности витаминов в ответ на действие облучения в дозах, подавляющих прорастание, также было посвящено немало исследований.

Из всех витаминов клубнеплодные культуры, в частности картофель, наиболее всего богаты витамином С, который представлен в них в виде аскорбиновой кислоты и в меньшей степени дигидроаскорбиновой кислотой (последняя также является биологически активной). Суточная доля потребления витамина С, получаемая человеком из картофеля, составляет около 34 % [195], и как уже говорилось ранее, этому витамину было уделено особо пристальное внимание исследователей, т.к. картофель играет важную роль в пищевом рационе. По данным, представленным в 1978 году Объединенным комитетом экспертов ФАО / МАГАТЭ / ВОЗ, при облучении картофеля в дозах до 100 Гр потери витамина С не превышают 15 % и при последующем хранении не нарастают [36]. Облучение в дозах до 100 Гр не приводило и к снижению содержания витаминов группы В и никотиновой кислоты [26; 140; 150; 151; 160].

Несмотря на то, что сразу после облучения может наблюдаться снижение содержания витамина С в облученных клубнях, впоследствии при хранении потери нивелируются до контрольных значений, и в некоторых случаях эти потери оказываются даже ниже. Так, например, значительное снижение содержания витамина С отмечалось сразу после обработки клубней в дозе 100 Гр, но в процессе хранения разница между облученными и необлученными клубнями исчезала [42]. Рубин Б.А. и Метлицкий Л.В. на картофеле сортов Лорх и Берлихинген показали, что высокие потери аскорбиновой кислоты в клубнях имели место уже через 3 ч после облучения в дозе 88 Гр (12,8 мг % в опыте против 15 мг % в контроле). Облученный картофель был заложен на хранение в октябре. В дальнейшем, по мере выхода контрольных клубней из состояния покоя и усиления дыхательного газообмена, содержание аскорбиновой кислоты в их тканях убывало более интенсивно, чем в облученных, и уже к июню и те и другие клубни по данному показателю друг от друга не отличались. Так, содержание аскорбиновой кислоты к концу июня у облученных клубней составляло 7 мг %, а у контрольных 6,8 мг % [41]. Исследования на нескольких индийских сортах картофеля показали, что независимо от сорта

содержание аскорбиновой кислоты снижалось после облучения дозой 100 Гр на начальном этапе хранения как при 30 °С, так и при температуре 15 °С. Однако при длительном хранении содержание было равным или даже превышало таковое в контроле. Содержание аскорбиновой кислоты в облученных клубнях, хранившихся при температуре 15 °С, было выше, чем в необлученных контрольных, которые хранились при температуре 2–4 °С в течение такого же периода времени [134; 196]. Подобные результаты были получены и другими авторами [18; 72; 78; 134; 150; 156; 166; 167; 170; 180; 181; 206; 208]. Стоит отметить тот факт, что время между облучением клубней картофеля и падением содержания в них витамина С, а также время, в течение которого при последующем хранении содержание витамина С достигало контрольных значений, во всех рассмотренных выше исследованиях существенно варьировало, что, по всей видимости, было связано с величиной используемой дозы излучения, сортовыми различиями картофеля, условиями, временем хранения и прочими факторами. Немногочисленные результаты исследований, в которых для ингибирования прорастания картофеля применялись дозы облучения свыше 100 Гр являются весьма противоречивыми. Показано, например, что содержание витамина С не изменялось сразу после облучения в дозах от 0,1 до 1,0 кГр, тогда как через неделю его содержание снижалось пропорционально увеличению дозы [109]. В эксперименте на пяти сортах картофеля в ответ на облучение дозами до 150 Гр при последующем хранении в течение 4 месяцев изменений содержания аскорбиновой кислоты не наблюдалось вовсе [207]. Воздействие на картофель дозами до 90 Гр рентгеновского излучения не повлияло на содержание аскорбиновой кислоты, однако доза 135 Гр вызывала значительное снижение его содержания [76]. Также интересно отметить, что облучение картофеля рентгеновским излучением вскоре после уборки урожая приводило к значительному снижению концентрации аскорбиновой кислоты в клубнях, тогда как при облучении в более поздний период после уборки эффект был гораздо менее выраженным [24; 26].

Изучению влияния облучения на содержание витамина С в луковичных культурах также посвящен ряд исследований. Результаты большинства из них демонстрируют, что облучение не оказывает отрицательного воздействия на содержание витамина С, и любые изменения, наблюдаемые сразу после облучения, впоследствии нивелируются в процессе хранения [120].

Содержание витамина С в луке сортов Grano, Egyptian, и Riverside, выращенного в Израиле, облученного в дозе 70 Гр и хранившегося в течение 5 месяцев было не ниже, чем в контроле [158]. В исследовании [162] наблюдалось увеличение содержания аскорбиновой кислоты с ростом дозы излучения от 30 до 180 Гр. Небольшие различия в содержании витамина С в необлученном и облученном в дозе 60 Гр луке наблюдались спустя 9 месяцев хранения [24].

Наблюдаемое снижение содержания аскорбиновой кислоты после облучения лука дозами от 20 до 60 Гр сопровождалось повышением концентрации дегидроаскорбиновой кислоты [106]. В исследовании, проведенном на луке, выращенном в Венгрии и хранившемся в течение 10 месяцев после облучения, не наблюдалось достоверных различий в содержании витамина С среди облученных и необлученных образцов. Кроме того, содержание витамина С в облученных образцах, по-видимому, не зависело от времени облучения после сбора урожая [144].

В целом можно сказать, что обработка ионизирующим излучением не вызывает критического снижения содержания витаминов ни во время, ни после облучения в дозах, ингибирующих прорастание. В отечественной нормативной базе содержание витаминов в сельскохозяйственной продукции не нормируется, и по всей видимости, нет необходимости вводить данный критерий оценки качества для продукции, облученной с целью подавления прорастания и закладываемой на длительное хранение. Однако определение закономерностей поведения витаминов в облученной продукции может представлять интерес как для исследователей, так и для технологов, поскольку понимание этих механизмов позволит получать сельскохозяйственную продукцию наиболее высокого качества.

Анализ опубликованных результатов исследований демонстрирует высокий потенциал применения ионизирующего излучения с целью подавления прорастания сельскохозяйственной продукции. Показано, что облучение эффективно тормозит или вовсе блокирует ростовые процессы, что позволяет сохранить качество и обеспечить безопасность овощной продукции, закладываемой на длительное хранение. Срок хранения таких культур как картофель, репчатый лук и чеснок после радиационной обработки увеличивается в 2–3 раза без ухудшения со стороны биохимических показателей качества. Однако несмотря на обширные результаты экспериментальных данных, полученные многими авторами исследований, полное понимание механизмов радиационного подавления прорастания все еще отсутствует, что обуславливает необходимость изучения этого эффекта на разных уровнях организации – молекулярном, тканевом, организменном, – как для решения фундаментальных задач радиобиологии, так и для развития технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Общие диапазоны доз, обеспечивающих подавление ростовых процессов для растительной продукции в настоящее время определены, и в то же время для каждого вида продукции в пределах сорта, в зависимости от состояния качества, условий и времени хранения на момент облучения, требуется определение оптимальных режимов радиационной обработки с целью минимизации экономических и производственных затрат.

Таким образом, анализ литературы позволил выделить ряд нерешенных вопросов, требующих проведения исследований, в том числе направленных на раскрытие новых аспектов и углубление понимания существующих проблем. Для решения этих вопросов было необходимо:

1. Определить оптимальные диапазоны доз ионизирующего излучения, обеспечивающие подавление прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур.

2. Оценить влияние радиационной обработки на сохранность облученной овощной продукции в зависимости от температуры хранения, сортовых особенностей, условий выращивания и интервала времени между уборкой урожая и облучением.

3. Оценить влияние радиационной обработки на морфофизиологические и биохимические показатели качества облученной овощной продукции.

4. Оценить влияние ионизирующего излучения на изменение баланса основных классов фитогормонов в облученной овощной продукции.

5. Разработать технологические регламенты применения радиационной обработки картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения.

Полученные данные могут стать фундаментом для дальнейших изысканий и внесения вклада в развитие радиационных технологий облучения сельскохозяйственной продукции.

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Объект исследования

В качестве объекта исследований были выбраны представленные на отечественном рынке виды овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур, закладываемые на хранение, во время которого их качество может ухудшаться в результате прорастания.

В экспериментах использовались различающиеся по скорости созревания сорта картофеля (*Solanum tuberosum* L.) столового назначения: ультрараннеспелый сорт Леди Клэр, раннеспелые сорта – Ароза, Лабелла, Ред Леди, Ред Скарлетт, Уладар, среднеранние сорта – Лилли и Невский, среднеспелые – Вектор, Колобок, Фаворит и среднепоздний сорт Журавинка [52]. Репчатый лук (*Allium cepa* L.) двух сортов был представлен желтым раннеспелым луком сорта Ростовский и красным среднеспелым луком сорта Черный принц. Также использовался чеснок (*Allium sativum* L.) сорта Shandong Youshu (Китай).

Партии картофеля были закуплены в Калужском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (ФГБНУ «Калужский НИИСХ»). На всю закупленную продукцию была предоставлена декларация о соответствии требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [50]. Картофель сорта Леди Клэр выращивался на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях Брянской области с применением различных агроулучшителей. Партии репчатого лука и чеснока были закуплены на оптово-продовольственной базе ОАО «Меркурий-Обнинск» (г. Обнинск).

Образцы продукции были отсортированы по размеру и форме, осмотрены на предмет отсутствия механических повреждений и болезней – для исследований отбирались только здоровые клубни и луковицы, после чего они обрабатывались ионизирующим излучением и укладывались на хранение.

2.2 Условия облучения

Обработка клубней картофеля, луковиц репчатого лука и чеснока γ -излучением проводилась в НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (Калужская область, г. Обнинск) на УНУ «Гамма-установка радиационного облучения ГУР-120» (регистрационный номер 2795259). Установка ГУР-120 состоит из восьми блоков-облучателей, четыре против четырех, заряженных источниками ^{60}Co ГИК-7-4 с суммарной паспортной активностью источников гамма-излучения $4,47 \times 10^{15}$ Бк (Рисунок 2). Тип – стационарная, исследовательская с сухим способом защиты.

Параметры облучательского помещения: объем – 380 м³, площадь – 67,5 м², длина – 11,43 м, ширина – 5,9 м, высота – 5,6 м.

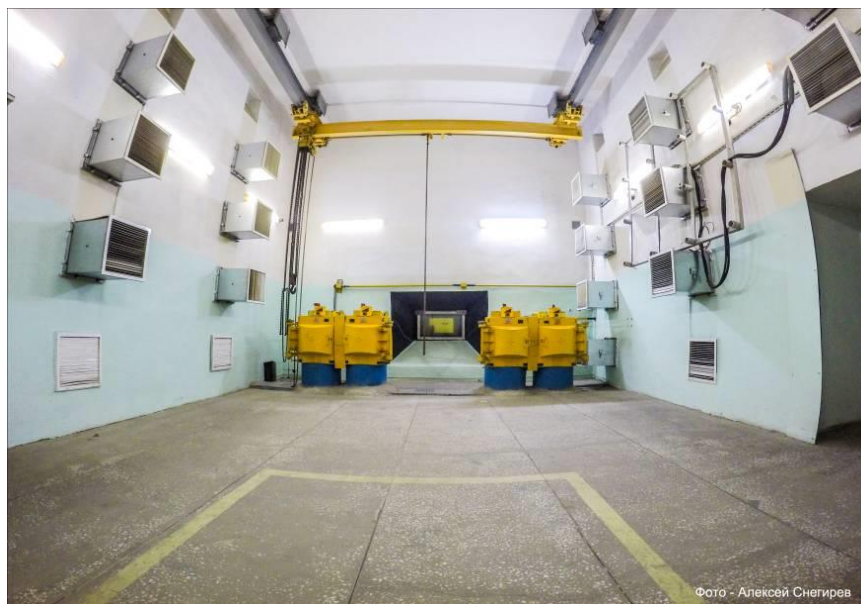


Рисунок 2 – Установка ГУР-120 для радиационной обработки

Поворотный контейнер-облучатель КОП-18 предназначен для создания регулируемой дозы излучения (Рисунок 2). Контейнеры-облучатели объединены попарно, и на каждую пару предусмотрен один механизм поворота кассет, шестерни которого приводятся в движение через карданный вал от исполнительного механизма с электроприводом. Привод устанавливается на корпусе проходки вала. Управление выводом и вводом источников осуществляется в автоматическом режиме при заданных параметрах облучения и в ручном режиме с пульта операторской комнаты.

Дозиметрический контроль осуществлялся при помощи дозиметра универсального ДКС-101 с ионизационной камерой БМК-50 (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Дозиметр универсальный ДКС-101 с ионизационной камерой БМК-50

Для равномерного распределения дозы γ -излучения контейнеры с продукцией периодически поворачивали таким образом, чтобы получить поглощённые дозы облучения в запланированных величинах. Во время процесса облучения и последующего хранения облучаемая продукция находилась в пластиковых контейнерах, имеющих специальную этикетку, отражающую всю необходимую информацию. Контролем служила необлученная продукция (Рисунок 4–7).



Рисунок 4 – Облучение овощной продукции на гамма-установке ГУР-120



Рисунок 5 – Этикетка с информацией об исследуемом виде продукции

2.3 Хранение облученной продукции

Облученные и необлученные (контроль) образцы картофеля хранились в пластиковых контейнерах размерами 585×385×140 мм в условиях двух температурных режимов (Рисунок 6). Места для хранения были оборудованы термометрами, велся регулярный учет показаний температуры.

- 1) в холодильной камере при температуре +6...+8 °С,
- 2) в помещении с температурой +18...+22 °С.



Рисунок 6 – Хранение клубней картофеля в холодильной камере (а) и в помещении (б)

Облученные и необлученные (контроль) луковицы репчатого лука и чеснока хранились в условиях двух температурных режимов (Рисунок 7):

- 1) в холодильной камере при температуре 0... –1 °С,
- 2) в помещении с температурой воздуха +18...+22 °С.



Рисунок 7 – Хранение репчатого лука и чеснока в холодильной камере (а) и в помещении (б)

Хронология проведения экспериментов по облучению с указанием вида продукции, сорта, дозы гамма-излучения и режима хранения представлены в Таблица 3.

Таблица 3 – Схема облучения продукции и дозы

Уборка урожая	Облучение	Вид продукции	Сорта	Доза, Гр	Температура хранения
Сентябрь 2018 г.	20 октября 2018 г.	Картофель	Ароза, Ред Скарлетт, Уладар, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Вектор, Журавинка, Колобок	0 (К), 50, 100, 150	+6...+8 °С
	20 января 2019 г.	Картофель	Ароза, Ред Скарлетт, Уладар, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Вектор, Журавинка, Колобок	0 (К), 50, 100, 150	+6...+8 °С

Продолжение таблицы

Сентябрь 2019 г.	21 декабря 2019 г.	Картофель	Невский, Фаворит	0 (К), 50, 100, 150, 250	+6...+8 °С +18...+22 °С
Август 2019 г.		Лук репчатый	Ростовский, Черный принц	0 (К), 50, 100, 150, 250	0... -1 °С +18...+22 °С
Август 2019 г.		Чеснок	Shandong Youshu, Китай	0 (К), 50, 100, 150, 250	0... -1 °С +18...+22 °С
Август 2020 г.	02 сентября 2020 г.	Картофель	Леди Клэр	0 (К), 50, 100, 150	+6...+8 °С +18...+22 °С

2.4 Определение потери массы клубней и луковиц

Масса клубней и луковиц является удобным и информативным показателем оценки эффективности подавления прорастания. Потеря массы при хранении происходит за счет естественной убыли в процессе дыхания и в результате транспирации при образовании ростков. Потерю массы клубней и луковиц оценивали каждые 1–2 месяца хранения по разнице между исходной и конечной массой. Величина потери массы рассчитывалась по формуле:

$$\text{Убыль массы} = \frac{(\text{Масса в начале хранения} - \text{Масса в конце хранения})}{\text{Масса в начале хранения}} \times 100 \% \quad (2)$$

Для взвешивания контейнеры с продукцией доставали из хранения, во избежание попадания света, контейнеры накрывались непрозрачным материалом. Для контроля этого показателя в каждой опытной партии имелось по 10 единиц продукции (клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока). Все они имели бирку с указанием номера варианта и номера клубня/луковицы. Взвешивание проводилось на лабораторных весах Oertling OC51 (Oertling, Австралия) с точностью до 0,1 г (Рисунок 8, а).

При взвешивании также проводилась визуальная оценка длины ростков. Клубни и луковицы оценивали как проросшие при наличии ростков длиной более 3 мм (Рисунок 8, б).

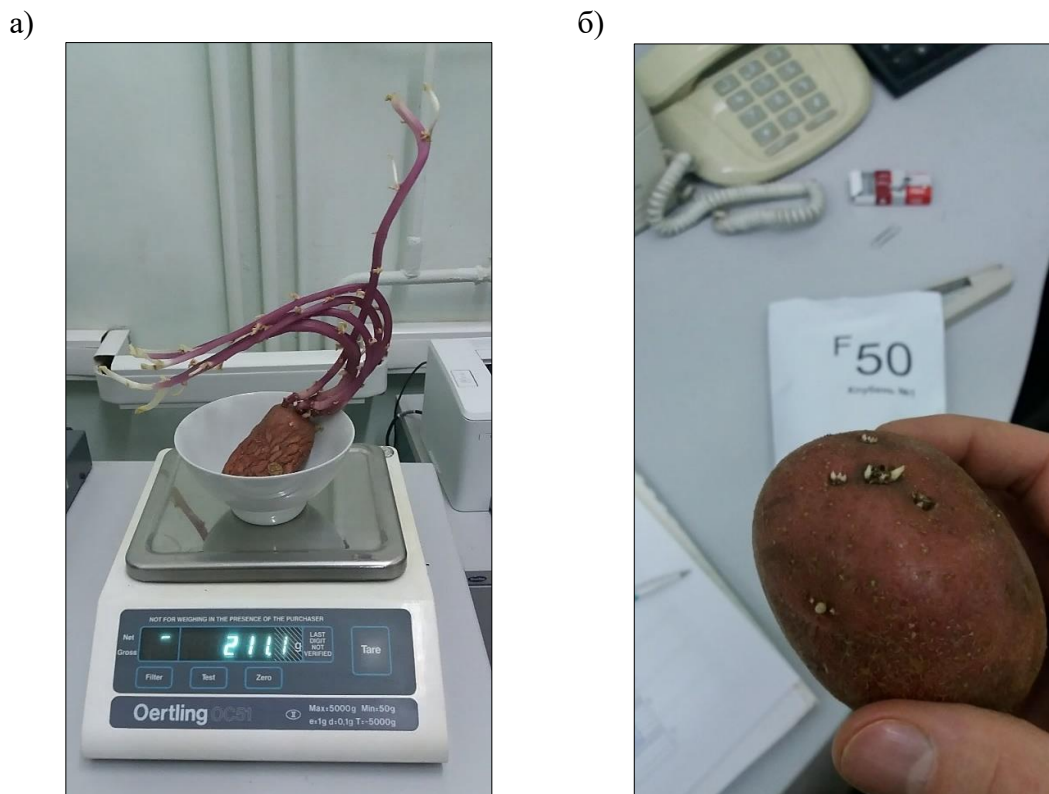


Рисунок 8 – Взвешивание (а) и визуальная оценка прорастания (б)

Влияние сортовых особенностей, дозы облучения и времени выдержки на изменение массы клубней и луковиц при хранении исследовали методом дисперсионного анализа ANOVA [33].

Первая часть эксперимента 2018–2019 гг. состояла в изучении влияния сортовых особенностей, дозы облучения и времени выдержки на изменение массы клубней картофеля, находящихся в состоянии покоя. Картофель девяти сортов был облучен 20 октября 2018 г. и убран на хранение при 6–8 °С (Таблица 3). Анализ литературы показал, что доза ионизирующего излучения, эффективно подавляющая прорастание картофеля, зависит от интервала времени между уборкой урожая и облучением. В связи с этим представляла интерес оценка эффективности радиационной обработки клубней, не только вышедших из состояния покоя, но также сильно проросших, на поздних сроках хранения. Таким образом, во второй части эксперимента использовались те же девять сортов картофеля. Облучение было проведено 20 февраля 2019 г. (Таблица 3).

Обзор литературы показал, что условия хранения являются вторым по значимости после времени хранения действующим фактором, определяющим величину потери массы сельскохозяйственной продукции. Оценка влияния условий хранения на изменение массы

клубней картофеля сортов, луковиц репчатого лука и чеснока проводилась в эксперименте 2019–2020 гг. (Таблица 3).

Для исследования также представляло интерес изучение влияния облучения на изменение массы клубней картофеля одного и того же сорта, но выращенного в различающихся условиях минерального питания, поскольку от этого может зависеть физиологическое состояние клубней. Исследование влияния облучения на изменение массы картофеля, выращенного с использованием различных агроулучшителей, проводилось на сорте Леди Клар в период с 2020 по 2021 гг. (Таблица 3).

2.5 Качественный и количественный анализ эндогенных гормонов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ)

Поддержание покоя и переход к прорастанию у растений находится под контролем фитогормонов. При прорастании клубней, корнеплодов и луковиц концентрации ауксинов и цитокининов в почках повышаются, что обеспечивает приток воды к ним, активацию биохимических процессов и формирование ростков. Абсцизовая кислота (АБК), наоборот, препятствует прорастанию и поддерживает состояние покоя [38]. Таким образом, особый интерес представляло изучение влияния облучения на метаболизм эндогенных гормонов в образцах облученной продукции.

В рамках комплексного исследования по оценке эффективности радиационной обработки для продления сроков хранения сельскохозяйственной продукции оценивалось содержание основных классов фитогормонов в почках картофеля сорта Фаворит, облученных в дозах 50, 100 и 150 Гр, контролем служили необлученные клубни. После облучения клубни хранили в холодильной камере при температуре +6...+8 °С в течение 7 месяцев. В исследовании оценивали содержание основных классов фитогормонов: 2-х представителей ауксинов – индолилуксусной (ИУК) и индолилмасляной (ИМК) кислот, зеатина (класс цитокинины) и АБК. Также было оценено соотношение содержания ростостимулирующих гормонов к ингибитору прорастания (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК. Для анализа у экспериментальных клубней с помощью скальпеля срезали почки с прилегающей тканью кожицы радиусом 0,5 см и замораживали в жидком азоте до пробоподготовки. Навеску леофилизированного материала весом 400 мг гомогенизировали в ступке в жидком азоте и переносили в эпендорф по 1,5 мл с добавлением 80% метанола (рН 3,5). В каждую пробирку добавляли по 100 мкл 0,1 % раствора трилона Б и по 100 мкл 0,1 % раствора 2-меркаптоэтанола. Пробирки с суспензией помещали в холодильник на шейкер на 30 минут. По

истечении 30 минут суспензию центрифугировали в течение 5 минут (14,5 грм), надосадочную жидкость отделяли.

Качественный и количественный анализ фитогормонов осуществлялся методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония) с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu) (Рисунок 9, а). Для разделения смеси веществ использовали аналитическую колонку с обращенной фазой C18 (Shim-pack XR-ODSII, 2 мкм, диаметр 3.0 мм, длина 100 мм, Shimadzu). Для пробоподготовки образцов использовали твердофазную экстракцию на приборе VacMaster-20 (Biotage, Норвегия) с использованием SPE колонок Biotage – ISOLUTE C18 (1 мл) (Рисунок 9, б). Для сольватации через SPE колонку пропускали 1 мл 100 % метанола, для уравнивания через колонку пропускали 1 мл 0,1 % раствора уксусной кислоты. Экстракцию проходили при давлении 0,35 бар. Очищенную фракцию собирали во флаконы (Рисунок 9, в), помещенные в стеклянную камеру установки.

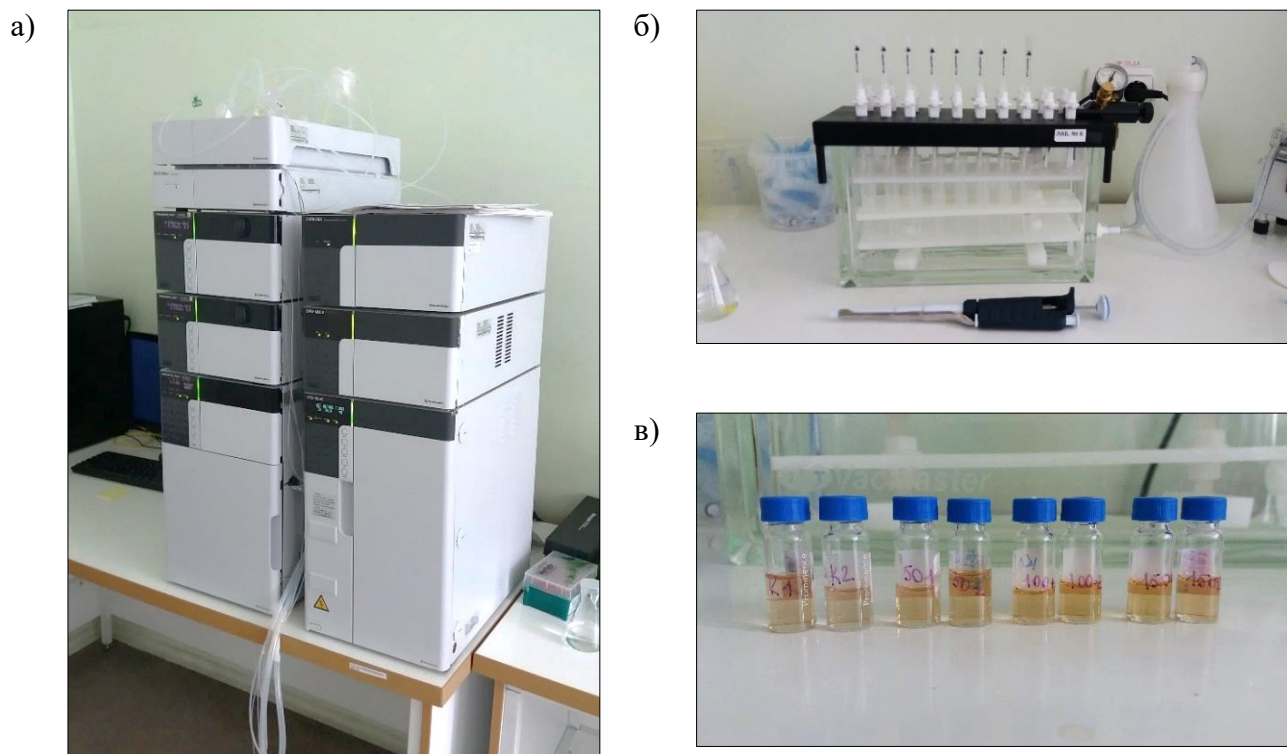


Рисунок 9 – Хроматограф Shimadzu LC-30 Nexera (а); вакуумный экстрактор VacMaster-20 (б), анализируемые экстракты (в)

Полученные таким образом экстракты пропускали через аналитическую колонку и в дальнейшем интерпретировали полученные спектры. Анализ проводили в трех повторностях, каждую повторность анализировали дважды для устранения инструментальных ошибок.

Экспериментальные данные анализировали, используя непараметрическую статистику. Значимость отличий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни.

2.6 Определение биохимических показателей качества облученной продукции

Оценка биохимических показателей качества облученной продукции включала в себя анализ содержания нитратов, крахмала и сухого вещества, редуцирующих сахаров, витамина С. Как показал обзор литературы, данные показатели наилучшим образом отражают качество овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур, облученной с целью подавления прорастания.

Авторами различных исследований показано, что содержание витамина С в продукции может снижаться сразу после облучения, достигая впоследствии уровня контрольных значений [36; 41; 42]. Таким образом, выбор данного показателя был обоснован необходимостью изучения поведения витамина С при длительном хранении облученной продукции.

Анализ литературы показал, что исследований, в которых проводилась оценка содержания нитратов в облученной продукции крайне мало, результаты противоречивы, и их недостаточно для понимания того, как изменяется этот показатель после облучения [21; 26; 159]. Как уже было сказано ранее содержание нитратов в продукции растительного происхождения на территории РФ нормируется и подлежит обязательному контролю (Приложение 3 к Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011), что и обусловило выбор данного показателя.

Массовая доля сухих веществ косвенно отражает активность ферментов α -амилазы и различных протеаз, работа которых в процессе прорастания приводит к деградации углеводов и белков [137]. Анализ содержания сухого вещества в растительном сырье представляет также практическое значение, поскольку чем оно выше, тем выше выход готового продукта.

Содержание редуцирующих сахаров в облученной продукции определяет ее пригодность к переработке, поскольку от этого зависит цвет готовых изделий. Несмотря на обилие исследований, их результаты зачастую противоречивы, отсутствуют дозовые зависимости. Это послужило предпосылкой к выяснению закономерностей изменения содержания редуцирующих сахаров после облучения.

Аналитические работы были выполнены аккредитованной лабораторией Испытательного центра «LIGHT GROUP» по действующим методикам Государственной системы обеспечения единства измерений (ГОСТ). Определение содержания витамина С проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 34151-2017 «Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью

высокоэффективной жидкостной хроматографии». Содержание нитратов определяли по МУ5048-89 «Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства». Определение массовой доли сухих веществ проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 33977-2016 «Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ». Содержание редуцирующих сахаров – ГОСТ 8756.13-87.

2.7 Технологии выращивания картофеля с применением различных агромелиорантов

Лежкость овощной продукции во многом зависит от условий выращивания и, в частности, от минерального питания при возделывании [48]. В этой связи представляла интерес оценка влияния радиационной обработки на сохранность клубней картофеля, выращенного на радиоактивно-загрязненной почве с применением различных агромелиорантов. Для данного исследования использовался ультрараннеспелый сорт картофеля Леди Клэр. Картофель выращивался в 2020 году на опытном участке ООО «ФХ Пуцко» Новозыбковского района Брянской области. ООО «ФХ Пуцко» расположено в центральной части Новозыбковского района Брянской области на землях СХПК «Память Ленина». Исследования были проведены на радиоактивно-загрязненных дерново-подзолистых супесчаных почвах на площади 30 га. Агрохимическая характеристика почв: рН_{KCl} 6,6; содержание гумуса – 1,7 %; подвижного фосфора и обменного калия – 257 и 206 мг/кг почвы, соответственно. Средняя плотность загрязнения почв ^{137}Cs – 231,4 кБк/м² (6,3 Ки/км²). Схема эксперимента на опытном участке представлена на Рисунок 10.



Рисунок 10 – Схема эксперимента на опытном участке ООО «ФХ Пуцко»

В исследовании применялись следующие виды агрохимикатов:

1. Доломитовая мука;
2. Доломитовая мука+КалийМаг;
3. ФосАгро (N₈P₂₀K₃₀) (далее ФосАгро);
4. Доломитовая мука + ФосАгро;
5. Доломитовая мука + ФосАгро + КалийМаг;
6. Боркалимагnezия;
7. Боркалимагnezия + ФосАгро.

1. Доломитовая мука является твердым агрохимикатом, содержащим карбонаты кальция и магния. Вносилась в количестве 2 т/га. Элементный состав муки представлен в Таблице 4.

Таблица 4 – Элементный состав доломитовой муки, % на сухую массу

Суммарная массовая доля карбонатов кальция и магния в том числе:	96,4
Карбонатов кальция	46,5
Карбонатов магния	49,9
Массовая доля влаги	0,90

2. «КалийМаг» – концентрированное гранулированное калийно-магниевое удобрение. По химическому составу представляет собой смесь хлорида калия, магния, кальция и натрия. Вносилось в количестве 0,4 т/га. Элементный состав представлен в Таблице 5.

Таблица 5 – Элементный состав удобрения «КалийМаг» (значения в %)

Массовая доля воды	1,3
Массовая доля хлористого калия (KCl) в пересчете на K ₂ O	46,8
Массовая доля хлористого Mg (MgCl ₂)	4,8

3. ФосАгро – марка с высоким содержанием калия и фосфора и низким содержанием азота. Имеет особую ценность для культур, требующих высокого содержания доступного фосфора и калия в почве (сахарной свеклы и картофеля, а также зерновых и зернобобовых культур). Вносилось в количестве 0,5 т/га. Элементный состав представлен в Таблице 6.

Таблица 6 – Элементный состав удобрения ФосАгро

P ₂ O ₅ в.раств.,% от общ.	P ₂ O ₅ ц.раств.,% от общ.	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
90	95	0,3–1	6	20	30	н.м. 2

4. «Боркалимагнезия» – комплексное смешанное удобрение на основе доломитовой муки, калия хлористого, сульфата аммония и бора. Вносилось в количестве 2 т/га. Элементный состав представлен в Таблице 7.

Таблица 7 – Элементный состав удобрения «Боркалимагнезия»

Вид удобрения	Содержание элементов питания, %
Боркалимагнезия марки А	MgO – 11 CaO – 12 K ₂ O – 12 N – 4 B – 0,25 Si – 2
Боркалимагнезия марки Б	MgO – 12 CaO – 13 K ₂ O – 13 B – 0,25 Si – 2

Во все варианты опыта, включая контрольный был внесен биологически активный органоминеральный комплекс «Гумитон» в количестве 1л/га.

5. «Гумитон» – применяется при выращивании овощных культур в открытом и защищенном грунтах, содержит макро – (N, P₂O₅ и K₂O), микроэлементы В, Мо, Мп, гуматы. Состав комплекса «Гумитон» представлен в Таблице 8.

Таблица 8 – Элементный состав комплекса «Гумитон» (% на сухую массу)

Общий азот (N)	10–12
Общий фосфор в пересчете на P ₂ O ₅	20–24
Общий калий в пересчете на K ₂ O	27–30
Органическое вещество	18–22
В том числе водорастворимые гуматы калия	11–14
Бор (В)	0,2
Молибден (Мо)	0,1
Марганец (Мп)	0,1
Зольный остаток, содержащий окислы и соли Са, Mg, Fe	10,6–25,6

Клубни картофеля были облучены в дозах 50, 100 и 150 Гр и затем хранились в течение 5 месяцев в холодильной камере при температуре +6...+8 °С (режим 1) и в помещении с температурой +18...+22 °С (режим 2).

ГЛАВА III. ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ХРАНЕНИЯ ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ПРОРАСТАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

3.1 Методологические подходы применения ионизирующего излучения для продления сроков хранения картофеля и луковичных

В работе применен комплексный подход к изучению механизмов и закономерностей биологического действия ионизирующего излучения на процесс подавления прорастания овощной продукции при хранении, включающий в себя как оценку параметров облучения, так и изучение физиологических процессов и биохимических показателей качества облученной продукции. Объектом исследования служили виды овощной продукции, качество которой может ухудшаться в процессе хранения в связи с прорастанием. Фактором воздействия выступало γ -излучение, количественно выраженное в единицах поглощенной дозы, накапливаемой овощной продукцией при облучении. Оценка параметров облучения, включала в себя выбор доз γ -излучения, обеспечивающих наилучший эффект подавления прорастания. Модифицирующими факторами выступали: время хранения продукции до и после облучения, видовые и сортовые особенности овощной продукции, условия хранения (в данном случае температура хранения). Эффекты воздействия факторов оценивались по изменению морфофизиологических и биохимических показателей качества продукции. Биологическое действие ионизирующего излучения на процесс прорастания оценивалось по изменению содержания фитогормонов в ответ на действие γ -излучения.

3.1.1 Анализ факторов, определяющих лежкость картофеля, репчатого лука и чеснока при хранении

Способность овощной продукции сохраняться в течение определенного времени без значительной потери массы, поражения фитопатогенами и физиологическими расстройствами, ухудшения товарного качества и потребительских свойств называется ее лежкостью. Лежкость картофеля, репчатого лука и чеснока зависит от большого числа факторов: сортовых особенностей, физиологического состояния клубней и луковиц, условий выращивания, правильности обращения в уборочный и послеуборочный период при хранении, продолжительности периода покоя, наличия повреждений и поражения болезнями.

Помимо лежкости существует также понятие сохраняемости овощной продукции. Сохраняемость это проявление лежкости в условиях данного сезона, зоны возделывания,

технологии и режима хранения. Сохраняемость характеризуется сроком хранения, а также величиной потерь продукции и степенью изменения ее качественных показателей за этот период. Обобщение учетов сохраняемости за несколько лет позволяет оценить лежкость.

Как уже говорилось выше, одной из причин естественной убыли массы овощной продукции при хранении является прорастание. В свою очередь, начало прорастания зависит от тех же факторов, что и влияют на лежкость продукции, и среди них продолжительность периода покоя, пожалуй, является определяющим фактором. Продолжительность периода глубокого покоя картофеля составляет от 1 до 3 месяцев. У различных видов и сортов лука и чеснока период покоя может вовсе отсутствовать, однако для большинства из них составляет несколько месяцев.

Интенсивность процесса прорастания определяется условиями хранения – в первую очередь, температурой. Соблюдение температурного режима имеет важное значение при хранении урожая картофеля, и этот режим зависит от предназначения картофеля. Согласно Государственной системой обеспечения единства измерений оптимальная температура хранения продовольственного картофеля находится в диапазоне от 3 до 6 °С, сырья для производства чипсов – от 7 до 10 °С. Предполагаемый срок хранения составляет 6 месяцев при естественном охлаждении и 8 месяцев при хранении с искусственным охлаждением [6]. Свежий репчатый лук и чеснок хранят в охлаждаемых складских помещениях или холодильных камерах при температурах, обеспечивающих сохранность. Сроки и диапазоны температуры хранения репчатого лука и чеснока Государственной системой обеспечения единства измерений не нормируются. Практика показывает, что для репчатого лука и чеснока подходят два способа хранения – холодный при температуре от -3 до 0 °С для репчатого лука и при температуре от 0 до +1 °С для чеснока, и теплый – при температуре +18...+22 °С для репчатого лука и чеснока.

Качество контрольных (необлученных) образцов всех видов и сортов овощной продукции ухудшалось в процессе хранения. Клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока проросли и утратили товарный вид. Проросшие луковицы репчатого лука сорта Ростовский на 6 месяце хранения при температуре +6...+8 °С начали загнивать (Рисунок А 114). Независимо от температуры хранения и сорта клубни картофеля постепенно утрачивали тургор, кожица клубней становилась сморщенной ввиду потери влаги, связанной с процессом дыхания и образования ростков. Потери необлученной продукции при хранении представлены в Таблица 9.

Таблица 9 – Потери необлученной продукции при хранении

Вид продукции	Начало прорастания	t°, С	Убыль массы, %	Ростки, %	Всего, %
Картофель					
Раннеспелые сорта					
Ароза	4 мес.	6–8	23,7	21,5	45,2
Лабелла		6–8	22,4	19,1	41,5
Леди Клэр	4 мес.	6–8	8,5	1,6	10,1
	3 мес.	18–22	28,3	7,1	35,4
Лилли	4 мес.	6–8	31,4	19,2	50,6
Невский		6–8	39,6	17,9	57,5
		18–22	62,6	5,8	68,4
Ред Леди		6–8	31,3	18,7	50,0
Ред Скарлетт		6–8	26,1	12,6	38,7
Уладар		6–8	28,8	17,6	46,4
Среднеспелые сорта					
Вектор	4 мес.	6–8	24,5	23,3	47,8
Колобок		6–8	40,9	19,2	60,1
Фаворит		6–8	29,3	16,2	45,5
		18–22	61,1	4,7	65,8
Позднеспелые сорта					
Журавинка	4 мес.	6–8	22,6	16,2	38,8
Репчатый лук и чеснок					
Ростовский	4 мес.	6–8	–	–	59,3
		18–22			66,1
Черный принц		6–8	–	–	68,8
		18–22			69,5
Чеснок	6 мес.	6–8	–	–	17,2
	4 мес.	18–22			22,1

3.1.2 Определение условий и технологических режимов применения ионизирующих излучений для повышения сохранности и обеспечения качества облученной продукции

3.1.2.1 Дозиметрия процесса облучения

Точное измерение дозы, поглощенной продуктом, необходимо для определения и контроля оптимальных параметров радиационной обработки. Для замедления прорастания овощной продукции в процессе хранения технологически рекомендуемый предел поглощенной

дозы составляет 0,2 кГр [203]. Рекомендованный диапазон доз для облучения картофеля против прорастания составляет 0,05–0,15 Гр [54].

Распределение поглощенной дозы по объему продукта при проведении радиационной обработки важно контролировать не только интегральную дозу, но и ее распределение по объему продукта. Различные режимы обработки предполагают отличные друг от друга дозовые распределения по глубине обрабатываемого объекта. Также необходимо учитывать такие параметры, как движение конвейера во время облучения, энергию излучения, схему, геометрию образцов, их плотность и т.п. [23].

Распределение мощности дозы γ -излучения при облучении 3-х ящиков с продукцией представлены на Рисунке 11. Величины средней мощности дозы γ -излучения для нижнего, среднего и верхнего ящиков, составили 55,2, 59,8 и 59,2 Гр/ч соответственно. Таким образом, средняя мощность дозы γ -излучения при облучении составляла 58,1 Гр/ч.

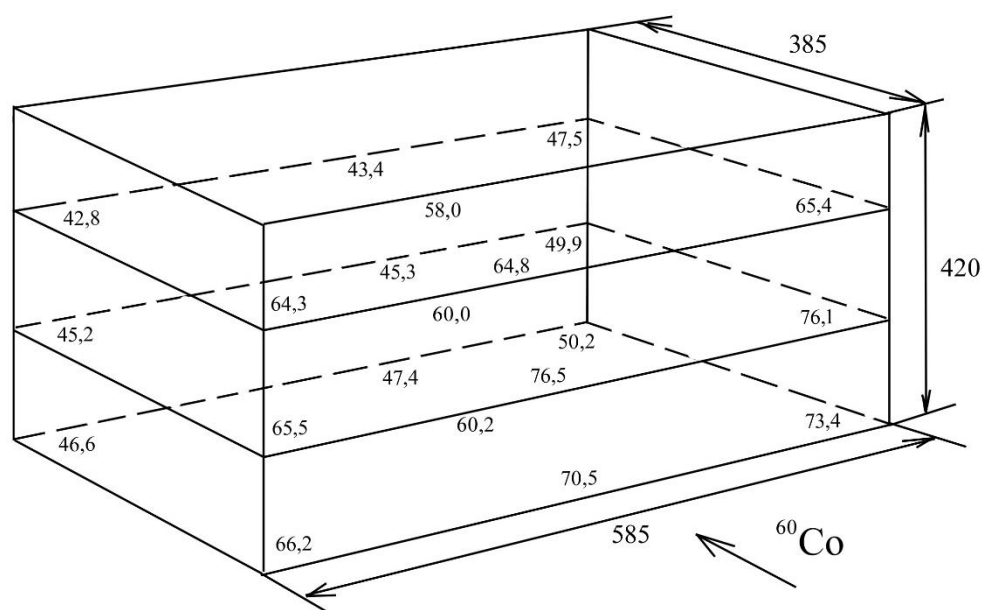


Рисунок 11 – Распределение мощности дозы γ -излучения

Обработку ящиков с продукцией γ -излучением проводили с таким расчётом, чтобы получить поглощённые дозы в запланированных величинах: 50, 100, 150 и 250 Гр. С этой целью продукцию выдерживали в зоне облучения в течение: 50 мин, 1 ч 40 мин, 2 ч 30 мин и 4 ч 10 мин соответственно. Ящики с продукцией поворачивали на 180° по достижению половины от необходимого времени облучения для достижения наибольшей равномерности распределения дозы в продукции. Значения накопленных поглощённых доз обработанной продукции составили $50 \pm 4,9$ Гр; $100 \pm 9,8$ Гр; $150 \pm 14,7$ Гр; $250 \pm 24,5$ Гр. Расстояние от блока-облучателя до передней

стенки ящика составляло 66 см. Ионизационная камера БМК-50 дозиметра универсального ДКС-101 укладывалась в центр среднего ящика на расстояние 85 см от блока-облучателя.

3.2 Действие гамма-облучения на морфофизиологические показатели качества

3.2.1 Влияние γ -излучения на подавление образования ростков клубней и луковиц

Результаты оценки морфофизиологических показателей облученных клубней картофеля, луковиц репчатого лука и чеснока демонстрируют высокую эффективность применения ионизирующего излучения для подавления прорастания при хранении.

Независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением обработка клубней картофеля, луковиц репчатого лука и чеснока γ -излучением в диапазоне доз от 100 до 250 Гр полностью ингибировала образование ростков (Приложение А). Клубни картофеля сортов Ароза, Вектор, Журавинка, Колобок, Лабелла, Невский, Ред Леди, Ред Скарлетт, Лилли, Уладар, Фаворит не прорастали в течение всего срока хранения, который составил для перечисленных сортов 10 месяцев. Эксперимент с использованием картофеля сорта Леди Клэр длился 6 месяцев, и в течение этого срока клубни облученные в указанном диапазоне доз также не прорастали. Репчатый лук сортов Ростовский и Черный принц, а также чеснок Shandong Youshu (Китай), облученные в диапазоне доз от 100 до 250 Гр не прорастали на протяжении всего срока хранения, который для данных культур составил 7 месяцев.

Обработка картофеля и репчатого лука в дозе 50 Гр оказывала временный эффект. Для различных сортов он длился от 1 до 4 месяцев. Луковицы чеснока, обработанные в этой дозе и хранившиеся при температуре +6...+8 °С не прорастали на протяжении всего срока хранения в течение 7 месяцев. Необлученный контроль в этом случае пророс на 6 месяце хранения. Однако при температуре +18...+22 °С, чеснок, обработанный в дозе 50 Гр, также пророс на 6 месяце хранения, но уже через два месяца после прорастания контрольных луковиц при этой температуре.

Для картофеля наблюдались выраженные зависимости от сорта и температуры хранения, однако зависимости от скорости созревания сортов по данному показателю выявлено не было. Клубни картофеля сортов Лилли и Колобок, хранившиеся при температуре +6...+8 °С, проросли одновременно вместе с необлученным контролем на 4 месяце хранения. Леди Клэр на 5 месяце хранения – спустя месяц после прорастания контрольных клубней. Картофель сортов Ароза, Вектор, Журавинка, Лабелла, Невский, Ред Леди, Ред Скарлетт начал прорастать спустя два месяца после того, как пророс контроль – на 6 месяце хранения. Позже всех проросли клубни картофеля сортов Фаворит и Уладар – на 7 и 8 месяце хранения соответственно. При температуре

хранения +18...+22 °С наблюдалось более раннее, чем при +6...+8 °С, прорастание клубней картофеля сортов Невский и Фаворит, облученных в дозе 50 Гр (примерно на 1 месяц). Клубни картофеля сорта Леди Клэр, обработанные в этой дозе, проросли одновременно независимо от температуры – на 5 месяце хранения. Для репчатого лука, обработанного в дозе 50 Гр зависимости между началом прорастания и температурой хранения, не наблюдалось.

Кожица контрольных и облученных в дозе 50 Гр клубней картофеля, начиная с 7 месяца хранения при +6...+8 °С начинала сморщиваться, клубни теряли тургор, становились вялыми. Особенно этот эффект проявился на 10 месяце хранения у клубней картофеля сорта Колобок. Также обращает на себя внимание тот факт, что при дозе 50 Гр по сравнению с контролем наблюдалось некоторое увеличение количества ростков, приходящихся на одну почку, хотя ростки при этом были более тонкими (Рисунок А 42; А 43 Приложения А).

Результаты эксперимента по облучению проросших клубней картофеля показали, что после воздействия γ -излучения, имевшиеся на поверхности клубней ростки, замедлили скорость роста. Различия становятся особенно заметны на 7 месяце хранения, когда длина и обилие ростков в необлученном контроле значительно превышает таковые в вариантах опыта с облучением (Рисунок А 73 Приложения А).

3.2.2 Влияние γ -излучения на содержание эндогенных гормонов в клубнях картофеля

Анализ фитогормонов в облучаемой продукции представлял особый интерес в рамках выполнения данной диссертационной работы, поскольку согласно данным исследований именно фитогормонам отведена регуляторная роль в процессе прорастания. Результаты качественного и количественного анализа фитогормонов показали, что после радиационной обработки в почках клубней картофеля сорта Фаворит достоверно увеличилось содержание абсцизовой кислоты (АБК), препятствующей их прорастанию (Рисунок 12).

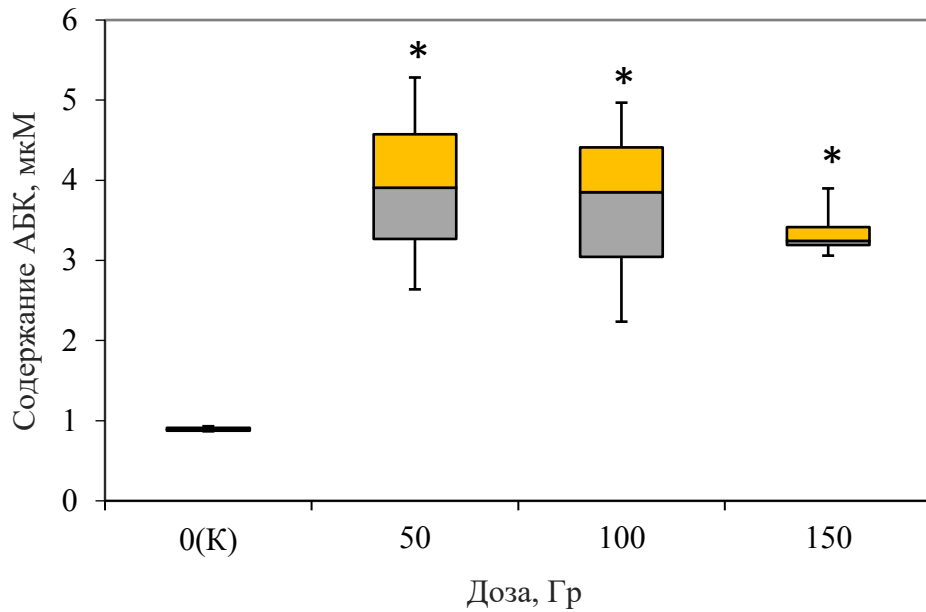


Рисунок 12 – Содержание абсцизовой кислоты в тканях картофеля.
* – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от контрольного уровня

В отличие от облученных, клубни в контроле находились в фазе активного прорастания, были обезвожены и имели сморщенную кожуру. Клубни картофеля, облученные в дозе 50 Гр также были проросшими, хотя и в меньшей степени, чем контрольные. Содержание зеатина было снижено при облучении в дозе 100 и 150 Гр, разница с контролем доходила до 7 и 11 раз, соответственно (Рисунок 13).

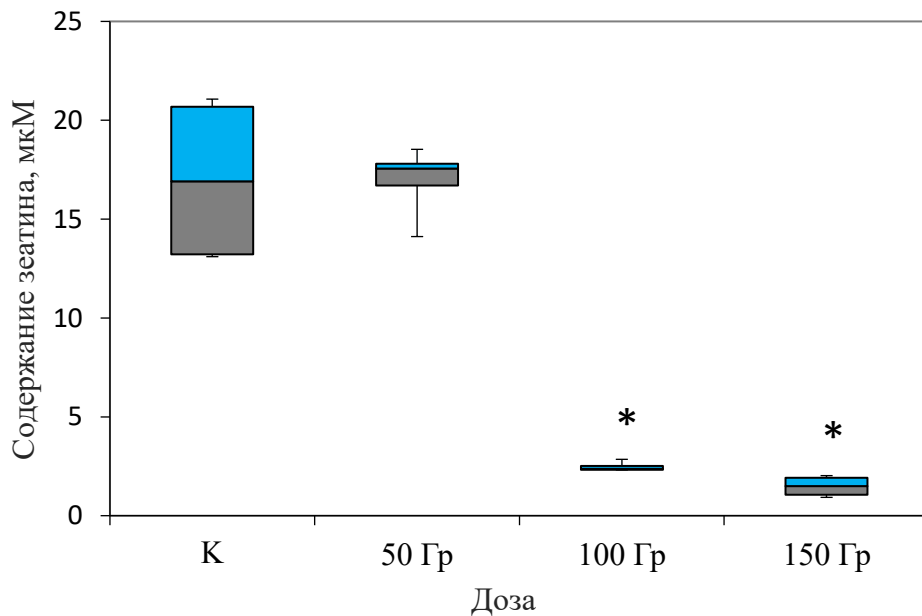


Рисунок 13 – Содержание зеатина в тканях картофеля. * – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от контрольного уровня

Снижение концентрации цитокининов свидетельствует об ингибировании процесса деления клеток, необходимого для прорастания. Уровни индолилукусной кислоты (ИУК) так же были снижены в облученных выборках, однако достоверно лишь при облучении в дозе 150 Гр (Рисунок 14).

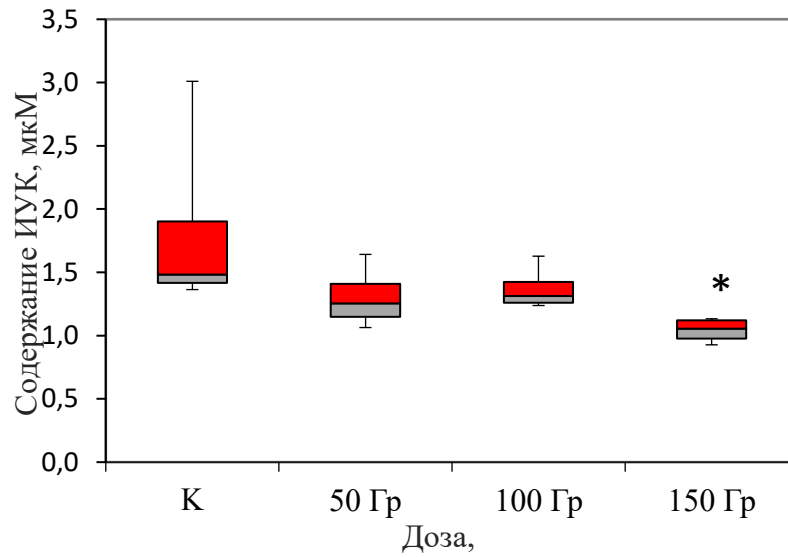


Рисунок 14 – Содержание индолилукусной кислоты в тканях картофеля.
* – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от контрольного уровня

Снижение содержания индолилукусной кислоты (ИУК) в клубнях после облучения отмечено и другими авторами [64; 146].

Содержание индолилмасляной кислоты оказалось наибольшим в образцах, облученных в дозе 100 Гр (Рисунок 15).

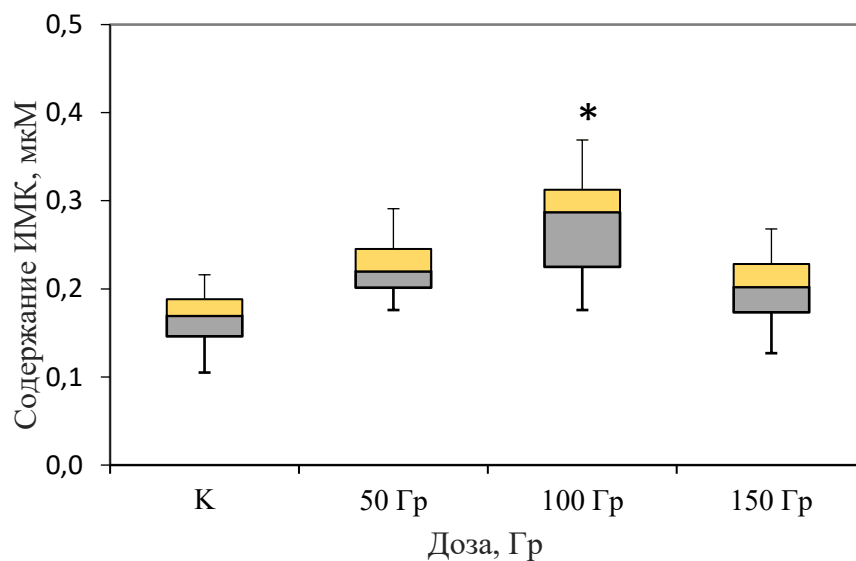


Рисунок 15 – Содержание индолилмасляной кислоты в тканях картофеля.
* – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от контрольного уровня

Значения соотношения гормонов антагонистов в процессах покоя и прорастания (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК снижались в образцах с увеличением поглощенной дозы. Причем при облучении в дозе 150 Гр значения соотношения снижались в 40 раз.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при обработке клубней картофеля γ -излучением в них происходит изменение баланса основных классов фитогормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания. Описанные в данном разделе результаты были опубликованы в работе [1] и согласуются с данными, полученными ранее другими исследователями [8; 64; 95; 97; 129; 146; 189; 199].

3.2.3 Влияние γ -излучения на изменение массы клубней картофеля при хранении

В эксперименте 2018–2019 гг. оценивалось влияние следующих факторов и их взаимного действия на изменение массы клубней картофеля при хранении. Схема трехфакторного опыта:

1. Фактор А – время хранения
2. Фактор Б – сорт картофеля. Варианты: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок.
3. Фактор В – доза γ -излучения. Варианты: 1) контроль (без обработки), 2) 50 Гр, 3) 100 Гр, 4) 150 Гр.

Эксперимент 2018–2019 гг. состоял из двух частей. В первом случае интервал времени между уборкой урожая картофеля и облучением составлял 3 недели. Этот срок обоснован тем, что, как уже говорилось ранее, для восстановления возможных повреждений клубней в послеуборочный период требуется время для их заживления, поскольку, интенсивность процессов репарации резко снижается после воздействия ионизирующего излучения. Во втором случае интервал времени после уборки урожая составил 4 месяца. т.е. облучение проводилось когда клубни уже вышли из состояния покоя.

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля представлены в Таблице 10.

Таблица 10 – Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Время	8	25075	5015	2022	<0,001	62,1
Доза	3	3547	1182	477	<0,001	8,8
Сорт	5	730	91	37	<0,001	1,8
Доза+Время	24	7562	504	203	<0,001	18,7
Сорт+Время	40	969	24	10	<0,001	2,4
Сорт+Доза	15	275	11	5	<0,001	0,7
Доза+Сорт+Время	120	644	5	2	<0,001	1,6
Ошибка	643	1607				
Всего	863	40409				

Как следует из представленных в Таблице 10 данных, на изменение массы картофеля оказали достоверное влияние сортовые особенности, доза облучения и время выдержки клубней после облучения, а также сочетание сорта и дозы облучения, сорта и времени хранения, дозы облучения и времени хранения.

Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. В течение времени хранения клубней после их облучения происходило достоверное снижение их массы, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (критерий Фишера $F=2022$ при $p<0,001$) (Таблица 10 и Рисунок 16). При этом 62,1% изменений дисперсии обусловлено именно влиянием времени хранения, поэтому данный фактор следует рассматривать как наиболее важный в данном эксперименте. Различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 11).

Таблица 11 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы клубней картофеля

Сравниваемые сроки измерения	0 мес.	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.	9 мес.
0 мес.	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1 мес.	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
3 мес.	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
7 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
9 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p<0,001$

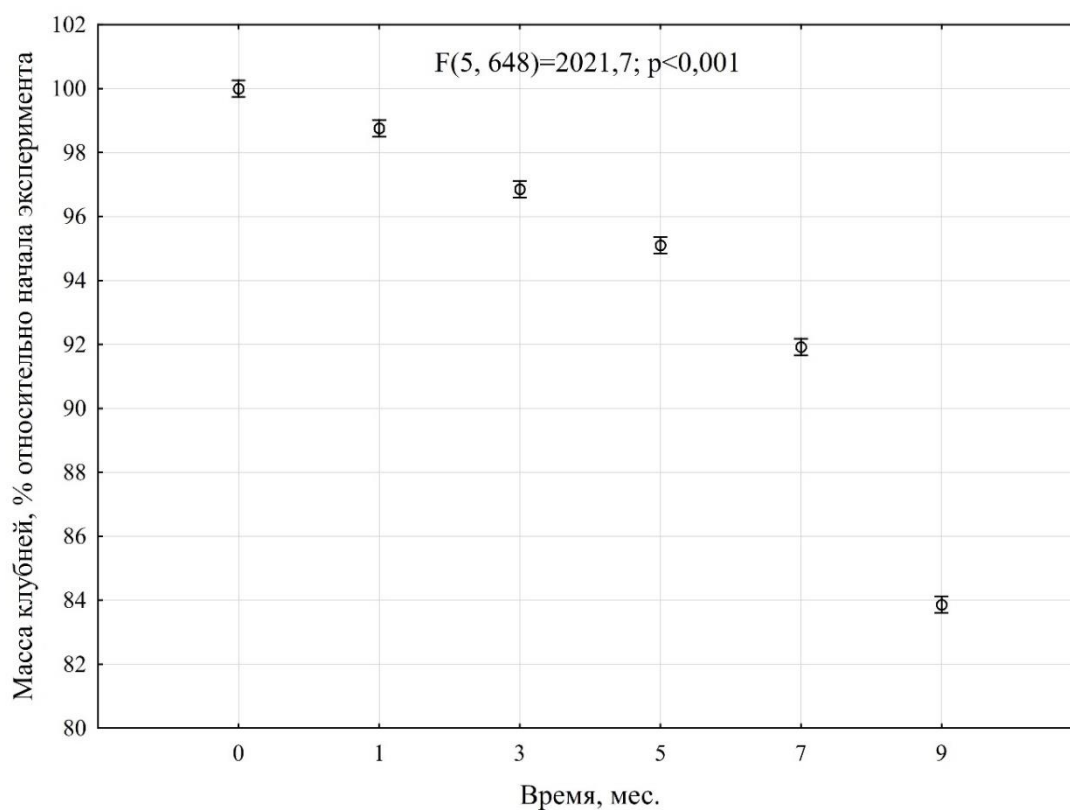


Рисунок 16 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы клубней картофеля при их облучении

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы (без разделения по сортам и времени после облучения) – критерий Фишера составляет 477 при уровне значимости $<0,001$ (Таблица 10 и Рисунок 17). При этом 8,8% дисперсии изменения относительной массы клубней связаны с влиянием дозы облучения. Анализируя представленные на Рисунке 17 и в Таблице 12 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней при их облучении в дозах 100 и 150 Гр (уровень значимости критерия Шеффе 0,316). Вместе с тем, изменения массы при отсутствии облучения, а также при дозе в 50 Гр достоверно выше по сравнению с облучением в дозе 100 и 150 Гр. Таким образом, из представленных данных можно сделать вывод о достоверной связи между снижением величины относительной массы клубней при уменьшении дозы их облучения.

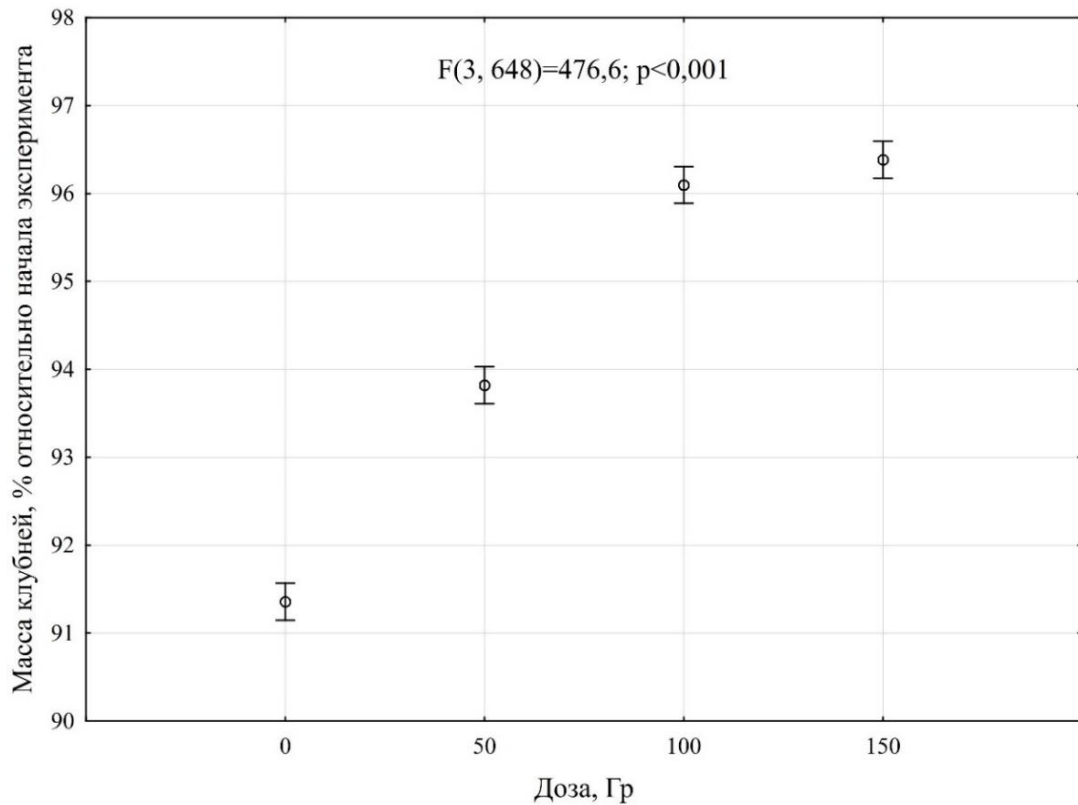


Рисунок 17 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения клубней картофеля на изменение их массы

Таблица 12 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Доза, Гр	0	50	100	150
0	–	<0,001	<0,001	<0,001
50	<0,001	–	<0,001	<0,001
100	<0,001	<0,001	–	0,316
150	<0,001	<0,001	0,316	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Влияние сортовых особенностей клубней картофеля является достоверным ($F=37$ при $p < 0,001$), при этом сила влияния фактора сорта на изменения относительной массы клубней составила 1,8%. Графическая интерпретация влияния сортовых особенностей на изменение относительной массы, представленная на Рисунке 18, позволяет отследить основные тенденции во влиянии данного фактора. При этом следует оговориться, что рассматриваются относительные изменения массы по сорту в целом в течение исследуемого промежутка времени, без деления по дозе облучения и по моментам времени, когда было выполнено измерение.

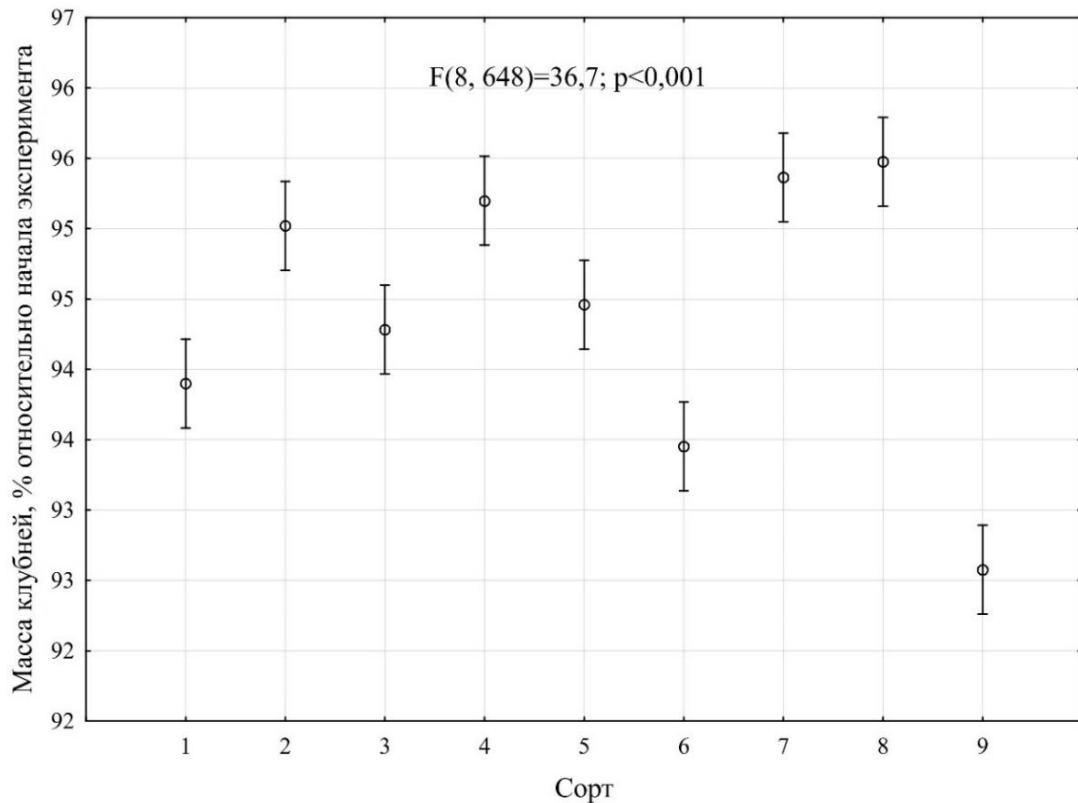


Рисунок 18 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей клубней картофеля на изменение массы после облучения. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

К сортам, для которых характерны наибольшие изменения массы можно отнести сорта Ароза, Ред Леди и Колобок. Минимальная потеря массы наблюдалась у сортов Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка. Высокая степень лежкости сорта Ред Скарлетт при хранении после облучения подтверждается данными, полученными Мальцевым С.В. [13]. Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении различных сортов картофеля по величине потери массы представлены в Таблица 13.

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию дозы облучения и времени хранения на изменение массы клубней приведена на Рисунке 19.. Как следует из представленных данных, вышеотмеченные факторы оказали достоверное влияние на изменение массы клубней (критерий Фишера составляет 203 при $p<0,001$), а сила совместного влияния дозы облучения и времени хранения составила 18,7%. Отметим, что по истечению 1 месяца с начала хранения изменения массы практически не отличаются при разных дозах облучения клубней. Сходная картина наблюдается и спустя 3 месяца после облучения – к тому моменту клубни потеряли в среднем 2,5% исходной массы.

Таблица 13 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сортов картофеля по величине потери массы. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Сорт	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	–	0,002	0,943	<0,001	0,639	0,868	<0,001	<0,001	<0,001
2	0,002	–	0,233	1,000	0,638	<0,001	0,971	0,854	<0,001
3	0,943	0,233	–	0,041	1,000	0,102	0,004	0,001	<0,001
4	<0,001	1,000	0,041	–	0,231	<0,001	1,000	0,993	<0,001
5	0,639	0,638	1,000	0,231	–	0,013	0,047	0,011	<0,001
6	0,868	<0,001	0,102	<0,001	0,013	–	<0,001	0,000	0,065
7	<0,001	0,971	0,004	1,000	0,047	<0,001	–	1,000	<0,001
8	<0,001	0,854	0,001	0,993	0,011	<0,001	1,000	–	<0,001
9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,065	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Дифференциация начала наблюдаться с 5-го месяца хранения и достигла наиболее выраженных изменений к 9-ому месяцу. По истечению этого промежутка у клубней, не подвергшихся облучению, осталось 72% массы от исходной, тогда как у клубней, облученных в дозах 100 и 150 Гр ~93%.

На Рисунке 19 представлена графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортовых особенностей картофеля и времени с момента облучения клубней на изменение массы при их хранении. Из представленных данных (Таблица 10 и Рисунок 19) можно констатировать достоверное совместное влияние исследованных факторов на массу облученных клубней (критерий Фишера $F=10$ при $p < 0,001$), при этом сила совместного влияния факторов на дисперсию массы клубней составила 2,4%. Следует отметить, что в целом, ранее отмеченные сортовые различия в изменении массы в данном количественном эксперименте подтверждаются: наиболее быстрая потеря массы наблюдается по всем временным промежуткам ее измерения по клубням сорта Ароза, Ред Леди и Колобок. Наиболее медленно теряли массу клубни сортов Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка.

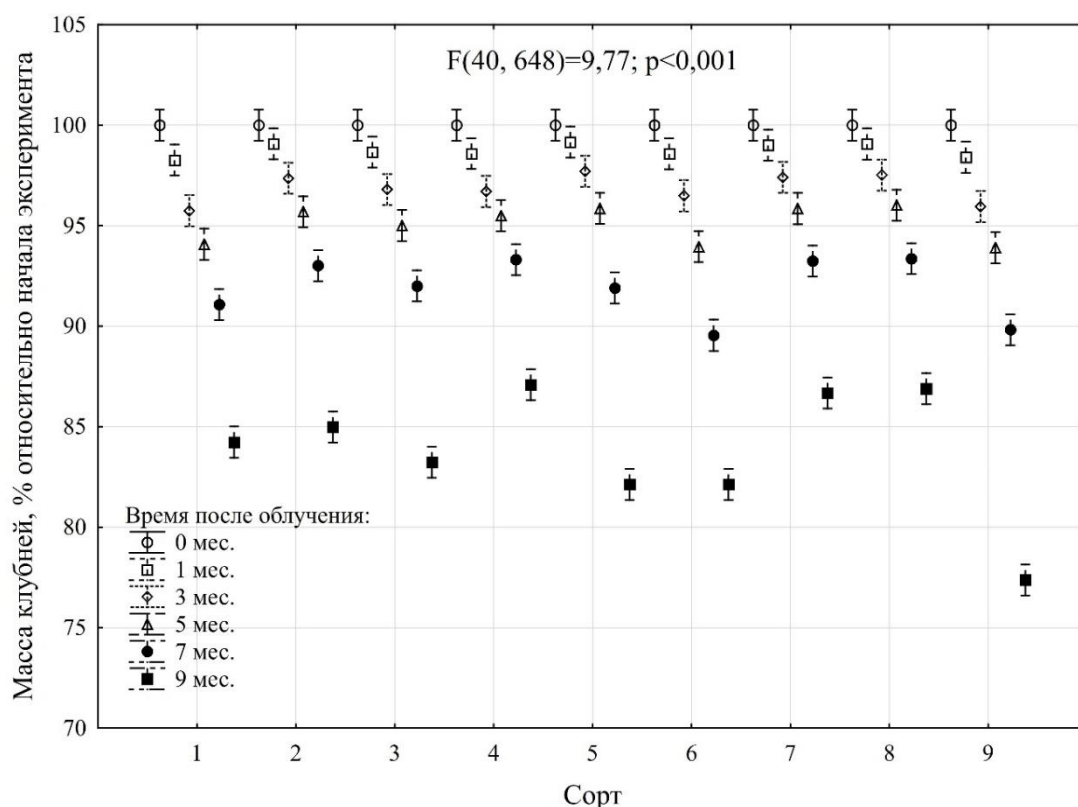


Рисунок 19 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортовых особенностей картофеля и времени с момента облучения клубней на изменение массы при их хранении. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию сортовых особенностей картофеля и дозы облучения на изменение массы клубней при хранении приведена на Рисунке 20. Как следует из представленных данных, совместное влияние факторов на изменение массы клубней достоверно (критерий Фишера $F=5$ при $p<0,001$), хотя сила совместного влияния на дисперсию изменения массы невелика – менее 1% (Таблица 10). Отметим, что по всем исследуемым сортам наибольшая потеря массы клубней наблюдалась при отсутствии облучения. При этом, как уже было сказано ранее при исследовании сортовых особенностей, в наибольшей степени теряли массу клубни сортов Ароза, Ред Леди и Колобок. Наименьшие потери массы наблюдались у клубней сортов Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка.

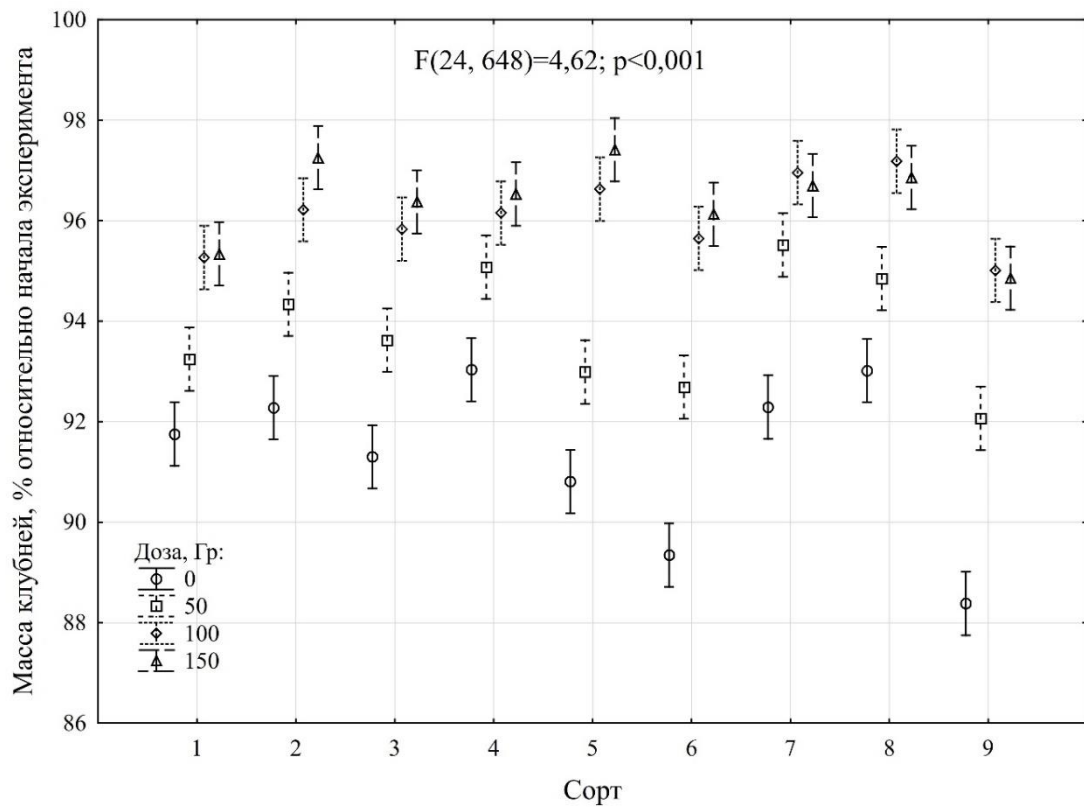


Рисунок 20 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортов особенностей клубней картофеля и доз их облучения на изменение массы при хранении. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Оценка воздействия исследуемых факторов на зависимую переменную приведена на Рисунке 21.

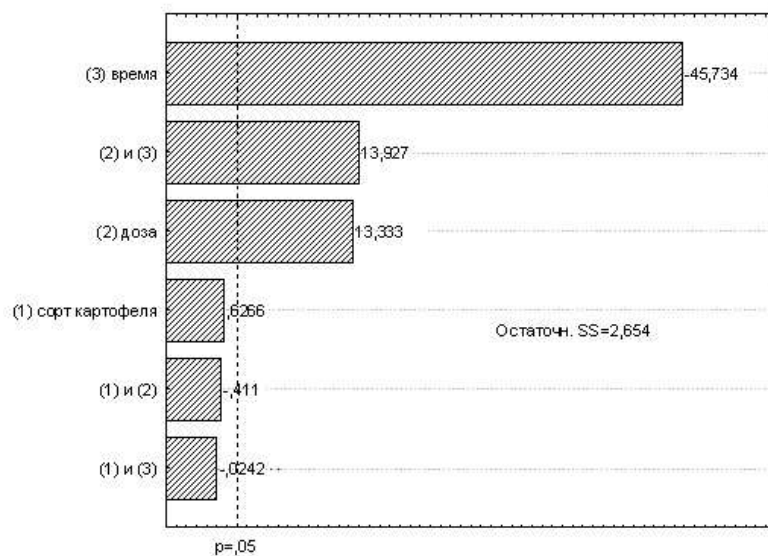


Рисунок 21 – Степень воздействия исследуемых факторов на зависимую переменную

В общем виде, модель взаимосвязи исследуемых факторов и зависимой переменной имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 \quad (3)$$

В целом, можно предположить, что построенная модель может адекватно описать взаимосвязь между исследуемыми факторами и зависимой переменной ($R^2 = 0,71$), что подтверждается также статистически значимыми коэффициентами регрессии (время и взаимодействие 2 и 3), уровень значимости t-критерия $< 0,001$ (Таблица 14).

Таблица 14 – Оценка регрессионных коэффициентов

$R^2=,77$; скорректированное $R^2=,77$, остаточная SS =2,654						
Наименование	Коэфф. регрес.	Ст. ошибка	t	p-знач.	ДИ %	
					-95,00	+95,00
Св. член	100,341	0,295	340,704	<0,001	99,7631	100,920
(1) сорт картофеля	0,029	0,049	0,582	0,561	-0,0678	0,125
(2) доза	-0,005	0,003	-1,915	0,056	-0,0106	0,000
(3) время	-1,526	0,061	-25,153	<0,001	-1,6453	-1,407
1 и 2	-0,000	0,000	-0,411	0,681	-0,0010	0,001
1 и 3	-0,000	0,009	-0,024	0,981	-0,0182	0,018
2 и 3	0,006	0,000	13,927	<0,001	0,0051	0,007

Согласно параметрам уравнения регрессии можно вычислять зависимую переменную по любым комбинациям значений исследуемых факторов, в том числе и не входящих в план эксперимента (Таблица 15). Таким образом, величина зависимой переменной (сорт Журавинка) при дозовой нагрузке 200 Гр (время – 3 месяца) составит 98,20 (95%ДИ от 94,97 до 100,43).

Таблица 15 – Пример вычисления зависимой переменной для сорта Журавинка

$R^2=,77$; скорректированное $R^2=,77$; остаточная SS =2,65			
Наименование	Коэфф. регрес.	Знач.	Коэфф * Знач.
Постоян.	100,3414		
(1) сорт карт	0,0286	8,000	0,2287
(2) доза	-0,0052	200,000	-1,0453
(3) время	-1,5261	3,000	-4,5784
1 и 2	-0,0002	1600,000	-0,2767
1 и 3	-0,0002	24,000	-0,0053
2 и 3	0,0059	600,000	3,5439
Предсказ.			98,20
-95,% ДИ.			94,97
+95,% ДИ.			100,43

Предсказанные значения достаточно близки к наблюдаемым, что является свидетельством адекватности модели.

В целом, влияние продолжительности хранения и доз облучения клубней на потерю их массы имеет ряд общих черт для всех исследованных сортов: с увеличением времени хранения происходит потеря массы клубней, а с возрастанием дозы интенсивность потери массы уменьшается. Однако эти изменения несколько отличаются для различных сортов картофеля.

С увеличением времени происходит снижение массы клубней картофеля во всем диапазоне доз облучения и для всех сортов. Вместе с тем, можно выделить сорта Ред Леди и Колобок, для которых потеря массы происходила с большей интенсивностью и сорта, у которых интенсивность потери массы минимальна (Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка). Обращает на себя внимание тот факт, что на 5-й месяц хранения клубни сортов Ред Леди и Колобок имели такую же массу, как Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка на 7-й месяц.

Важным фактором при хранении клубней картофеля является их доза облучения. Как правило, чем выше доза облучения, тем меньше потеря массы по всем сортам. Однако, при одинаковой дозе облучения, максимальное снижение массы наблюдалось у сортов Ред Леди и Колобок, а наименее интенсивно теряли массу клубни сортов Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка. Кроме того, разница в потере массы при дозе 100 и 150 Гр практически незаметна.

Исходя из вышеизложенного представляла интерес статистическая оценка параметров снижения массы клубней в зависимости от срока хранения и дозы облучения для сортов картофеля, отличающихся по интенсивности потери массы на протяжении исследования. Для расчетов были взяты сорт Колобок (клубни которого характеризовались максимальной интенсивностью снижения массы) и Журавинка (с минимальной интенсивностью снижения массы клубней). Для клубней сорта Колобок статистически достоверна потеря массы с течением времени при всех дозах облучения, что подтверждается критерием Стьюдента (Таблица 16).

Таблица 16 – Результаты корреляционного анализа по оценке влияния дозы облучения на потерю массы клубней картофеля сорта Колобок в течение срока хранения

Доза облучения, Гр	Коэффициент корреляции и его ошибка ($r \pm \Delta r$)	Коэффициент детерминации (r^2)	Критерий Стьюдента (t)	Уровень значимости (p)
0	-0,960±0,161	0,922	-5,97	0,009
50	-0,993±0,069	0,986	-14,3	0,001
100	-0,998±0,039	0,996	-25,8	<0,001
150	-0,998±0,040	0,995	-24,7	<0,001

На Рисунке 22 представлена графическая интерпретация результатов регрессионного анализа по влиянию времени хранения на потерю массы клубней картофеля сорта Колобок при различных дозах облучения. Как следует из представленных данных, клубни картофеля, не подверженные облучению, сохраняли к концу срока исследования 84% массы от исходной, в то время как облученные в дозе 100 и 150 Гр – около 92%. Расчеты параметров линейной зависимости потери массы (4) позволяют отследить интенсивность ее изменения в течение срока эксперимента (Таблица 17).

$$m = a_0 + a_1 \cdot t, \quad (4)$$

где, m – масса, в % относительно начала эксперимента; a_0 – свободный член линейной зависимости, %; a_1 – скорость потери массы клубней, %/мес.; t – время от начала эксперимента, мес.

В Таблице 17 приведен только параметр a_1 , отражающий скорость потери массы во времени. Как следует из представленных данных, интенсивность потери массы клубней рассчитана достоверно, о чем свидетельствуют величины критерия Стьюдента и уровня его значимости. В контрольном варианте (без облучения) ежемесячная потеря массы клубней составляла $2,06 \pm 0,169$ %/мес. при доверительном интервале 1,71–2,42. С возрастанием дозы облучения интенсивность потери массы снижалась и достигала минимума при дозах облучения 100 и 150 Гр – около 1,1 %/мес.

Таблица 17 – Результаты регрессионного анализа по оценке влияния дозы облучения на скорость потери массы клубней картофеля сорта Колобок в течение срока хранения

Доза облучения, Гр	Оценка параметра и его стандартная ошибка ($a_1 \pm \Delta a_1$)	95% доверительный интервал		t – критерий Стьюдента	Уровень значимости
		нижняя граница	верхняя граница		
0	$-2,06 \pm 0,169$	-1,71	-2,42	-12,2	<0,001
50	$-1,29 \pm 0,074$	-1,14	-1,45	-17,4	<0,001
100	$-1,06 \pm 0,061$	-0,929	-1,18	-17,4	<0,001
150	$-1,11 \pm 0,102$	-0,893	-1,32	-10,9	<0,001

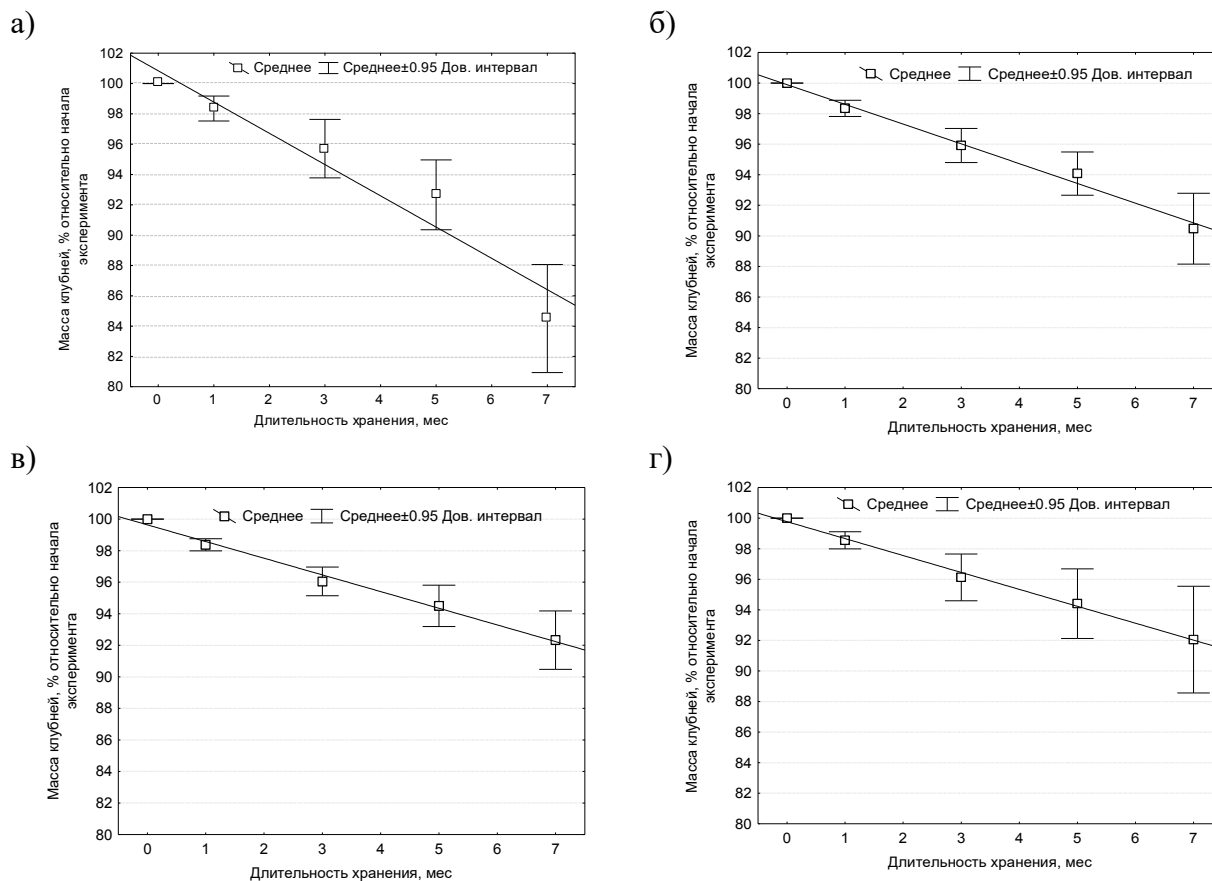


Рисунок 22 – Динамика изменения массы клубней сорта Колобок при различной дозе облучения. а) облучение отсутствует; б) доза облучения 50 Гр; в) доза облучения 100 Гр; г) доза облучения 150 Гр

Для сорта Журавинка также установлена корреляционная зависимость в снижении массы клубней в течение времени для всего срока проведения эксперимента (Таблица 18).

Таблица 18 – Результаты корреляционного анализа по оценке влияния дозы облучения на потерю массы клубней картофеля сорта Журавинка в течение срока хранения

Доза облучения, Гр	Коэффициент корреляции и его ошибка ($r \pm \Delta r$)	Коэффициент детерминации (r^2)	Критерий Стьюдента (t)	Уровень значимости (p)
0	$-0,959 \pm 0,164$	0,920	-5,86	0,010
50	$-0,996 \pm 0,053$	0,992	-18,9	<0,001
100	$-0,995 \pm 0,057$	0,990	-17,4	<0,001
150	$-0,997 \pm 0,045$	0,994	-22,0	<0,001

Как следует из представленных на Рисунке 23 данных по динамике массы клубней картофеля сорта Журавинка при различных дозах облучения, спустя 7 месяцев с начала хранения

при отсутствии облучения масса клубней снизилась до 89% от исходной, а при дозах 100 и 150 Гр – до ~95%. Отметим, что для сорта Колобок снижение массы для тех же значений доз было ниже и составляло 84% и 92%, соответственно.

Скорость потери массы для сорта Журавинка составила $1,48 \pm 0,11$ %/мес. при доверительном интервале 1,25–1,71 %/мес. при отсутствии облучения и $0,604 \pm 0,04$ %/мес. (доверительный интервал 0,522–0,686 %/мес.) при облучении в дозе 100 Гр (Таблица 19).

Для клубней сорта Журавинка скорость потери массы достоверно ниже по сравнению с клубнями сорта Колобок и в контроле, и во всем диапазоне доз облучения (Таблица 20). При этом для обоих сортов несколько меньшие величины потерь массы наблюдаются при дозе 100 Гр.

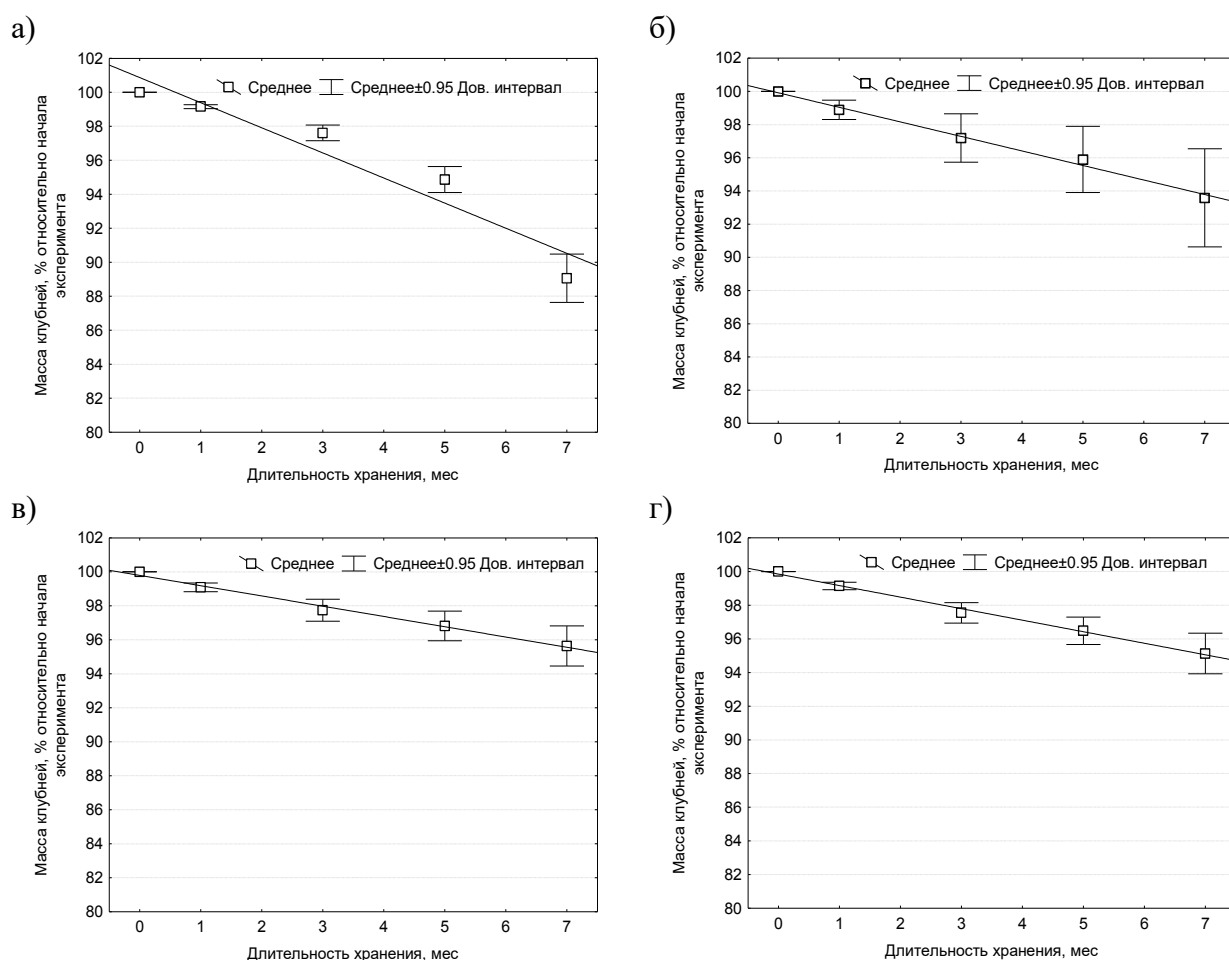


Рисунок 23 – Динамика изменения массы клубней сорта Журавинка при различной дозе облучения. а) облучение отсутствует; б) доза облучения 50 Гр; в) доза облучения 100 Гр; г) доза облучения 150 Гр

Таблица 19 – Результаты регрессионного анализа по оценке влияния дозы облучения на скорость потери массы клубней картофеля сорта Журавинка в течение срока хранения

Доза облучения, Гр	Оценка параметра и его стандартная ошибка ($a_1 \pm \Delta a_1$)	95% доверительный интервал		t – критерий Стьюдента	Уровень значимости
		нижняя граница	верхняя граница		
0	-1,48±0,110	-1,25	-1,71	-13,5	<0,001
50	-0,876±0,089	-0,689	-1,06	-9,82	<0,001
100	-0,604±0,039	-0,522	-0,686	-15,5	<0,001
150	-0,685±0,038	-0,605	-0,764	-18,1	<0,001

Таблица 20 – Результаты сравнения параметра скорости снижения массы для клубней сортов Колобок и Журавинка для различных доз облучения

Доза облучения, Гр	Сравниваемые параметры ($a_1 \pm \Delta a_1$) для сортов		Достоверность различий сравниваемых параметров	
	Колобок	Журавинка	t-критерий Стьюдента	уровень значимости, р
0	-2,06±0,169	-1,48±0,110	2,91	0,003
50	-1,29±0,074	-0,876±0,089	3,59	<0,001
100	-1,06±0,061	-0,604±0,039	6,26	<0,001
150	-1,11±0,102	-0,685±0,038	3,88	<0,001

Перейдем к результатам второй части эксперимента 2018–2019 гг. Ниже будут представлены данные оценки влияния радиационной обработки на изменение массы проросших клубней картофеля. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы проросших клубней картофеля, находящихся на поздних сроках хранения представлены в Таблице 21.

Таблица 21 – Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Время	4	5459	2730	2107	<0,001	71,10
Сорт	8	496	62	48	<0,001	6,46
Доза	3	277	92	71	<0,001	3,61
Сорт+Время	16	467	29	23	<0,001	6,08
Доза+Время	6	408	68	53	<0,001	5,32

Продолжение таблицы

Сорт+Доза	24	70	3	2	0,001	0,91
Сорт+Доза+Время	48	73	2	1	<0,001	0,95
Ошибка	323	418	1			
Всего	430	7678				

Из представленных в Таблице 21 данных следует, что на изменение массы клубней достоверное влияние оказали сортовые особенности, доза облучения и время хранения клубней после облучения, а также сочетание сорта и дозы облучения, сорта и времени хранения, дозы облучения и времени хранения.

Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. В течение времени хранения клубней после их облучения происходило достоверное снижение их массы, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (критерий Фишера $F=2107$ при $p<0,001$) (Таблица 21 и Рисунок 24). При этом 71,1% изменений дисперсии обусловлено влиянием времени хранения.

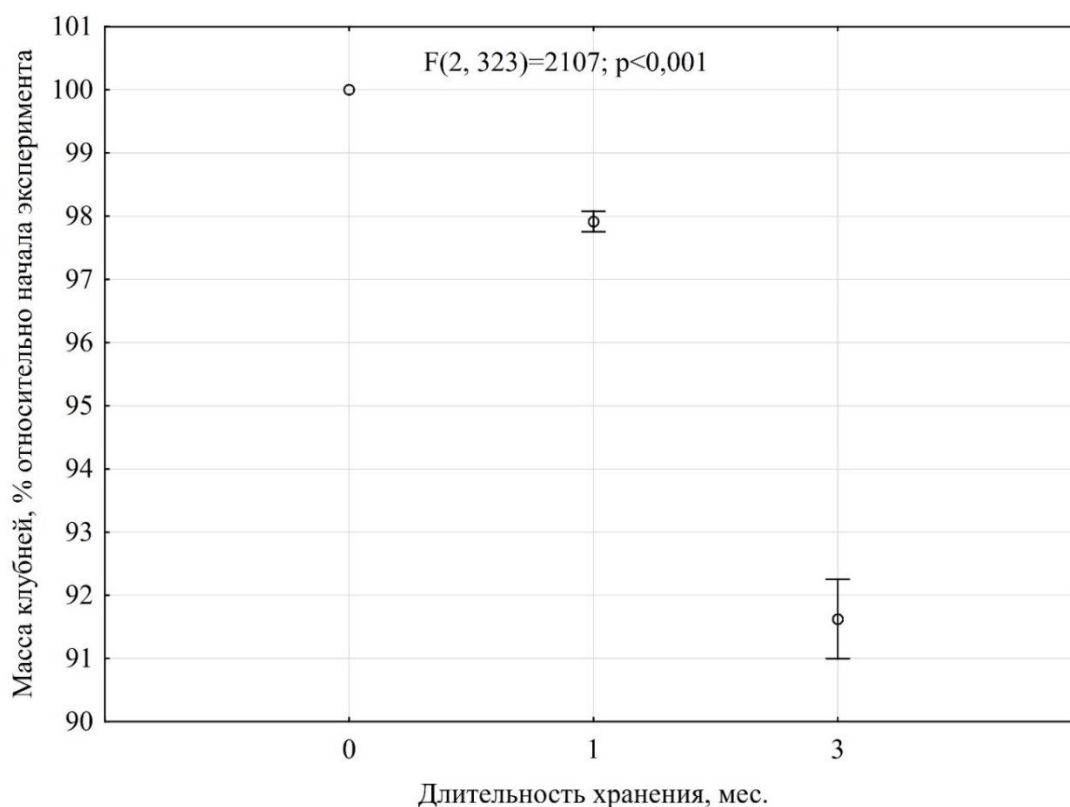


Рисунок 24 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы клубней картофеля при их облучении

Несмотря на относительно короткий срок эксперимента, различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 22).

Таблица 22 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы клубней картофеля

Сравниваемые сроки измерения	0 мес.	1 мес.	3 мес.
0 мес.	–	<0,001	<0,001
1 мес.	<0,001	–	<0,001
3 мес.	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Влияние сортовых особенностей клубней картофеля достоверно ($F=48$ при $p < 0,001$), при этом сила влияния фактора сорта на изменения относительной массы клубней составила 6,46%. Графическая интерпретация влияния сортовых особенностей на изменение относительной массы, представленная на Рисунке 25, позволяет отследить основные тенденции во влиянии данного фактора (рассматриваются относительные изменения массы по сорту в целом в течение исследуемого промежутка времени, без разделения по дозе облучения и по моментам времени, когда было выполнено измерение). Наибольшие изменения массы наблюдались у картофеля сортов Ароза, Лилли, Ред Леди и Колобок. Важно отметить, что за исключением сорта Лилли, подобная зависимость наблюдалась и при облучении на ранних сроках хранения. Клубни картофеля сорта Лилли к моменту облучения имели потерю массы равную ~2%, что также соответствовало величине потери массы в контрольной группе при облучении на ранних сроках, и значительная потеря массы пришлась на период с 1 по 3 месяц хранения включительно (с 5 по 7 месяцы хранения относительно облучения на ранних сроках хранения) (Рисунок 25).

Минимальная потеря массы наблюдалась у сортов Лабелла и Журавинка. Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении различных сортов картофеля по величине потери массы представлены в Таблице 23.

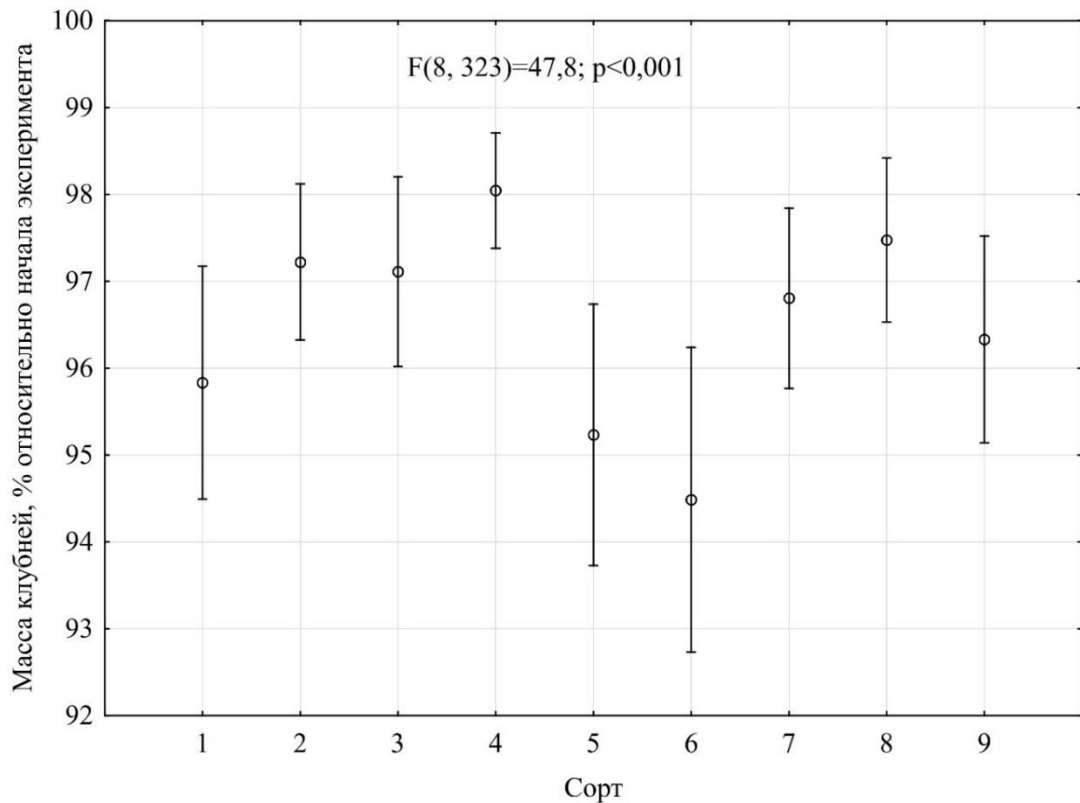


Рисунок 25 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию сортовых особенностей клубней картофеля на изменение массы после облучения. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Таблица 23 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сортов картофеля по величине потери массы

Сорта	Ароза	Ред Скарлетт	Уладар	Лабелла	Лилли	Ред Леди	Вектор	Журавинка	Колобок
Ароза	–	<0,001	<0,001	<0,001	0,580	<0,001	0,030	<0,001	0,804
Ред Скарлетт	<0,001	–	1,000	0,134	<0,001	<0,001	0,920	0,997	0,070
Уладар	<0,001	1,000	–	0,044	<0,001	<0,001	0,988	0,963	0,194
Лабелла	<0,001	0,134	0,044	–	<0,001	<0,001	0,001	0,645	<0,001
Лилли	0,580	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,248	<0,001	<0,001	0,005
Ред Леди	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,248	–	<0,001	<0,001	0,000
Вектор	0,030	0,920	0,988	0,001	<0,001	0,000	–	0,410	0,841
Журавинка	<0,001	0,997	0,963	0,645	<0,001	0,000	0,410	–	0,003
Колобок	0,804	0,070	0,194	<0,001	0,005	0,000	0,841	0,003	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы (без разделения по сортам и времени после облучения) – критерий Фишера составляет 71 при уровне

значимости $<0,001$ (Таблица 21 и Рисунок 26). При этом 3,61% дисперсии изменения относительной массы клубней связаны с влиянием дозы. Анализируя представленные на Рисунке 26 и в Таблице 24 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней при их облучении в дозах 50, 100 и 150 Гр. Однако потери массы при отсутствии облучения были достоверно выше, чем в вариантах опыта с облучением.

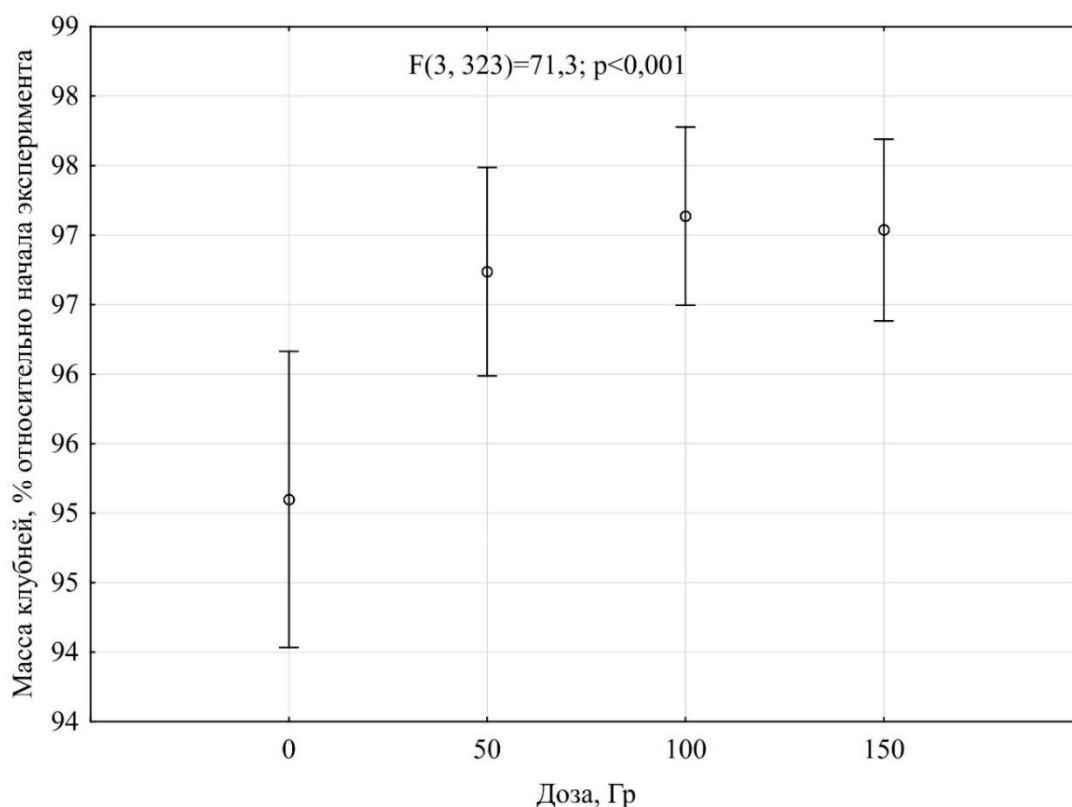


Рисунок 26 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения клубней картофеля на изменение их массы

Таблица 24 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Сравниваемые дозы	0 Гр	50 Гр	100 Гр	150 Гр
0 Гр	–	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$
50 Гр	$<0,001$	–	0,084	0,289
100 Гр	$<0,001$	0,084	–	0,937
150 Гр	$<0,001$	0,289	0,937	–

* различия достоверны при $p<0,001$

На Рисунке 27 представлена графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортовых особенностей картофеля и времени с момента облучения клубней на изменение массы при хранении. Как следует из представленных данных (Таблица 21

и Рисунке 27) совместное влияние исследованных факторов на массу облученных клубней достоверно (критерий Фишера $F=23$ при $p<0,001$), сила совместного влияния факторов на дисперсию массы клубней составила 6,08%. Следует отметить, что ранее отмеченные сортовые различия в изменении массы в данном количественном эксперименте подтверждаются: наиболее быстрая потеря массы наблюдалась по всем временным промежуткам ее измерения по клубням сорта Ароза, Лилли, Ред Леди и Колобок. Наиболее медленно теряли массу клубни сортов Лабелла и Журавинка.

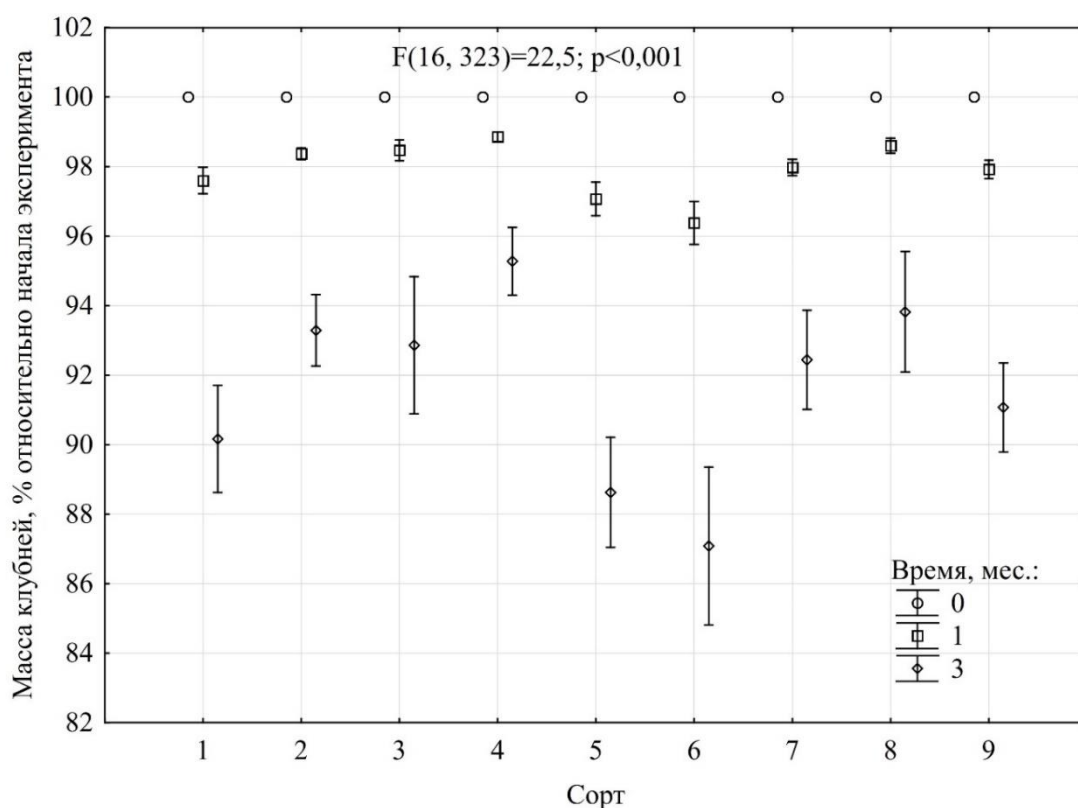


Рисунок 27 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортовых особенностей картофеля и времени с момента облучения клубней на изменение массы при их хранении. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию дозы облучения и времени хранения на изменение массы клубней приведена на Рисунке 28. Как следует из представленных данных, вышеотмеченные факторы оказали достоверное влияние на изменение массы клубней (критерий Фишера составляет 53 при $p<0,001$), сила совместного влияния дозы облучения и времени хранения составила 5,32% (Таблица 21). Отметим, что по истечению 1 месяца с начала хранения изменения массы в вариантах опыта с облучением практически не отличались от контроля, однако спустя 3 месяца хранения

наименьшую массу имели необлученные клубни (около 88%), тогда как клубни, облученные в дозах 50, 100 и 150 Гр достоверно не различались и сохранили в среднем около 93% своей массы.

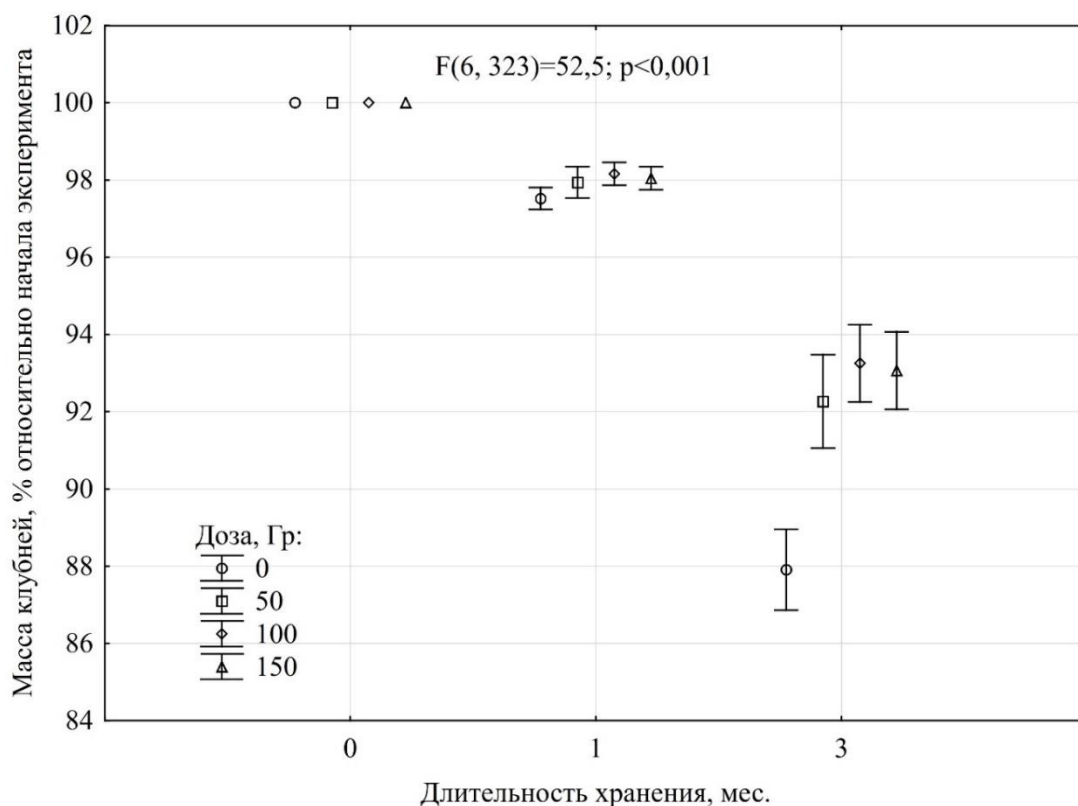


Рисунок 28 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и времени хранения клубней на изменение массы при их хранении. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию сортовых особенностей картофеля и дозы облучения на изменение массы клубней при хранении приведена на Рисунке 29.

Из представленных данных можно констатировать достоверное совместное влияние данных факторов на изменение массы клубней (критерий Фишера $F=2$ при $p<0,01$), хотя сила совместного влияния на дисперсию изменения массы составила всего лишь 0,91% (Таблица 21). Наибольшая потеря массы клубней наблюдалась при отсутствии облучения. При этом, как уже отмечалось при исследовании сортовых особенностей, в наибольшей степени теряли массу клубни сортов Ароза, Лилли, Ред Леди и Колобок. Наименьшие потери массы наблюдались у клубней сортов Лабелла и Журавинка.

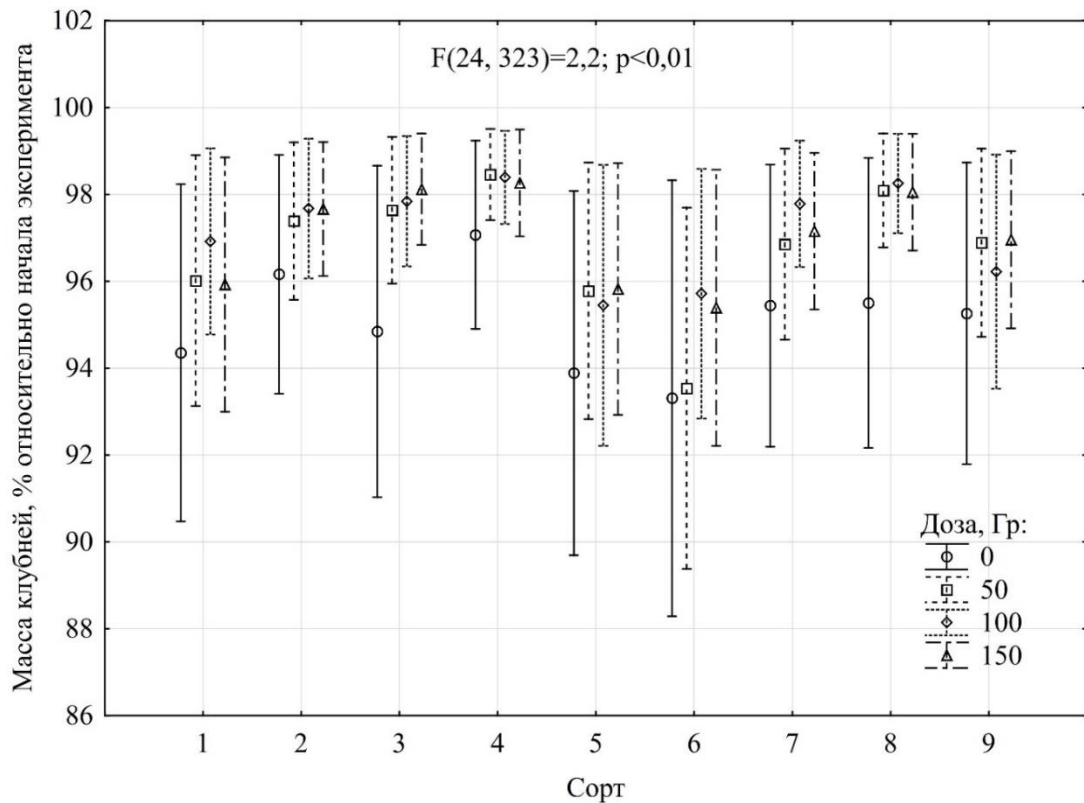


Рисунок 29 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортов особенностей клубней картофеля и доз их облучения на изменение массы при хранении. Сорта картофеля: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Далее будут представлены результаты эксперимента 2019–2020 гг. по оценке влияния облучения на изменение массы клубней картофеля при хранении в условиях различной температуры. Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию температуры хранения, сортов особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля сортов Невский и Фаворит представлены в Таблице 25.

Таблица 25 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию температуры хранения, сортов особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Время	4	80164	20041	1772,9	<0,001	42,41
Доза	4	29101	7275	643,6	<0,001	15,40
Температура	1	18375	18375	1625,5	<0,001	9,72

Продолжение таблицы

Сорт	1	72	72	6,3	0,012	0,04
Доза+Время	16	24162	1510	133,6	<0,001	12,78
Температура+Время	4	15751	3938	348,3	<0,001	8,33
Температура+Доза	4	5644	1411	124,8	<0,001	2,99
Сорт+Доза	4	849	212	18,8	<0,001	0,45
Сорт+Время	4	178	44	3,9	0,004	0,09
Температура +Сорт	1	4	4	0,4	0,532	0,002
Температура +Доза+Время	16	2932	183	16,2	<0,001	1,55
Сорт+Доза+Время	16	730	46	4	0,204	0,39
Температура +Сорт+Доза	4	277	69	6,1	<0,001	0,15
Температура +Сорт+Время	4	200	50	4,4	0,002	0,11
Температура +Сорт+Доза+Время	16	341	21	1,9	0,019	0,18
Ошибка	900	10174	11			
Всего	189021	189021				

Как следует из представленных в Таблице 25 данных, на изменение массы клубней картофеля достоверное влияние оказали температура хранения, доза облучения и время хранения клубней после облучения, а также сочетание температуры хранения и дозы облучения; сорта и дозы облучения; температуры хранения и времени хранения; дозы и времени; температуры хранения, сорта и дозы облучения; температуры хранения, дозы облучения и времени хранения.

Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. В течение времени хранения клубней после облучения происходило достоверное снижение их массы, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (критерий Фишера $F=1773$ при $p<0,001$) (Таблица 25 и Рисунок 30). При этом 42,4% изменений дисперсии обусловлено именно влиянием времени хранения, поэтому данный фактор следует рассматривать как наиболее значимый в данном эксперименте. Различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 26).

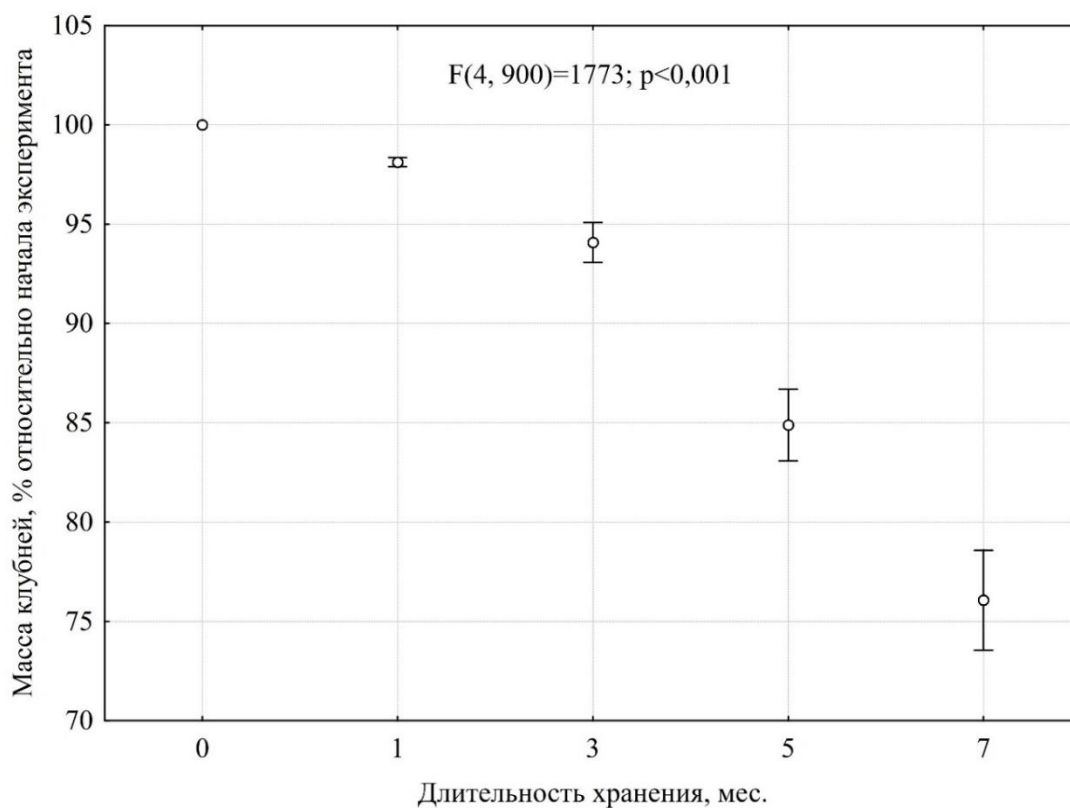


Рисунок 30 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы клубней картофеля при их облучении

Таблица 26 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы клубней картофеля

Время измерения, мес.	0	1	3	5	7
0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
3	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
5	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы (без разделения по условиям хранения, сортам и времени после облучения) – критерий Фишера составляет 644 при уровне значимости $< 0,001$ (Таблица 25 и Рисунок 31). При этом 15,4% дисперсии изменения относительной массы клубней связаны с влиянием дозы. Анализируя представленные на Рисунке 31 и в Таблице 27 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней при облучении в дозе 100, 150 и 250 Гр. Вместе с тем, изменения массы при отсутствии облучения, а также при дозе в 50 Гр достоверно выше по сравнению с облучением в дозе 100, 150 и 250 Гр.

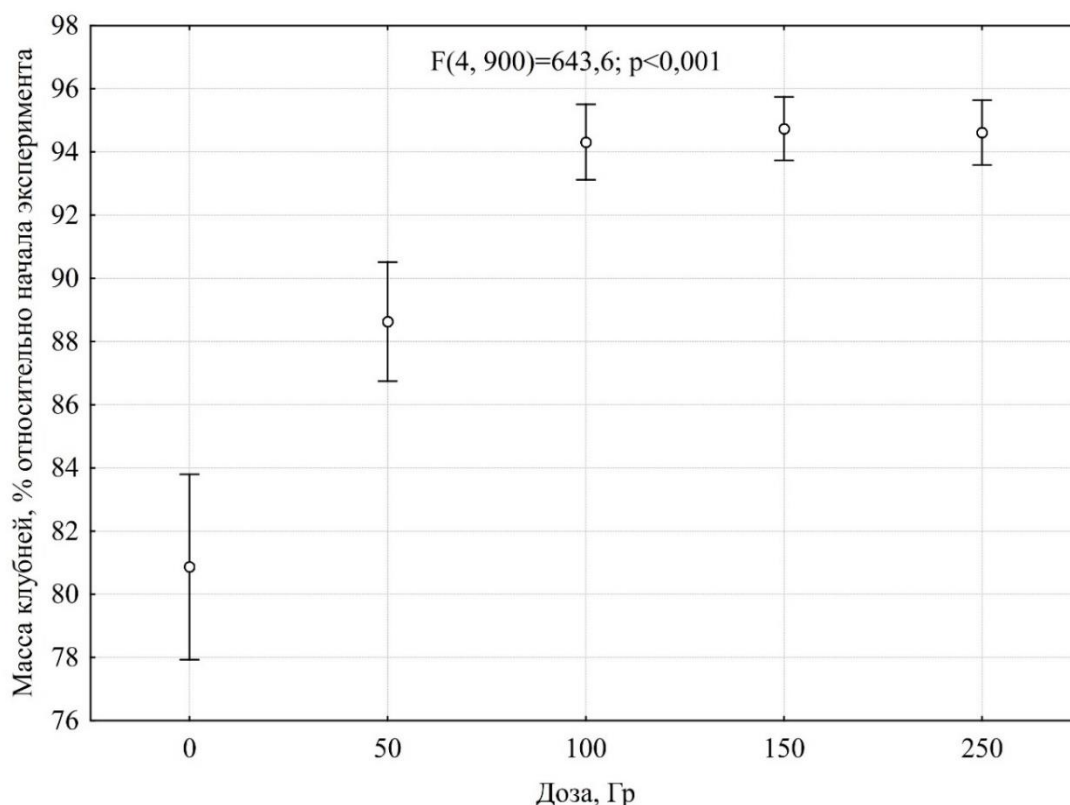


Рисунок 31 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения клубней картофеля на изменение их массы

Таблица 27 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
100	<0,001	<0,001	–	0,810	0,939
150	<0,001	<0,001	0,810	–	0,998
250	<0,001	<0,001	0,939	0,998	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Влияние температуры хранения клубней картофеля является достоверным ($F=1626$ при $p < 0,001$), сила влияния температуры хранения на изменения относительной массы клубней составила 9,7% (Таблица 25, Таблица 28). Графическая интерпретация влияния температуры хранения на изменение относительной массы представлена на Рисунке 32 – рассматриваются относительные изменения массы по условиям хранения в течение исследуемого промежутка времени без разделения по сортам, дозе облучения и по моментам времени, когда было выполнено измерение. Стоит отметить, что достоверных различий между сортами по изменению массы клубней в зависимости от условий хранения обнаружено не было.

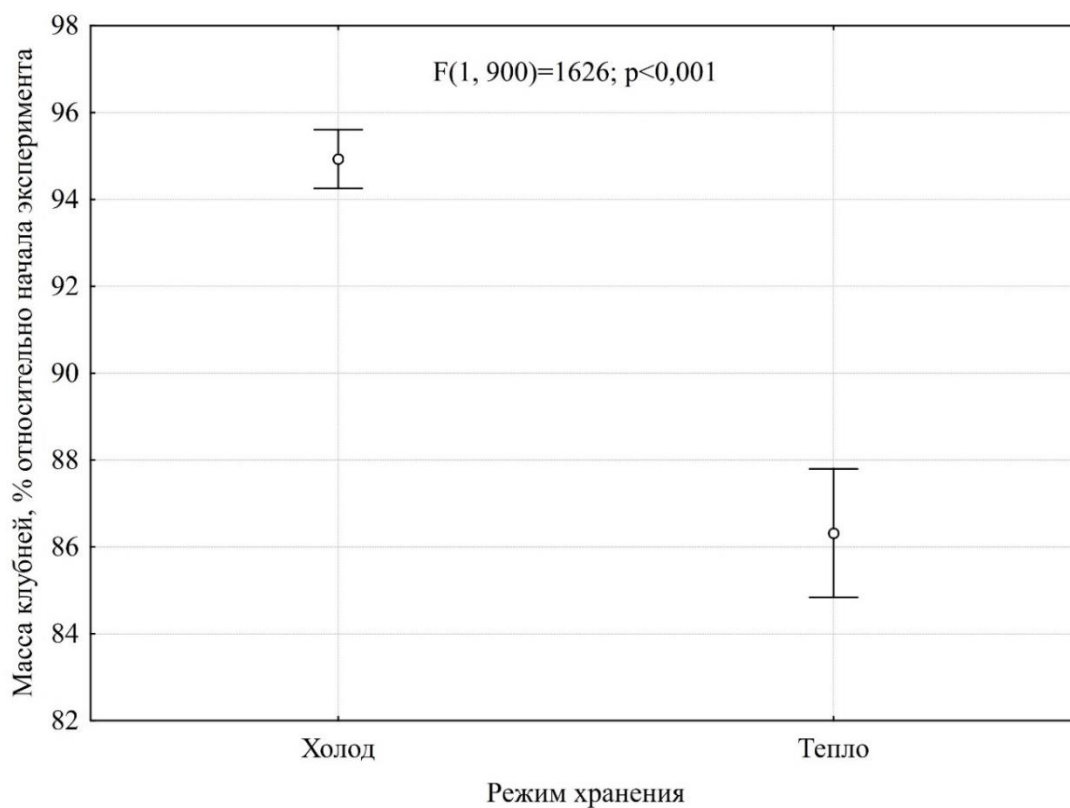


Рисунок 32 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию условий хранения картофеля на изменение массы клубней

Таблица 28 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Режим хранения	Холодильная камера	Помещение
Холодильная камера	–	<0,001
Помещение	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние сорта картофеля на изменение массы клубней ($F=6,3$ при $p < 0,01$), при этом сила действия этого фактора составила всего лишь 0,04% (Таблица 25 и Рисунок 33). Уровни значимости критерия Шеффе представлены в Таблице 29.

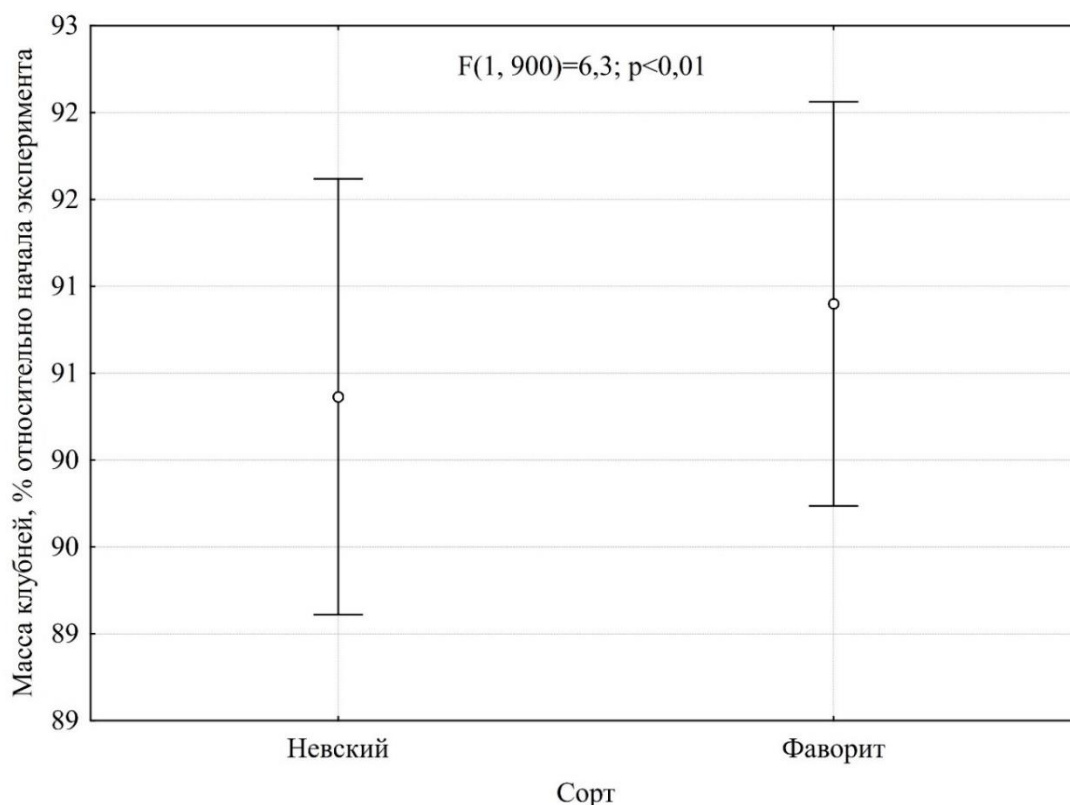


Рисунок 33 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа влияния сорта картофеля на изменение массы клубней

Таблица 29 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Сорт	Невский	Фаворит
Невский	–	<0,01
Фаворит	<0,01	–

* различия достоверны при $p < 0,01$

Рассмотрим совместное действие факторов. Установлено достоверное влияние дозы облучения и времени хранения на величину потери массы клубней (без разделения по сортам и условиям хранения) – критерий Фишера составил 133,6 при уровне значимости $< 0,001$, сила совместного действия факторов 12,8% (Таблица 25 и Рисунок 34).

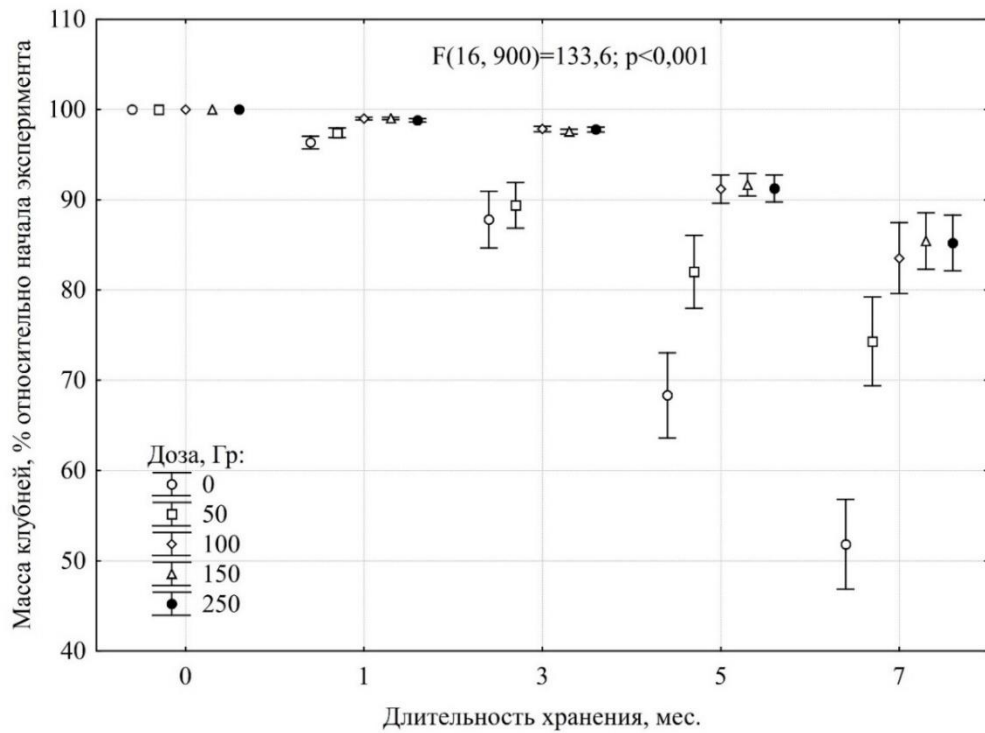


Рисунок 34 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и времени хранения на изменение массы клубней картофеля

Совместное влияние температуры и времени хранения также достоверно ($F=348,3$ при $p<0,001$), сила совместного действия факторов 8,33% (Таблица 25 и Рисунок 35).

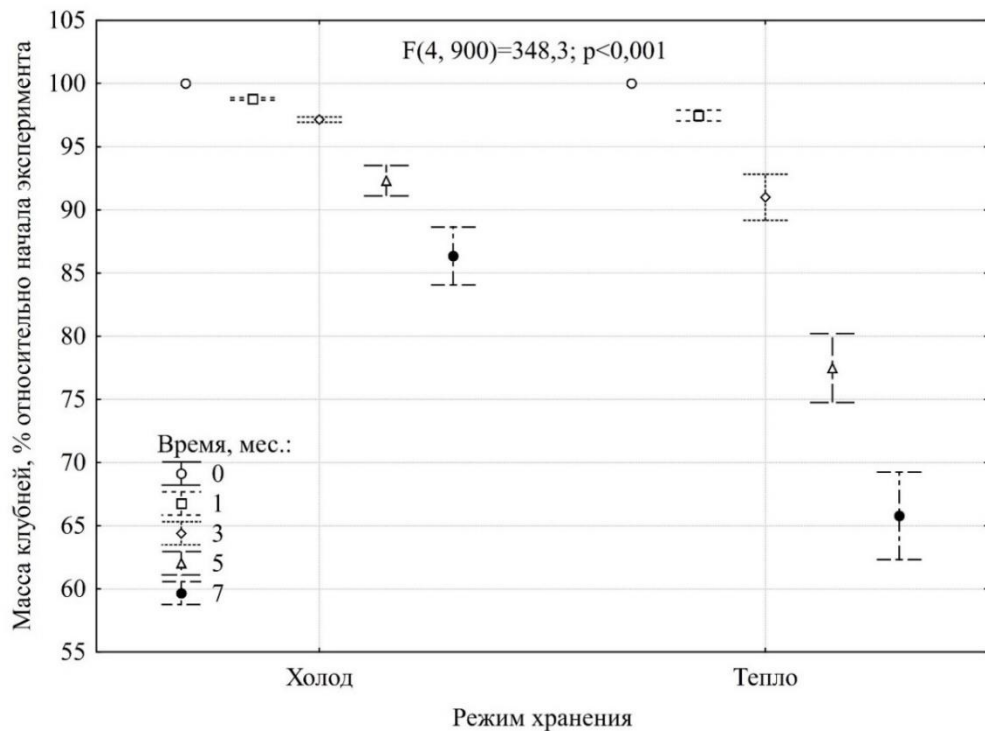


Рисунок 35 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры и времени хранения на изменение массы клубней картофеля

Расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок представлены в Таблице 30. Таблица 30 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий и времени хранения на изменение массы клубней картофеля. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Время	0 мес.	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.	0 мес.	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.
1	0 мес.	–	0,682	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	1 мес.	0,682	–	0,227	<0,001	<0,001	0,689	0,563	<0,001	<0,001	<0,001
1	3 мес.	<0,001	0,227	–	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	<0,001
1	5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	0,583	<0,001	<0,001
1	7 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0 мес.	1,000	0,689	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	1 мес.	0,001	0,563	1,000	<0,001	<0,001	0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	3 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	0,583	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
2	5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
2	7 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Совместное влияние температуры хранения и дозы облучения достоверно ($F=124,8$ при $p < 0,001$), сила совместного действия факторов 2,99% (Таблица 25 и Рисунок 35, 36). Расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок представлены в Таблице 31.

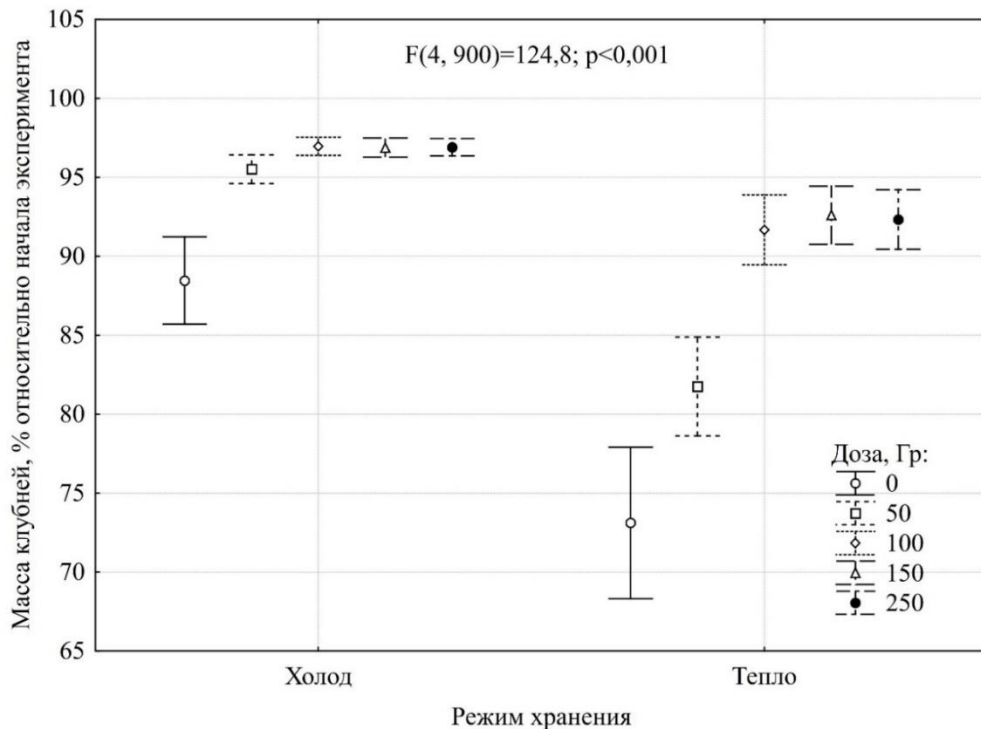


Рисунок 36 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля

Данные представленные на Рисунке 36 и в Таблице 31 позволяют сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней картофеля обоих сортов при облучении в дозах 50, 100, 150 и 250 Гр и последующем хранении в течение 7 месяцев при температуре +6...+8 °С. При хранении в помещении потери массы клубней в контроле и вариантах опыта с облучением в дозе 50 Гр были достоверно выше, чем в вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр. Важно отметить, что несмотря на то, что при температуре хранения +6...+8 °С между вариантами опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр достоверных различий не наблюдалось, потери массы клубней оказались достоверно выше потерь (~5%) в соответствующих вариантах опыта с температурой хранения +18...+22 °С.

Таблица 31 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	0,414	0,514	0,489	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	100	<0,001	0,414	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	150	<0,001	0,514	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	250	<0,001	0,489	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,920	0,992
2	150	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,920	–	1,000
2	250	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,992	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по влиянию температуры хранения и дозы облучения, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля сорта Невский спустя 1 месяц хранения представлены в Таблице 32.

Таблица 32 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по влиянию температуры хранения и дозы облучения, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля сорта Невский

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Режим хранения	1	53,5	53,5	297	<0,001	14,61
Доза	4	185,3	46,3	257	<0,001	50,59
Режим+Доза	4	111,4	27,8	155	<0,001	30,41
Ошибка	90	16,2	0,2			
Всего	99	366,3				

Из представленных на Рисунок 37 и в Таблице 33 данных следует, что потери массы клубней необлученного и облученного в дозе 50 Гр картофеля сорта Невский достоверно различались в зависимости от температуры хранения и дозы облучения уже спустя 1 месяц хранения. В вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр достоверных различий еще не наблюдалось. Последние проявились на 5 месяце хранения (Рисунке 38, Таблица 33– 34).

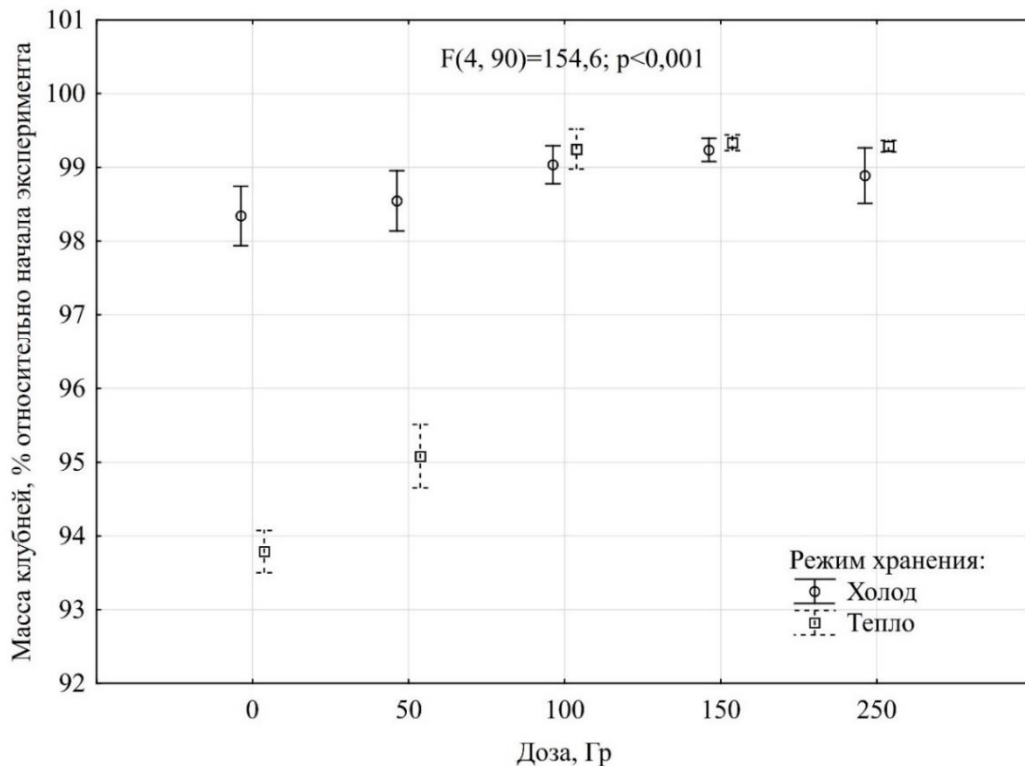


Рисунок 37 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Невский спустя 1 месяц хранения

Таблица 33 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Невский спустя 1 месяц хранения. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим	Доза, Гр	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
		0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	0,999	0,165	0,015	0,508	<0,001	<0,001	0,012	0,003	0,007
1	50	0,999	–	0,670	0,171	0,949	<0,001	<0,001	0,152	0,059	0,102
1	100	0,165	0,670	–	0,999	1,000	<0,001	<0,001	0,998	0,980	0,994
1	150	0,015	0,171	0,999	–	0,946	<0,001	<0,001	1,000	1,000	1,000
1	250	0,508	0,949	1,000	0,946	–	<0,001	<0,001	0,933	0,785	0,879
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	0,012	0,152	0,998	1,000	0,933	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000
2	150	0,003	0,059	0,980	1,000	0,785	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000
2	250	0,007	0,102	0,994	1,000	0,879	<0,001	<0,001	1,000	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

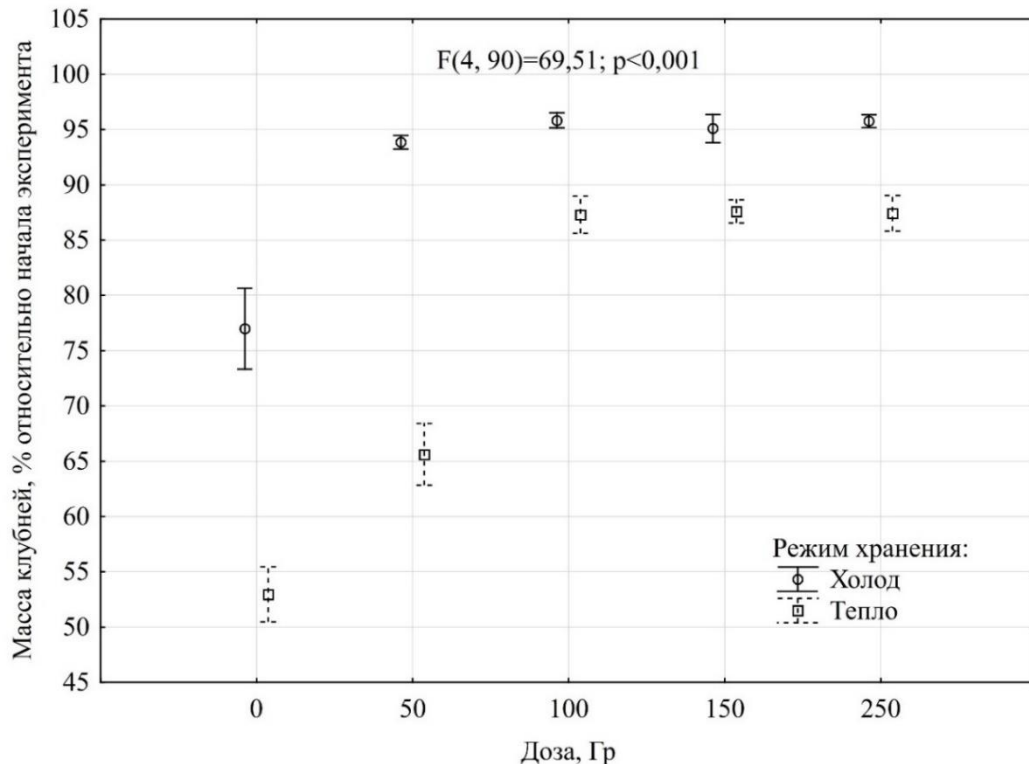


Рисунок 38 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Невский спустя 5 месяцев хранения

Таблица 34 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Невский спустя 5 месяцев хранения. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	0,972	0,999	0,979	<0,001	<0,001	0,001	0,003	0,002
1	100	<0,001	0,972	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	150	<0,001	0,999	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	250	<0,001	0,979	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000
2	150	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000
2	250	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Подобные результаты были получены и для картофеля сорта Фаворит. Представленные на Рисунке 39 и в Таблице 35 данные демонстрируют достоверные различия в потере массы клубней необлученного и облученного в дозе 50 Гр картофеля в зависимости от температуры хранения и дозы облучения спустя 1 месяц.

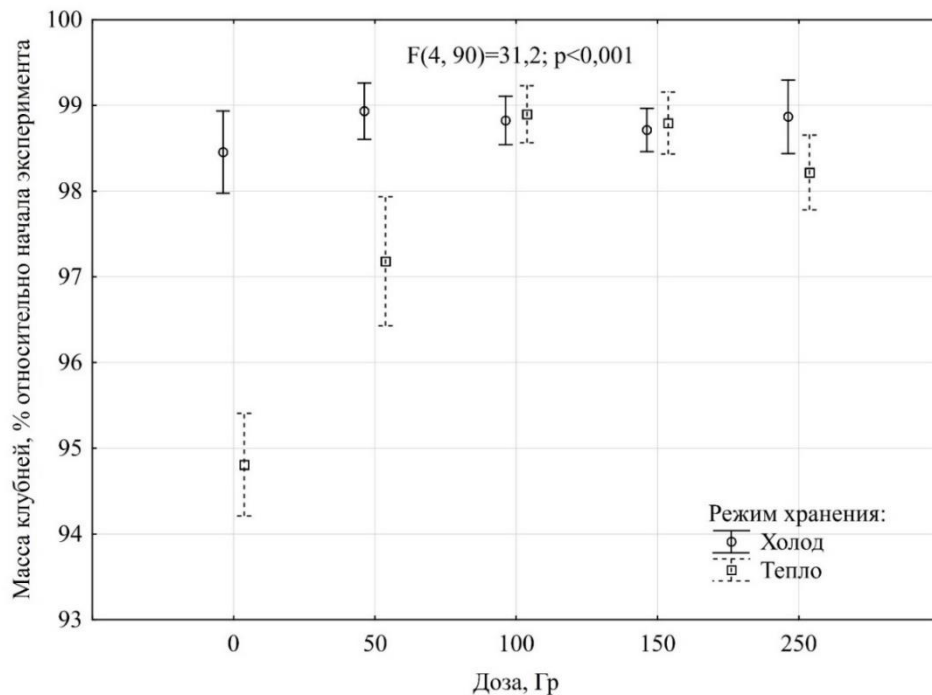


Рисунок 39 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Фаворит спустя 1 месяц хранения

Таблица 35 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Фаворит спустя 1 месяц хранения. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	0,966	0,995	1,000	0,988	<0,001	0,024	0,980	0,997	1,000
1	50	0,966	–	1,000	1,000	1,000	<0,001	<0,001	1,000	1,000	0,687
1	100	0,995	1,000	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	1,000	1,000	0,857
1	150	1,000	1,000	1,000	–	1,000	<0,001	0,002	1,000	1,000	0,957
1	250	0,988	1,000	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	1,000	1,000	0,796
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	0,024	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	–	<0,001	0,001	0,158
2	100	0,980	1,000	1,000	1,000	1,000	<0,001	<0,001	–	1,000	0,752
2	150	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	<0,001	0,001	1,000	–	0,892
2	250	1,000	0,687	0,857	0,957	0,796	<0,001	0,158	0,752	0,892	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Достоверных различий в вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, как и в случае с картофелем сорта Невский, не наблюдалось, и они проявились лишь на 5 месяце хранения (Рисунок 40 и Таблица 36).

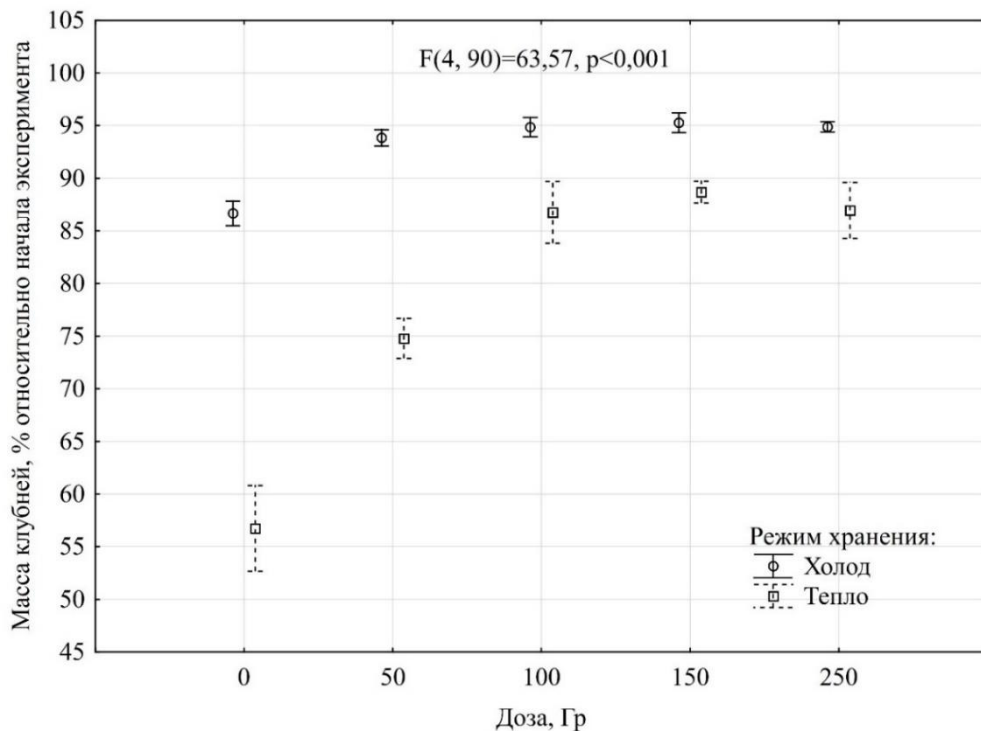


Рисунок 40 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Фаворит спустя 5 месяцев хранения

Таблица 36 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля сорта Фаворит спустя 5 месяцев хранения. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	0,977	1,000
1	50	0,001	–	1,000	0,998	1,000	<0,001	<0,001	0,001	0,070	0,002
1	100	0,000	1,000	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	<0,001
1	150	<0,001	0,998	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001
1	250	<0,001	1,000	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	1,000	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,983	1,000
2	150	0,977	0,070	0,009	0,003	0,008	<0,001	<0,001	0,983	–	0,992
2	250	1,000	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	0,992	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

На Рисунке 41 представлена графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сортовых особенностей картофеля и дозы облучения клубней на изменение массы при хранении. Как следует из представленных данных (Таблица 25 и Рисунок 41) совместное влияние исследованных факторов на массу облученных клубней достоверно (критерий Фишера $F=18,8$ при $p < 0,001$), сила совместного влияния факторов на дисперсию массы клубней составила 0,45%. Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта картофеля и дозы облучения на изменение массы клубней представлены в Таблице 37.

Из представленных на Рисунке 41 и в Таблице 37 данных, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней картофеля обоих сортов при облучении в дозе 100, 150 и 250 Гр по сравнению с необлученным контролем и облучением в дозе 50 Гр. Различия между сортами при облучении в дозах 100, 150 и 250 Гр также не были достоверными.

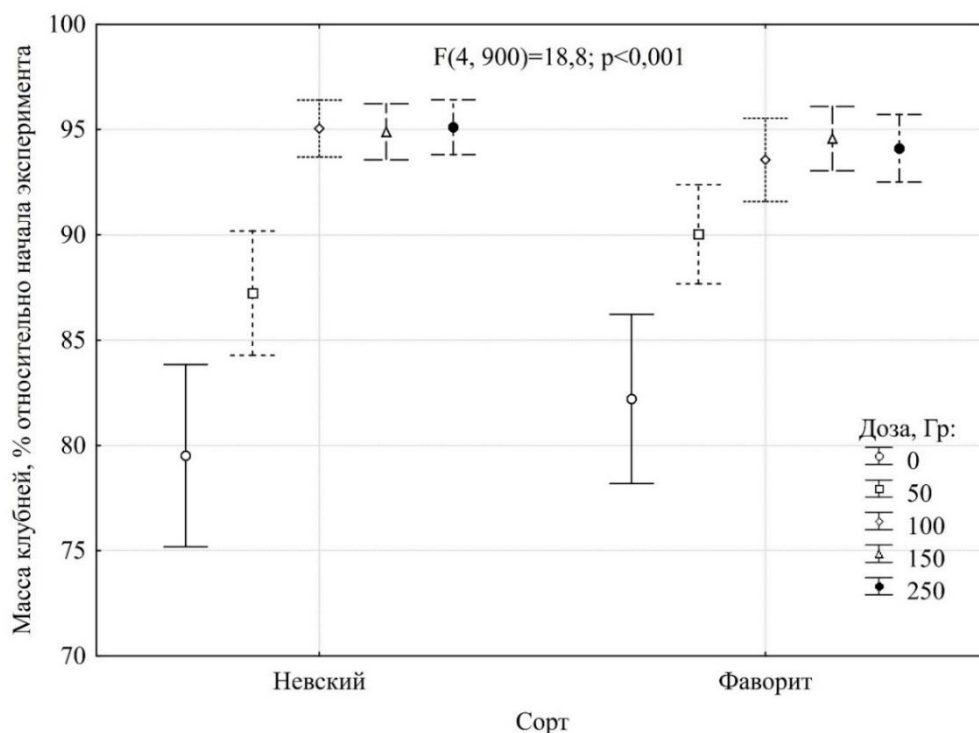


Рисунок 41 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сорта и дозы облучения на изменение массы клубней

Таблица 37 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта картофеля и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля. Сорт: 1 – Невский; 2 – Фаворит

Сорт	Доза, Гр	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
		0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	100	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	0,370	0,999	0,913
1	150	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	0,554	1,000	0,973
1	250	<0,001	<0,001	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	0,306	0,998	0,876
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	<0,001	0,370	0,554	0,306	<0,001	<0,001	–	0,876	0,998
2	150	<0,001	<0,001	0,999	1,000	0,998	<0,001	<0,001	0,876	–	1,000
2	250	<0,001	<0,001	0,913	0,973	0,876	<0,001	<0,001	0,998	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию сорта картофеля и времени хранения на изменение массы клубней приведена на Рисунке 42.

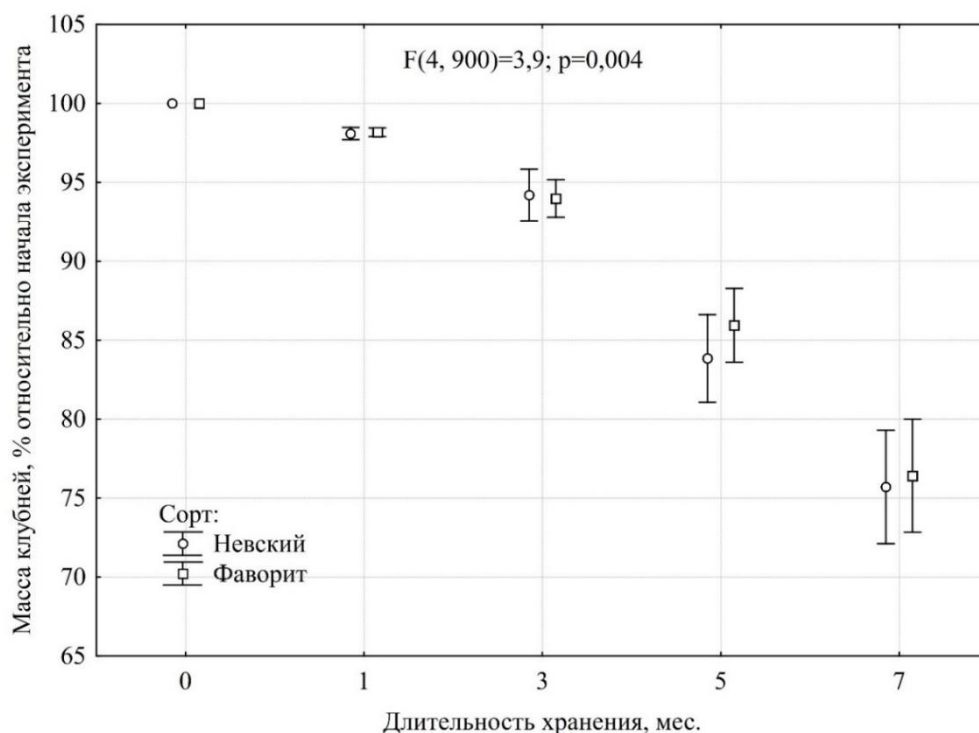


Рисунок 42 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сорта картофеля и времени хранения на изменение массы клубней картофеля

Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта картофеля и времени хранения на изменение массы клубней представлены в Таблице 38.

Таблица 38 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта картофеля и времени хранения на изменение массы клубней картофеля. Сорт: 1 – Невский; 2 – Фаворит

Сорт		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Время	0 мес.	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.	0 мес.	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.
1	0 мес.	–	0,062	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	0,098	<0,001	<0,001	<0,001
1	1 мес.	0,062	–	<0,001	<0,001	<0,001	0,062	1,000	<0,001	<0,001	<0,001
1	3 мес.	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001
1	5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	0,000	0,021	<0,001
1	7 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	0,000	<0,001	0,988
2	0 мес.	1,000	0,062	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,098	0,000	<0,001	<0,001
2	1 мес.	0,098	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	0,098	–	0,000	<0,001	<0,001
2	3 мес.	<0,001	<0,001	1,000	0,000	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
2	5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	0,021	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
2	7 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,988	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Совместное влияние сорта картофеля и температуры хранения на изменение массы клубней не было достоверным.

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что в течение 7 месяцев эксперимента температура хранения оказала достоверное влияние на изменение массы клубней картофеля сортов Невский и Фаворит несмотря на то, что сила влияния факторов времени хранения и дозы облучения превосходили силу влияния фактора температуры хранения. При температуре хранения +6...+8 °С картофель, облученный в диапазоне доз от 50 до 250 Гр, сохранился достоверно лучше, чем необлученный. При хранении в помещении потери массы клубней в вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр были достоверно ниже, чем в контроле и вариантах опыта с облучением в дозе 50 Гр. Важно отметить, что несмотря на то, что при хранении в помещении с температурой +18...+22 °С между вариантами опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр достоверных различий не наблюдалось, потери массы клубней достоверно превосходили таковые в соответствующих вариантах опыта, хранившихся при температуре +6...+8 °С. В отличающихся по температуре условиях различия в потере массы между необлученным и облученным в дозе 50 Гр картофелем начинали проявляться уже спустя 1 месяц хранения и становились достоверно значимыми для всех вариантов опыта с облучением спустя 5 месяцев хранения.

Далее будут представлены результаты эксперимента 2020–2021 гг. по оценке влияния облучения на изменение массы клубней картофеля, выращенного с использованием различных агроメリорантов. Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию вида агроメリоранта, используемого при выращивании картофеля, температуры хранения, дозы облучения и времени хранения, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля сорта Леди Клэр представлены в Таблице 39.

Таблица 39 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию вида агроメリоранта, температуры хранения, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы клубней картофеля

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Время	3	84350	28117	15548	<0,001	57,2
Режим	1	19828	19828	10964,4	<0,001	13,4
Доза	3	3968	1323	731,4	<0,001	2,7
Вид удобрения	7	110	16	8,7	<0,001	0,1
Режим+Время	3	15718	5239	2897,2	<0,001	10,7

Продолжение таблицы

Доза+Время	9	11442	1271	703	<0,001	7,8
Режим+Доза	3	1937	646	357	<0,001	1,3
Вид удобрения+Время	21	213	10	5,6	<0,001	0,1
Вид удобрения+Доза	21	174	8	4,6	<0,001	0,1
Вид удобрения+Режим	7	39	6	3,1	0,0031	0,03
Режим+Доза+Время	9	4756	528	292,2	<0,001	3,2
Вид удобрения+Доза+ +Время	63	329	5	2,9	<0,001	0,2
Вид удобрения+Режим+ +Доза	211	88	4	2,3	0,0007	0,1
Вид удобрения+Режим+ +Доза+Время	63	286	5	2,5	<0,001	0,2
Ошибка	2304	4167	2			
Всего	2559	147552				

Как следует из представленных в Таблице 39 данных, на изменение массы клубней оказали достоверное влияние время хранения, температура хранения, доза облучения и вид агромелиоранта, на котором выращивался картофель. Также достоверное влияние оказало сочетание температуры и времени хранения; дозы облучения и времени хранения; температуры хранения и дозы облучения; вида агромелиоранта и времени хранения; вида агромелиоранта и дозы облучения; температуры хранения, дозы облучения и времени хранения; вида агромелиоранта, дозы облучения и времени хранения; вида агромелиоранта, температуры хранения, дозы облучения и времени хранения.

Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. В течение времени хранения клубней после облучения происходило достоверное снижение их массы (критерий Фишера $F=15548$ при $p<0,001$) (Таблица 39 и Рисунок 43). При этом 57,2% изменений дисперсии обусловлено влиянием времени хранения. Различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 40).

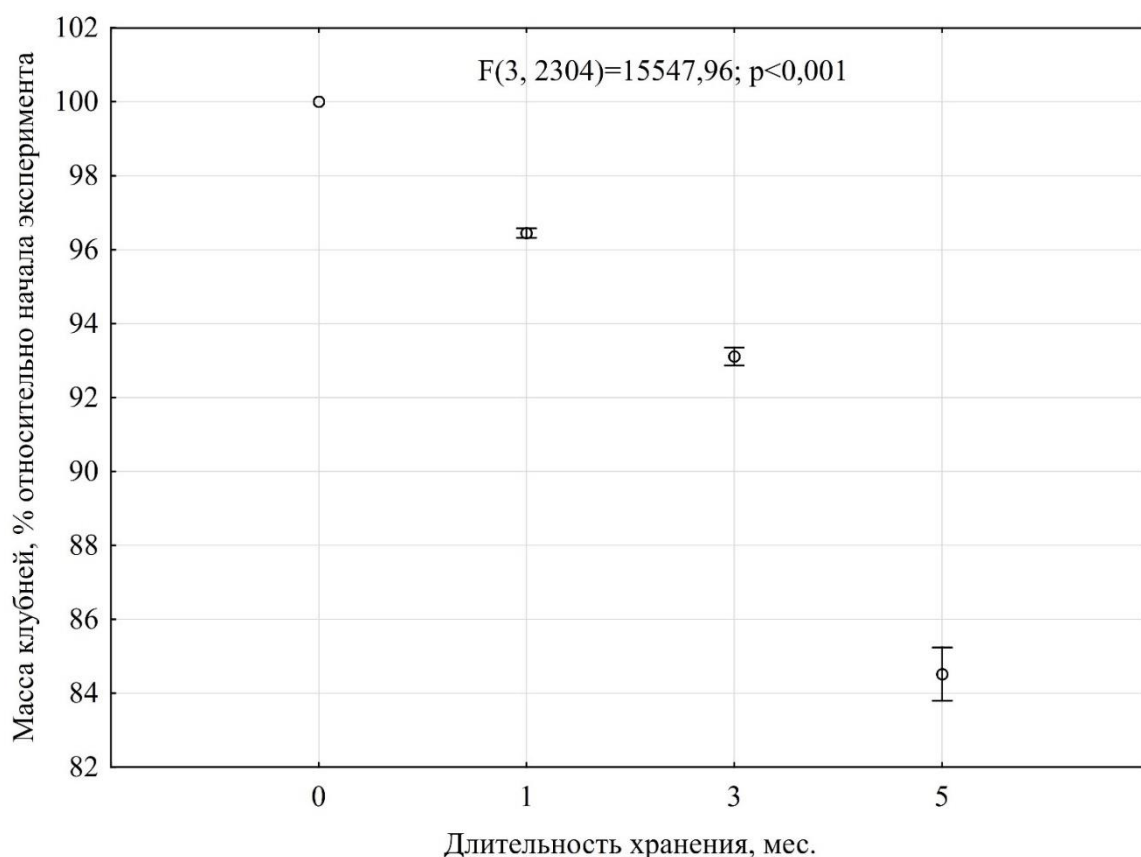


Рисунок 43 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы клубней картофеля при их облучении

Таблица 40 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы клубней картофеля

Время измерения, мес.	0	1	3	5
0	–	<0,001	<0,001	<0,001
1	<0,001	–	<0,001	<0,001
3	<0,001	<0,001	–	<0,001
5	<0,001	<0,001	<0,001	–
7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

* различия достоверны при $p < 0,001$

Влияние температуры хранения клубней достоверно ($F=10964,4$ при $p < 0,001$), сила влияния температуры хранения на изменения массы клубней составила 13,4% (Таблица 39). Графическая интерпретация влияния температуры хранения на изменение относительной массы клубней представлена на Рисунке 44 – рассматриваются относительные изменения массы по условиям хранения в течение исследуемого промежутка времени без разделения по видам агроメリоранта, дозе облучения и по моментам времени, когда было выполнено измерение.

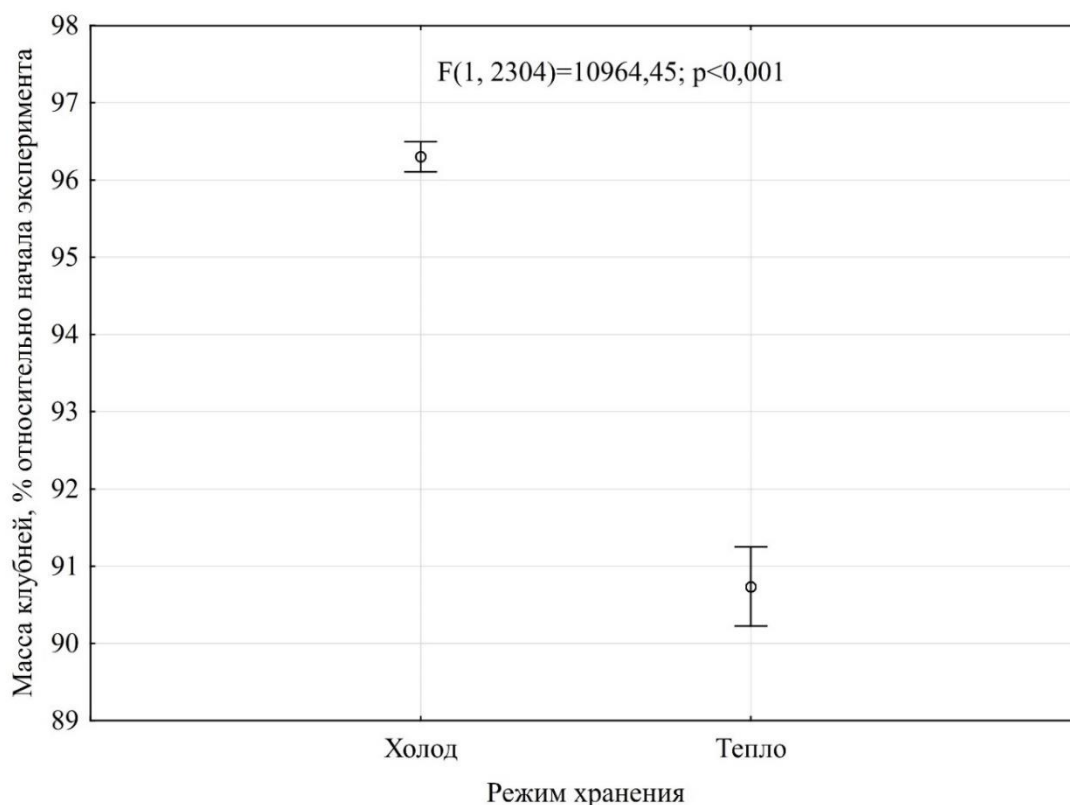


Рисунок 44 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию условий хранения картофеля на изменение массы клубней

Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении различных условий хранения клубней картофеля на величину потери их массы представлены в Таблице 41.

Таблица 41 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных условий хранения клубней картофеля на величину потери их массы

Режим хранения	Холодильная камера	Помещение
Холодильная камера	–	<0,001
Помещение	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы (без разделения по виду агроメリоранта, температуре и времени хранения после облучения) – критерий Фишера составляет 731,4 при уровне значимости $< 0,001$ (Таблица 39 и Рисунок 45). При этом 2,7% дисперсии изменения относительной массы клубней связаны с влиянием дозы.

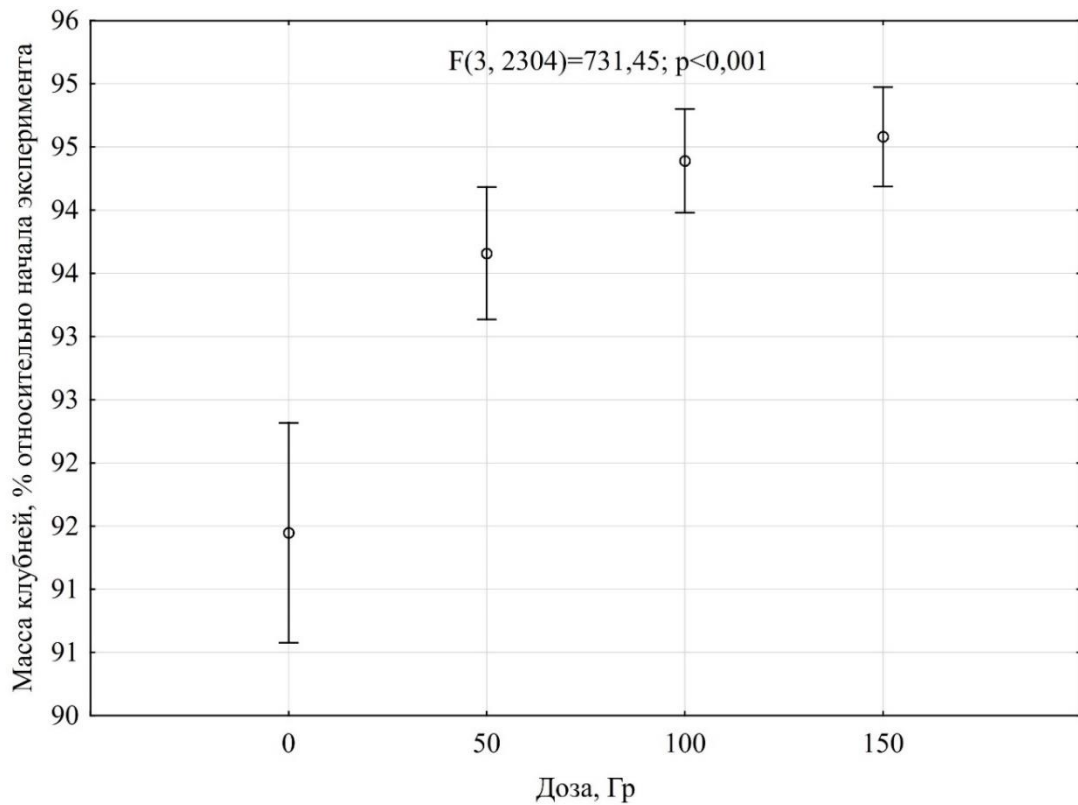


Рисунок 45 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения клубней картофеля на изменение их массы

Анализируя представленные на Рисунке 45 и в Таблице 42 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней при их облучении в дозах 100 и 150 Гр. Потери массы в контроле, а также при облучении в дозе 50 Гр достоверно выше, чем в вариантах опыта с облучением в дозах 100 и 150 Гр.

Таблица 42 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы

Доза, Гр	0	50	100	150
0	–	<0,001	<0,001	<0,001
50	<0,001	–	<0,001	<0,001
100	<0,001	<0,001	–	0,090
150	<0,001	<0,001	0,090	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние применения агроメリорантов на изменение массы клубней при хранении ($F=8,7$ при $p < 0,01$). Сила действия этого фактора невелика и составила

всего лишь 0,1% (Таблица 39 и Рисунок 46). Уровни значимости критерия Шеффе представлены в Таблице 43.

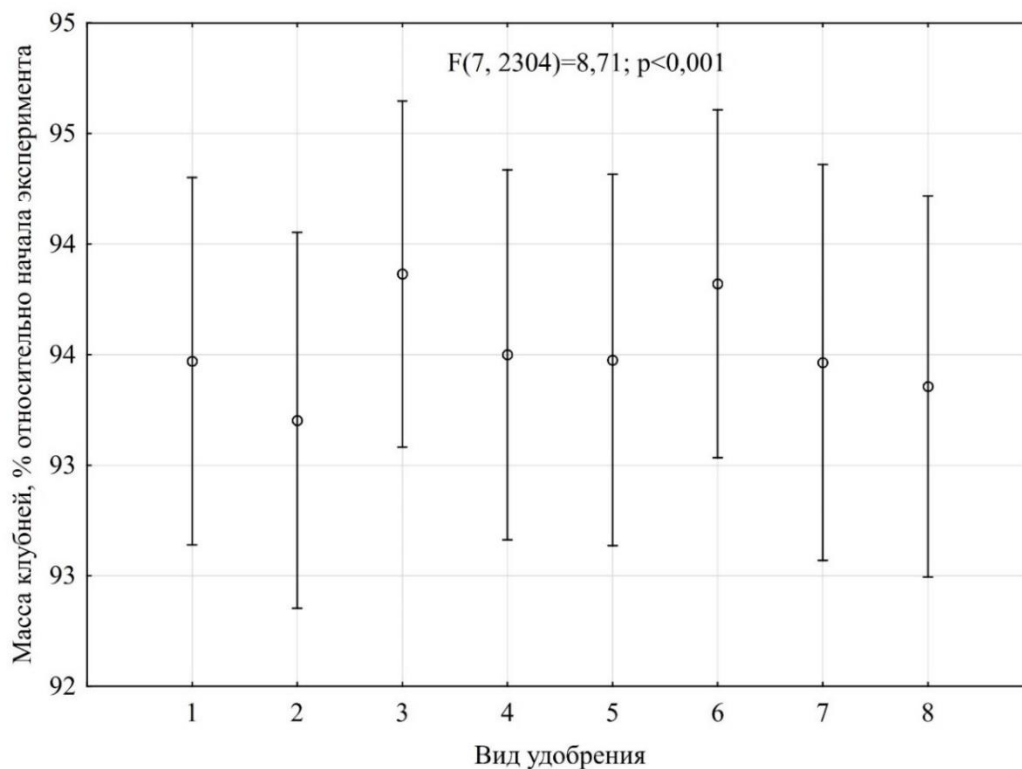


Рисунок 46 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа влияния вида используемого агромелиоранта на изменение массы клубней

Виды агромелиорантов: 1 – Без удобрения; 2 – Доломитовая мука; 3 – Доломитовая мука+КалийМаг; 4 – ФосАгро; 5 – Доломитовая мука + ФосАгро; 6 – Доломитовая мука + ФосАгро; + КалийМаг; 7 – Боркалимагnezия; 8 – Боркалимагnezия + ФосАгро

По показателю изменения массы клубней достоверных различий между контролем (без использования агромелиорантов) и вариантами опыта (с применением агромелиорантов) обнаружено не было (Таблица 43).

Таблица 43 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения клубней картофеля на величину потери их массы. Виды агроメリорантов: 1 – Без удобрения; 2 – Доломитовая мука; 3 – Доломитовая мука+КалийМаг; 4 – ФосАгро; 5 – Доломитовая мука + ФосАгро; 6 – Доломитовая мука + ФосАгро; + КалийМаг; 7 – Боркалимагнезия; 8 – Боркалимагнезия + ФосАгро

Вид удобрения	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	0,5012	0,0562	1,0000	1,0000	0,1458	1,0000	0,9919
2	0,5012	–	<0,001	0,3526	0,4716	<0,001	0,5316	0,9550
3	0,0562	<0,001	–	0,1076	0,0641	1,0000	0,0490	0,0019
4	1,0000	0,3526	0,1076	–	1,0000	0,2439	1,0000	0,9694
5	1,0000	0,4716	0,0641	1,0000	–	0,1621	1,0000	0,9892
6	0,1458	<0,001	1,0000	0,2439	0,1621	–	0,1305	0,0081
7	1,0000	0,5316	0,0490	1,0000	1,0000	0,1305	–	0,9941
8	0,9919	0,9550	0,0019	0,9694	0,9892	0,0081	0,9941	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Перейдем к рассмотрению совместного действия факторов. Установлено достоверное влияние дозы облучения и времени хранения на величину потери массы клубней (без разделения по видам удобрения и условиям хранения). Критерий Фишера составляет 703 при уровне значимости $< 0,001$, сила совместного действия факторов 7,8% (Таблица 25, 39 и Рисунок 47). Достоверные различия между контролем и вариантами опыта с облучением в дозах 50, 100 и 150 Гр проявились через пять месяцев хранения, при этом между вариантами опыта с облучением в дозах 100 и 150 Гр достоверных различий обнаружено не было (Рисунок 47).

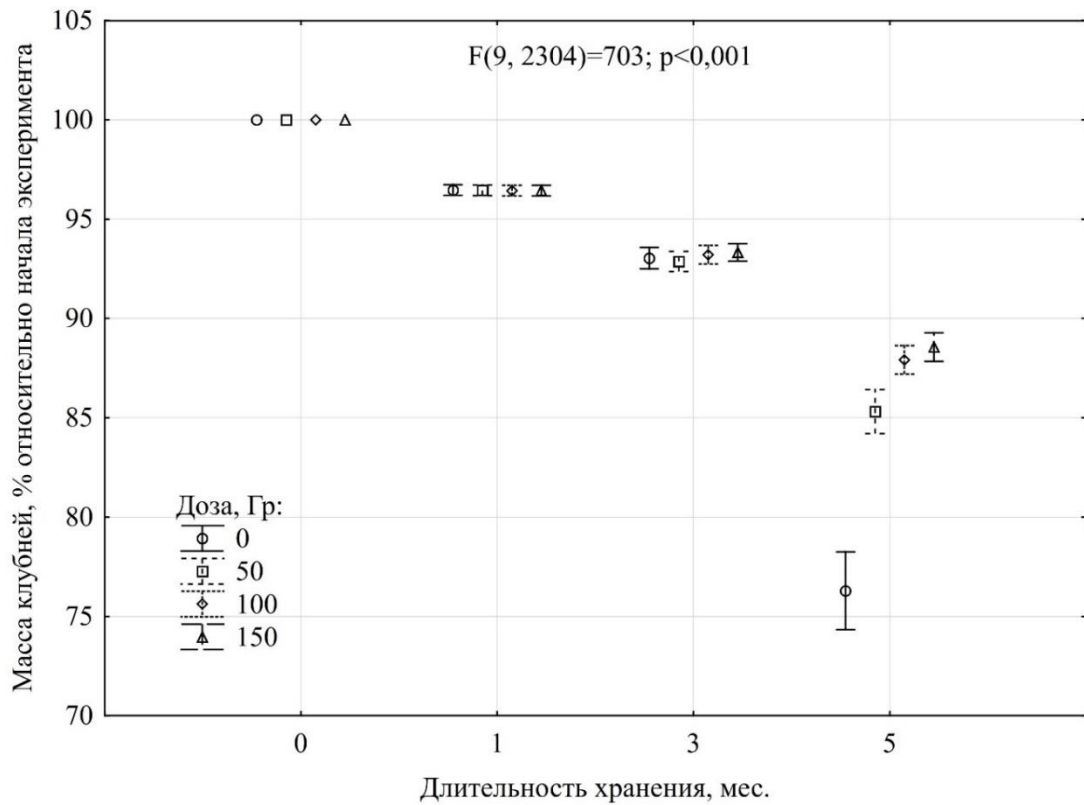


Рисунок 47 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и времени хранения на изменение массы клубней картофеля

Совместное влияние дозы облучения, условий и времени хранения (без разделения по видам агроメリоранта) является достоверным ($F=292,2$ при $p<0,001$, сила совместного действия факторов 3,2%) (Таблица 39 и Рисунок 48).

Из данных, представленных на Рисунке 48, следует, что независимо от дозы облучения картофель лучше всего сохранился при $+6...+8$ °С. Потери массы в контроле в этом случае составили около 11%, тогда как при $+18...+22$ °С – около 35%. При $+6...+8$ °С клубни картофеля в вариантах опыта с облучением также сохранились достоверно лучше, чем при $+18...+22$ °С. В этом случае достоверных различий в потере массы между вариантами опыта с облучением в дозах 50, 100 и 150 Гр не наблюдалось, тогда как при $+18...+22$ °С различий не было лишь между вариантами с облучением в дозах 100 и 150 Гр (Таблица 44).

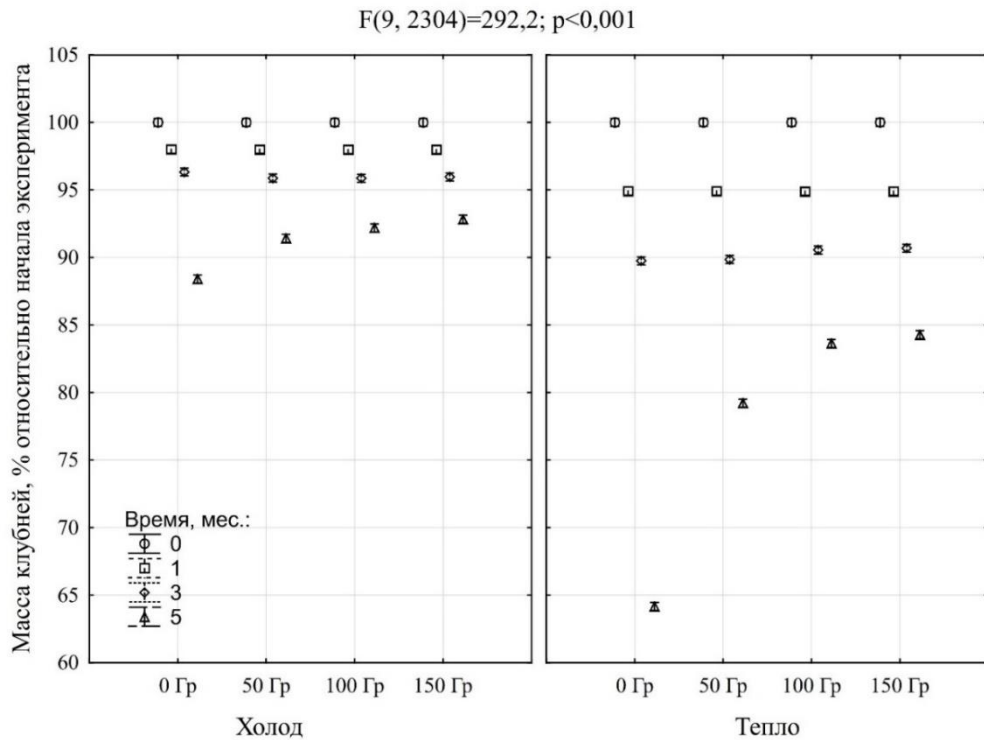


Рисунок 48 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения, условий и времени хранения на изменение массы клубней картофеля

Во всех вариантах опыта с облучением потери массы клубней оказались достоверно ниже, чем в контроле независимо от того, применялись агроулучшители при выращивании или нет, что в свою очередь свидетельствует о том, что при обработке клубней картофеля сорта Леди Клэр γ -излучением условия минерального питания при выращивании картофеля не оказали влияния на изменение массы клубней при хранении после радиационной обработки против прорастания.

Таблица 44 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим хранения		1	1	1	1	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	0	50	100	150
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	0,873	0,091	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	100	<0,001	0,873	–	0,882	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	150	<0,001	0,091	0,882	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	0,836
2	150	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,836	–

* различия достоверны при $p<0,001$

При сравнении выборок по видам агроメリорантов между собой достоверных различий не обнаружено (Рисунок 49).

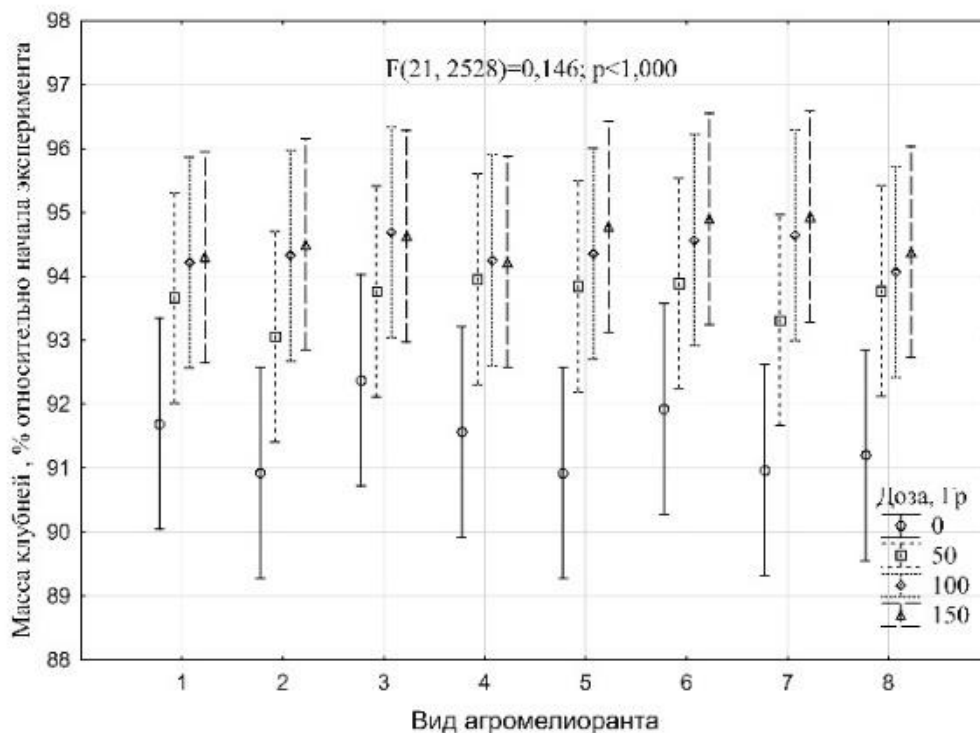


Рисунок 49 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и агроメリорантов на изменение массы клубней картофеля

В эксперименте использовались агроメリоранты, повышающие плодородие почвы. Как уже упоминалось выше, условия выращивания могут влиять на качество картофеля [161], однако в этой ситуации данный фактор не оказал влияния на изменение массы клубней, т.к. по результатам оценки плодородия почвы, на которой культивировался изученный сорт картофеля соотношение элементов питания было оптимальным.

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что облучение достоверно снижает потери массы клубней картофеля при хранении независимо от сорта, температуры хранения и времени между уборкой урожая и облучением. Полученные данные в полной мере согласуются с результатами работ других исследователей [10; 13; 19; 34; 35, 51; 79: 88; 96; 114; 116; 138; 140; 175; 184; 194].

3.2.4 Влияние γ -излучения на изменение массы луковиц репчатого лука и чеснока

Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию температуры хранения, сортовых различий, дозы облучения и времени хранения, а также их сочетаний на изменение массы луковиц репчатого лука представлены в Таблице 45.

Из представленных в Таблице 45 данных следует, что на изменение массы луковиц репчатого лука достоверное влияние оказали температура хранения, сорт лука, доза облучения, время хранения, а также сочетание температуры хранения и сорта, температуры хранения и дозы облучения; сорта и дозы облучения; температуры и времени хранения; сорта и времени хранения; дозы облучения и времени хранения; температуры хранения, сорта и дозы облучения; температуры хранения, дозы облучения и времени хранения; сорта, дозы облучения и времени хранения. Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. Фактор времени оказал наибольшее влияние на изменение массы луковиц в процессе хранения. В течение времени хранения после облучения происходило достоверное снижение их массы, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (критерий Фишера $F=7595,6$ при $p<0,001$) (Таблица 45 и Рисунок 50).

Таблица 45 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий хранения, сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы луковиц репчатого лука

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Режим	1	514	514	218,2	<0,001	0,42
Сорт	1	538	538	228,3	<0,001	0,44
Доза	4	38485	9621	4083,4	<0,001	31,36
Время	3	53690	17897	7595,6	<0,001	43,75
Температура+Сорт	1	35	35	15,0	<0,001	0,03
Температура+Доза	4	148	37	15,7	<0,001	0,12
Сорт+Доза	4	471	118	50,0	<0,001	0,38
Температура+Время	3	256	85	36,3	<0,001	0,21
Сорт+Время	3	536	179	75,8	<0,001	0,44
Доза+Время	12	26406	2200	933,9	<0,001	21,52
Температура+ +Сорт+Доза	4	54	13	5,7	<0,001	0,04
Температура+ +Сорт+Время	3	31	10	4,4	0,005	0,03
Температура+ +Доза+Время	12	255	21	9,0	<0,001	0,21

Продолжение таблицы

Сорт+Доза+Время	12	646	54	22,9	<0,001	0,53
Температура+ +Сорт+Доза+Время	12	84	7	3,0	0,001	0,07
Ошибка	240	565	2			
Всего	319	122714				

При этом 43,8% изменений дисперсии обусловлено влиянием времени хранения, поэтому данный фактор, как и в случае с картофелем, оказал наибольшее влияние. Различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 46).

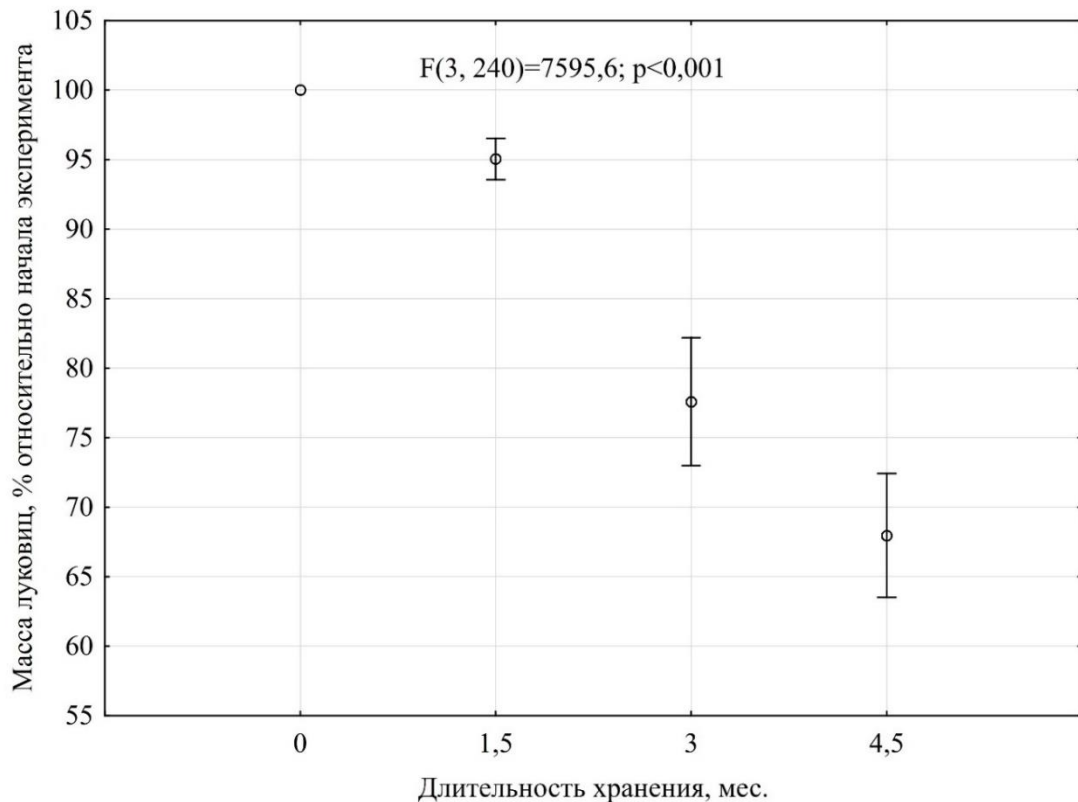


Рисунок 50 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы луковиц при их облущении

Таблица 46 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы луковиц репчатого лука

Время измерения, мес.	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	4 мес.
0 мес.	–	<0,001	<0,001	<0,001
1,5 мес.	<0,001	–	<0,001	<0,001
3 мес.	<0,001	<0,001	–	<0,001
4 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы луковиц (без разделения по условиям хранения, сортам и времени после облучения) – критерий Фишера составляет 4083 при уровне значимости $<0,001$ (Таблица 45 и Рисунок 51). При этом 31,4% дисперсии изменения относительной массы луковиц связаны с влиянием дозы. Анализируя представленные на Рисунок 51 и в Таблице 47 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы луковиц при облучении в дозах 100, 150 и 250 Гр. Изменения массы при отсутствии облучения, а также при дозе в 50 Гр были достоверно выше по сравнению с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр.

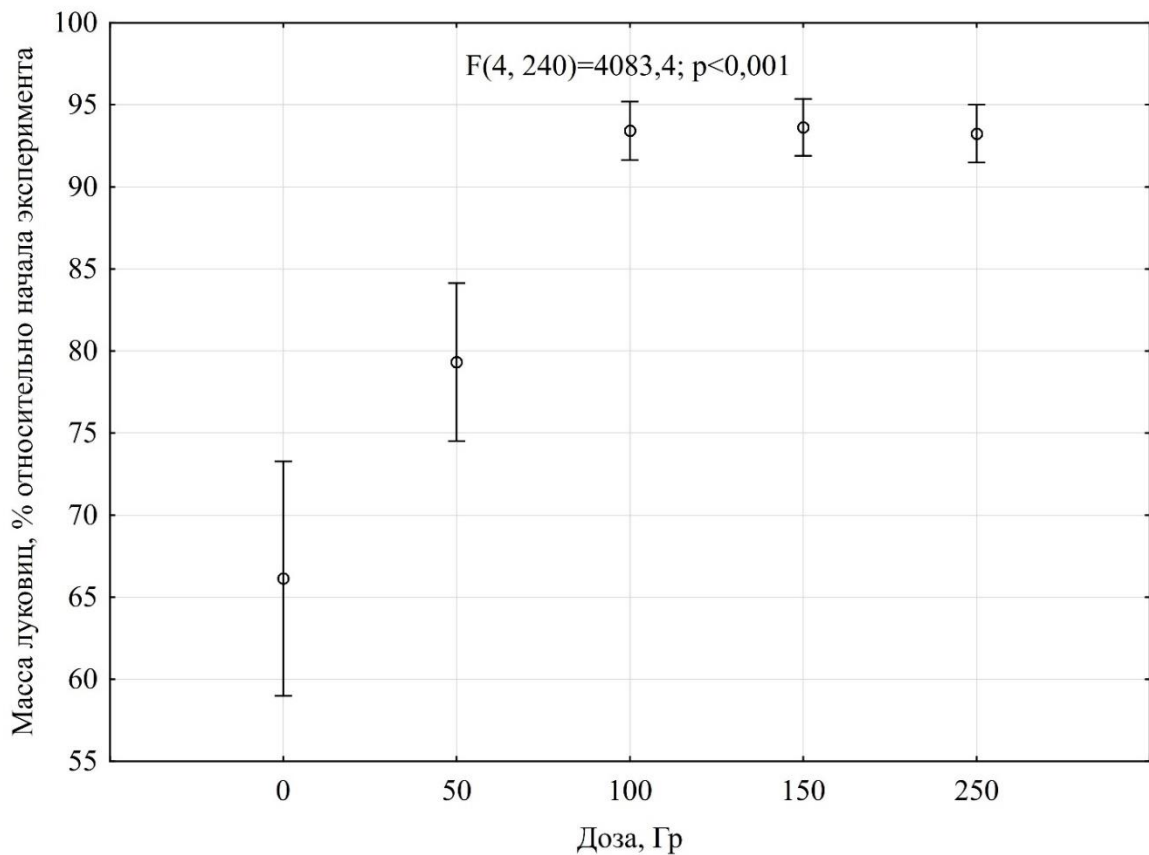


Рисунок 51 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения луковиц репчатого лука на изменение их массы

Таблица 47 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения луковиц репчатого лука на величину потери их массы

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
100	<0,001	<0,001	–	0,964	0,982
150	<0,001	<0,001	0,964	–	0,744
250	<0,001	<0,001	0,982	0,744	–

* различия достоверны при $p<0,001$

Влияние температуры хранения также является достоверным ($F=218,2$ при $p<0,001$), при этом сила влияния температуры хранения на изменения относительной массы луковиц невелика и составила 0,42% (Таблица 45, 48). Графическая интерпретация влияния температуры хранения на изменение относительной массы представлена на Рисунке 52 – рассматриваются относительные изменения массы по условиям хранения в течение исследуемого промежутка времени без разделения по сортам, дозе облучения и по моментам времени, когда было выполнено измерение. Достоверных различий между сортами по изменению массы луковиц в зависимости от температуры хранения не обнаружено.

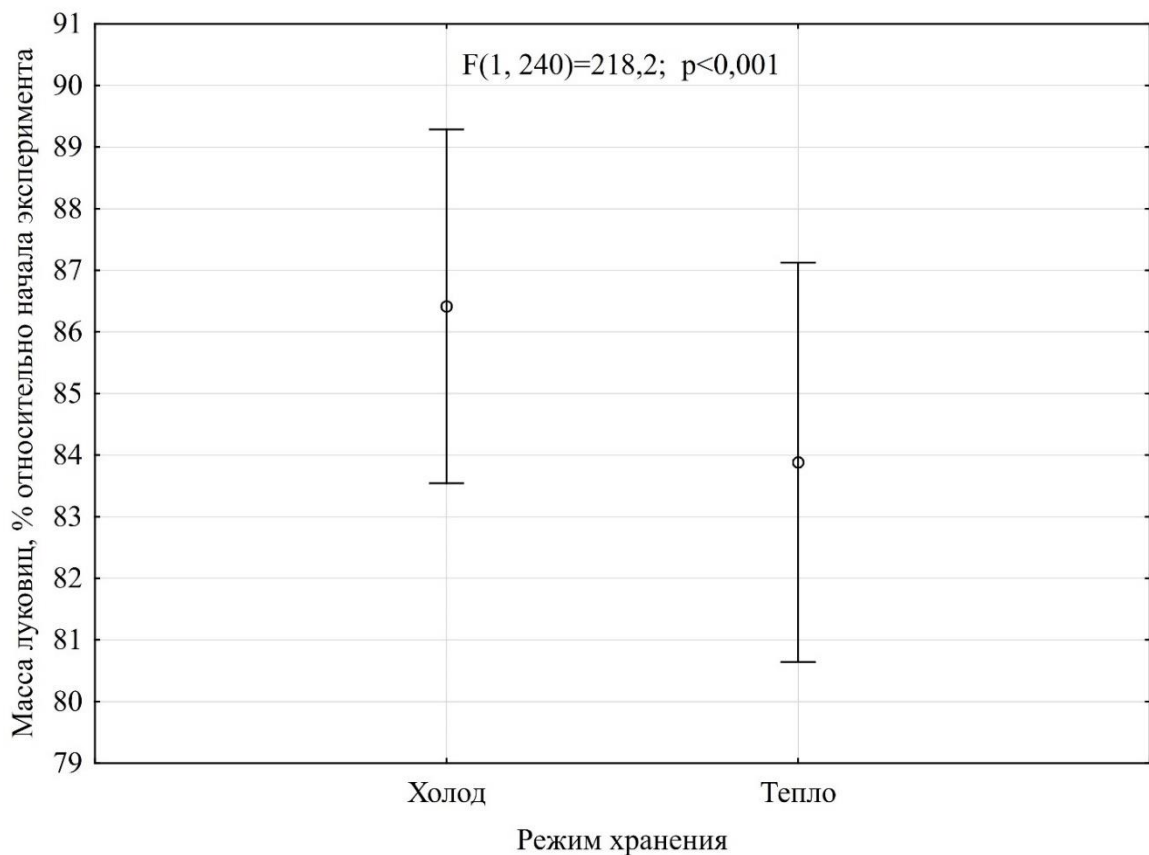


Рисунок 52 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию условий хранения репчатого лука на изменение массы луковиц

Таблица 48 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения луковиц репчатого лука на величину потери их массы

Режим хранения	Холодильная камера	Помещение
Холодильная камера	–	<0,001
Помещение	<0,001	–

* различия достоверны при $p<0,001$

Установлено достоверное влияние сорта репчатого лука на изменение массы луковиц ($F=228,3$ при $p<0,01$), сила действия фактора составила 0,44% (Таблица 45 и Рисунок 53). Расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок представлены в Таблице 49.

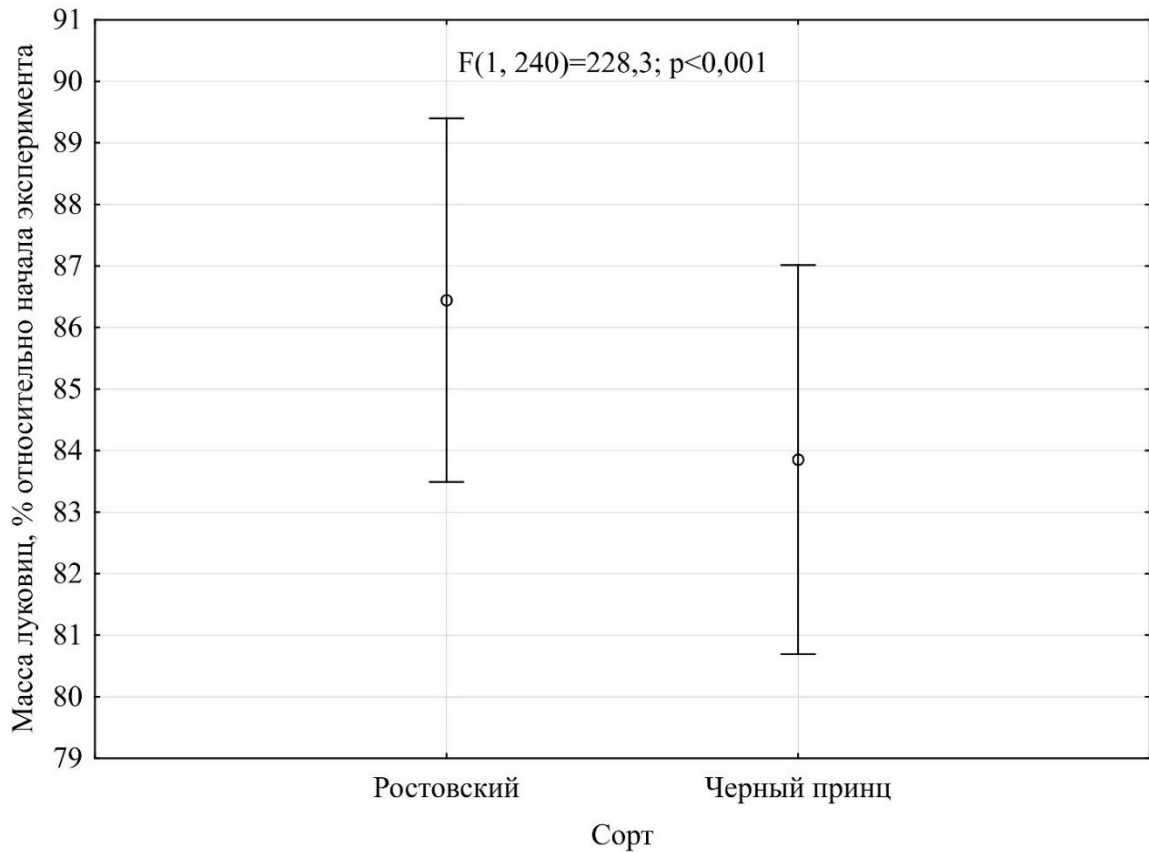


Рисунок 53 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа влияния сорта репчатого лука на изменение массы луковиц

Таблица 49 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения луковиц репчатого лука на величину потери их массы

Сорт	Ростовский	Черный принц
Невский	–	<0,01
Фаворит	<0,01	–

* различия достоверны при $p<0,01$

Перейдем к рассмотрению совместного действия факторов. Установлено достоверное влияние дозы облучения и времени хранения на величину потери массы луковиц (без деления по сортам и условиям хранения) – критерий Фишера составляет 933,9 при уровне значимости <0,001, сила совместного действия факторов 21,5% (Таблица 45 и Рисунок 54).

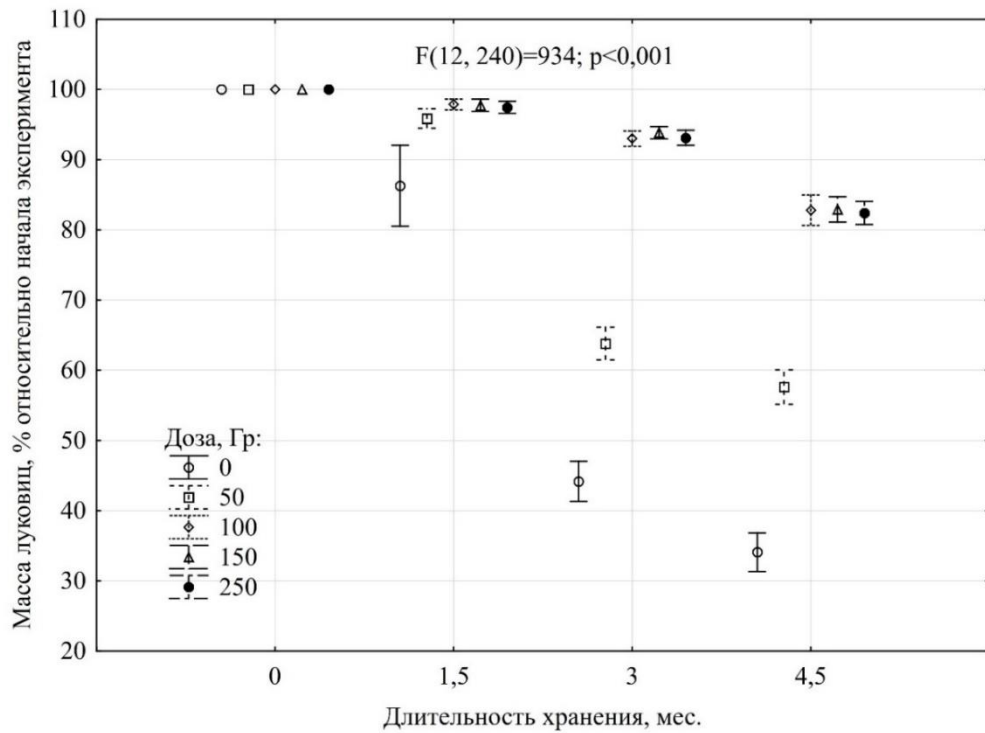


Рисунок 54 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и времени хранения на изменение массы луковиц репчатого лука

Совместное влияние температуры и времени хранения также является достоверным ($F=36,3$ при $p<0,001$), сила совместного действия факторов 0,21% (Таблица 45 и Рисунок 55).

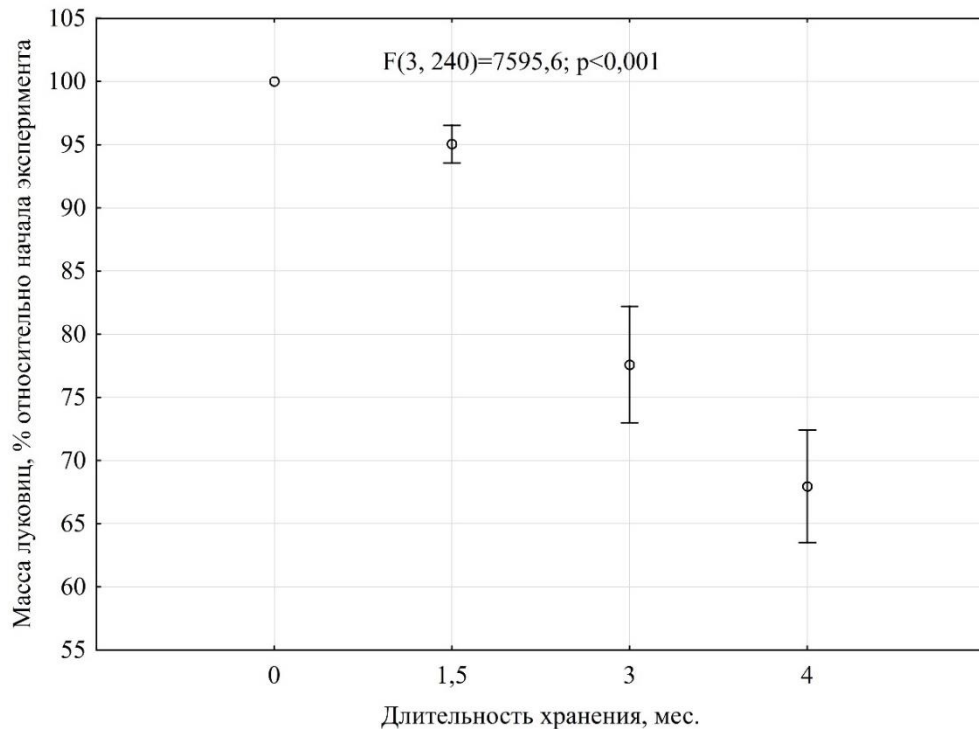


Рисунок 55 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния условий и времени хранения на изменение массы луковиц репчатого лука

Расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок представлены в Таблице 50. Таблица 50 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий и времени хранения на изменение массы луковиц репчатого лука. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	2	2	2	2
	Время	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	4 мес.	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	4 мес.
1	0 мес.	–	<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	<0,001
1	1,5 мес.	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	3 мес.	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	4 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0 мес.	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	1,5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
2	3 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
2	4 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Совместное влияние температуры хранения и дозы облучения без разделения по сортам и времени проведения измерений достоверно ($F=15,7$ при $p < 0,001$), сила совместного действия факторов 0,12% (Таблица 45, Рисунок 56).

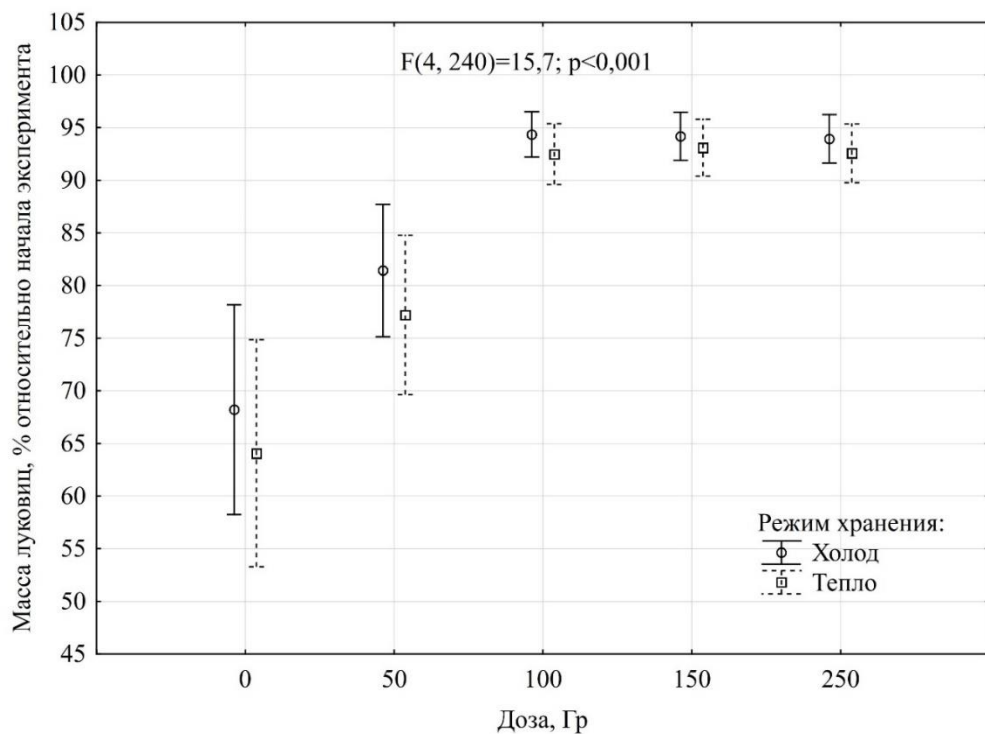


Рисунок 56 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы луковиц репчатого лука

Из представленных на Рисунок 56 и в Таблице 51 данных следует, что при обоих режимах хранения во всех вариантах опыта с облучением потери массы луковиц были достоверно ниже, чем в контроле. И в том, и в другом случае не обнаружено достоверных различий между вариантами опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, если рассматривать каждый режим хранения по отдельности. Однако сравнение двух режимов хранения показало, что при температуре +6...+8 °С варианты опыта с облучением в дозе 100 Гр не имели достоверных различий с вариантами опыта с облучением в дозе 150 Гр, хранившихся при +18...+22 °С, но достоверно отличались от вариантов опыта с облучением в дозах 50, 100 и 250 Гр. При температуре хранения +6...+8 °С варианты опыта с облучением в дозе 150 Гр не имели достоверных различий с вариантами опыта с облучением в дозе 150 Гр, хранившихся при +18...+22 °С, но достоверно отличались от вариантов опыта с облучением в дозах 50, 100 и 250 Гр. При облучении в дозе 250 Гр различий между вариантами опыта для обоих режимов хранения обнаружено не было.

Таблица 51 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы луковиц репчатого лука. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	100	<0,001	<0,001	–	1,000	0,999	<0,001	<0,001	0,006	0,287	0,011
1	150	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	0,027	0,541	0,045
1	250	<0,001	<0,001	0,999	1,000	–	<0,001	<0,001	0,118	0,840	0,174
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	<0,001	0,006	0,027	0,118	<0,001	<0,001	–	0,981	1,000
2	150	<0,001	<0,001	0,287	0,541	0,840	<0,001	<0,001	0,981	–	0,993
2	250	<0,001	<0,001	0,011	0,045	0,174	<0,001	<0,001	1,000	0,993	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Интересно отметить тот факт, что спустя 4 месяца независимо от температуры хранения достоверных различий в потере массы луковиц, облученных в дозах 100, 150 и 250 Гр для каждого из сортов по отдельности не обнаружено.

На Рисунке 56 представлена графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сорта репчатого лука и дозы облучения на изменение массы

луковиц при их хранении. Анализ представленных данных (Таблица 45 и Рисунок 57) позволяет констатировать достоверное совместное влияние исследованных факторов на массу облученных луковиц (критерий Фишера $F=50$ при $p<0,001$), сила влияния совместного влияния факторов на дисперсию массы луковиц составила 0,38%. Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта и дозы облучения на изменение массы луковиц представлены в Таблице 52.

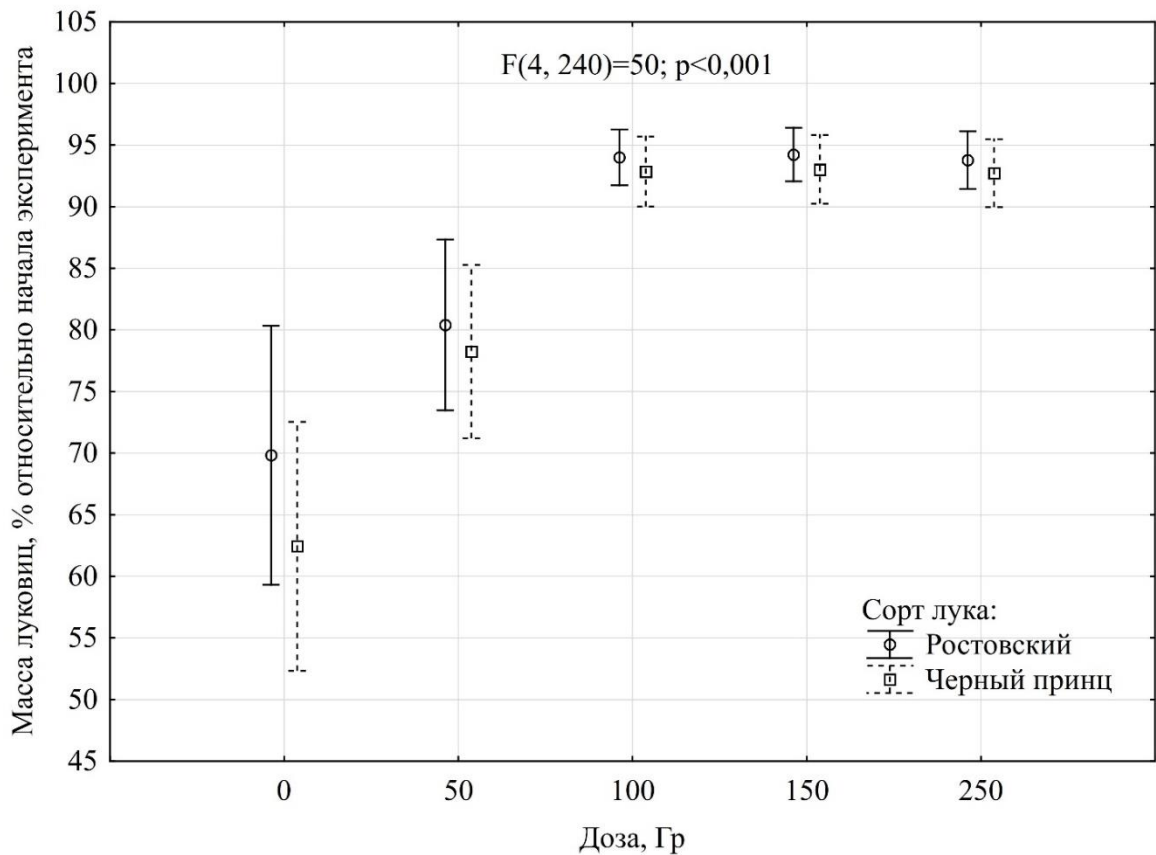


Рисунок 57 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сорта и дозы облучения на изменение массы луковиц репчатого лука

Из представленных на Рисунок 57 и в Таблице 52 данных, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы луковиц обоих сортов лука при облучении в дозах 100, 150 и 250 Гр по сравнению с необлученным контролем и облучением в дозе 50 Гр. Варианты опыта с облучением в дозе 50 Гр достоверно отличались от контроля для обоих сортов.

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию сорта лука и времени хранения на изменение массы луковиц приведена на Рисунок 58.

Таблица 52 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта и дозы облучения на изменение массы луковиц репчатого лука. Сорт: 1 – Ростовский; 2 – Черный принц

Сорт	Доза, Гр	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
		0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	100	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	0,447	0,697	0,280
1	150	<0,001	<0,001	1,000	–	0,998	<0,001	<0,001	0,166	0,355	0,082
1	250	<0,001	<0,001	1,000	0,998	–	<0,001	<0,001	0,749	0,917	0,574
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	<0,001	0,447	0,166	0,749	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000
2	150	<0,001	<0,001	0,697	0,355	0,917	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000
2	250	<0,001	<0,001	0,280	0,082	0,574	<0,001	<0,001	1,000	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Совместное влияние факторов достоверно ($F=75,8$ при $p < 0,001$, сила действия фактора 0,44%) (Таблица 45). Уровни значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта и времени хранения на изменение массы луковиц представлены в Таблица 53.

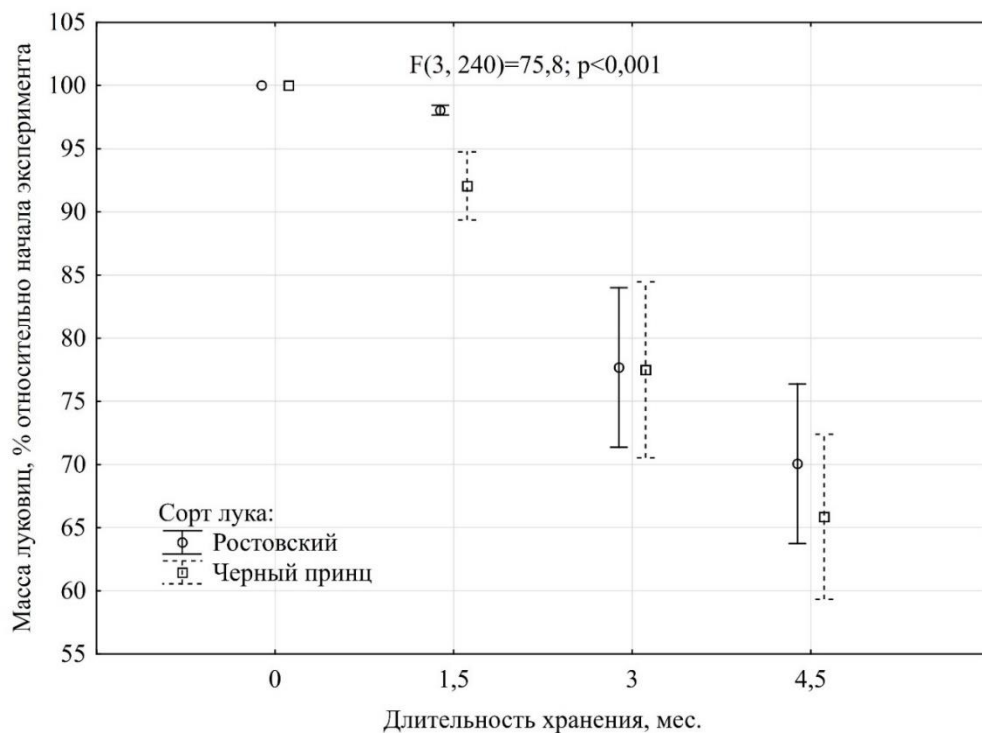


Рисунок 58 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния сорта репчатого лука и времени хранения на изменение массы луковиц

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что спустя 4 месяца хранения потери массы луковиц облученного репчатого лука сортов Ростовский и Черный принц оказались достоверно ниже, чем у необлученного. При сравнении вариантов опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр достоверных различий в потере массы луковиц не наблюдалось, однако имелись достоверные различия при сравнении режимов хранения, за исключением вариантов опыта с облучением в дозе 250 Гр, где независимо от условий хранения достоверных различий в потере массы луковиц обнаружено не было.

Таблица 53 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния сорта репчатого лука и времени хранения на изменение массы луковиц. Сорт: 1 – Ростовский; 2 – Черный принц

Сорт	Время	1	1	1	1	2	2	2	2
		0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	4 мес.	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	4,5 мес.
1	0 мес.		<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	<0,001
1	1,5 мес.	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	3 мес.	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	1,000	<0,001
1	4 мес.	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	0 мес.	1,000	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
2	1,5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001
2	3 мес.	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001
2	4 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

* различия достоверны при $p < 0,001$

Факторы времени хранения и дозы облучения оказали наибольшее влияние на потерю массы луковиц – с течением времени эти различия между облученным и необлученным луком достоверно возрастали. При хранении в условиях холодильной камеры потери массы луковиц у обоих сортов были достоверно ниже, чем при хранении в помещении.

Результаты дисперсионного анализа по влиянию условий хранения, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы луковиц чеснока представлены в Таблице 54.

Из представленных в Таблице 54 данных следует, что на изменение массы луковиц чеснока достоверное влияние оказали температура хранения, доза облучения, время хранения после облучения, а также сочетание температуры хранения и дозы облучения, температуры и времени хранения, дозы облучения и времени хранения, а также температуры хранения, дозы облучения и времени хранения.

Таблица 54 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий хранения, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы луковиц чеснока

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости, отн. ед.	Сила влияния фактора, %
Время	2	1826	912,9	2047,4	<0,001	52,2
Доза	4	642	160,5	359,9	<0,001	18,4
Режим	1	102	101,7	228,0	<0,001	2,9
Доза+Время	8	641	80,1	179,7	<0,001	18,3
Режим+Время	2	112	55,9	125,4	<0,001	3,2
Режим+Доза	4	71	17,6	39,6	<0,001	2,0
Режим+Доза+Время	8	64	7,9	17,8	<0,001	1,8
Ошибка	90	40	0,4			
Всего	119	3497				

Рассмотрим действие отдельных факторов на дисперсию результирующего признака. Наибольшее влияние на изменение массы луковиц чеснока в процессе хранения оказал фактор времени. В течение времени хранения после облучения происходило достоверное снижение их массы, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (критерий Фишера $F=2047,4$ при $p<0,001$) (Таблица 54 и Рисунок 59).

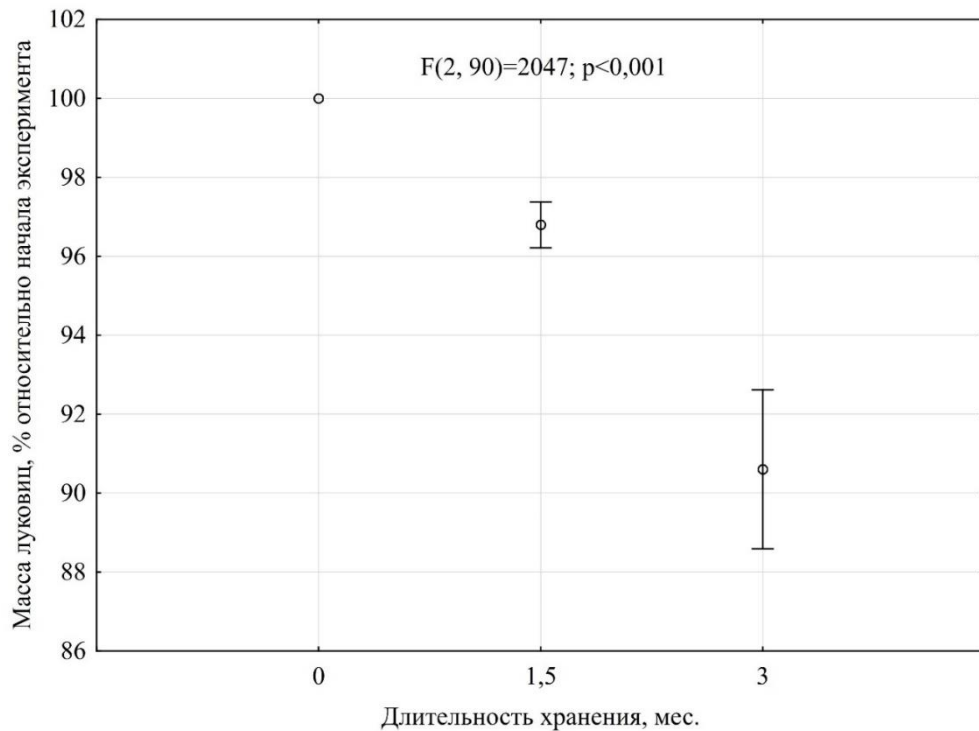


Рисунок 59 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию времени на изменение массы луковиц чеснока

При этом 52,2% изменений дисперсии обусловлено влиянием времени хранения, поэтому вклад данного фактора, как в случае с картофелем и репчатым луком, стал наиболее значительным.

Различия в изменениях массы по отдельным месяцам измерения статистически достоверны, о чем свидетельствуют расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок (Таблица 55).

Таблица 55 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных сроков измерения на величину потери массы луковиц чеснока

Время измерения, мес.	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.
0 мес.	–	<0,001	<0,001
1,5 мес.	<0,001	–	<0,001
3 мес.	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы луковиц чеснока (без разделения по условиям и времени хранения после облучения) – критерий Фишера составляет 360 при уровне значимости $< 0,001$ (Таблица 54 и Рисунок 60).

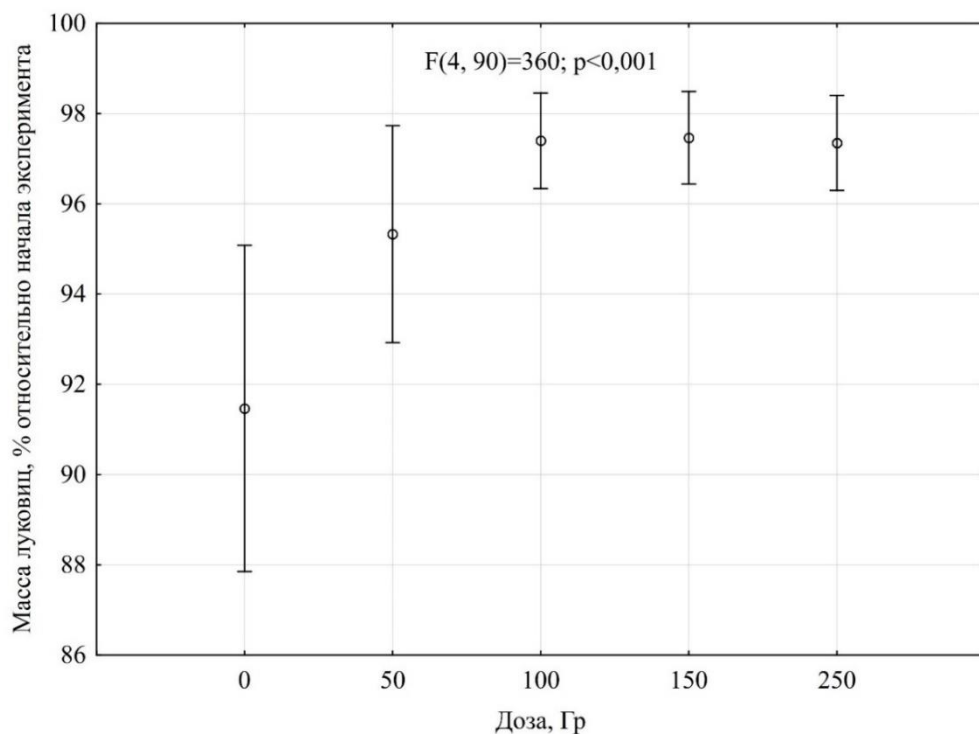


Рисунок 60 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения луковиц чеснока на изменение их массы

18,4% дисперсии изменения относительной массы луковиц связаны с влиянием дозы. Из представленных на Рисунок 60 и в Таблица 56 данных, можно сделать вывод о том, что в вариантах опыта с облучением в дозе 50 Гр потери массы луковиц были достоверно ниже, чем в необлученном контроле. При отсутствии облучения и при облучении в дозе 50 Гр потери массы были достоверно выше по сравнению с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, в то время как между последними тремя вариантами достоверных различий не обнаружено.

При отсутствии облучения и при облучении в дозе 50 Гр потери массы были достоверно выше по сравнению с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, в то время как между последними тремя вариантами достоверных различий не обнаружено.

Таблица 56 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения луковиц чеснока на величину потери их массы

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
50	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
100	<0,001	<0,001	–	0,998	1,000
150	<0,001	<0,001	0,998	–	0,986
250	<0,001	<0,001	1,000	0,986	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Влияние температуры хранения достоверно ($F=228$ при $p < 0,001$), сила влияния температуры хранения на изменение относительной массы луковиц чеснока составила 2,9% (Таблица 54, 57). Графическая интерпретация влияния температуры хранения на изменение относительной массы представлена на Рисунок 61.

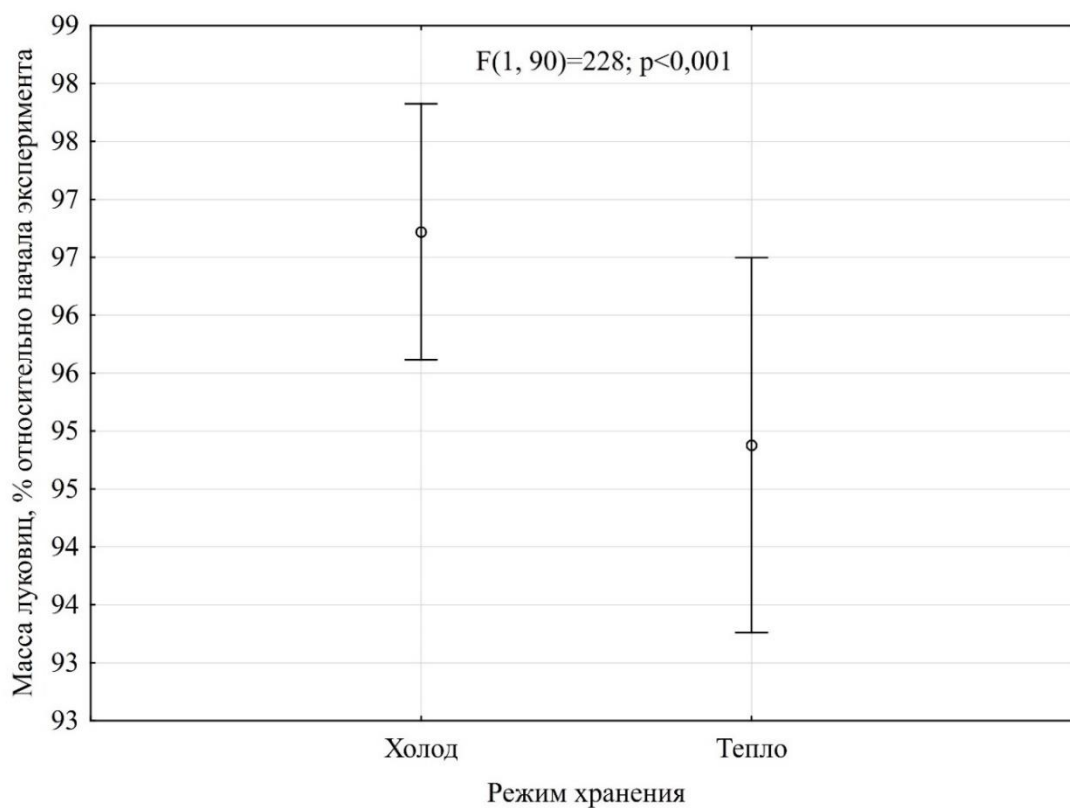


Рисунок 61 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию условий хранения репчатого лука на изменение массы луковиц

Таблица 57 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения луковиц репчатого лука на величину потери их массы

Режим хранения	Холодильная камера	Помещение
Холодильная камера	–	<0,001
Помещение	<0,001	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Совместное влияние дозы облучения и времени хранения на величину потери массы луковиц чеснока без разделения по условиям хранения также было достоверным – критерий Фишера составляет 180 при уровне значимости $< 0,001$, сила совместного действия факторов 18,3% (Таблица 54 и Рисунок 61).

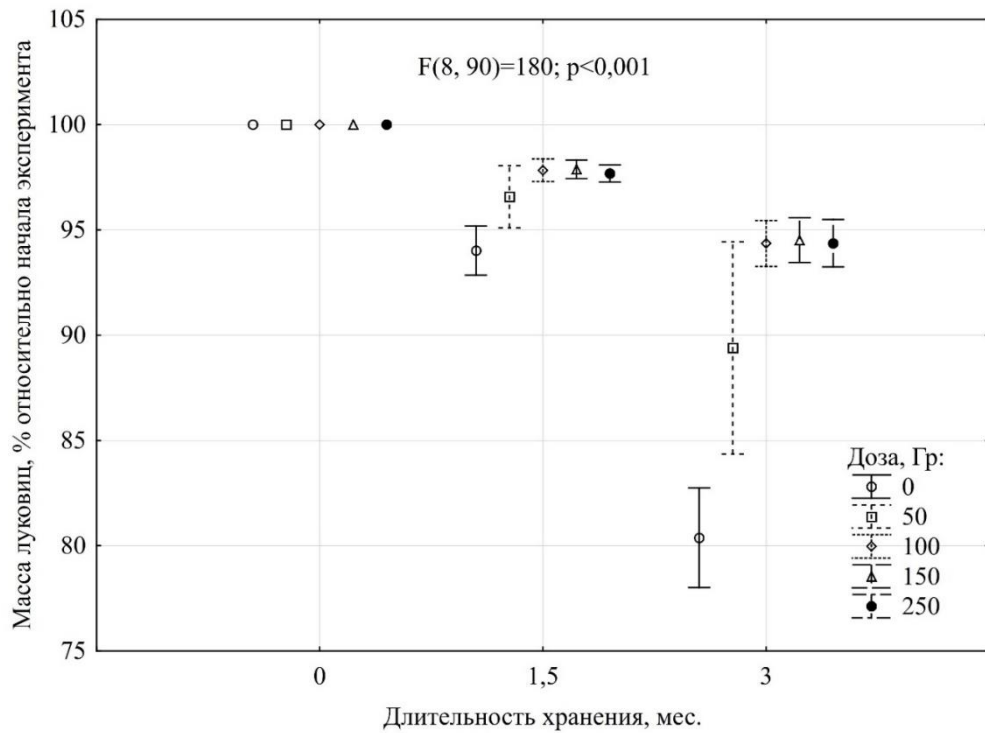


Рисунок 62 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и времени хранения на изменение массы луковок чеснока

Независимо от температуры хранения потеря массы луковок чеснока в вариантах опыта без облучения была достоверно выше, чем в вариантах опыта с облучением.

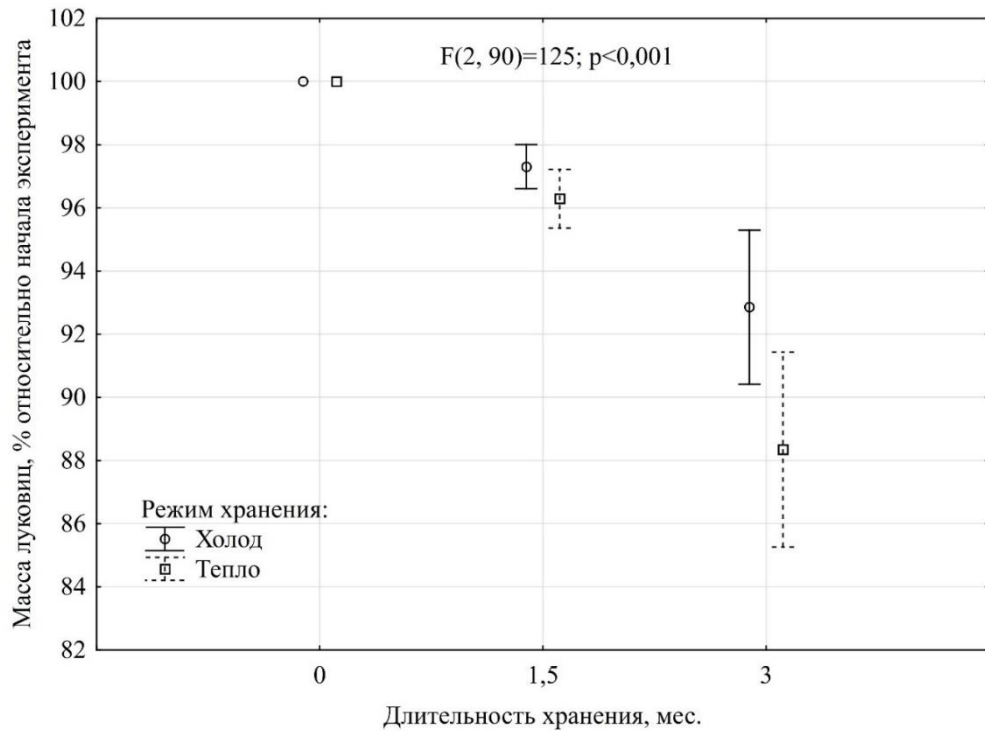


Рисунок 63 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры и времени хранения на изменение массы луковок чеснока

Совместное влияние температуры и времени хранения также является достоверным ($F=125,4$ при $p<0,001$), сила совместного действия факторов 3,2% (Таблица 54 и Рисунок 63). Расчеты уровня значимости критерия Шеффе для смежных выборок представлены в Таблице 58.

Таблица 58 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий и времени хранения на изменение массы лукович чеснока. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	2	2	2
	Время	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.	0 мес.	1,5 мес.	3 мес.
1	0 мес.	–	<0,001	<0,001	1,000	<0,001	<0,001
1	1,5 мес.	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1	3 мес.	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	0 мес.	1,000	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001
2	1,5 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001
2	3 мес.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–

* различия достоверны при $p<0,001$

Совместное влияние температуры хранения и дозы облучения без разделения по времени проведения измерений является достоверным ($F=39,6$ при $p<0,001$), сила совместного действия факторов составила 2% (Таблица 54 и Рисунок 64).

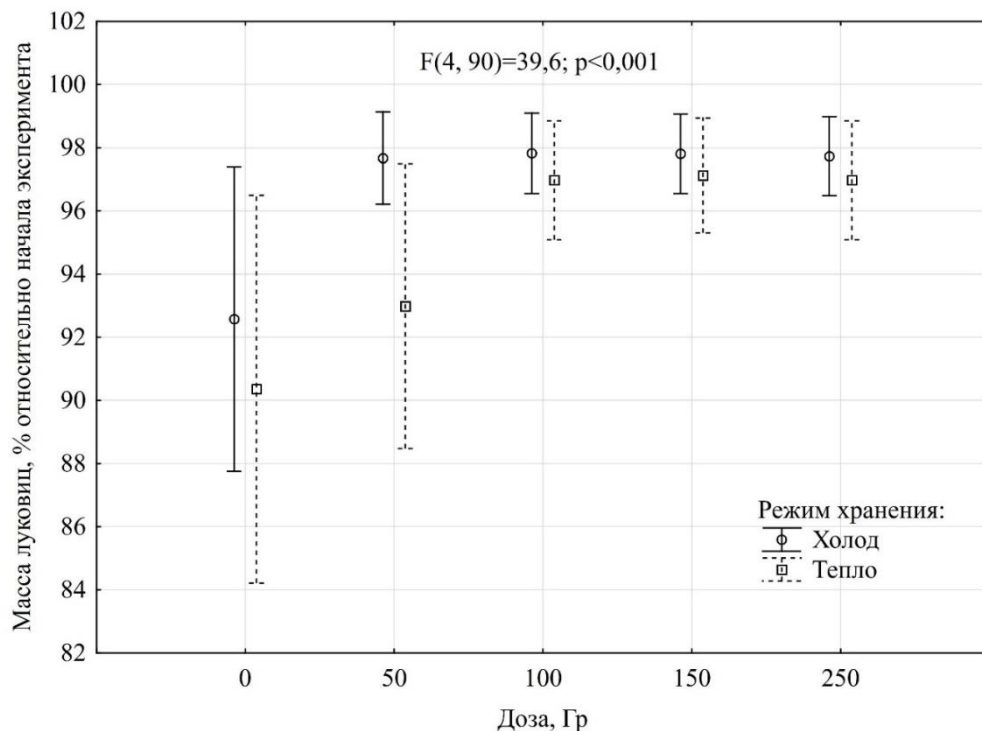


Рисунок 64 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния температуры хранения и дозы облучения на изменение массы лукович чеснока

Таблица 59 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении совместного влияния условий хранения и дозы облучения на изменение массы луковиц чеснока. Режим: 1 – холодильная камера; 2 – помещение

Режим		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Доза, Гр	0	50	100	150	250	0	50	100	150	250
1	0	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,986	<0,001	<0,001	<0,001
1	50	0,000	–	1,000	1,000	1,000	<0,001	<0,001	0,672	0,900	0,674
1	100	0,000	1,000	–	1,000	1,000	<0,001	<0,001	0,382	0,676	0,384
1	150	0,000	1,000	1,000	–	1,000	<0,001	<0,001	0,409	0,703	0,410
1	250	0,000	1,000	1,000	1,000	–	<0,001	<0,001	0,566	0,834	0,567
2	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	50	0,986	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–	<0,001	<0,001	<0,001
2	100	<0,001	0,672	0,382	0,409	0,566	<0,001	<0,001	–	1,000	1,000
2	150	<0,001	0,900	0,676	0,703	0,834	<0,001	<0,001	1,000	–	1,000
2	250	<0,001	0,674	0,384	0,410	0,567	<0,001	<0,001	1,000	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Из представленных на Рисунке 64 и в Таблице 59 данных следует, что при обоих режимах хранения во всех вариантах опыта с облучением луковицы достоверно отличались по величине потери массы от контроля. И в том, и в другом случае не обнаружено достоверных различий между вариантами опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, если рассматривать каждый режим хранения по отдельности. Однако сравнение двух режимов хранения показало, что при $+6...+8$ °С варианты опыта с облучением в дозе 100 Гр не имели достоверных различий с вариантами опыта с облучением в дозе 150 Гр, хранившихся при $+18...+22$ °С, но достоверно отличались от вариантов опыта с облучением в дозах 50, 100 и 250 Гр. Варианты опыта с облучением в дозе 150 Гр, хранившиеся при $+6...+8$ °С не имели достоверных различий с вариантами опыта с облучением в дозе 150 Гр, хранившихся при $+18...+22$ °С, но достоверно отличались от вариантов опыта с облучением в дозах 50, 100 и 250 Гр. При облучении в дозе 250 Гр различий между вариантами опыта для двух режимов хранения не обнаружено.

Таким образом, спустя 4 месяца хранения потери массы луковиц облученного чеснока были достоверно ниже, чем у необлученного. При хранении в условиях холодильной камеры потери массы были достоверно ниже, чем при хранении в помещении. Между вариантами опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр достоверных различий в потере массы не наблюдалось, однако при сравнении режимов хранения достоверные различия проявлялись для вариантов опыта с облучением в дозах 100 и 150 Гр, тогда как между вариантами опыта с облучением в дозе 250 Гр достоверных различий обнаружено не было. Факторы времени и дозы облучения оказали

наибольшее влияние на потерю массы в процессе хранения – с течением времени различия в потере массы между облученным и необлученным чесноком достоверно возрастали.

3.3 Влияние γ -облучения на биохимические показатели качества

3.3.1 Содержание нитратов в клубнях и луковицах

Результаты исследования показали, что радиационная обработка не привела к увеличению содержания нитратов в клубнях картофеля сортов Невский и Фаворит. Полученные значения не превышали норматива, установленного для данного вида продукции (не более 250 мг/кг) [48]. Достоверных различий между облученным и необлученным картофелем по данному показателю не обнаружено. Спустя 7 месяцев независимо от температуры хранения и сорта во всех вариантах опыта содержание нитратов было ниже 30 мг/кг, что является нижним пределом обнаружения используемым методом.

Содержание нитратов в образцах репчатого лука сорта Ростовский варьировало в вариантах опыта с облучением. При облучении в дозах 150 и 250 Гр содержание нитратов было выше контрольных значений, однако эти различия не были достоверны, о чем свидетельствуют результаты дисперсионного анализа (Рисунок 65, Таблица 60). Содержание нитратов во всех вариантах опыта с облучением оставалось в пределах установленного нормативными документами значения – ниже 80 мг/кг [48].

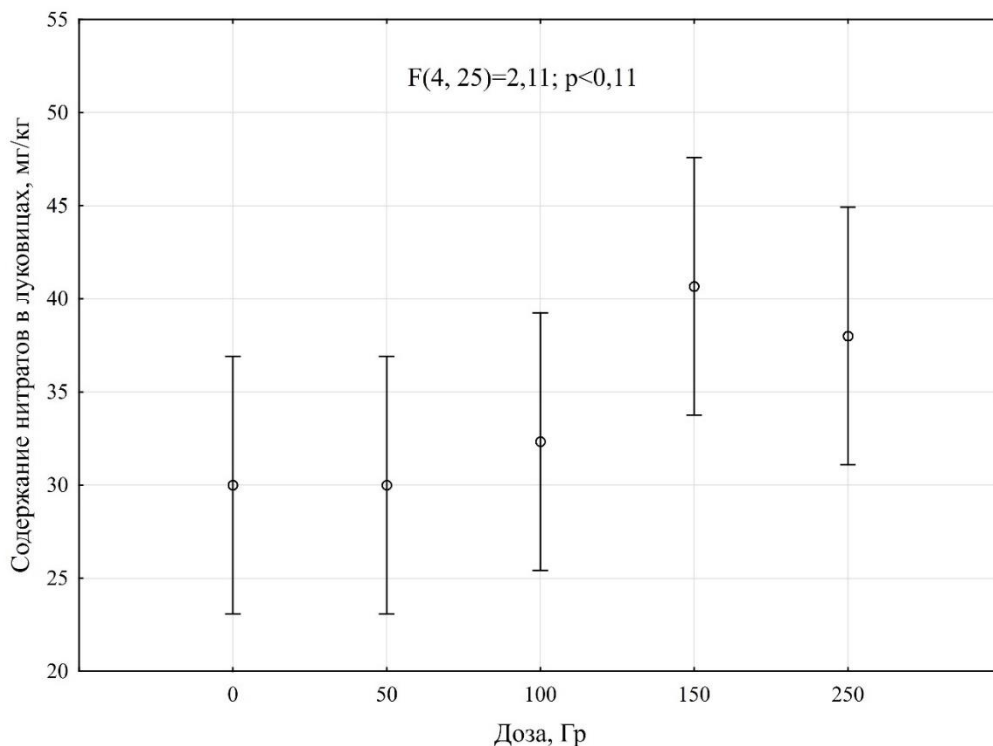


Рисунок 65 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы γ -излучения на содержание нитратов в репчатом луке сорта Ростовский

Таблица 60 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения репчатого лука сорта Ростовский на содержание нитратов в луковичах при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	1,000	0,993	0,311	0,593
50	1,000	–	0,993	0,311	0,593
100	0,993	0,993	–	0,555	0,837
150	0,311	0,311	0,555	–	0,988
250	0,593	0,593	0,837	0,988	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Содержание нитратов в репчатом луке сорта Черный принц во всех вариантах опыта с облучением находилось на уровне значений и не превышало установленного норматива равного 80 мг/кг (Рисунок 66, Таблица 61).

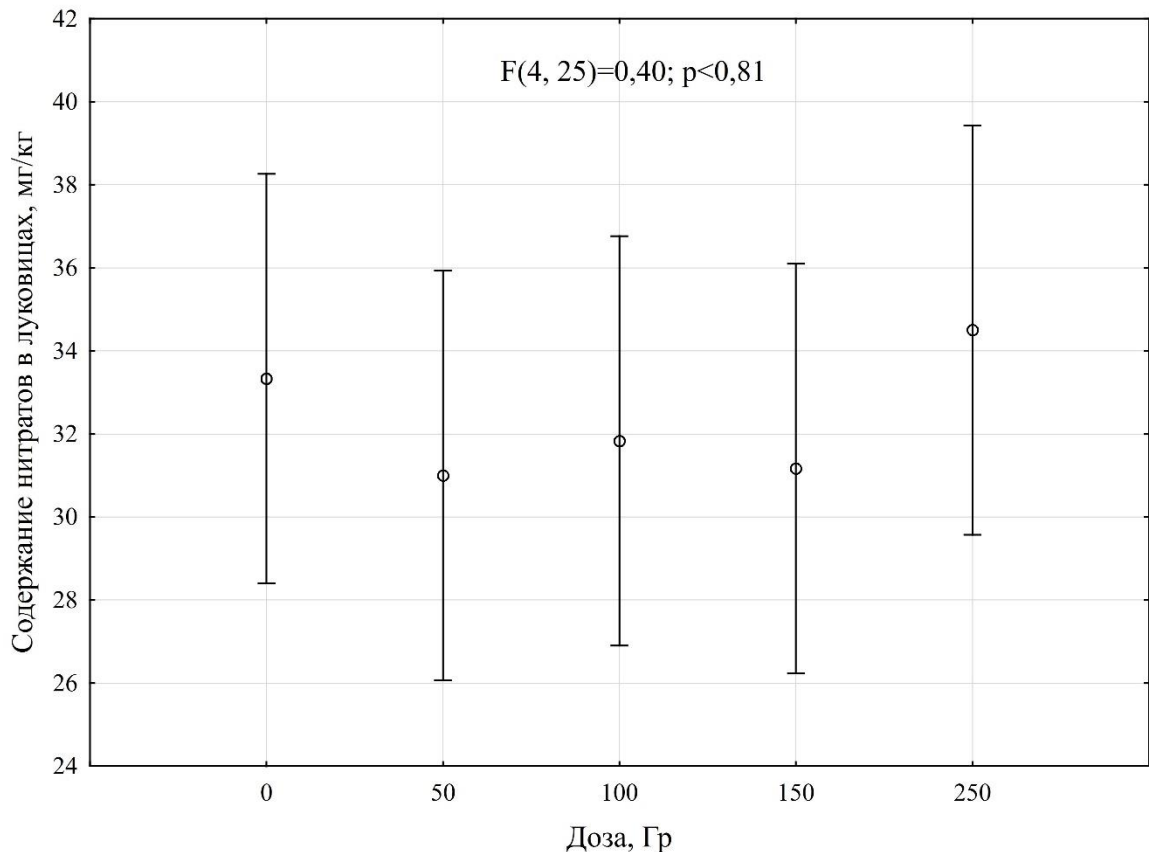


Рисунок 66 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы γ -излучения на содержание нитратов в репчатом луке сорта Черный принц

Таблица 61 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения репчатого лука сорта Черный принц на содержание нитратов в луковичах при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,975	0,995	0,981	0,998
50	0,975	–	1,000	1,000	0,896
100	0,995	1,000	–	1,000	0,959
150	0,981	1,000	1,000	–	0,912
250	0,998	0,896	0,959	0,912	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Содержание нитратов в луковичах чеснока Shandong Youshu при хранении постепенно снижалось как в контроле, так и в вариантах опыта с облучением. Небольшое увеличение содержания нитратов отмечено спустя 1 месяц хранения в луковичах чеснока, облученных в дозах 150 и 250 Гр, но при последующем хранении значение этого показателя снизилось и было даже ниже, чем в контроле. И в том, и в другом случае различия с контролем не были достоверны (Рисунок 67, Таблица 62).

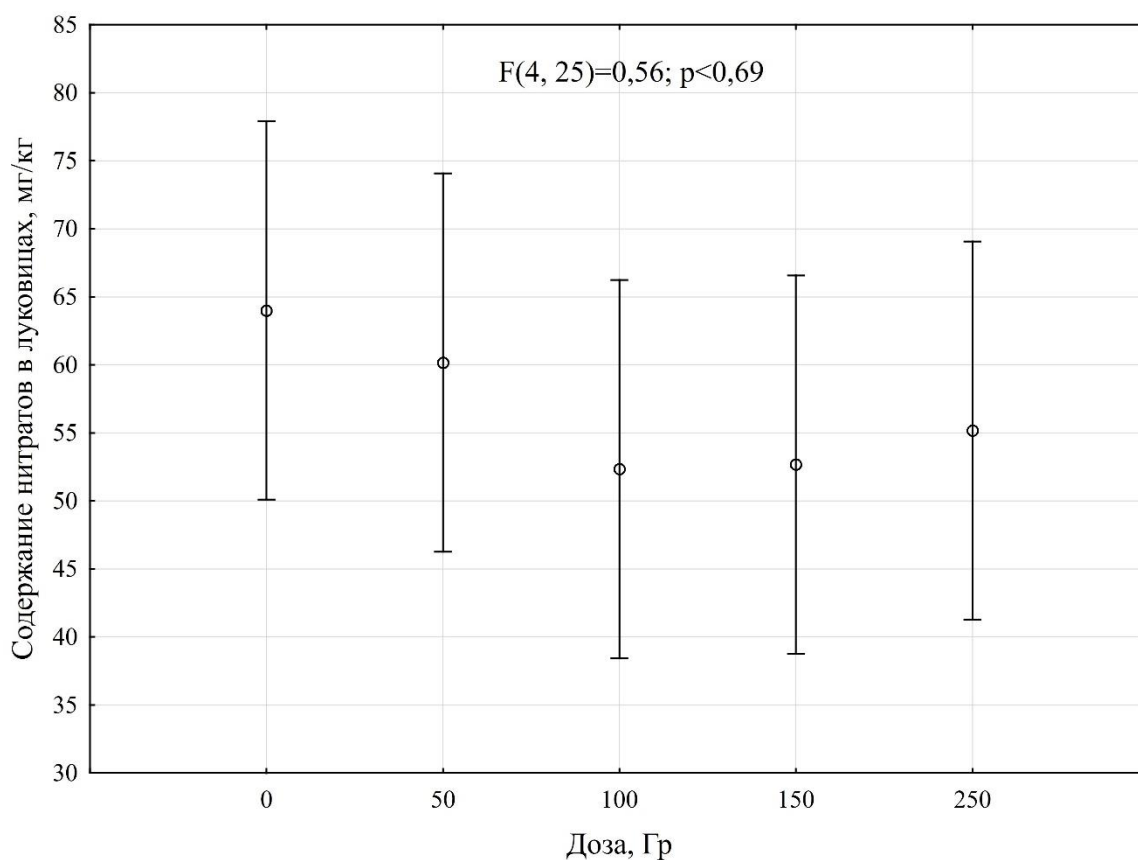


Рисунок 67 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы γ -излучения на содержание нитратов в луковичах чеснока

Таблица 62 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения репчатого лука сорта Черный принц на содержание нитратов в луковицах при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,997	0,825	0,840	0,928
50	0,997	–	0,952	0,959	0,991
100	0,825	0,952	–	1,000	0,999
150	0,840	0,959	1,000	–	0,999
250	0,928	0,991	0,999	0,999	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

3.3.2 Содержание крахмала в клубнях картофеля

Результаты исследования показали, что независимо от сорта и температуры хранения радиационная обработка во всем изученном диапазоне доз не оказала достоверного влияния на содержание крахмала в клубнях картофеля сортов Ароза, Ред Скарлетт, Уладар, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Вектор, Журавинка и Колобок (Рисунок 68, 69, Таблица 63). Содержание крахмала в большей мере зависело от сорта. Влияние данного фактора было достоверным, сила влияния фактора сорта составила 27%.

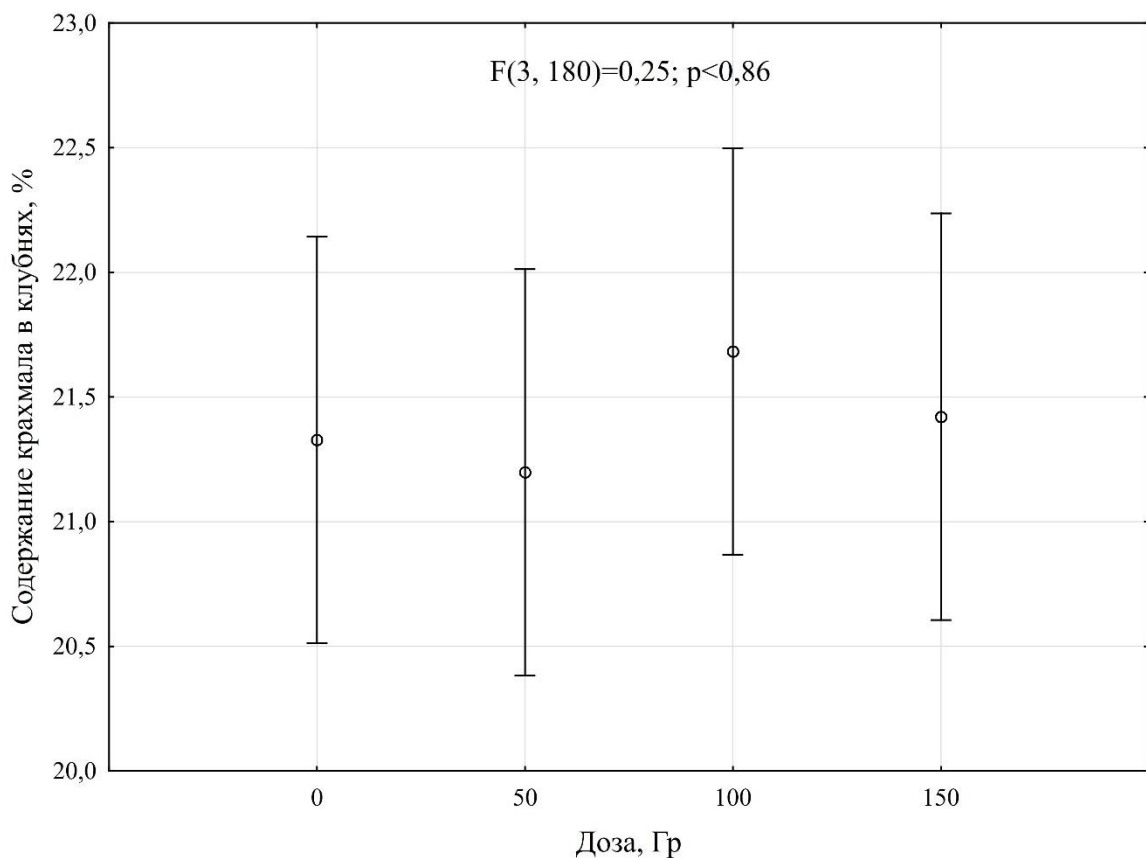


Рисунок 68 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание крахмала в клубнях картофеля

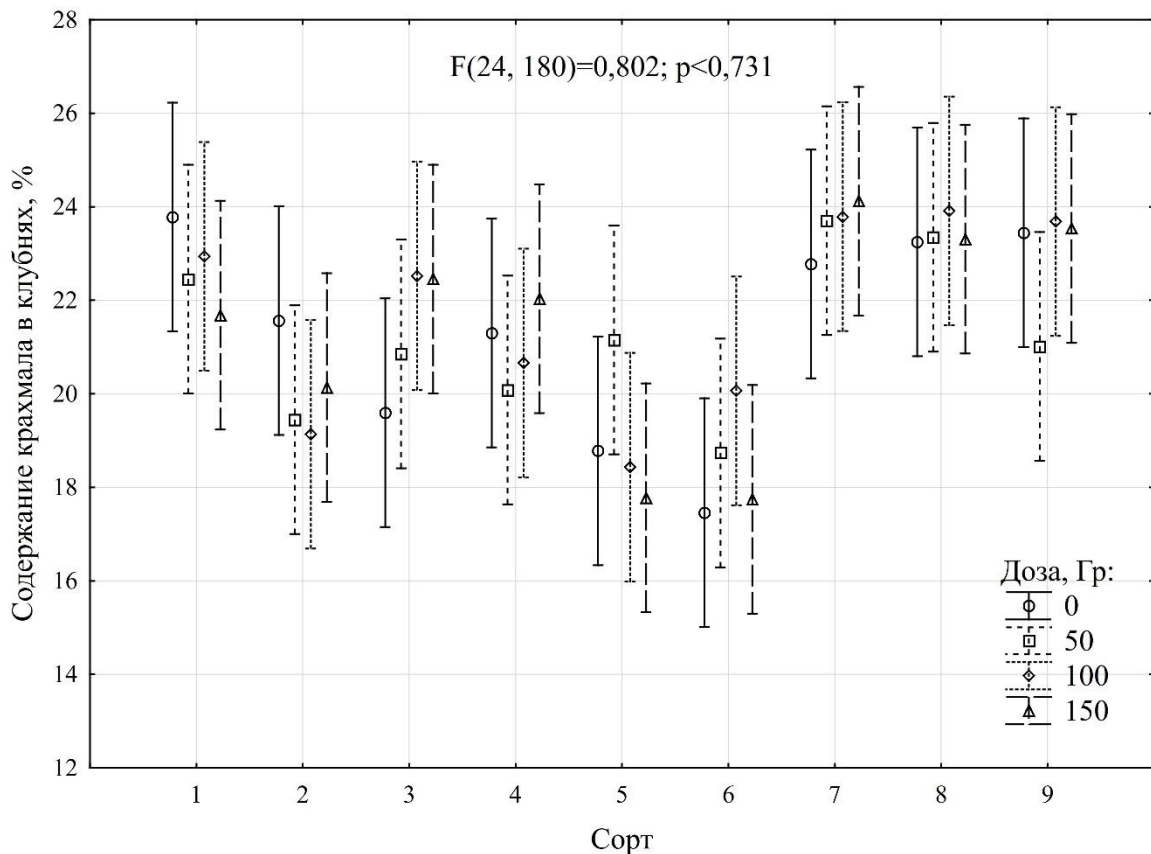


Рисунок 69 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и сорта на содержание крахмала в клубнях картофеля

Таблица 63 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание крахмала в клубнях при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150
0	–	0,997	0,947	0,999
50	0,997	–	0,876	0,986
100	0,947	0,876	–	0,977
150	0,999	0,986	0,977	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

3.3.3 Содержание сухого вещества в клубнях картофеля

Как и в случае с крахмалом, по содержанию сухого вещества облученные клубни картофеля сортов Ароза, Ред Скарлетт, Уладар, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Вектор, Журавинка и Колобок не отличались от необлученных. Влияние дозы γ -излучения на данный показатель не было достоверным, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (Рисунок 70, 71, Таблица 64).

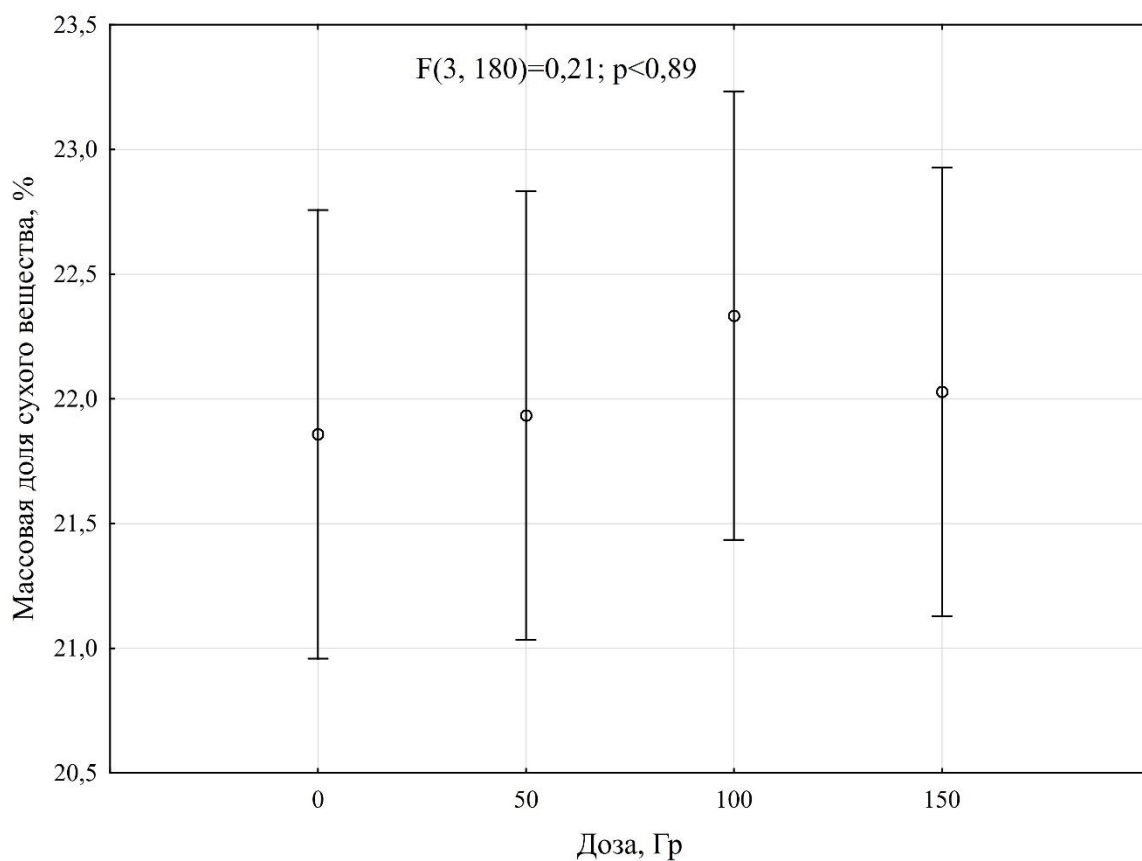


Рисунок 70 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание сухого вещества в клубнях картофеля

Таблица 64 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание сухого вещества в клубнях при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150
0	–	0,997	0,947	0,999
50	0,997	–	0,876	0,986
100	0,947	0,876	–	0,977
150	0,999	0,986	0,977	–

* различия достоверны при $p<0,001$

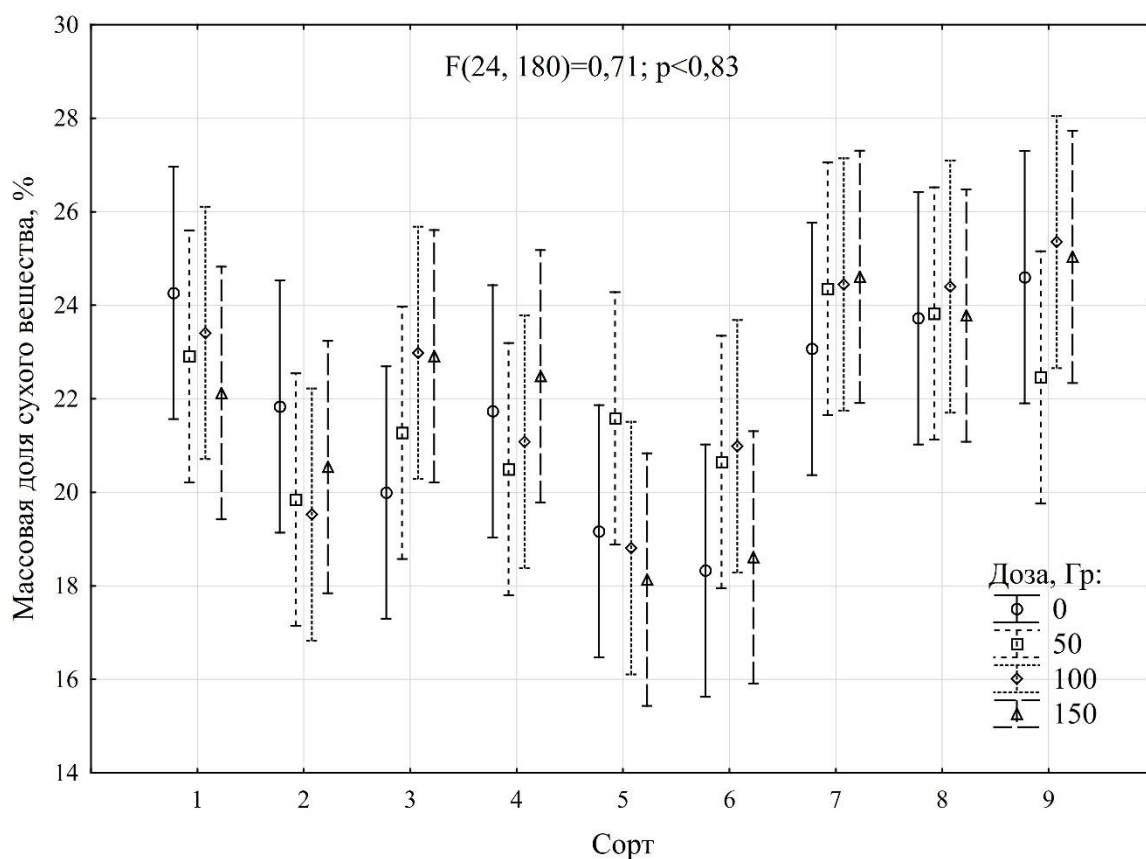


Рисунок 71 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа совместного влияния дозы облучения и сорта на содержание сухого вещества в клубнях картофеля

3.3.4 Содержание редуцирующих сахаров в клубнях и луковичах

Результаты исследования показали, что независимо от сорта, температуры хранения и времени определения показателя радиационная обработка во всем изученном диапазоне доз не оказала достоверного влияния на содержание редуцирующих сахаров в клубнях картофеля сортов Невский и Фаворит (Рисунок 72, Таблица 65).

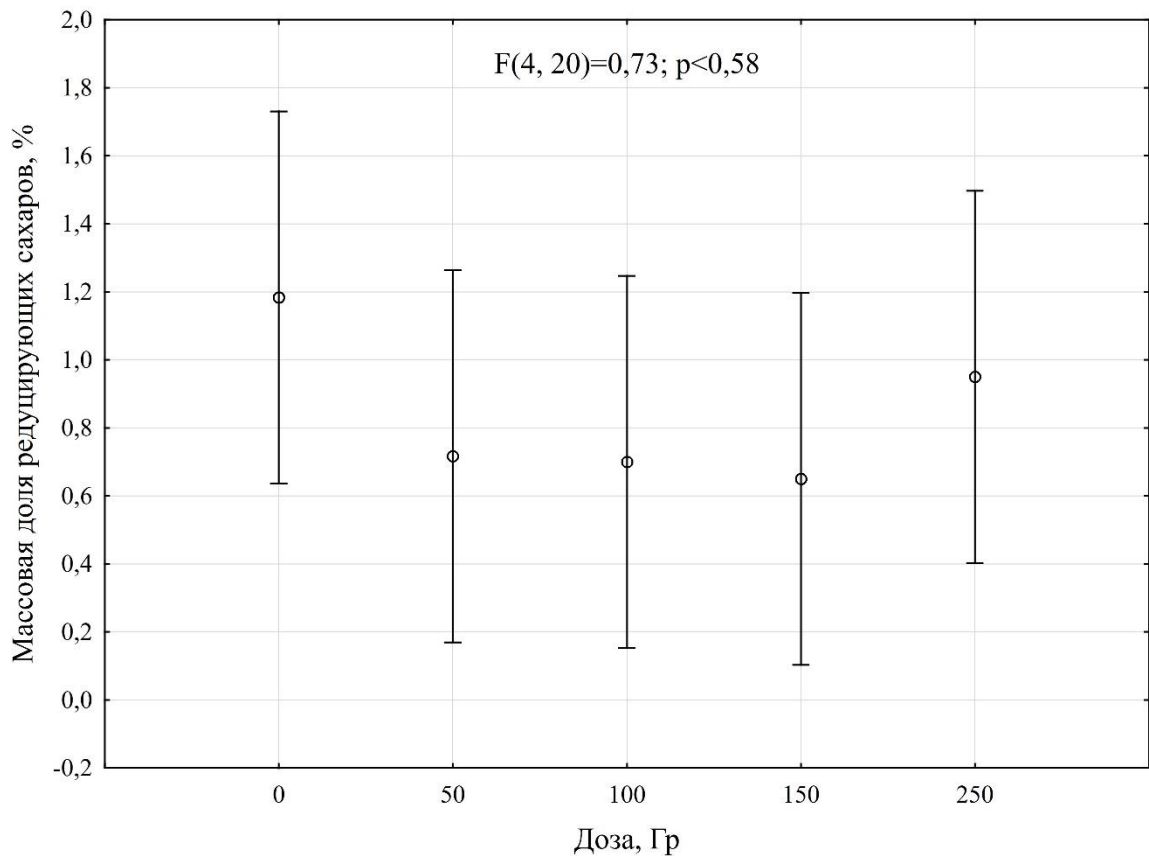


Рисунок 72 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание редуцирующих сахаров в клубнях картофеля

Таблица 65 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание редуцирующих сахаров в клубнях при хранении

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,809	0,789	0,724	0,982
50	0,809	–	1,000	1,000	0,982
100	0,789	1,000	–	1,000	0,976
150	0,724	1,000	1,000	–	0,954
250	0,982	0,982	0,976	0,954	–

* различия достоверны при $p<0,001$

Отмечено также, что в облученных и в необлученных клубнях, хранившихся при температуре $+6...+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, содержание редуцирующих сахаров было выше, чем в клубнях, хранившихся при $+18...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако эти различия не были достоверными. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [13; 25; 34; 98; 165; 191].

Результаты определения содержания редуцирующих сахаров в репчатом луке сортов Ростовский и Черный принц показали, что независимо от температуры хранения и времени после облучения между контролем и вариантами опыта с облучением отсутствовали достоверные

различия в содержании редуцирующих сахаров, что говорит о том, что облучение не привело к увеличению данного показателя (Рисунок 73, 74, Таблица 66, 67).

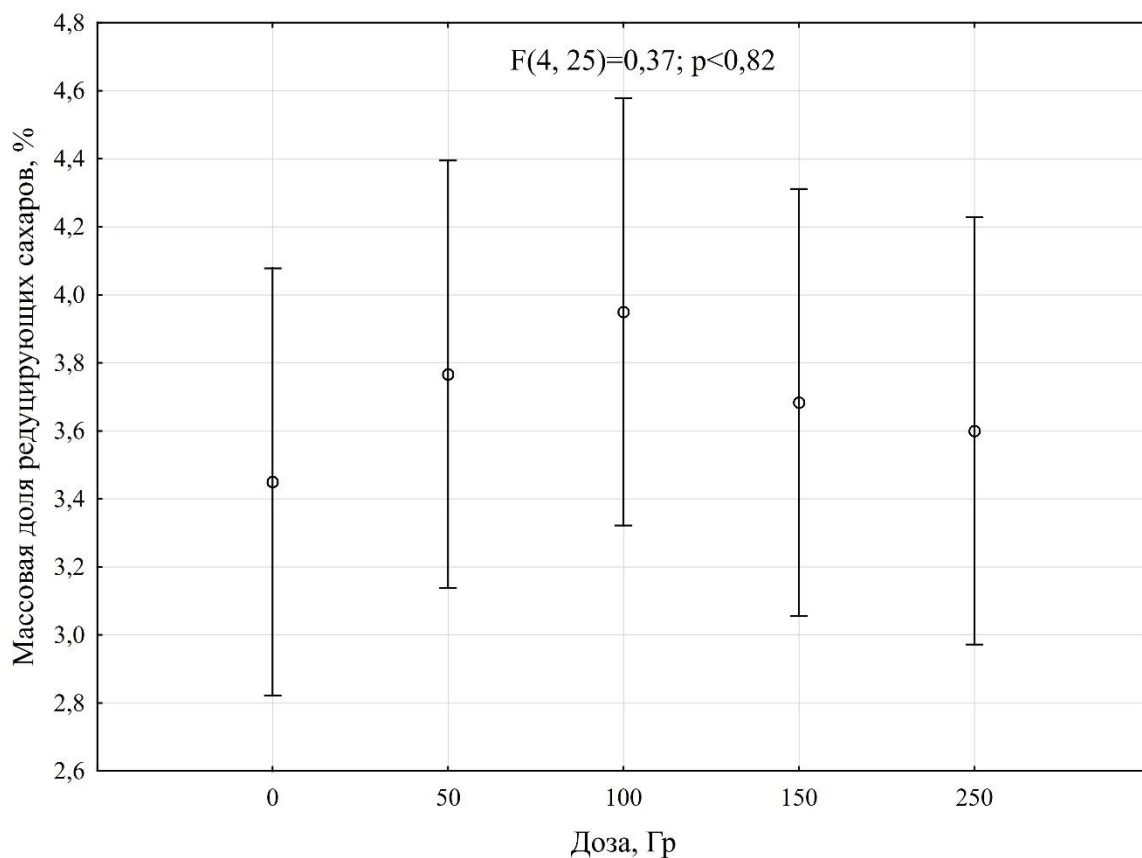


Рисунок 73 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание редуцирующих сахаров в репчатом луке сорта Ростовский

Таблица 66 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание редуцирующих сахаров в репчатом луке сорта Ростовский

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,968	0,851	0,990	0,998
50	0,968	–	0,996	1,000	0,997
100	0,851	0,996	–	0,983	0,954
150	0,990	1,000	0,983	–	1,000
250	0,998	0,997	0,954	1,000	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

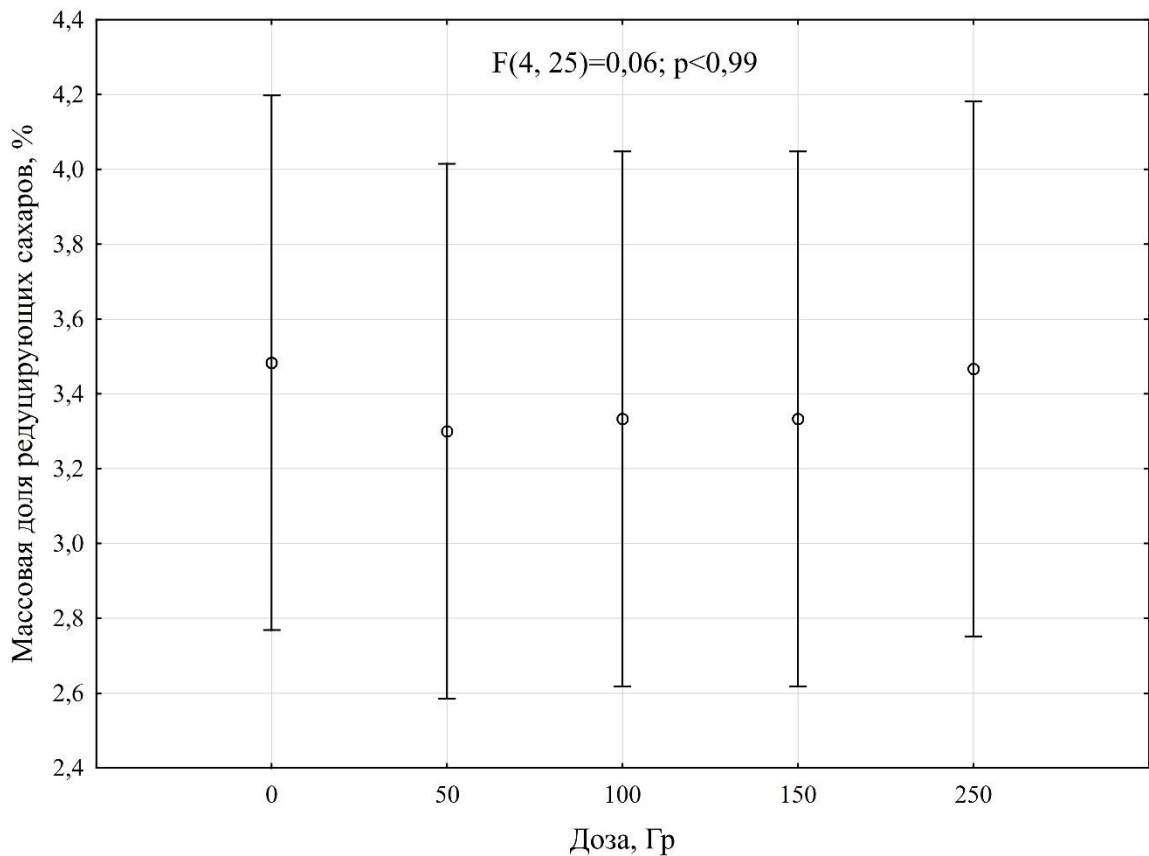


Рисунок 74 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание редуцирующих сахаров в репчатом луке сорта Черный принц

Таблица 67 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание редуцирующих сахаров в репчатом луке сорта Черный принц

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,998	0,999	0,999	1,000
50	0,998	–	1,000	1,000	0,998
100	0,999	1,000	–	1,000	0,999
150	0,999	1,000	1,000	–	0,999
250	1,000	0,998	0,999	0,999	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Анализ содержания редуцирующих сахаров в луковицах чеснока как в контроле, так и в вариантах опыта с облучением показал крайне низкое их количество – ниже порога обнаружения используемым методом определения (0,3 %), что однако позволяет сделать вывод о том, что радиационная обработка не привела к увеличению содержания редуцирующих сахаров.

3.3.5 Содержание витамина С в клубнях и луковицах

Достоверного влияния облучения на содержание витамина С в клубнях картофеля сортов Невский и Фаворит не выявлено. Несмотря на то, что с увеличением дозы облучения наблюдалось некоторое снижение содержания витамина С в клубнях, различия с контролем не были достоверными (Рисунок 75, Таблица 68).

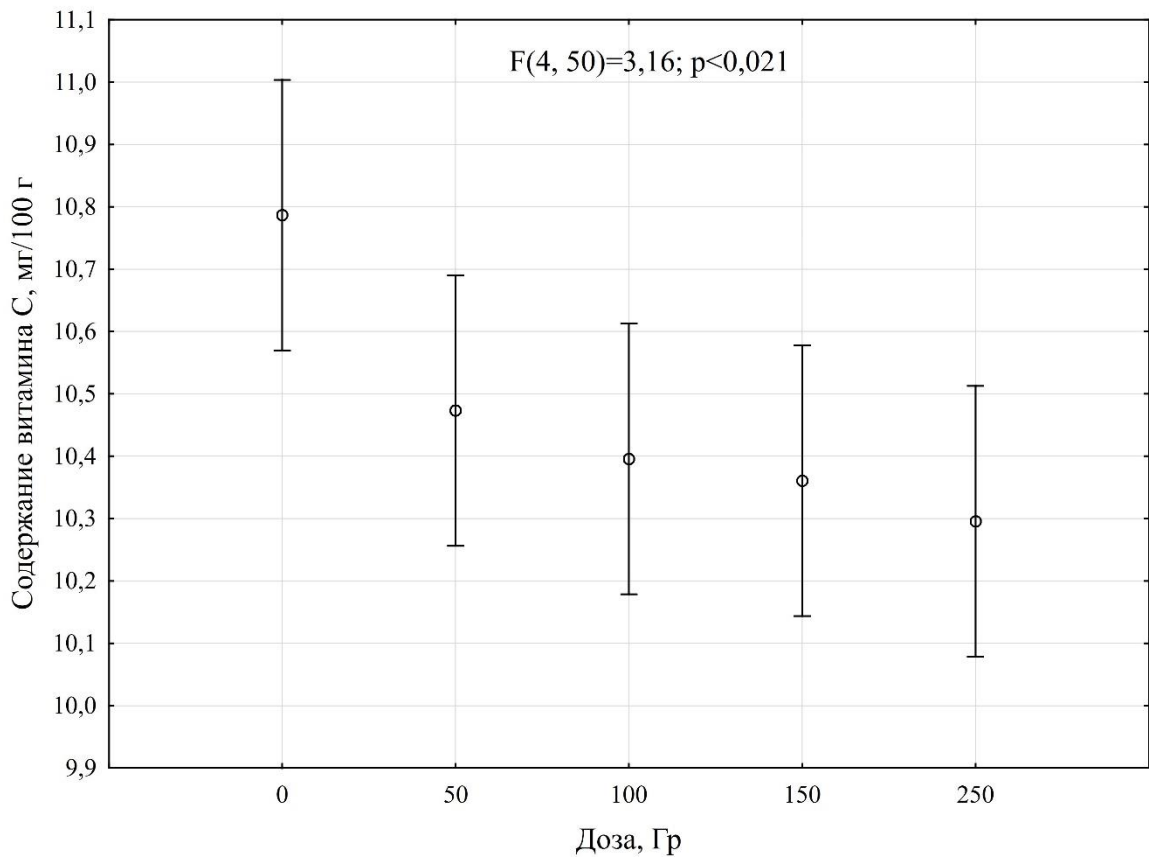


Рисунок 75 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание витамина С в клубнях картофеля

Таблица 68 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание витамина С в клубнях картофеля

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,391	0,180	0,118	0,049
50	0,391	–	0,992	0,969	0,852
100	0,180	0,992	–	1,000	0,980
150	0,118	0,969	1,000	–	0,996
250	0,049	0,852	0,980	0,996	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Аналогичные результаты были получены Winchester R.V. в эксперименте на пяти сортах картофеля, когда после облучения дозами до 150 Гр и последующего хранения различий в содержании аскорбиновой кислоты между контролем и опытом также не наблюдалось [206].

В результате анализа содержания витамина С в репчатом луке сортов Ростовский и Черный принц не выявлено достоверных различий между облученным и необлученным луком. При этом оба сорта достоверно различались между собой по данному показателю (Рисунок 76, Таблица 70).

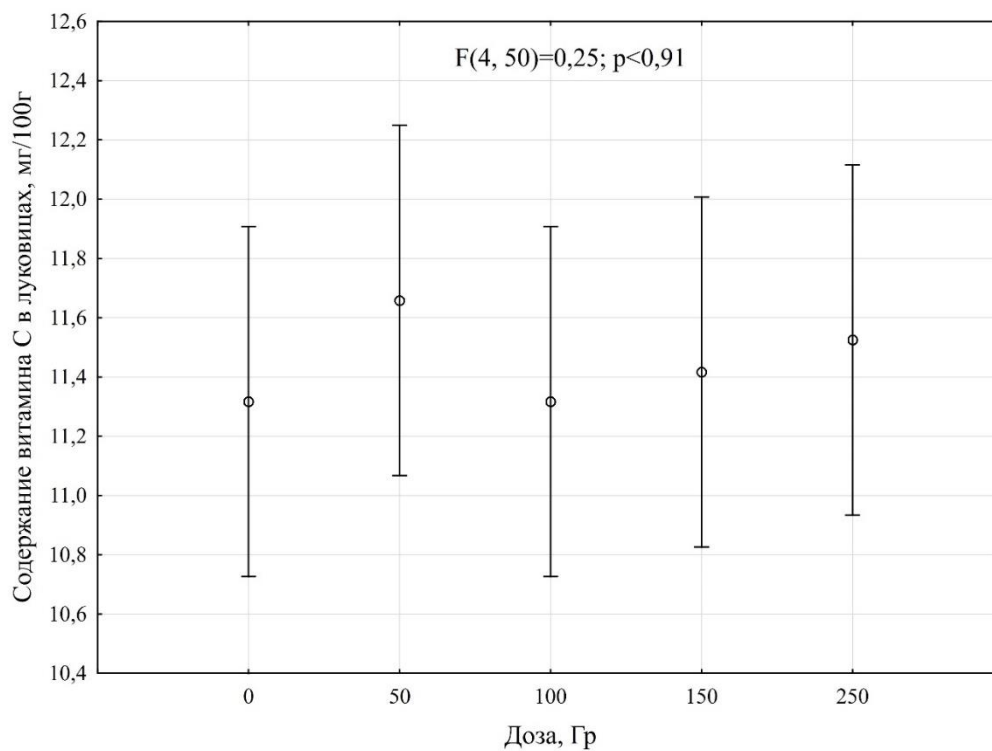


Рисунок 76 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения на содержание витамина С в репчатом луке

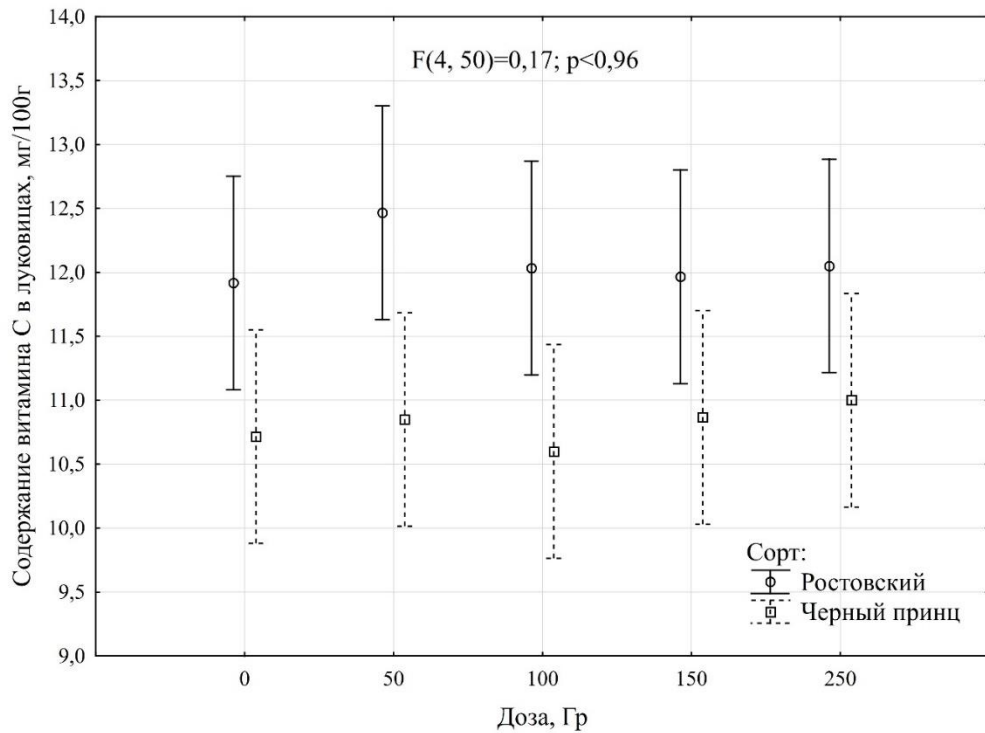


Рисунок 77 – Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию дозы облучения и сорта репчатого лука на содержание в нем витамина С

Таблица 69 – Уровень значимости критерия Шеффе при сравнении различных доз облучения картофеля на содержание витамина С в репчатом луке

Доза, Гр	0	50	100	150	250
0	–	0,953	1,000	1,000	0,993
50	0,953	–	0,953	0,987	0,999
100	1,000	0,953	–	1,000	0,993
150	1,000	0,987	1,000	–	0,999
250	0,993	0,999	0,993	0,999	–

* различия достоверны при $p < 0,001$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что облучение не оказало негативного влияния на содержание витамина С в картофеле и репчатом луке, что согласуется с результатами, полученными другими авторами исследований [117; 142; 157]. Описанные в данном разделе результаты были опубликованы в работе [83].

3.4 Оценка эффективности применения ионизирующего излучения для повышения сохранности и обеспечения морфофизиологических и биохимических показателей качества овощной продукции

Комплексный подход к оценке влияния радиационной обработки на сохранность и качество облученной овощной продукции с использованием морфофизиологических и биохимических показателей позволил выделить ряд закономерностей.

Рассмотрим фактор дозы облучения, поскольку по силе влияния данный фактор оказал наибольшее значение после времени хранения. В изученном диапазоне доз наблюдалась прямая зависимость между дозой ионизирующего излучения и эффектом ингибирования прорастания – с увеличением дозы γ -излучения снижались общие потери овощной продукции при хранении, которые складывались в свою очередь из естественной убыли массы клубней и луковиц, связанной с процессом дыхания, и потерь на формирование ростков. В зависимости от сорта и температуры хранения облучение картофеля, репчатого лука и чеснока в дозах 100, 150 и 250 Гр позволило снизить общие потери при хранении в 3–8 раз по сравнению с необлученным контролем. Облучение в дозе 50 Гр обеспечивало лишь временный эффект подавления прорастания. При оценке биохимических показателей качества облученной продукции достоверных различий между облученной и необлученной продукцией выявлено не было.

Фактор температуры хранения оказал достоверное влияние на эффективность радиационной обработки клубней картофеля – во всех вариантах опыта с облучением картофель лучше сохранился при температуре $+6...+8$ °С, чем при $+18...+22$ °С. Таким образом, обработка клубней картофеля γ -излучением в сочетании с последующим хранением в условиях искусственного охлаждения обеспечивала наиболее длительный срок хранения и высокое качество. Луковицы репчатого лука обоих сортов, облученные в дозе 50 Гр проросли на 6 месяц хранения как при температуре $0...-1$ °С, так и при $+18...+22$ °С, однако по показателю потери массы они сохранились лучше при температуре $0...-1$ °С, чем при $+18...+22$ °С. При этом в вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, где луковицы не имели ростков, достоверных различий между режимами хранения обнаружено не было. Чеснок, облученный в дозе 50 Гр, не прорастал в течение 7 месяцев хранения при температуре $0...-1$ °С, но пророс на 6 месяц хранения при температуре $+18...+22$ °С. При сравнении двух режимов хранения по показателю потери массы при облучении в этой дозе имелись достоверные различия, тогда как в вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр, где, как и в случае с репчатым луком, луковицы чеснока не проросли в течение 7 месяцев, достоверных различий при сравнении обоих режимов хранения также обнаружено не было.

Влияние фактора сорта в большинстве случаев не оказало достоверного влияния на эффективность радиационной обработки при облучении в диапазоне доз от 100 до 250 Гр. Для двух сортов картофеля обнаружены достоверные различия в скорости потери массы клубней после облучения, однако эти различия были невелики. Скорость потери массы клубней картофеля сорта Колобок и в необлученном контроле, и в опыте с облучением во всем изученном диапазоне доз была достоверно выше, чем у клубней картофеля сорта Журавинка, хотя эта разница была относительно невелика (~0,5%/мес.). При облучении в дозе 50 Гр наблюдались сортовые различия по срокам начала прорастания при сравнении с необлученным контролем, в котором эти сроки совпадали.

Интервал времени между уборкой урожая и облучением также не оказал существенного влияния на эффективность радиационной обработки против прорастания. Облучение клубней картофеля в диапазоне доз от 100 до 250 Гр спустя 3 месяца после уборки урожая полностью подавляло прорастание на срок до 10 месяцев. Кроме того, облучение даже на 5-м месяце хранения, когда период покоя клубней уже завершился, и они проросли, позволяло замедлить рост ростков и таким образом снизить потери при хранении. Представленные в данном разделе результаты опубликованы в работах [22; 23; 54; 55–57; 59–61; 83].

ГЛАВА IV. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ХРАНЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ, РЕПЧАТОГО ЛУКА И ЧЕСНОКА

4.1 Нормативное регулирование радиационной обработки продукции растительного происхождения с целью ингибирования прорастания и продления сроков хранения

4.1.1 Международные нормативные документы

В качестве общего стандарта для облученных пищевых продуктов в 1983 году принят «Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением» (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome). В целях обеспечения безопасности для продукции, обрабатываемой ионизирующим излучением с целью торможения процесса прорастания, применяются базовые стандарты на пищевые продукты, утверждённые Комиссией Кодекса Алиментариус (Codex Alimentarius Commission). Картофель, репчатый лук, чеснок и прочие культуры, предназначенные для облучения, должны соответствовать «Общим принципам гигиены пищевых продуктов» Кодекса (CAC, 2003. Codex Alimentarius Commission. General Principles of Food Hygiene (CAC/RCP 1-1969, Rev.4-2003), включая применение семи принципов системы анализа опасных факторов и критических контрольных точек НАССР, касающихся безопасности пищевых продуктов, а также другим необходимым стандартам Кодекса в отношении продовольственного сырья и/или сбора урожая, которые гарантируют безопасность пищевого продукта и его пригодность для потребления человеком.

Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов (CAC, 2003. Codex Alimentarius Commission. Code of Practice for Radiation Processing of Food. CAC/RCP 19-1979, Rev.2-2003) определяют необходимые действия для достижения эффективной радиационной обработки пищевых продуктов, в т.ч. свежих овощей, при которой сохраняются качество и количество пищевых продуктов, остающихся безопасными и пригодными к употреблению. Свод гигиенических норм и правил для фруктов и овощей (CAC/RCP 53-2003 Code of Hygienic Practice for Fresh Fruits and Vegetables) содержат рекомендации по надлежащему обращению со свежей продукцией растениеводства, чтобы гарантировать ее безопасность для потребителя.

Международной консультативной группой по облучению пищевых продуктов (ICGFI) под эгидой FAO, ВОЗ и МАГАТЭ был разработан ряд нормативных документов на облучение сельскохозяйственной продукции, в частности овощей и продуктов их переработки. Общее руководство по облучению пищевых продуктов (Guidelines for the authorization of food irradiation

generally or by classes of food. ICGFI Document № 15) содержит рекомендации о верхнем пороге применяемой дозы излучения применительно к свежим овощам в зависимости от класса продукции и достижения необходимой технологической цели (Таблица 70).

Таблица 70 – Классы продукции и верхние пределы дозы излучения

Класс продукции	Верхний порог дозы, кГр
КЛАСС 1 – Луковичные, корнеплоды и клубнеплоды Цель обработки: ингибирование прорастания в процессе хранения	0,2
КЛАСС 2 – Свежие фрукты и овощи Цель обработки:	
а) задержка созревания	1,0
б) уничтожение насекомых-вредителей	1,0
в) продление срока хранения	2,5
г) карантинный контроль	1,0

Рекомендации по облучению луковичных, корнеплодов и клубнеплодов, закладываемых на хранение и теряющих свои товарные качества в процессе хранения подробно отражены в Кодексе надлежащей практики по облучению в целях ингибирования прорастания луковичных и клубнеплодных культур (Code of good irradiation practice for sprout inhibition of bulb and tuber crops. ICGFI Document № 8).

4.1.2 Состояние нормативной базы в ЕАЭС и РФ

По состоянию на 2022 год в ЕАЭС отсутствуют стандарты, устанавливающие требования к радиационной обработке свежей сельскохозяйственной продукции с целью ингибирования прорастания и продления сроков хранения. Применительно к овощной продукции имеет силу основной межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014. Межгосударственный стандарт. Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением. На территории ЕАЭС вся сельскохозяйственная продукция, поступающая на облучение, должна соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011).

4.1.3 Предложения по совершенствованию нормативной базы по применению ионизирующего излучения для ингибирования прорастания картофеля и луковичных культур

Анализ представленных данных позволяет установить, что имеющаяся нормативно-правовая база в РФ по применению ионизирующего излучения для обработки овощной продукции с целью ингибирования прорастания и продления сроков хранения в настоящее время нуждается в разработке. Отсутствует утвержденный перечень культур, а также документация по регламентированию режимов обработки ионизирующим излучением относительно валидации и контроля процесса облучения пищевых продуктов и идентификации облученной продукции.

Для ускорения процессов разработки и согласования такой документации в качестве основы могут быть использованы базовые международные нормативные документы, например, документы Международной консультативной группы по облучению пищевых продуктов (ICGFI), регулирующие облучение свежей сельскохозяйственной продукции. Ниже приведена сравнительная оценка нормативных документов, регламентирующих использование ионизирующего излучения (ИИ) для обработки овощной продукции и фруктов (Таблица 71).

Таблица 71 – Сравнительная оценка нормативных документов, регламентирующих использование ионизирующего излучения для обработки свежей продукции растительного происхождения

Вид продукции	Действующий международный стандарт	Действующий стандарт РФ и ЕАЭС	Необходимость разработки документа
Картофель	Code of good irradiation practice for sprout inhibition of bulb and tuber crops. ICGFI Document № 8	–	+
Лук репчатый, чеснок		–	+
Свежие фрукты и овощи	EN 1787:2000 Foodstuffs - Detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy	ГОСТ 31672-2012	–
Свежие фрукты и овощи	EN 13784-2001 Foodstuffs – DNA Comet Assay for the Detection of Irradiated Foodstuffs – Screening Method	–	+

4.3 Технологические регламенты применения гамма-облучения в технологиях хранения картофеля, репчатого лука и чеснока

4.3.1 Технологический регламент применения гамма-облучения для подавления прорастания и продления сроков хранения картофеля

В данном технологическом регламенте представлена информация об использовании ионизирующего излучения при обработке клубней картофеля с целью ингибирования прорастания и продления сроков хранения.

Этап 1. Обращение и хранение перед облучением.

1. Клубни картофеля, подлежащие облучению, должны быть в целом хорошего качества и соответствовать нормам надлежащей сельскохозяйственной практики [11]. Отбираются целые, зрелые, без повреждений и болезней клубни.

2. Перед радиационной обработкой используется порядок хранения, подразумевающий температурные и атмосферные условия, обеспечивающие сохранность картофеля. Условия хранения описаны в [3].

3. Условия, влияющие на сохранность картофеля, также влияют на результаты обработки ионизирующим излучением, поэтому для облучения в целях закладки на длительное хранение подходят лишь сорта, пригодные для этой цели.

4. Сразу после уборки урожая клубням картофеля необходим период восстановления, поэтому облучение необходимо проводить не ранее, чем через две недели после уборки, однако этот срок не должен превышать 30 дней. Облучение необратимо ингибирует процессы регенерации, вследствие чего все меры, направленные на восстановление поврежденных клубней, должны осуществляться до этапа обработки облучением.

5. Картофель, подлежащий облучению, должен быть облучен до завершения периода покоя.

6. Для недопущения ситуации, когда невозможно отличить обработанную продукцию от необработанной, необходимо размещение физических барьеров или четко очерченных зон хранения, чтобы отделить необработанную продукцию от обработанной.

7. Цветовые визуальные индикаторы по используют для оперативного визуального контроля облученной, необлученной, прошедшей неполный цикл облучения или переоблученной продукции [14]. Цветовые индикаторы также могут быть использованы при пусконаладочных работах и при отработке режимов облучения для визуальной (предварительной) оценки распределения ПД в продукции [12].

Этап 2. Упаковка и конфигурация загрузки продукции.

1. Клубни картофеля упаковывают в контейнеры или ящики, пригодные к использованию при обработке гамма-излучением. С целью минимизации количества технологических операций и повреждения клубней картофеля при обращении оптимальным решением является выбор единой упаковки, обеспечивающей хранение картофеля на всех этапах: при подготовке к облучению, во время облучения и после облучения.

2. Для обеспечения требований безопасности необходимо использовать надлежащие упаковочные материалы [49; 50].

3. Рекомендации по выбору и использованию упаковочных материалов приведены в [669].

4. Объем, форму и конфигурацию технологической загрузки для партий картофеля, подлежащего облучению, определяют на основе конструктивных параметров установки для облучения. Наиболее важные конструктивные параметры включают в себя характеристики системы транспортирования продукции и характеристики источника радиации – в той мере, в какой они относятся к распределению дозы облучения в пределах технологической загрузки. При определении размера, формы и конфигурации технологической загрузки должны учитываться конструктивные параметры установки для облучения и технические требования на поглощенную дозу в продукции.

Этап 3. Облучение.

Для радиационной обработки картофеля с целью подавления прорастания при хранении используется гамма-излучение [15; 85]:

- γ -излучение радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,33$ МэВ);
- γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ).

Поглощенная доза. Поставщик картофеля должен установить минимальные и максимальные допустимые значения поглощенных доз, которые определяют технические условия облучения. Минимальную дозу, необходимую для достижения ингибирования прорастания клубней, и максимально допустимую дозу, которая не оказывает негативного воздействия на качество картофеля из-за возникновения постороннего привкуса, запаха или изменения цвета и т.п.

В процессе облучения в зоне технологической загрузки формируется распределение поглощенной дозы, которое характеризуется максимальной и минимальной поглощенными дозами. Таким образом, помимо оценки допустимости для обрабатываемой продукции минимальной дозы облучения, необходимой для ингибирования прорастания следует также учитывать устойчивость продукции и к предполагаемой максимальной дозе [50; 128; 129].

Значения оптимальных поглощенных доз при обработке картофеля против прорастания находятся в диапазоне от 100 до 150 Гр.

Процесс облучения должен осуществляться так, чтобы поглощенная доза находилась в указанных пределах во всем объеме каждой технологической загрузки. Как только эта цель достигнута, значения поглощенной дозы для каждого технологического прогона должны отслеживаться и документироваться.

Повседневная производственная дозиметрия – часть процедур, которая предназначена для подтверждения того, что в каждом акте облучения картофеля была достигнута строго определенная поглощенная доза. Также дозиметрия должна осуществляться для того, чтобы измерить распределение дозы в облученном картофеле в ходе оценки эффективности облучения [120].

Поглощенная доза должна измеряться с использованием дозиметрической системы, специально разработанной для используемого источника излучения, для данных условий окружающей среды и требуемого диапазона поглощенных доз.

Повседневная дозиметрия должна осуществляться в ходе обработки продукции для мониторинга процесса облучения, оказания помощи в установлении наиболее удобной геометрии облучения образцов и продукции, включая выбор всех ключевых параметров процесса и предоставление доказательств воспроизводимости дозы и ее распределения. Поглощенная доза, полученная любой частью образца или продукции, зависит от характеристик облучателя и таких параметров, как тип источника и его геометрия, геометрия облучения, состав и плотность продукции.

Классификация дозиметров. Дозиметры разделены на четыре основных класса в соответствии с их относительными качественными показателями и областями применения: первичный эталон, референсный эталон, эталон-переносчик и рабочие дозиметры. Информация, касающаяся выбора дозиметрических систем для различных применений, содержится в [8; 9; 124]. В большинстве исследований используются рабочие дозиметры и дозиметры типа эталон-переносчик.

Измерительные приборы – являются неотъемлемой частью дозиметрической системы, вследствие чего калибровка дозиметрической системы должна быть увязана с конкретным прибором. Процедура калибровки в основном заключается в облучении дозиметров набором известных доз, охватывающим необходимый диапазон доз, считывании показаний облученных дозиметров с помощью калиброванного измерительного прибора и построении функции отклика (калибровочной кривой) [12; 124].

Картирование дозы достигается путем построения карты распределения поглощенной дозы по образцу. Целью картирования является определение значений минимальной и максимальной поглощенных доз, положений точек, где они достигаются, и их связи со значениями поглощенной дозы в тех точках, которые используются для мониторинга в процессах обычной повседневной обработки продукции. При картировании дозы дозиметры располагают по всему образцу, как на поверхности, так и внутри образца. Необходимо выбрать схемы размещения дозиметров, с помощью которых можно обнаружить положения значений D_{\min} и D_{\max} [126]. Для получения статистически значимых результатов используют достаточное количество дозиметров. Альтернативным подходом является определение D_{\min} и D_{\max} посредством вычислений [130].

Размеры и форма технологической загрузки отчасти определяются конкретными конструктивными параметрами установки для облучения. Наиболее важные параметры включают в себя характеристики системы транспортирования и характеристики источника излучения в той мере, в какой они влияют на распределение поглощенной дозы в технологической загрузке. Размеры и форма партии картофеля, и предельно допустимые значения максимальной и минимальной доз могут также влиять на конфигурацию технологической загрузки.

Этап 4. Контроль качества после облучения.

Ключевой критерий приемлемости радиационной обработки состоит в проверке того, что полученная картофелем поглощенная доза достаточна для достижения подавления процесса прорастания. Установлено, что дозы гамма облучения в диапазоне доз от 100 до 150 Гр не оказывают отрицательного воздействия на показатели качества картофеля.

Этап 5. Порядок обращения с картофелем после облучения

При хранении картофеля, прошедшего обработку ионизирующим излучением с целью подавления прорастания и при обращении с ним используют тот же порядок, что и для необработанного картофеля в соответствии с действующими нормативными документами.

Этап 6. Маркировка и документация

В качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 сентября 2016 г. N 1044-ст введен в действие с 1 июля 2017 г. межгосударственный стандарт ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке» [5; 51].

Каждая партия картофеля, подлежащая обработке, должна иметь идентификационный номер или иной код, позволяющий отличать ее от других партий на облучающей установке. Этот номер используется во всех документах на данную партию картофеля.

На облучающей установке должен вестись журнал регистрации выполняемых операций. В журнал заносят дату прибытия партии картофеля на облучающую установку, дату облучения, начальное и конечное время процесса облучения, дату отправки партии обработанного картофеля, фамилию оператора, а также любые особые условия, которые могут повлиять на процесс облучения или обработанный картофель. В журнал заносят также все дозиметрические данные, относящиеся к картированию поглощенной дозы в данной партии картофеля и результатам повседневной производственной дозиметрии [9; 12]. В журнал заносятся также сведения о любых отклонениях от намеченного хода процесса облучения, которые могли бы помочь оценивать правильность хода процесса.

Перед отпуском продукции следует проверить всю документацию, чтобы гарантировать точность и полноту записей. Документы должны быть подписаны лицом, производившим проверку. Все недочеты следует заносить в отдельную папку (файл), доступную для проверки контролирующим органам.

Необходимо сохранять все записи, относящиеся к каждой партии картофеля, обработанного на установке, в течение периода времени, установленного соответствующими органами, причем эти записи должны быть доступны для инспекции по мере необходимости.

Документация, сопровождающая партию обработанного картофеля, должна включать в себя наименование поставщика (владельца), наименование и адрес облучающей установки, описание обработанной продукции, включая номер, присвоенный данной партии, или другой идентификатор, дату облучения, а также другую информацию, необходимую поставщику (владельцу) продукции, руководству установки по облучению, регулирующим органам.

На каждую партию картофеля, для которой проведена радиационная обработка, выдается протокол.

4.3.2 Технологический регламент применения гамма-облучения для подавления прорастания и продления сроков хранения овощной продукции луковичных культур

В данном технологическом регламенте представлена информация об использовании ионизирующего излучения при обработке репчатого лука и чеснока с целью подавления прорастания и продления сроков хранения.

Этап 1. Обращение и хранение перед облучением.

1. Луковицы репчатого лука и чеснока, подлежащие облучению, должны быть в целом хорошего качества и соответствовать нормам надлежащей сельскохозяйственной практики. Отбираются целые, зрелые, без повреждений и болезней клубни.

2. Перед радиационной обработкой используется порядок хранения, подразумевающий температурные и атмосферные условия, обеспечивающие сохранность репчатого лука и чеснока [122].

3. Условия, влияющие на сохранность репчатого лука и чеснока, также влияют на результаты обработки ионизирующим излучением, поэтому для облучения в целях закладки на длительное хранение подходят лишь сорта, пригодные для этой цели.

4. Облучение репчатого лука и чеснока проводят сразу после уборки урожая.

5. Репчатый лук и чеснок, подлежащие облучению, должны быть облучены до завершения периода покоя.

6. Для недопущения ситуации, когда невозможно отличить обработанную продукцию от необработанной, необходимо размещение физических барьеров или четко очерченных зон хранения, чтобы отделить необработанную продукцию от обработанной.

7. Цветовые визуальные индикаторы по используют для оперативного визуального контроля облученной, необлученной, прошедшей неполный цикл облучения или переобученной продукции [14]. Цветовые индикаторы также могут быть использованы при пусконаладочных работах и при отработке режимов облучения для визуальной (предварительной) оценки распределения ПД в продукции [12].

Этап 2. Упаковка и конфигурация загрузки продукции.

1. Луковицы репчатого лука и чеснока упаковывают в контейнеры или ящики, пригодные к использованию при обработке гамма-излучением. С целью минимизации количества технологических операций и повреждения луковиц при обращении оптимальным решением является выбор единой упаковки, обеспечивающей хранение на всех этапах: при подготовке к облучению, во время облучения и после облучения.

2. Для обеспечения требований безопасности необходимо использовать надлежащие упаковочные материалы [49; 50].

3. Рекомендации по выбору и использованию упаковочных материалов приведены в [69].

4. Объем, форму и конфигурацию технологической загрузки для партий репчатого лука и чеснока, подлежащих облучению, определяют на основе конструктивных параметров установки для облучения. Наиболее важные конструктивные параметры включают в себя характеристики

системы транспортирования продукции и характеристики источника радиации – в той мере, в какой они относятся к распределению дозы облучения в пределах технологической загрузки. При определении размера, формы и конфигурации технологической загрузки должны учитываться конструктивные параметры установки для облучения и технические требования на поглощенную дозу в продукции.

Этап 3. Облучение

Для радиационной обработки репчатого лука и чеснока с целью подавления прорастания используется гамма-излучение [15; 86]:

γ -излучение радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,33$ МэВ);

γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ).

Поглощенная доза. Поставщик продукции должен установить минимальные и максимальные допустимые значения поглощенных доз, которые определяют технические условия облучения. Минимальную дозу, необходимую для достижения подавления прорастания луковиц, и максимально допустимую дозу, которая не оказывает негативного воздействия на качество продукции из-за возникновения постороннего привкуса, запаха или изменения цвета и т.п.

В процессе облучения в зоне технологической загрузки формируется распределение поглощенной дозы, которое характеризуется максимальной и минимальной поглощенными дозами. Таким образом, помимо оценки допустимости для обрабатываемой продукции минимальной дозы облучения, необходимой для ингибирования прорастания следует также учитывать устойчивость продукции и к предполагаемой максимальной дозе [50; 128; 129].

Значения оптимальных поглощенных доз при обработке репчатого лука и чеснока против прорастания находятся в диапазоне от 100 до 150 Гр для репчатого лука, и в диапазоне от 50 до 150 Гр для чеснока.

Процесс облучения должен осуществляться так, чтобы поглощенная доза находилась в указанных пределах во всем объеме каждой технологической загрузки. Как только эта цель достигнута, значения поглощенной дозы для каждого технологического прогона должны отслеживаться и документироваться.

Повседневная производственная дозиметрия – часть процедур, которая предназначена для подтверждения того, что в каждом акте облучения продукции была достигнута строго определенная поглощенная доза. Также дозиметрия должна осуществляться для того, чтобы измерить распределение дозы в облученной продукции в ходе оценки эффективности облучения [123].

Поглощенная доза должна измеряться с использованием дозиметрической системы, специально разработанной для используемого источника излучения, для данных условий окружающей среды и требуемого диапазона поглощенных доз.

Повседневная дозиметрия должна осуществляться в ходе обработки продукции для мониторинга процесса облучения, оказания помощи в установлении наиболее удобной геометрии облучения образцов и продукции, включая выбор всех ключевых параметров процесса и предоставление доказательств воспроизводимости дозы и ее распределения. Поглощенная доза, полученная любой частью образца или продукции, зависит от характеристик облучателя и таких параметров, как тип источника и его геометрия, геометрия облучения, состав и плотность продукции.

Классификация дозиметров. Дозиметры разделены на четыре основных класса в соответствии с их относительными качественными показателями и областями применения: первичный эталон, референсный эталон, эталон-переносчик и рабочие дозиметры. Информация, касающаяся выбора дозиметрических систем для различных применений, содержится в [8; 9; 124]. В большинстве исследований используются рабочие дозиметры и дозиметры типа эталон-переносчик.

Измерительные приборы – являются неотъемлемой частью дозиметрической системы, вследствие чего калибровка дозиметрической системы должна быть увязана с конкретным прибором. Процедура калибровки в основном заключается в облучении дозиметров набором известных доз, охватывающим необходимый диапазон доз, считывании показаний облученных дозиметров с помощью калиброванного измерительного прибора и построении функции отклика (калибровочной кривой) [12; 124].

Картирование дозы достигается путем построения карты распределения поглощенной дозы по образцу. Целью картирования является определение значений минимальной и максимальной поглощенных доз, положений точек, где они достигаются, и их связи со значениями поглощенной дозы в тех точках, которые используются для мониторинга в процессах обычной повседневной обработки продукции. При картировании дозы дозиметры располагают по всему образцу, как на поверхности, так и внутри образца. Необходимо выбрать схемы размещения дозиметров, с помощью которых можно обнаружить положения значений D_{\min} и D_{\max} [126]. Для получения статистически значимых результатов используют достаточное количество дозиметров. Альтернативным подходом является определение D_{\min} и D_{\max} посредством вычислений [127].

Размеры и форма технологической загрузки отчасти определяются конкретными конструктивными параметрами установки для облучения. Наиболее важные параметры включают в себя характеристики системы транспортирования и характеристики источника излучения в той мере, в какой они влияют на распределение поглощенной дозы в технологической загрузке. Размеры и форма партии продукции, и предельно допустимые значения максимальной и минимальной доз могут также влиять на конфигурацию технологической загрузки.

Этап 4. Контроль качества после облучения.

Ключевой критерий приемлемости радиационной обработки состоит в проверке того, что полученная поглощенная доза достаточна для достижения подавления процесса прорастания. Установлено, что дозы гамма облучения в диапазоне доз от 50 до 150 Гр не оказывают отрицательного воздействия на показатели качества репчатого лука и чеснока.

Этап 5. Порядок обращения с облученной продукцией

При хранении репчатого лука и чеснока, прошедших обработку ионизирующим излучением с целью подавления прорастания и при обращении с ними используют тот же порядок, что и для необработанного репчатого лука и чеснока в соответствии с действующими нормативными документами.

Этап 6. Маркировка и документация

В качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 сентября 2016 г. N 1044-ст введен в действие с 1 июля 2017 г. межгосударственный стандарт ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке» [5; 51].

Каждая партия репчатого лука и чеснока, подлежащая обработке, должна иметь идентификационный номер или иной код, позволяющий отличать ее от других партий на облучающей установке. Этот номер используется во всех документах на данную партию.

На облучающей установке должен вестись журнал регистрации выполняемых операций. В журнал заносят дату прибытия партии на облучающую установку, дату облучения, начальное и конечное время процесса облучения, дату отправки партии обработанной продукции, фамилию оператора, а также любые особые условия, которые могут повлиять на процесс облучения или обработанную продукцию. В журнал заносят также все дозиметрические данные, относящиеся к картированию поглощенной дозы в данной партии и результатам повседневной производственной дозиметрии [9; 12]. В журнал заносятся также сведения о любых отклонениях

от намеченного хода процесса облучения, которые могли бы помочь оценивать правильность хода процесса.

Перед отпуском продукции следует проверить всю документацию, чтобы гарантировать точность и полноту записей. Документы должны быть подписаны лицом, производившим проверку. Все недочеты следует заносить в отдельную папку (файл), доступную для проверки контролирующим органам.

Необходимо сохранять все записи, относящиеся к каждой партии продукции, обработанной на установке, в течение периода времени, установленного соответствующими органами, причем эти записи должны быть доступны для инспекции по мере необходимости.

Документация, сопровождающая партию обработанной продукции, должна включать в себя наименование поставщика (владельца), наименование и адрес облучающей установки, описание обработанной продукции, включая номер, присвоенный данной партии, или другой идентификатор, дату облучения, а также другую информацию, необходимую поставщику (владельцу) продукции, руководству установки по облучению, регулирующим органам.

На каждую партию репчатого лука и чеснока, для которой проведена радиационная обработка, выдается протокол.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в рамках диссертационной работы исследования направлены на научное обоснование и практическое развитие инновационных технологий для решения проблем продовольственной безопасности страны. Применение радиационных технологий для увеличения сроков хранения и реализации продукции, сохранения ее качества и безопасности является одним из перспективных направлений технологического развития. Научной основой применения ионизирующего излучения в технологиях хранения овощной продукции является исследование механизмов и закономерностей его ингибирующего действия на процесс прорастания. Практическое применение ионизирующего излучения базируется на определении оптимальных режимов и условий радиационной обработки.

В соответствии с поставленными задачами в рамках диссертационной работы были определены оптимальные диапазоны доз ионизирующего излучения, обеспечивающие подавление прорастания и снижение связанных с ним потерь овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур при хранении.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 100 до 250 Гр приводит к полному подавлению процесса прорастания картофеля, репчатого лука и чеснока при хранении. На эффективность подавления ростовых процессов при облучении в указанном диапазоне доз не повлияли такие факторы как температура хранения, видовые и сортовые различия, интервал времени между уборкой урожая и облучением.

Воздействие γ -излучения в дозе 50 Гр привело к достоверному по сравнению с контролем снижению потери массы клубней и луковиц при хранении, однако для полного подавления прорастания этой дозы оказалось недостаточно. В этом случае между сортами картофеля наблюдались различия по срокам начала прорастания, в отличие от необлученного контроля, в котором эти сроки совпадали. При оценке параметра изменения массы влияние фактора температуры хранения было достоверно значимым. Также в этом случае проявились видовые различия. Убыль массы контрольных и облученных в диапазоне доз от 100 до 250 Гр клубней картофеля в условиях хранения при температуре +6...+8 °С была ниже, чем при температуре хранения +18...+22 °С. При облучении лука и чеснока подобная зависимость наблюдалась лишь при обработке в дозе 50 Гр, тогда как при дозах от 100 до 250 Гр температура хранения достоверного влияния на изменение массы не оказывала. Оценка силы влияния различных факторов на изменение массы клубней и луковиц показала, что наибольшее влияние на сохранность как облученной, так и необлученной продукции оказывает время хранения. Сила

влияния данного фактора в экспериментах составляла от 40 до 70%. Второе место по силе влияния после времени хранения занимал фактор дозы облучения – его сила влияния варьировала в пределах от 2,7% до 30%. Влияние времени хранения и дозы облучения на изменение массы продукции при хранении во всех проведенных экспериментах было достоверным, что позволяет предположить, что подобная зависимость сохранится и при облучении других видов овощной продукции, например, корнеплодов, исследование которых не входило в рамки данной работы.

Возделывание картофеля сорта Леди Клэр на радиоактивно-загрязненных территориях Брянской области с применением различных агроулучшителей не повлияло на эффективность подавления прорастания клубней γ -излучением, что свидетельствует о том, что условия выращивания могут не оказывать влияния на эффективность радиационной обработки.

По результатам оценки влияния радиационной обработки на биохимические показатели качества продукции, включающие в себя определение содержания нитратов, крахмала и сухого вещества, а также редуцирующих сахаров и витамина С, установлено, что в результате облучения ухудшения данных показателей не происходило.

Клубни и луковицы являются запасующими органами растений, и в отличие, например, от семян находятся в полностью обводненном состоянии. Несмотря на обилие энергетических и строительных запасов они способны долгое время сохраняться в состоянии глубокого физиологического покоя. Такой приспособительный механизм возник в ходе эволюции для того, чтобы преодолевать неблагоприятные условия окружающей среды. Регуляторами покоя и прорастания являются фитогормоны. Именно посредством изменения их соотношения осуществляется контроль покоя и прорастания. В результате проведенного исследования на картофеле сорта Фаворит было показано, что баланс эндогенных гормонов меняется после обработки клубней γ -излучением. Соотношение гормонов антагонистов в почках и прилегающих к ним тканях снижается при хранении пропорционально увеличению дозы гамма-излучения. При облучении в дозе 150 Гр значения соотношения снизились в 40 раз.

Развитие радиационных технологий по обработке продукции агропромышленного производства сдерживается несовершенством отечественной нормативно-правовой базы. Оценка экономической целесообразности применения технологий облучения плодовоовощной продукции может быть выполнена на основе практических широкомасштабных производственных испытаний. Следовательно, производственные испытания являются важным этапом не только с технологической, но и с экономической точки зрения. При отсутствии развитой нормативно-правовой базы выполнение крупномасштабных проектов затруднено в связи с неуверенностью в том, что обработанная продукция может быть реализована в условиях

рынка. В диссертационной работе представлены предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы РФ, а также представлены технологические регламенты применения гамма-облучения в технологиях хранения картофеля, репчатого лука и чеснока, которые послужат основой для практического применения данной технологии.

Результаты диссертационной работы были использованы ООО «Региональный центр облучательных технологий «Эра» для разработки технологического регламента облучения опытных и коммерческих партий овощной продукции (Приложение В).

Результаты исследования позволяют сделать вывод о эффективности применения радиационных технологий в целях ингибирования прорастания и продления сроков хранения овощной продукции. Вместе с этим, важно подчеркнуть, что дальнейшие исследования и практические испытания могут пролить свет на новые аспекты и раскрыть потенциал применения радиационных технологий.

ВЫВОДЫ

1. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 100 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока обеспечивает полное подавление прорастания и достоверное снижение связанных с ним потерь при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Облучение в дозе 50 Гр обеспечивает снижение потерь массы клубней и луковиц при хранении, однако не приводит к полному подавлению прорастания. При этом сроки начала прорастания зависели от сортовых различий.
2. Температура хранения оказала достоверное влияние на эффективность радиационной обработки картофеля – при облучении в диапазоне доз от 100 до 250 Гр клубни лучше сохранялись при температуре +6...+8 °С, чем при +18...+22 °С. При облучении лука и чеснока в дозе 50 Гр аналогичная зависимость сохранялась, а при облучении в дозах от 100 до 250 Гр температура хранения достоверного влияния на сохранность не оказывала.
3. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 50 до 250 Гр не вызвало ухудшения биохимических показателей качества овощной продукции при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Оценка эффективности радиационной обработки на основании морфофизиологических и биохимических показателей качества показала, что срок хранения облученного картофеля был продлен на 7 месяцев, репчатого лука и чеснока – на 4 месяца.
4. Баланс эндогенных гормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания картофеля, меняется после обработки клубней γ -излучением в дозах 100 и 150 Гр. Соотношение гормонов антагонистов в почках и прилегающих к ним тканях снижается при хранении пропорционально увеличению дозы гамма-излучения. При облучении в дозе 150 Гр значения соотношения снизились в 40 раз.
5. Технология возделывания картофеля с применением различных агромелиорантов, обеспечивающих оптимальное содержание элементов минерального питания в почве, не повлияла на эффективность радиационной обработки картофеля в дозах 50, 100 и 150 Гр с целью подавления прорастания клубней при хранении.
6. Разработаны технологические регламенты применения гамма-облучения картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения продукции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АБК	–	Абсцизовая кислота
ВЭЖХ	–	Высокоэффективная жидкостная хроматография
ГК	–	Гиббереллиновая кислота
ГОСТ	–	Государственный стандарт
ДНК	–	Дезоксирибонуклеиновая кислота
ИМК	–	Индолил-3-масляная кислота
ИУК	–	β -индолилуксусная кислота
ICGFI	–	Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов (International Consultative Group on Food Irradiation)
CIPС	–	Хлорпрофам

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Битаршвили, С.В. Изменение фитогормонального баланса картофеля при хранении после радиационной обработки / С.В. Битаршвили, Т.В. Чиж // Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2020: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 23–24 ноября 2020 г., – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 51-53.
2. Близнюк, У.А., Инновационные подходы к развитию радиационных технологий обработки биообъектов / У.А. Близнюк, В.М. Авдюхина, П.Ю. Борщegovская // Известия РАН, серия физическая. – 2018. – Т. 82, – № 6. – С. 824-828.
3. ГОСТ 28372-93 Картофель свежий продовольственный. Руководство по хранению. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12 с.
4. ГОСТ 33562–2015 Чеснок свежий. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2018. – 16 с.
5. ГОСТ 33800–2016 Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2018. – 7 с.
6. ГОСТ 33977-2016 Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2019. – 20 с.
7. ГОСТ 34151–2017 Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2017. – 14 с.
8. ГОСТ 34155–2017 Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2017. – 26 с.
9. ГОСТ 34156–2017 Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2017. – 20 с.
10. ГОСТ 34306–2017 Лук репчатый свежий. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2018. – 21 с.
11. ГОСТ 7176–2017 Картофель продовольственный. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2018. – 16 с.

12. ГОСТ 8.664–2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Пищевые продукты. Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к дозиметрическому обеспечению. – М.: Стандартинформ, 2019. – 27 с.
13. ГОСТ 8756.13–87 Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения сахаров. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2010. – 11 с.
14. ГОСТ ISO 11140-1–2011 Стерилизация медицинской продукции. Химические индикаторы. Часть 1. общие требования. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 26 с.
15. ГОСТ ISO 14470–2014 Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.
16. Дозиметрия ионизирующих излучений: учеб. пособие / В.А. Климанов, Е.А. Крамер-Агеев, В.В. Смирнов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 740 с.
17. Кораблева, Н.П. Изменения уровня абсцизовой кислоты в клубнях картофеля в течение покоя и прорастания / Н.П. Кораблева, К.А. Караваева, Л.В. Метлицкий // Физиология растений. – 1980. – Т. 27. – С. 585-591.
18. Крылова, Н.Н. Влияние гамма-лучей на витамины, содержащиеся в пищевых продуктах / Н.Н. Крылова // Военно-медицинский журнал. – 1957. – № 5. – С. 58-60.
19. Лой, Н.Н. Влияние гамма-облучения на прорастаемость картофеля при хранении / Н.Н. Лой, Н.И. Санжарова, Т.В. Чиж, С.Н. Гулина // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018: сборник докладов международной научно-практической конференции, Севастополь, 24-27 сентября 2018 г., – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2018. – С. 706-709.
20. Лой, Н.Н. Применение радиационных технологий при хранении картофеля / Н.Н. Лой, Н.И. Санжарова, О.С. Губарева, Т.В. Чиж, С.Н. Гулина // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2018. – Т. 20. – С. 66-71.
21. Мальцев, С.В. Влияние гамма-облучения на лежкость и биохимические показатели клубней картофеля / С.В. Мальцев, С.В. Андрианов, Н.А. Тимошина, Е.В. Князева, В.А. Бирюкова, П.Н. Цыгвинцев // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 10. – С. 50-54.
22. Мальцев, С.В. Влияние химических и физических методов воздействия на клубни картофеля различного назначения при хранении / С.В. Мальцев, К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности:

- состояние и перспективы. Сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г., – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 285-289.
23. Мальцев, С.В. Современная технология хранения картофеля, предназначенного для переработки на обжаренные картофелепродукты / С.В. Мальцев, К.А. Пшеченков // Картофелеводство: сборник докладов научно-практической конференции, Москва, 2017. – С. 313-320.
 24. Мальцева, А.П. Действие ионизирующего излучения на изменение аскорбиновой кислоты в картофеле / А.П. Мальцева, Т.Ф. Дерид, Р.Т. Шалинова // Материалы научно-практической конференции по использованию ионизирующих излучений в народном хозяйстве, Тула, 1967 г., – Тула, 1967. – С. 137.
 25. Метлицкий, Л.В. Использование атомной энергии для круглогодичного хранения картофеля / Л.В. Метлицкий // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1960. – № 1. – С. 29-33.
 26. Метлицкий, Л.В. Промышленные испытания гамма-облучения картофеля для предотвращения прорастания / Л.В. Метлицкий, Н.П. Кораблева, Р.Т. Шалинова // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1968. – № 1(23). – С. 45-56.
 27. Метлицкий, Л.В. Радиационная обработка пищевых продуктов / Л.В. Метлицкий, В.И. Рогачев, В.Г. Хрущев. – М.: Экономика, 1967. – 160 с.
 28. Мосина, Л.В. Сельскохозяйственная экология / Л. В. Мосина. – М.: Агротехиздат, 2000. – 146 с.
 29. МУ5048-89 Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства. – М.: Министерство здравоохранения СССР. ГОСАГРОПРОМ СССР, 1989. – 52 с.
 30. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 15.07.2023).
 31. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: Указ Президента Российской Федерации от 12.05. 2009 г. № 537 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/29277> (дата обращения: 15.07.2023).
 32. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106> (дата обращения: 15.07.2023).

33. Павлов, А.Н. Практические аспекты применения современных радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / А.Н. Павлов, Е.П. Пименов, А.С. Снегирев, Чиж, Т.В., Н.Н. Лой // Товаровед продовольственных товаров. – 2020. – №3. – С. 13-19.
34. Павлов, А.Н. Технологический процесс радиационной обработки пищевой продукции и дозиметрическое обеспечение / А.Н. Павлов, Т.В. Чиж, А.С. Снегирев, Н.И. Санжарова, А.П. Черняев, П.Ю. Борщеговская, В.С. Ипатова, Ю.А. Дорн // Радиационная гигиена. – 2020. – Т.13. – № 4. – С. 40-50.
35. Пименов, Е.П. Исследование эффективности радиационной стерилизации растительного сырья с использованием установки ГУР-120 / Е.П. Пименов, А.Н. Павлов, Г.В. Козьмин // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22, – № 4. – С. 37-42.
36. Полноценность облученных пищевых продуктов. Доклад Объединенного комитета экспертов ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ / Всемирная организация здравоохранения. Женева, 1978. – – 48 с.
37. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы / Правительство Российской Федерации. Распоряжение об утверждении от 3 декабря 2012 г. №2237-р. Москва. – 72 с.
38. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина и Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. – 400 с.
39. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – 3-е изд. – испр. – Минск: Вышэйш. Школа, 1973. – 320 с.
40. Рубин, Б.А. Использование ионизирующего излучения для контроля прорастания клубней картофеля при хранении / Б.А. Рубин, Л.В. Метлицкий, Е.Г. Салькова, Е.Н. Мухин, Н.П. Кораблева, Н.П. Морозова // Доклады Академии Наук СССР. Биохимия плодов и овощей. – 1961. – № 6. – С. 5.
41. Рубин, Б.А., Изучение действия ионизирующих излучений на обмен веществ клубней картофеля в связи с проблемой его круглогодичного хранения / Б.А. Рубин, Л.В. Метлицкий // Труды Второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958 г. в сборнике «Доклады советских ученых. Получение и применение изотопов» под общ. Редакцией Г.В. Курдюмова и И.И. Новикова. – М: Изд-во главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР, 1959. – С. 374-385.

42. Салькова, Е.Г. Действие радиоактивного Кобальта-60 на содержание витамина С в картофеле // Доклады Академии Наук СССР. – 1957. – № 114. – С. 757-769.
43. Серпова, О.С., Борченкова, Л.А. Ресурсосберегающие технологии переработки картофеля: Научный аналитический обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 84 с.
44. Сисакян, Н.М. О характере изменений обмена веществ при облучении // Сборник «Действие облучений на организм». – М: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 137-156.
45. Смирнов, П. М. Агрехимия / П.М. Смирнов, Э.А. Муравин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
46. Современные технологии хранения и переработки плодоовощной продукции: науч. аналит. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 172 с.
47. Соловьева, А.Е. Биохимические показатели качества овощной продукции // Улучшение качества картофеля и овощей. МСХ РФ. ТАСИС проект ФДРУС9704. – СПб: Академия менеджмента и агробизнеса НЗ РФ, 2004. – С. 10-33.
48. Старовойтов В.И. Применение микроэлементов при выращивании картофеля – предпосылки использования дронов / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Манохина, Н.Э. Шабанов, В.А. Чайка // Агроинженерия. – 2021. – № 4 (104). – С. 14–20.
49. ТР ТС 005/2011 О безопасности упаковки. Технический регламент Таможенного союза, 2011. – 35 с.
50. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. Технический регламент Таможенного союза, 2011. – 242 с.
51. ТР ТС 022/2011 Пищевая продукция в части ее маркировки. Технический регламент Таможенного союза, 2011. – 29 с.
52. ФГБУ «Госсорткомиссия» [Электронный ресурс] – URL: <https://reestr.gossortrf.ru> (дата обращения: 10.03.2021)
53. Цыгвинцев, П.Н. Торможение физиологических процессов в клубнях картофеля после облучения / П.Н. Цыгвинцев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – №11. – С. 341–346.
54. Черняев, А.П. Исследование эффективности радиационной обработки форели электронным с рентгеновским излучениями / А.П. Черняев, В.М. Авдюхина, У.А. Близинок // Известия РАН, серия физическая. – 2020. – Т. 84. – № 4. – С. 501–507.
55. Чиж, Т.В. Влияние гамма-излучения на продолжительность хранения и показатели качества картофеля / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой, О.С. Губарева, В.К. Кузнецов, Н.В. Урсу, С.Н.

- Гулина // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 238-241.
56. Чиж, Т.В. Влияние гамма-излучения на содержание редуцирующих сахаров в клубнях картофеля / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой, В.О. Кобялко, И.В. Полякова, А.Н. Павлов // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 16-18 сентября 2020 г. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020. – С. 374.
57. Чиж, Т.В. Влияние гамма-излучения на сохранность клубней картофеля в процессе хранения / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой // Современные проблемы радиобиологии, радиозэкологии и агроэкологии: сборник докладов международной молодежной конференции, Обнинск, 03-04 октября 2019 г. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019. – С. 303-306.
58. Чиж, Т.В. Влияние гамма-облучения на сохранность и качество ягод клубники / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой, О.С. Губарева // Современные проблемы радиобиологии и радиозэкологии: сборник докладов молодёжного круглого стола в рамках XLVI международных радиозэкологических чтений, посвященных действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому, Обнинск, 2017 г. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2017. – С. 143-148.
59. Чиж, Т.В. Влияние обработки клубней картофеля гамма-излучением на потерю массы и прорастание в процессе хранения / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой // Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2020: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 23-24 ноября 2020 г. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 30-31.
60. Чиж, Т.В. Оценка эффективности радиационной обработки красного репчатого лука с целью ингибирования процессов прорастания и продления сроков хранения / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой, И.В. Полякова // Техногенные системы и экологический риск: тезисы докладов международной научной конференции, Обнинск, 19-20 апреля 2021 г. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 465-466.
61. Чиж, Т.В. Перспективы применения гамма-облучения в целях увеличения срока хранения клубней картофеля / Т.В. Чиж, Н.Н. Лой // Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2019: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 25-26 ноября 2019 г., – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2019 г. – С. 28-29.

62. Чиж, Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности / Т.В. Чиж, Г.В. Козьмин, Л.П. Полякова, Т.В. Мельникова // Вестник Российской академии наук. – 2011. – № 4. – С. 44–49.
63. Alamar, M.C. Transcriptome and phytohormone changes associated with ethyleneinduced onion bulb dormancy / M.C. Alamar, M. Anastasiadi, R. Lopez-Cobollo, M.H. Bennett, A.J. Thompson, C.G.N. Turnbull, F. Mohareb, L.A. Terrya // *Postharvest Biology and Technology*. – 2020. – Vol. 168. – P. 1-13.
64. Analytical study of potato tubers subjected to nuclear radiation by the research Group of the Central Laboratory of the National Defence Establishment (Paris) and of the Conservatome Society (Lyon) / *Proceedings of the Second United Nations International conference on the peaceful uses of atomic energy*. United Nations. Geneva, 1958. *Isotopes in Agriculture*. – Vol. 27. – P. 434.
65. Ananthaswamy, H.N. Role of auxins in the reversal of radiation induced growth inhibition in plants / H.N. Ananthaswamy, K.K. Ussuf, P.M. Nair, U.K. Vakil, A. Sreenivasan // *Radial. Rev.* – 1972. – Vol. 3. – P. 429-445.
66. Arguello, J.A. Dormancy in Garlic (*Allium sativum* L.) cv. Rosado Paraguayo I. Levels of growth substances in "seed cloves" under storage / J.A. Arguello, R. Bottini, R. Luna G.A. De Bottini, R.W. Racca // *Plant & Cell Physiology*. – 1983. – Vol. 24(8). – P. 1559-1563.
67. Arguello, J.A. Hormonal regulation of dormancy in garlic (*Allium sativum* L.) cv. Rosado Paraguayo / J.A. Arguello, A. Ledesma, R. Bottini // *Agriscientia*. – 1991. – Vol. 8. – P. 9-14.
68. ASTM E170 Terminology Relating to Radiation Measurements and Dosimetry. – ASTM. – p. 12.
69. ASTM F1640 Guide for selection and use of packaging materials for foods to be irradiated. – ASTM. – p. 4.
70. ASTM E925 Standard Practice for Monitoring the Calibration of Ultraviolet-Visible Spectrophotometers whose Spectral Bandwidth does not Exceed 2 nm. – ASTM. – p. 7.
71. Baraldi, D. Effect of gibberellic acid, and kinetin on irradiated, chemically treated and untreated potatoes / D. Baraldi // *Identification of irradiated foods: proceedings of an international colloquium*, Karlsruhe, F.R. Germany, 1973. – P. 329.
72. Baraldi, D. Use of ionizing radiations to inhibit sprouting of potatoes 1. Tests on the prolongation of shelf-life, and the quality of Bintje potatoes / D. Baraldi, G. Guerrieri, C. Muiccio // *Ind. Conserve*. – 1971. – Vol. 4. – P. 269.

73. Benkeblia, N. Effect of gamma irradiation and temperature on fructans (fructo-oligosaccharides) of stored onion bulbs *Allium cepa* L. / N. Benkeblia, S. Onodera, N. Shiomi // Food Chemistry. – 2004. – Vol. 87. – P. 377-382.
74. Benkeblia, N. Phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase, pyruvic acid and total phenolics variations in onion bulbs during long-term storage / Benkeblia N. // LWT – Food Science and Technology. – 2000. – Vol. 33. – No. 2. – P. 112-116.
75. Benkeblia, N. Storage technology of onion bulbs c.v. Rouge Amposta: effects of irradiation, maleic hydrazide and carbamate isopropyl, N-phenyl (CIP) on respiration rate and carbohydrates / N. Benkeblia, P. Varoquaux, N. Shiomi, H. Sakai // International Journal of Food Science and Technology. – 2002. – Vol. 37. – P. 169-175.
76. Berger, A. The preservation of thin skin potatoes with low dosage x-rays / A. Berger, H. Hansen // Z. Lebensm. Untersuch. Forsch. – 1962. – Vol. 117. – P. 215-225.
77. Bliznyuk U.A. Computer simulation to determine food irradiation dose levels / U.A. Bliznyuk, P.Yu. Borchegovskaya, A.P. Chernyaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 365. – P. 1-7.
78. Boffi, C. Effect of gamma irradiation on potatoes / C. Boffi, L. Ferrari, G. Ferrara // Chim. Ind. (Milan). – 1969. – Vol. 51. – P. 173.
79. Burton, W.G. The irradiation of ware potatoes / W.G. Burton, W.H. De Jong // International Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 1959. – Vol. 6. – P. 183.
80. Burton, W.G. Use of γ -radiation for preventing the sprouting of potatoes / W.G. Burton, R.S. Hannan // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1957. – Vol. 12. – P. 707.
81. CAC/RCP 19-1979, rev. 2003. Recommended International Code of Practice for the Radiation Processing of Food. – Codex Alimentarius international food standards. – 6 p.
82. Campbell, M.A. Changes in the cell cycle status and expression of p34(CDC2) kinase during potato tuber meristem dormancy / M.A. Campbell, J.C. Suttle, T.W. Sell // Physiologia Plantarum. – 1996. – Vol. 98. – P. 743-752.
83. Chachin, K. Effect of delay between harvest and irradiation and storage temperature on the sprout inhibition of onions by gamma irradiation / K. Chachin, K. Ogata // Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. – 1971. – Vol. 18. – No. 8. – P. 378-382.
84. Chizh, T.V. Influence of gamma radiation treatment of vegetable crops of allium genus on their germination during storage / T.V. Chizh, N.N. Loy, A.N. Pavlov, I.V. Poliakova, Y.A. Dorn // AIP Conference Proceedings 2478, 050010 (2022). DOI: 10.1063/5.0099273.

85. CODEX STAN 106-1983, rev. 1-2003 General standard for irradiated foods. Codex Alimentarius international food standards. – 3 p.
86. CODEX STAN 1-1985 General standard for the labelling of pre-packaged foods. Codex Alimentarius international food standards. – 9 p.
87. Croci, C.A. Effect of gamma rays on sprouting of seed cloves of garlic (*Alium sativum* L.): Levels of auxin-like substances and growth inhibitors / C.A. Croci, J.A. Arguello, G.A. Orioli // Environmental and Experimental Botany. – 1990. – Vol. 30. – No. 1. – P. 9-15.
88. Curzio, O.A. Extending onion storage life by gamma-irradiation / O.A. Curzio, C.A. Croci // Journal of Food Processing and Preservation. – 1983. – Vol. 7(1). – P. 19-23.
89. Dallyn, S.L. Effects of gamma and fast electron irradiation on storage qualities of onions / S.L. Dallyn, R.L. Sawyer // Proceedings of the American Society for Horticultural Science. – 1959. – Vol. 73. – P. 390.
90. Dhali, K. Effect of gamma irradiation on potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers influencing post-harvest quality parameters / K. Dhali, N. Basak, S. Bhattacharya // Journal of Crop and Weed. – 2017. – Vol. 13(2), – P. 129-135.
91. Diehl, J.F. Experiences with irradiation of potatoes and onions / J.F. Diehl // Lebensm. Wiss. Technol. – 1977. – Vol. 10. – P. 178.
92. Dosimetry for Food Irradiation, Technical Reports Series No. 409. – Vienna: International Atomic Energy Agency. – 2002. – 168 p.
93. Dosimetry for Radiation Processing – Handcover. / W. L. McLaughlin, A.W. Boyd, K. H. Chadwick, J.C. McDonald, A. Miller. – London, 1989.
94. Effect of gamma irradiation and chemical treatment on quality of stored potatoes for fresh market and processing usage: report 000-1539-1 / Kwait E.V. – U.S. Atomic Energy Commission, Washington D.C., 1965.
95. Ellis, N.K. A study of the feasibility of utilizing ionizing radiation to increase the storage life of white potatoes / N.K. Ellis, M. Workman, M.E. Patterson, R.B. Jhonson // Progress Report. – 1958. – No. 8.
96. El-Oksh, I.I. Comparative effects of gamma irradiation and maleic hydrazide on storage of garlic / I.I. El-Oksh, A.S. Abdel-Kader, Y.A. Wally, A.F. El-Kholly // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1971. – Vol. 96. – No. 5. – P. 637-640.
97. Engelbrecht, L. Increase of cytokinin activity in potato tubers near the end of dormancy / L. Engelbrecht, M. Bielińska-Czarnecka // Biochemie und Physiologie der Pflanzen. – 1972. – Vol. 163. – P. 499-504.

98. Ezekiel, R. Effect of low dose of gamma irradiation on the chipping quality of potatoes stored at 8 and 12 °C / R. Ezekiel, B. Singh, P.S. Datta // *Potato Journal*. – 2008. – Vol. 35. – P. 31-40.
99. Farag, S.E.A. Changes of endogenous hormones in irradiated potato tubers / S.E.A. Farag, H.M. El-Saeid, A.F. Abou-Hadid // *Egyptian Journal of Horticulture*. – 1992. – Vol. 19(2). – P. 121-130.
100. Feasibility of irradiating Washington fruits and vegetables for Asian export markets: Report No.: PNL-6131 prepared for U.S. Department of Energy under Contract DE-AC06-76RLO 1830 and the Washington State Department of Agriculture. / D.E. Eakin, R.F. Hazelton, J.K. Young B.A. Prenguber, A.D. O'Rourke, M.N. Heim – Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA). – 132 p.
101. Filep, G. Effect of temperature and gamma irradiation on changes in carbohydrate composition of some potato varieties during storage / G. Filep, A. Kaposztassy // *Novenytermeles*. – 1971. – Vol. 20(4). – P. 289-301.
102. Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food. – Geneva: World Health Organization, 1988. – 34 p.
103. Frazier, M.J. Potato Sprout inhibition and tuber quality after treatment with high-energy ionizing radiation / M.J. Frazier, G.I. Kleinkopf, R.R. Brey, N.L. Olsen // *American Journal of Potato Research*. – 2006. – Vol. 83. – P. 31-39.
104. Furata, J. The γ -ray dose rate effect in the sprout inhibition of onion and potato / J. Furata, E. Hiraoka, S. Okamoto, H. Fujishiro, T. Kanazawa, T. Ohnishi, Y. Tsujii, S. Hori, T. Ojima // *Annu. Rept. Radiation Center, Osaka Prefect.* – 1978. – Vol. 19. – P. 69.
105. Gardiner, M.G. Peroxidase changes during the cessation of elongation in *Pisum sativum* stems / M.G. Gardiner, R. Cleland // *Phytochemistry*. – 1974. – Vol. 13. – No. 7. – P. 1095-1098.
106. Ghod, S. Effect of gamma irradiation on potatoes and onions. Determination of vitamin C and carbohydrates before and after irradiation / S. Ghod, F. Didevar, I. Hamidi, B. Malekghassemi // *Lebensm. Ernaehr.* – 1976. – Vol. 29. – P. 81.
107. Giroux, M. Nutritional adequacy of irradiated meat – a review / M. Giroux, M. Lacroix // *Food Research International*. – 1998. – Vol. 31. – No. 4. – P. 257-264.
108. Gökman, V. Effects of controlled atmosphere storage and lowdose irradiation on potato tuber components affecting acrylamide and color formations upon frying / V. Gökman, B. Akbudak, A. Serpen, J. Acar, Z.M. Turan, A. Eris // *European Food Research and Technology*. – 2007. – Vol. 244. – P. 681-687.

109. Gounelle, H. Effect of irradiation on C, K and B group vitamins / H. Gounelle, C. Marnay-Gulat, M. Fauchet, J.P. Chacun // *Ann. Nutr. Aliment.* – 1968. – Vol. 22. – P. 39.
110. Grunewald, T. Storage tests with irradiated and non-irradiated onions / T. Grunewald, G. Rumpf, I. Tromel // *Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe.* – 1978. – Vol. 2.
111. Grunewald, T. Studies on sprout inhibition of onions by irradiation in the Federal Republic of Germany / Grunewald T. // *Food Preservation by Irradiation.* – 1978. – Vol. 1. – P. 123.
112. Grunewald, T. Technological aspects of the irradiation of onions / Grunewald T. // *Lebensm. Wiss. Technol.* – 1977. – Vol. 10. – P. 1-6.
113. Gustafson, F.G. Influence of γ -radiation of potato tubers on the rate of respiration / F.G. Gustafson, L.E. Brownell, R.A. Martens // *American Journal of Potato Research.* – 1957. – Vol. 34. – P. 177.
114. Habibunissa, M. Effect of Cobalt-60 gamma-rays on the storage behavior of garlic bulb at room temperature and in cold storage / M. Habibunissa, P.B. Mathur, Z. Banu // *Indian Food Packer.* – 1971. – Vol. 25. – P. 10.
115. Hansen, T. Dependency of sprout inhibiting radiation dose on potato variety / T. Hansen, T. Grunewald // *Deutsche Lebensmittel-Rundschau.* – 1964. – Vol. 60. – P. 50.
116. Hartmann, A. Reactivation of meristem activity and sprout growth in potato tubers require both cytokinin and gibberellin / A. Hartmann, M. Senning, P. Hedden, S. Sonneward // *Plant Physiol.* – 2011. – Vol. 155. – P. 776-796.
117. Hendel, C.E. Treatment of potatoes with gamma rays: Effect of delay between harvest and irradiation / C.E. Hendel, H.K. Burr // *Food Technol.* – 1961. – Vol. 15. – P. 218.
118. Hori, S. Gamma irradiation of onion bulbs to inhibit sprouting. II. Browning phenomenon of inner buds of irradiated onion bulbs and a method for early detection for inhibition of sprouting / S. Hori, T. Kawasaki // *Annual Rept. Radiation Center Osaka Prefect.,* 1965. – Vol. 5. – P. 90.
119. Hossain, M.A. Gamma irradiation of potatoes for the preservation at semi-commercial scale / M.A. Hossain, A.K. Siddiqui, S.N. Hossain, M. Hossain // *Journal of Nuclear Research and Applications. Series A.* – 1995. – Vol. 52. – P. 15-16.
120. IAEA-TECDOC-937. Irradiation of bulbs and tuber crops – A compilation of technical data for its authorization and control. – Vienna (Austria): International Atomic Energy Agency, 1997. – 102 p.
121. International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), Code of Good Irradiation Practice for sprout inhibition of bulb and tuber crops, ICGFI Document No. 8, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1991.

122. ISO 1673:1991 Onions – Guide to storage. – ISO TC 34/SC 14, 1991. – 24 P.
123. ISO/ASTM 51204 Practice for dosimetry in gamma irradiation facilities for food processing. – ASTM. – 10 p.
124. ISO/ASTM 51261 Guide for selection and calibration of dosimetry systems for radiation processing. – ASTM. – 18 p.
125. ISO/ASTM 51431 Practice for dosimetry in electron beam and x-ray bremsstrahlung irradiation facilities for food processing. – ASTM. – 14 p.
126. ISO/ASTM 51539 Guide for the use of radiation-sensitive indicators. – ASTM. – 3 p.
127. ISO/ASTM 51608:2015. International organization for standardization, American society for testing and materials. Practice for dosimetry in an X-ray (bremsstrahlung) facility for radiation processing at energies between 50 keV and 7.5 MeV. – ASTM. – 16 p.
128. ISO/ASTM 51649:2015. International organization for standardization. American society for testing and materials. Practice for dosimetry in an electron beam facility for radiation processing at energies between 300 keV and 25 MeV. – ASTM. – 35 p.
129. ISO/ASTM 51702 Practice for dosimetry in gamma irradiation facilities for food processing. – ASTM. – 8 p.
130. ISO/ASTM 52303 Standard guide for absorbed-dose mapping in radiation processing facilities. – ASTM. – 11 p.
131. Jaarma, M. Effect of ionizing radiations on sprouting and biochemical and physiological changes in potato tubers / Jaarma M. // Riso Report 16, Danish Atomic Energy Commission. – 1969. – Vol. 70.
132. Jeon, S.M. Biochemical effect on potato tubers irradiated by gamma-ray at sprout-inhibition dose / S.M. Jeon, Y.S.P. Chang, K.H. Chung, H.O. Cho // Journal of the Korean Chemical Society. –1985. – Vol. 28. – No. 1. – P. 28-35.
133. Joint FAO/IAEA/WHO Study Group of High-dose irradiation (Wholesomeness of Food Irradiated with Doses above 10 kGy) Technical Report Series 890. – 1997. –197 p.
134. Joshi, M.R. Effects of gamma irradiation and temperature on sugar and vitamin C changes in five Indian potato cultivars during storage / M.R. Joshi, A.N. Srirangarajan, P. Thomas // Food Chemistry. – 1990. – Vol. 35(3). – P. 209-216.
135. Khan, I. Semi-commercial trials on radiation preservation of potatoes under tropical conditions / I. Khan, M. Wahid, A. Sattar, M. Jan // Journal of Food Processing and Preservation. – 1986. – Vol. 10. – P. 239-246.

136. Kilcast, D. Effect of irradiation on vitamins / D. Kilcast // Food Chemistry. – 1994. – Vol. 49. – P. 157-164.
137. Koehler, P. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination / P. Koehler, G. Hartmann, H. Wieser, M. Rychlik // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55. – P. 4678-4683.
138. Kume, T. Effects of dose and dose rate of gamma radiation on the sprout inhibition of onions / Kume T., Tachibana H., Aoki S., Umeda K., Sato T. // Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. – 1977. – Vol. 24. – No. 1. – P. 37-39.
139. Kwon J.H. Effect of gamma irradiation dose and timing of treatment after harvest on the storability of garlic bulbs / J.H. Kwon, M.W. Byun, H.O. Cho // Journal of Food Science. – 1985. – Vol. 50. – P. 379-381.
140. Lee, M.S. Effects of ionizing radiation on sprout inhibition and nutritive value of potato tubers / M.S. Lee, H.L. Kim // Korean Journal of Food Science and Technology. – 1972. – Vol. 4. – No. 1. – P. 29-35.
141. Leszczynski, W. Effect of gamma irradiation on potato quality and subsequent production of chips / W. Leszczynski, A. Golachowski, G. Lisinska, A. Pęksa // Polish journal of food and nutrition sciences. – 1992. – Vol. 1(42). – No. 3. – P. 61-70.
142. Lewis, N.F., Mathur P.B. Extension of storage lives of potatoes and onions by Cobalt-60 γ -rays / N.F. Lewis, P.B. Mathur // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 1963. – Vol. 14. – No. 9. – P. 447-450.
143. Lustrte, A.O. The technological feasibility of gamma radiation for the extended commercial storage of agricultural crops (1) Onions (2) Garlic. / A.O. Lustrte, R.A. Roneal, F.G. Villaruel, I. Ang // IAEA-SR-60. Seminar on Food Irradiation for developing countries in Asia and the Pacific. Tokyo, 1981.
144. Mahmoud, A.A. A study of some chemical changes in onion bulbs and their inner buds as affected by gamma irradiation and storage / A.A. Mahmoud, B. Kalman, J. Farkas // International Symposium on Food Preservation by Irradiation, Wageningen, Netherlands, 21–25 November 1977. – IAEA, 1978. – Vol. 1. – P. 99-110.
145. Mahto, R. Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.), cv. 'Kufri Sindhuri', in non-refrigerated storage conditions / R. Mahto, M. Das // Postharvest Biology and Technology. – 2014. – Vol. 92. – P. 37-45.
146. Mathur, P.B. Reversal of some effects of gamma irradiation by ethyl ester of gibberellic acid / P.B. Mathur // Nature. – 1965. – Vol. 207. – P. 212-213.

147. Mathur, P.B. Reversal of γ -ray induced dormancy of potato tubers by gibberellic acid / P.B. Mathur // *Nature*. – 1961. – Vol. 190. – P. 547-548.
148. Mathur, P.B. Variety, developmental stage, and dose rate in irradiation of the potato / P.B. Mathur // *Nature*. – 1963. – Vol. 198. – P. 99.
149. Matin, M.A. Pilot-scale studies of irradiation and storage of onions / M.A. Matin, M.M. Hossain, M.R. Amin, S. Rahman // *Food Irradiation Processing*. – 1985. – P. 17-33.
150. Matsuyama, A. Sprout inhibition in tubers and bulbs / A. Matsuyama, K. Umeda // in: *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. Edited by E. S. Josephson and M. S. Peterson. Boca Raton (Florida): CRC Press. – 1983. – Vol. 3. – P. 231.
151. Maxie, E.G. Food irradiation-physiology of fruits as related to feasibility of the technology / E.G. Maxie, A. Abdel-Kader // *Advances in Food Research*. – 1966. – Vol. 15. – P. 105-145.
152. McKinney, F.E. Potato-sprout inhibition by radiation. Part I / F.E. McKinney // *Isotopes Radiat. Technol.* – 1971. – Vol. 1. – P. 87.
153. Meshitsuka, G. Sprout inhibition of onion bulbs by γ -rays / G. Meshitsuka, S. Iba, M. Ika, H. Matsubara, M. Tabei, K. Yamazaki, Y. Inokoshi, S. Kaneko // *Tokyo Metropolitan Isotope Centre Annu. Rept.* – 1962. – Vol. 1. – P. 78.
154. Metlitsky L.V. Use of γ -radiation in lengthening storage time of potatoes / L.V. Metlitsky, B.A. Rubin, V.G. Krushev // *Proceedings of the All Union Conference on the application of radioactive and stable isotopes and radiation in the national economy and science*, – 1957.
155. Mikaelson K. Improved storage quality of potatoes, vegetables and fruits exposed to gamma radiation / K. Mikaelson, H.K. Brenna, R. Landfall // *Proc. 2nd Intl. Conf. on the Peaceful Use of Atomic Energy* 27, 1958. – P 401.
156. Mikaelson, K. Improved storage ability of potatoes exposed to gamma radiation / K. Mikaelson, K. Roer // *Acta Agrie. Scand.* – 1956. – Vol. 6. – P. 145.
157. Miladı Ları, S. Physiological responses of gamma-irradiated onion bulbs during storage / S. Miladı Ları, M. Ahmadi, A. Kashi, A. Mousavi, Y. Mostofi // *Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi)*. – 2020. – Vol. 26. – P. 442-451.
158. Molco, N. Chemical analysis of stored irradiated onions / N. Molco, R. Padova // *Res. Lab. Annu. Rept.* – 1969. – Vol. 180.
159. Mondy, N.L. Irradiation and packaging affect the nitrate-nitrogen concentrations of potatoes / N.L. Mondy, K. Seetharaman, C.B. Munshi // *Journal of food science*. – 1992. – Vol. 57. – No. 6. – P. 1357-1358.

160. Moy, J.H. Radurization and Radiation: Fruits and vegetables / J.H. Moy // Preservation of Food by Ionizing Radiation. – 1983. – Vol. 3. – P. 83.
161. Mullins, W.R., Treatment of onions with gamma rays: Effect of delay between harvest and irradiation / W.R. Mullins, H.K. Burr // Food Technol. – 1961. – Vol. 15. – P. 178.
162. Nandpuri, K.S. Effect of gamma irradiation on storage life and quality of onion bulbs under ordinary storage conditions / K.S. Nandpuri, B.S. Soochi, K.S. Randhawa // Journal Resources of Punjab Agricultural University. – 1969. – Vol. 6. – P. 755.
163. Nishibori, S. Free sugar content in onion bulbs of different cultivars and different production areas and their changes by storage and gamma irradiation / S. Nishibori, K. Namiki // Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi – 1982. – Vol. 29. – No. 5. – P. 271-276.
164. Nissen, P. Dose response of auxins / P. Nissen // Physiologia Plantarum. – 1985. – Vol. 65(4). – P. 357-374.
165. Ogata, K. Irradiation of fruits and vegetables. Sprout inhibition and fruit ripening / K. Ogata, K. Chachin // Kagaku To Seibutsu – 1972. – Vol. 10. – No. 4. – P. 234-242.
166. Ogata, K. The effect of gamma irradiation on sprout prevention and its physiological mechanism in the potato tuber and onion bulb / K. Ogata, T. Iwata, K. Chachin // Bulletin of the Institute for Chemical Research, Kyoto University. – 1959. – Vol. 37. – P. 425-436.
167. Panalkas, T. The effect of storage on ascorbic acid content of gamma irradiated potatoes / T. Panalkas, O. Pelletier // Food Res. – 1960. – Vol. 25. – P. 33.
168. Park, N.P. Studies on the sprout inhibition of potatoes with gamma irradiation / Park N.P., Kim Y.S., Choe E.H. // J. Nucl. Sci. (Seoul). – 1967. – Vol. 7. – P. 7.
169. Park, N.P. Studies on the storage of onions by radiation / N.P. Park, E.H. Choi, K.E. Byun // Korean Journal of Food Science and Technology – 1972. – Vol. 4. – P. 84.
170. Patzold, C. Influencing potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and Jerusalem artichokes (*Helianthus tuberosus* L.) by x-irradiation / C. Patzold, W. Kolb // Beitr. Biol. Pflanz. – 1957. – Vol. 33. – P. 437.
171. Rahman, M.H. Effects of gibberellic acid (GA3) on breaking dormancy in garlic (*Allium sativum* L.) / M.H. Rahman, M.S. Haque, M.A. Karim, M. Ahmed // International Journal of Agriculture & Biology. – 2006. – P. 63–65.
172. Results of the Canadian Pilot Scale Potato Irradiation Programme // Food Irradiation. – 1963. – Vol. 3. – P. 2.

173. Rezaee, M. Impact of post-harvest radiation treatment timing on shelf life and quality characteristics of potatoes / M. Rezaee, M. Almassi, S. Minaei, F. Paknejad // *Journal of Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50(2). – P. 339-345.
174. Rezaee, M. Potato sprout inhibition and tuber quality after postharvest treatment with gamma irradiation on different dates / M. Rezaee, M. Almassi, A.M. Farahani, S. Minaei, M. Khodadadi // *Journal of Agricultural Science and Technology*. – 2011. – Vol. 13. – P. 829-842.
175. Roth, J.S. Ribonuclease. IV. The effect of whole body X-irradiation on the ribonuclease system of rat liver / J.S. Roth // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. – 1956. – Vol. 60. – No. 1. – P. 7-13.
176. Salem, S.A. Effect of gamma radiation on the storage of onions used in the dehydration industry / S.A. Salem // *Science of Food Agriculture*. – 1974. – Vol. 25. – No. 3. – P. 257-262.
177. Sarkar, P. Effect of Gamma Irradiation on Sprout Inhibition and Physical Properties of Kufri Jyoti Variety of Potato / P. Sarkar, S.K. Mahato // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 9, – No. 7, – P. 1066-1079.
178. Sawyer, R.L. The effect of gamma irradiation on storage life of potatoes / R.L. Sawyer, S.L. Dallyn // *American Journal of Potato Research*. – 1955. – Vol. 32. – P. 41.
179. Scheld, W. Influence of x-irradiation on sprouts and metabolism of potato tubers during storage / W. Scheld, F. Heilinger // *Atompraxis*. – 1968. – Vol. 14. – P. 299.
180. Schreiber, J.S. A report on the commercial storage of irradiated white potatoes / J.S. Schreiber, M.E. Highlands // *Maine Farm Res.* – 1958. – Vol. 5 – P. 19.
181. Schreiber, J.S. A study of the biochemistry of irradiated potatoes stored under commercial conditions / J.S. Schreiber, M.E. Highlands // *Food Res.* –1958. – Vol. 23. – P. 464.
182. Schwimmer, S. Gamma irradiation of potatoes: effects on sugar content, chip color, germination, greening, and susceptibility to mold / S. Schwimmer, H.K. Burr, W.O. Harrington, W.J. Weston // *American potato journal*. – 1957. – Vol.34. – 23-41.
183. Sharma, K. Importance of growth hormones and temperature for physiological regulation of dormancy and sprouting in onions / K. Sharma, S.H. Nile, S.W. Park // *Food Reviews International*. – 2016. – Vol. 32. – P. 233-255.
184. Sharma, P. Physio-chemical behavior of γ -irradiated garlic bulbs under ambient storage conditions / P. Sharma, S.R. Sharma, R.K. Dhall, T.C. Mittal, Surekha Bhatia // *Journal of Stored Products Research*. – 2020. – Vol. 87. – P. 1.

185. Siddiqui, A.K. Preservation of Potatoes by application of gamma radiation / A.K. Siddiqui, M.A. Matin, M.A. Hossain, M.R. Amin, M.M. Hossain // *Journal of Nuclear Research and Applications*. – 1973. – Vol. 7. – P. 57.
186. Singson, C.C. Use of gamma irradiation for the extended commercial storage of Philippine onions and other agricultural produce / C.C. Singson, Z.K. Deguzman, E.B. Mendoza // *Food Preservation by Irradiation*. – 1978. – Vol. 1. – P. 133.
187. Skou, J.P. Studies on the effects of ionizing radiation for extending the storage lives of onions / J.P. Skou // *Riso Report*, – 1971. – No. 238. – P. 1-46.
188. Soares, I.G.M. Physico-chemical and sensory evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) after irradiation / I.G.M. Soares, E.B. Silva, A.J. Amaral, E.C.L. Machado, J.M. Silva // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. – 2016. – Vol. 88(2). – P. 941-950.
189. Sparrow, A.H. Effects of x-ray, neutron, and chronic gamma irradiation on growth and yield of potatoes / A.H. Sparrow, E. Christensen // *American Journal of Botany*. – 1950. – Vol. 37. – P. 667.
190. Suitability of potato products prepared from irradiated and chemically inhibited potatoes: report IDO-10042 / Freund G.A. – Western Nuclear Corporation, U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C. 1965.
191. Sukhova, L.S. Changes in the levels of free IAA and cytokinins in potato tubers during dormancy and sprouting / L.S. Sukhova, I. Macháčková, J. Eder, N.D. Bibik, N.P. Korableva // *Biologia Plantarum*. – 1993. – Vol. 35. – P. 387-391.
192. Sussman, A.S. The effect of ionizing radiation upon the respiration and oxidases of the potato tuber / A.S. Sussman // *Journal of Cellular and Comparative Physiology*. – 1953. – Vol. 42. – No. 2. – P. 273-283.
193. Takano, H. Sprout inhibition of onions by ionizing radiation. Part IV. Effect of post-harvest treatment on extension of irradiation time for storage of onions / H. Takano, K. Umeda, S. Aoki, T. Sato // *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. – 1974. – Vol. 21. – No. 6. – P. 273-279.
194. Thomas, P. Radiation preservation of foods of plant origin. Onions and other bulb crop / P. Thomas // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 1986. – Vol. 21. – P. 95.
195. Thomas, P. Radiation preservation of foods of plant origin. Potato and other tuber crops / P. Thomas // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 1984. – Vol. 19. – P. 327-339.
196. Thomas, P. Storage deterioration in gamma irradiated and unirradiated Indian potato cultivars under refrigeration and tropical temperatures / P. Thomas, A.N. Srirangarajan, M.R. Joshi, M.T. Janave // *European Potato Journal*. – 1979. – Vol. 22. – P. 261-278.

197. Thomas, P. Studies on sprout inhibition of onions by gamma irradiation. Influence of time interval between harvest and irradiation, radiation dose and environmental conditions on sprouting / P. Thomas, A.N. Srirangarajan, S.P. Limaye // *Radiation Botany*. – 1975. – Vol. 15. – P. 215.
198. Umeda, K. Sprout inhibition of onions by ionizing radiation. Part I. Effect of delay between harvest and irradiation on sprouting of var. Sapporoki and Senshuki / K. Umeda, H. Takano, R. Sato // *Shokuryo Kenkyujo Kenkyu Hokoku*. – 1970. – Vol. 25. – P. 24.
199. Umeda, K. Sprout inhibition of potatoes by ionizing radiation Part I. Effect of delay between harvest and irradiation on sprouting / K. Umeda, H. Takano, T. Sato // *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. – 1969. – Vol. 16. – No. 11. – P. 508-514.
200. Umeda, K. The first potato irradiator in Japan – The success and setbacks encountered during three years commercial operation / K. Umeda // *Food Irradiat. Inform.* – 1978. – Vol. 8(31). – P. 24-37.
201. Ussuf, K.K. Effect of gamma irradiation on indole acetic acid synthesizing system in potatoes / K.K. Ussuf, P.M. Nair // *Phytochemistry*. – 1971. – Vol. 10. – No. 5. – P. 929-937.
202. Ussuf, K.K. Effect of gamma irradiation on the indole acetic acid synthesizing system and its significance in sprout inhibition of potatoes / K.K. Ussuf, P.M. Nair // *Radiation Botany*. – 1974. – Vol. 14. – P. 251-256.
203. Van der Zaag, D.E. Potatoes and their cultivation in the Netherlands / D.E. Van der Zaag. – Dutch Information Center for Potatoes, 1973. – 72 p.
204. Vijay, P. Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives / P. Vijay, R. Ezekiel, P. Rakesh // *J. Food Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 53. – No. 1. – P. 1-18.
205. Wholesomeness of irradiated food. Technical Report Series, No. 659. – Geneva, (Switzerland): World Health Organization, 1981. – 36 p.
206. Wills, P.A. Some effects of gamma radiation on several varieties of Tasmanian potatoes. Biochemical changes / P.A. Wills // *Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* – 1965. – Vol. 5. – P. 289.
207. Winchester, R.V. Effect of gamma radiation on the chemical constituents of some South African varieties of potatoes / R.V. Winchester, F.M. Visser // *Atomkernenergie*. – 1975. – Vol. 26. – P. 276-283.
208. Woggen, H. Vitamin C content of germination inhibited potatoes / H. Woggen // *Ernahrungsforschung*. – 1963. – Vol. 8. – P. 387.

209. Zehnder, H.J. The irradiation preservation of onions – Experiments 1977–1983 / H.J. Zehnder // *Alimenta*. –1984. – Vol. 23. – P. 114.
210. Zidan, E.A. Extending the storage life of initially sprouted potato tubers by gamma irradiation (the summer crop) / E.A. Zidan // *Food Irradiation*. – 1968. – Vol. 9, – P. 14.

Картофель. Сорта: Ароза, Вектор, Журавинка, Колобок, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Ред Скарлетт, Уладар. Температура хранения +6...+8 °С

Срок хранения после облучения: 0 мес. Дата фотофиксации: 11.11.2018

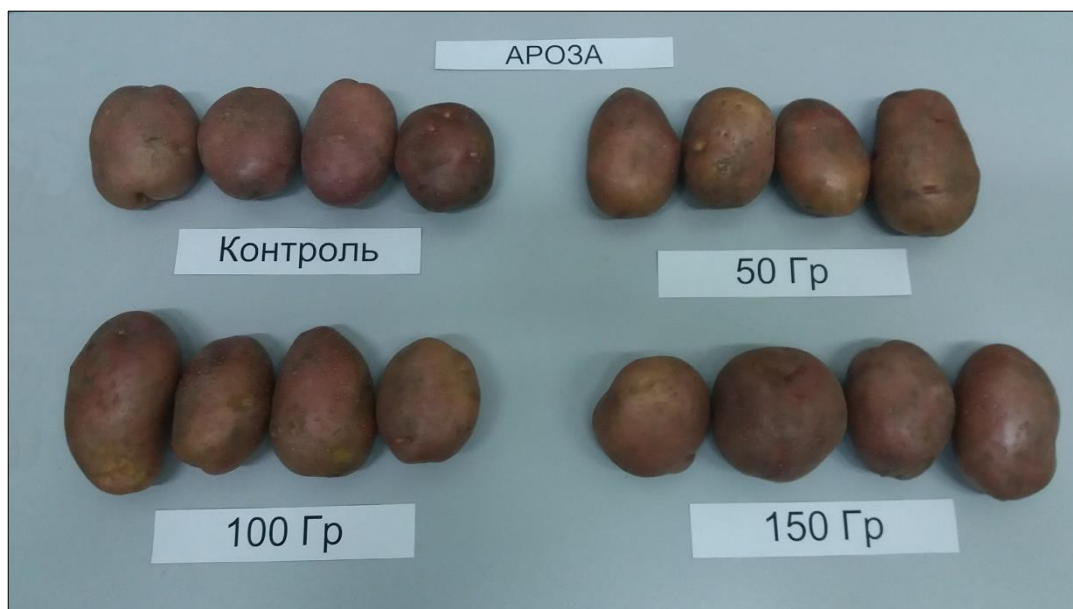


Рисунок А 1 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Клубни не проросшие, не увядшие

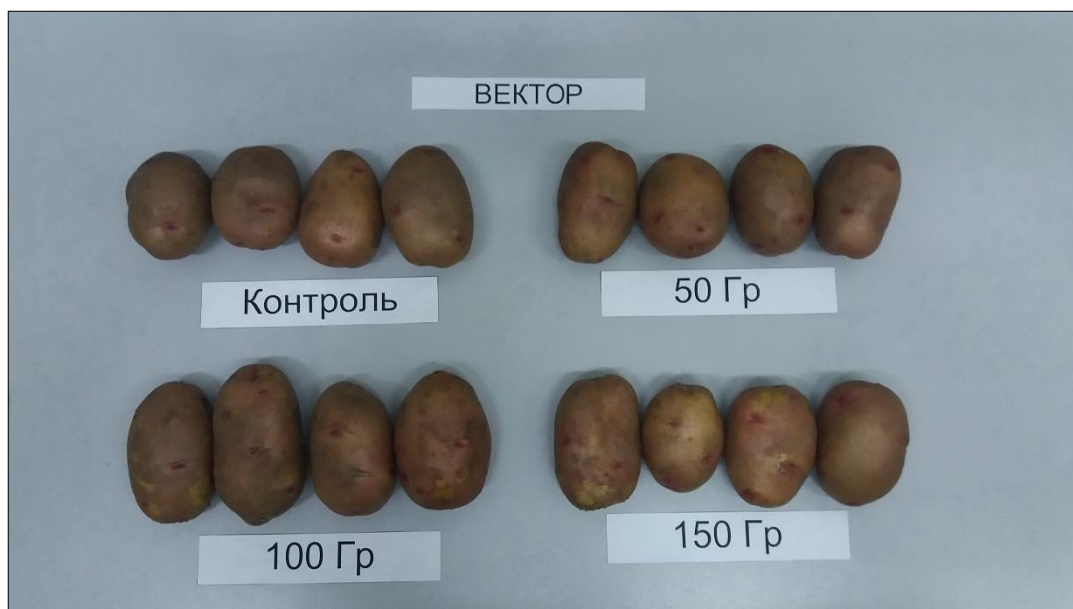


Рисунок А 2 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Клубни не проросшие, не увядшие

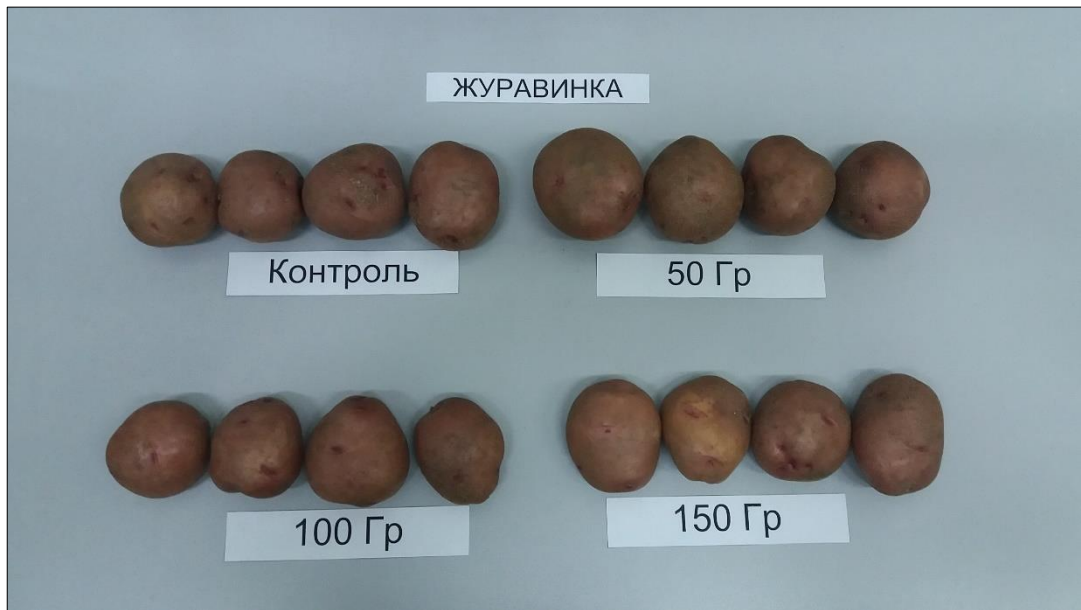


Рисунок А 3 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Клубни не проросшие, не увядшие

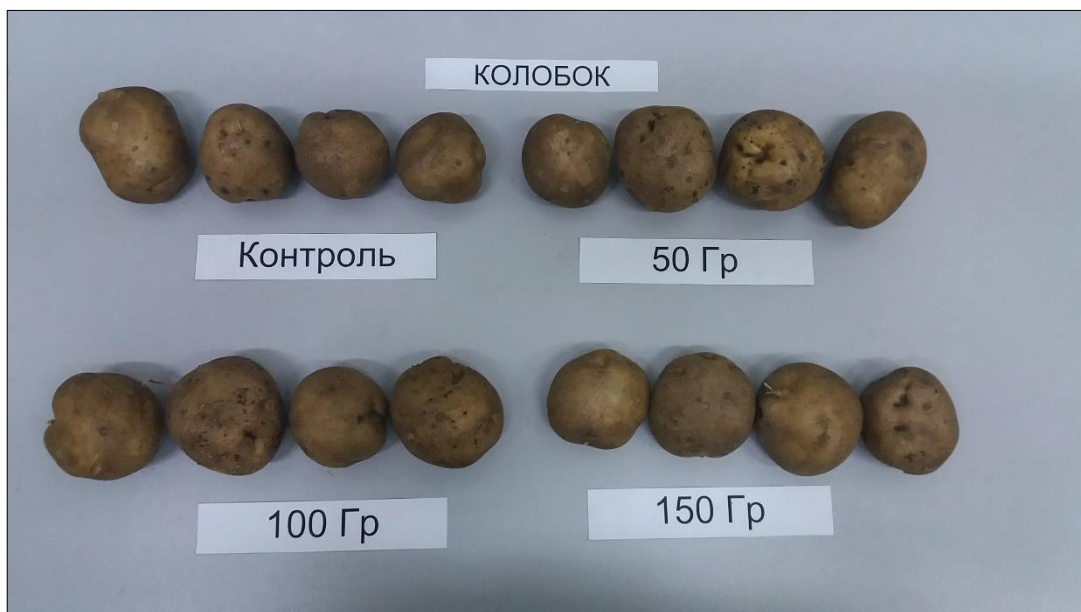


Рисунок А 4 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Клубни не проросшие, не увядшие

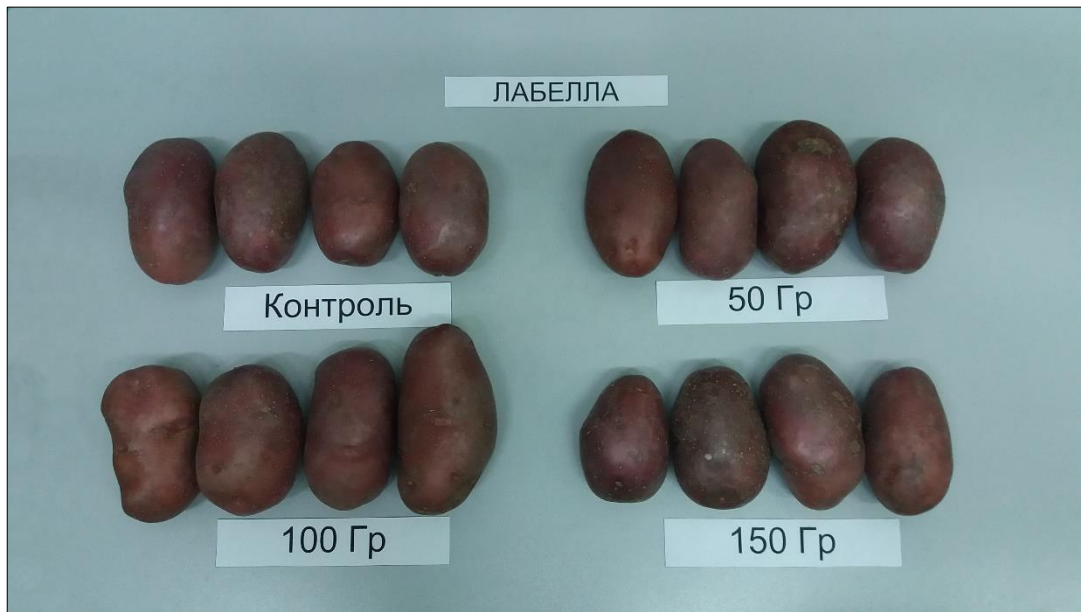


Рисунок А 5 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Клубни не проросшие, не увядшие

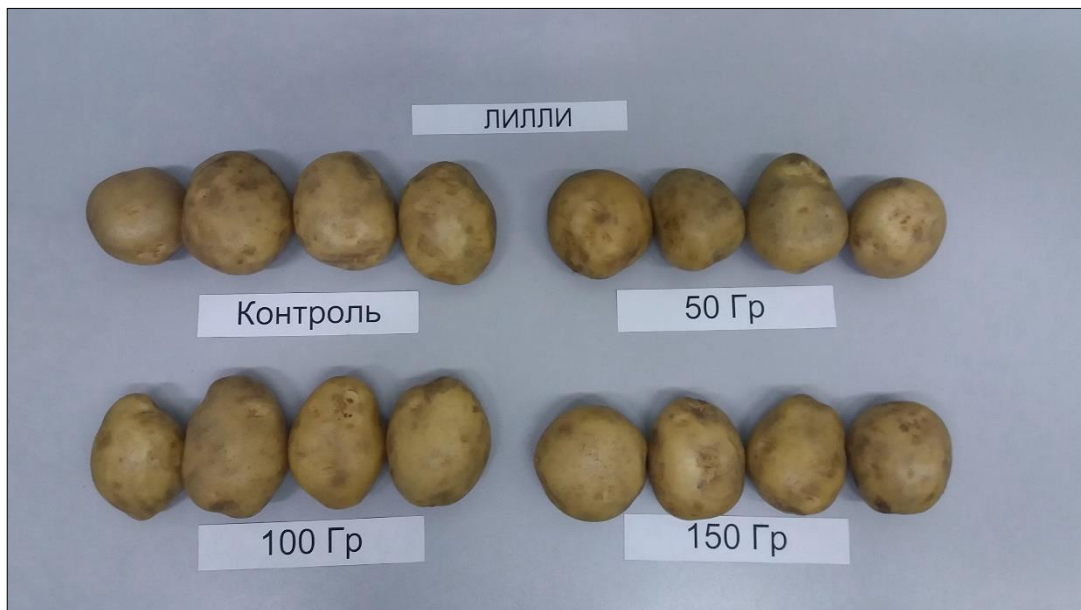


Рисунок А 6 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Клубни не проросшие, не увядшие

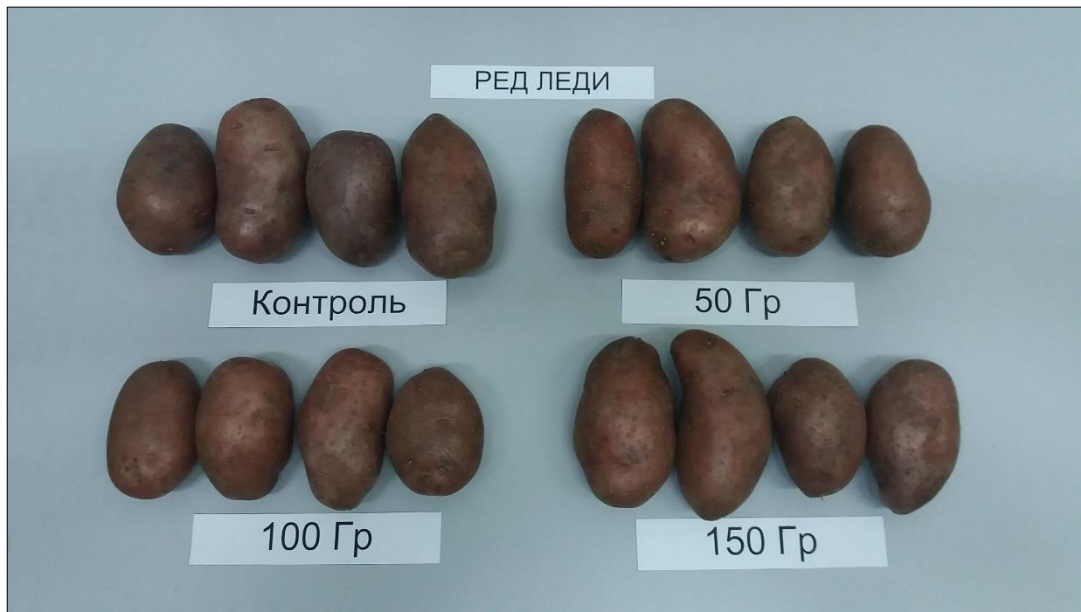


Рисунок А 7 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Клубни не проросшие, не увядшие

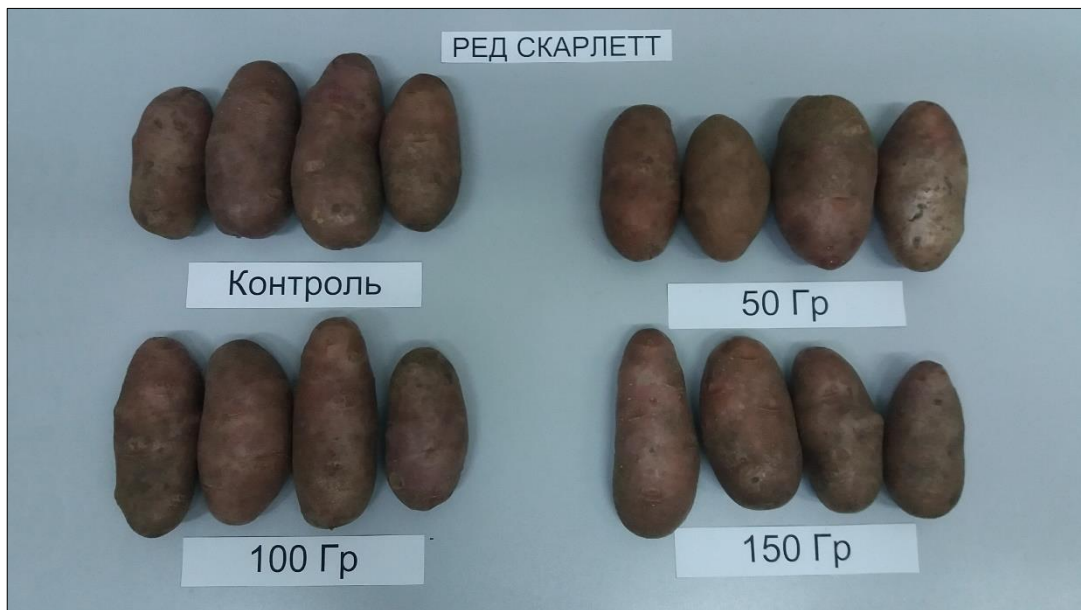


Рисунок А 8 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Клубни не проросшие, не увядшие

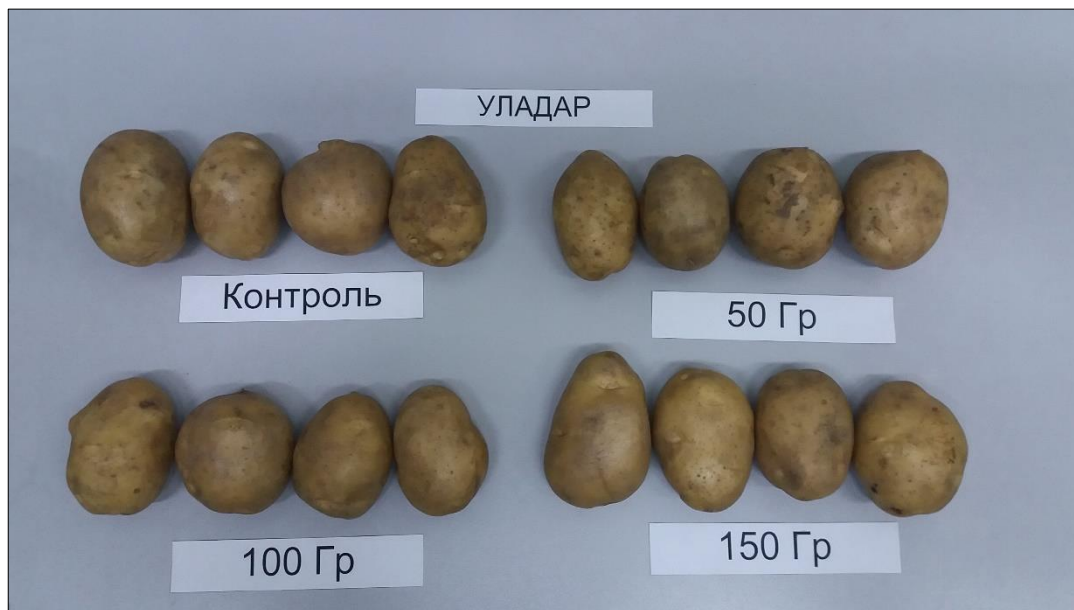


Рисунок А 9 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 1 мес. Дата фотофиксации: 24.11.2018

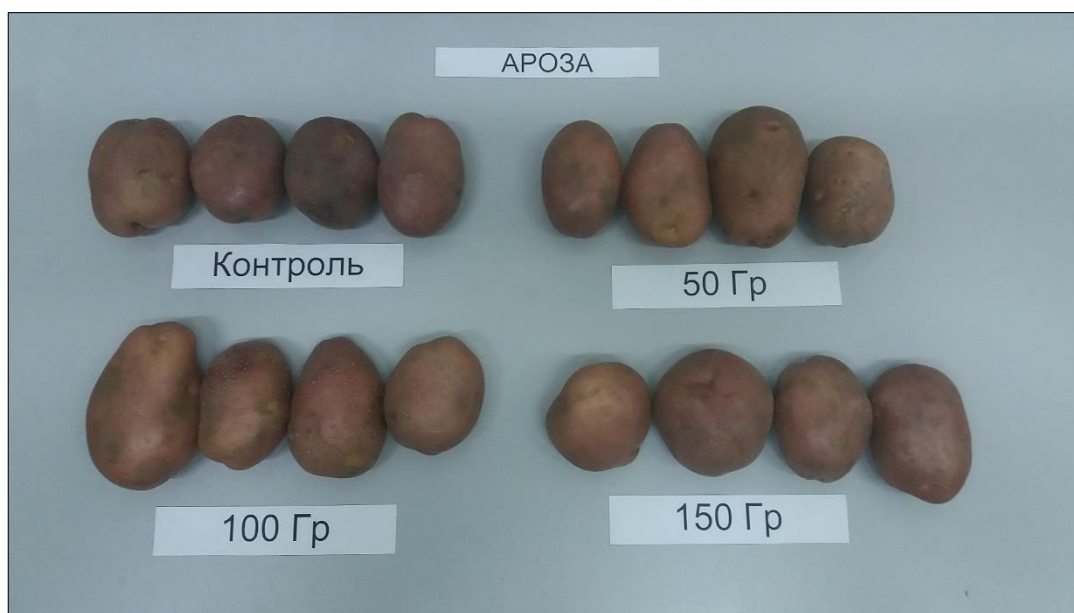


Рисунок А 10 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Клубни не проросшие, не увядшие

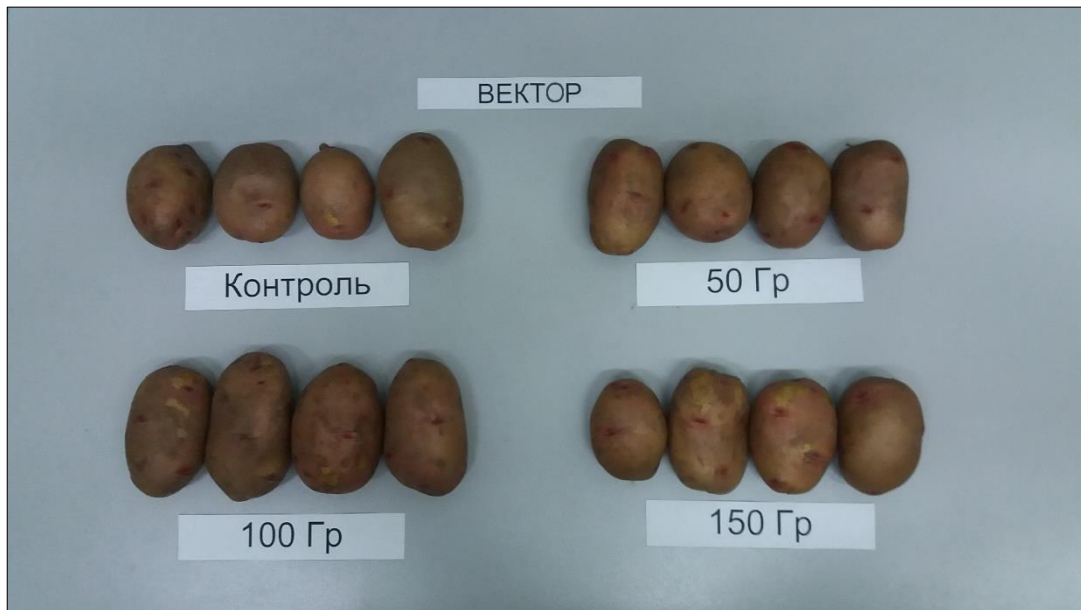


Рисунок А 11 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Клубни не проросшие, не увядшие



Рисунок А 12 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Клубни не проросшие, не увядшие

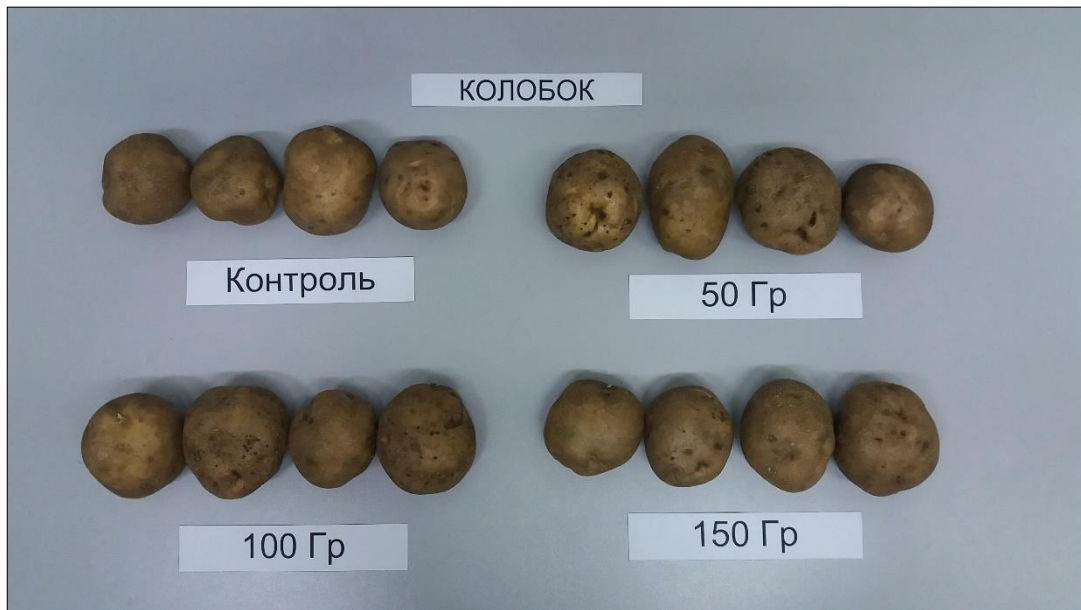


Рисунок А 13 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Клубни не проросшие, не увядшие

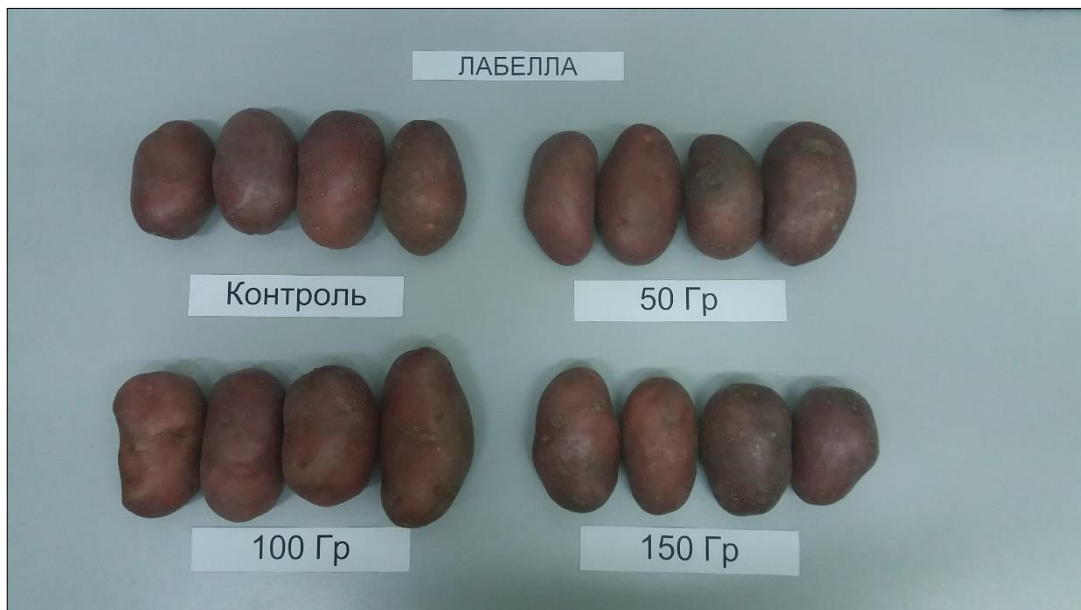


Рисунок А 14 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Клубни не проросшие, не увядшие

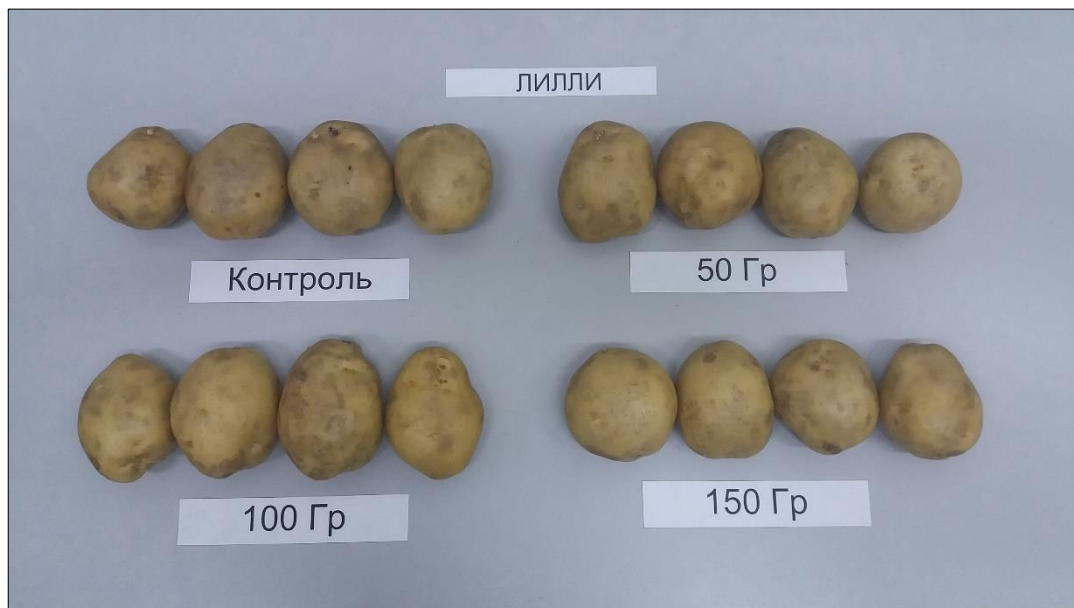


Рисунок А 15 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Клубни не проросшие, не увядшие

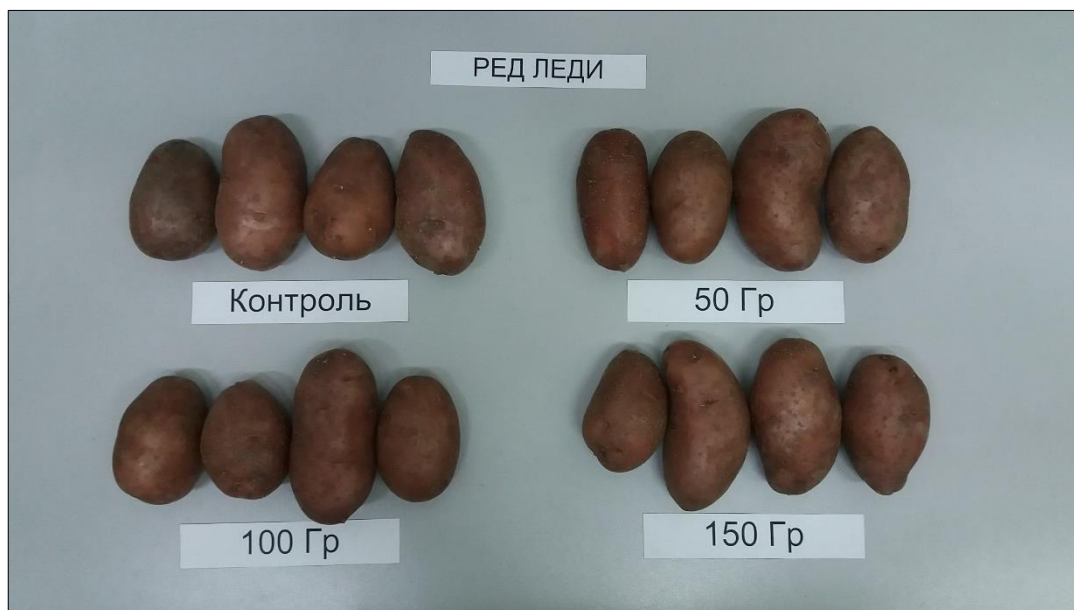


Рисунок А 16 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Клубни не проросшие, не увядшие

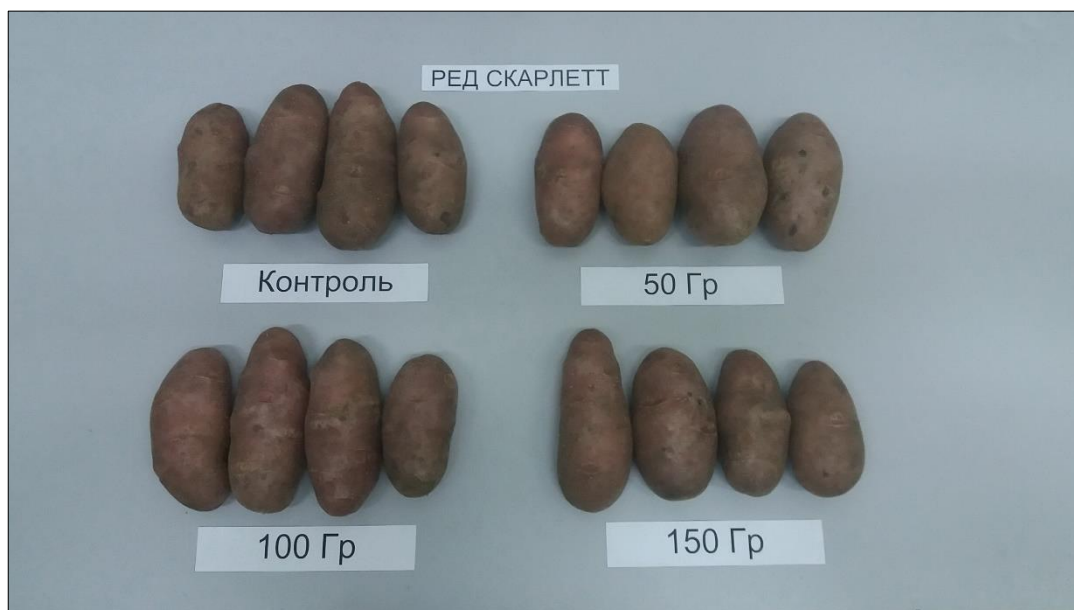


Рисунок А 17 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Клубни не проросшие, не увядшие

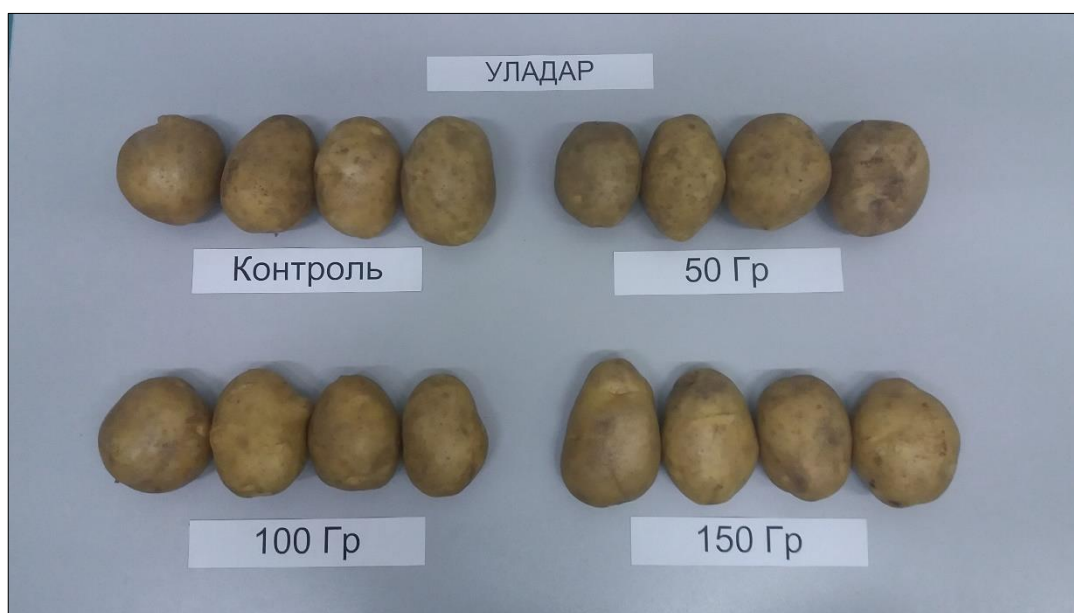


Рисунок А 18 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 28.01.2019



Рисунок А 19 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

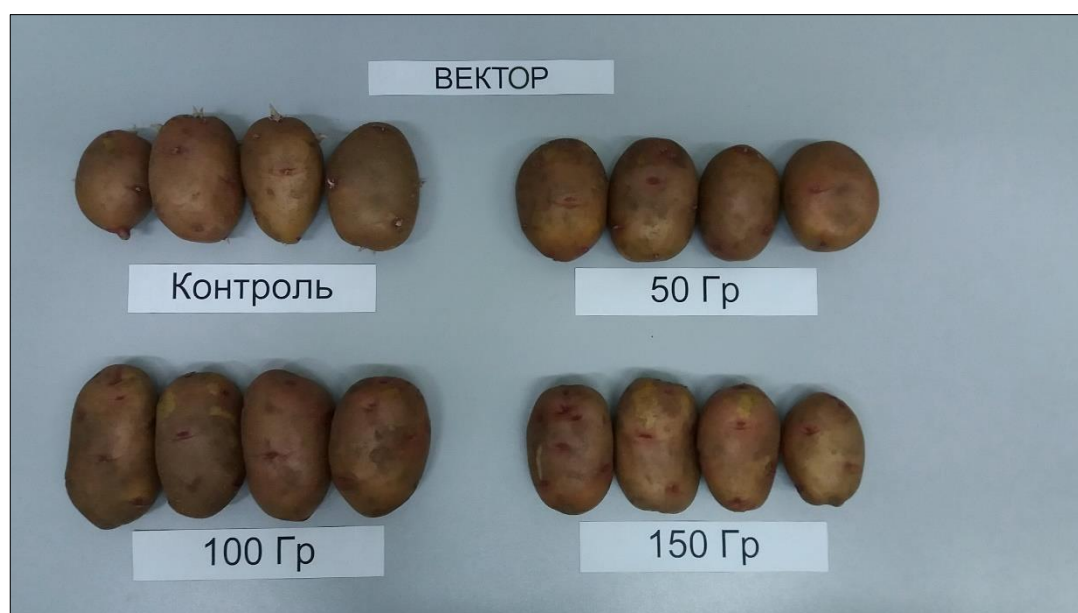


Рисунок А 20 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие



Рисунок А 21 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

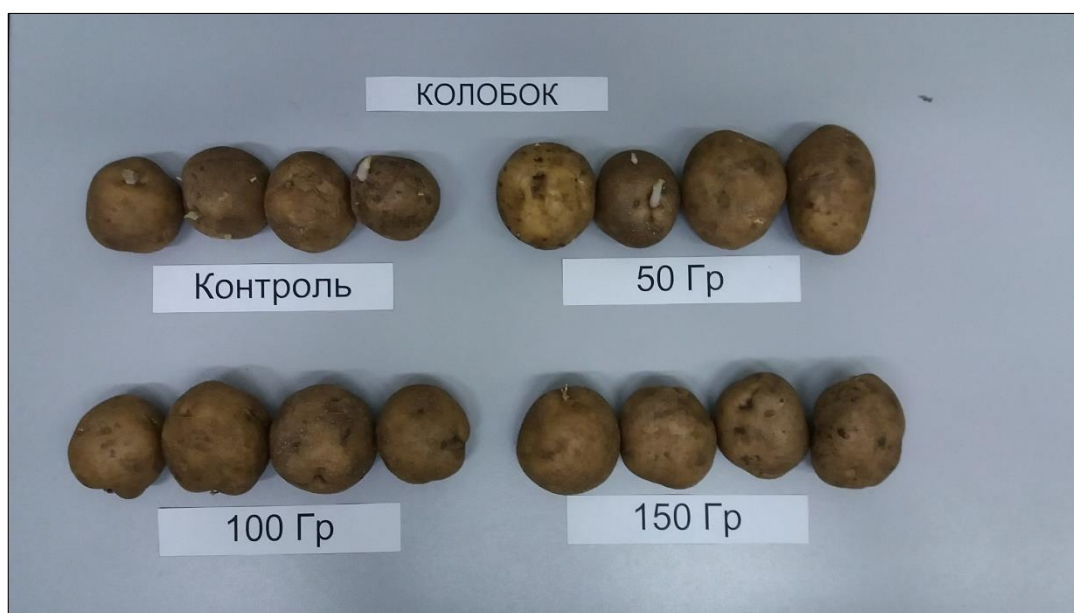


Рисунок А 22 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

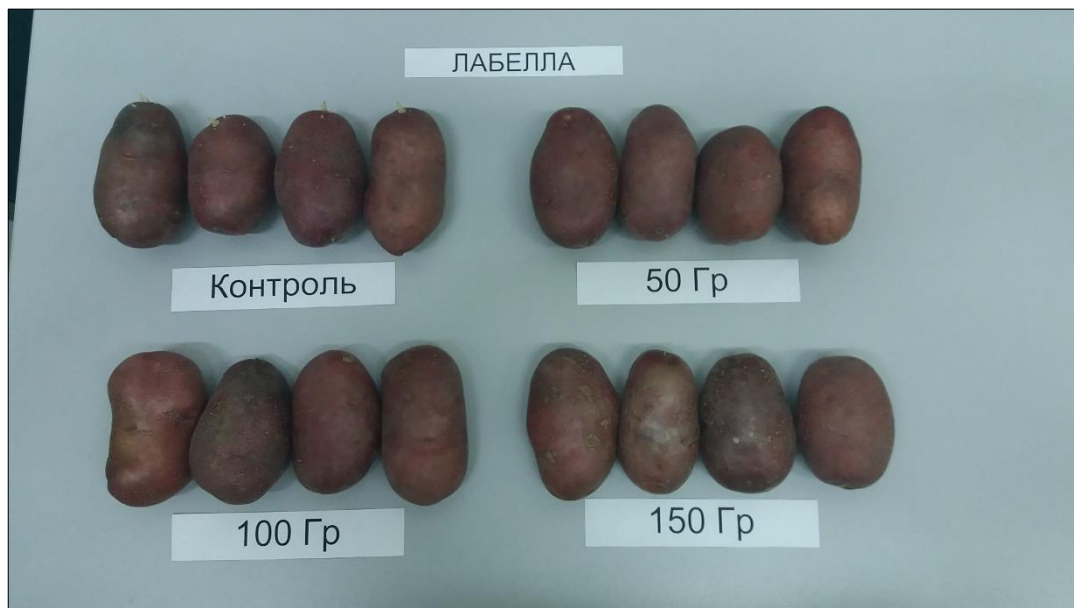


Рисунок А 23 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

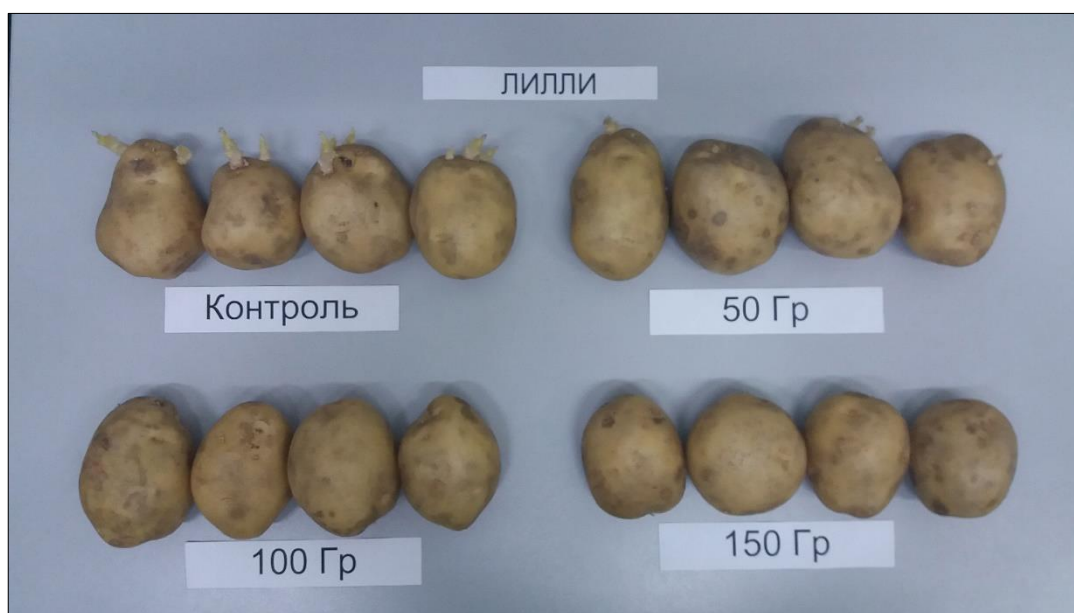


Рисунок А 24 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

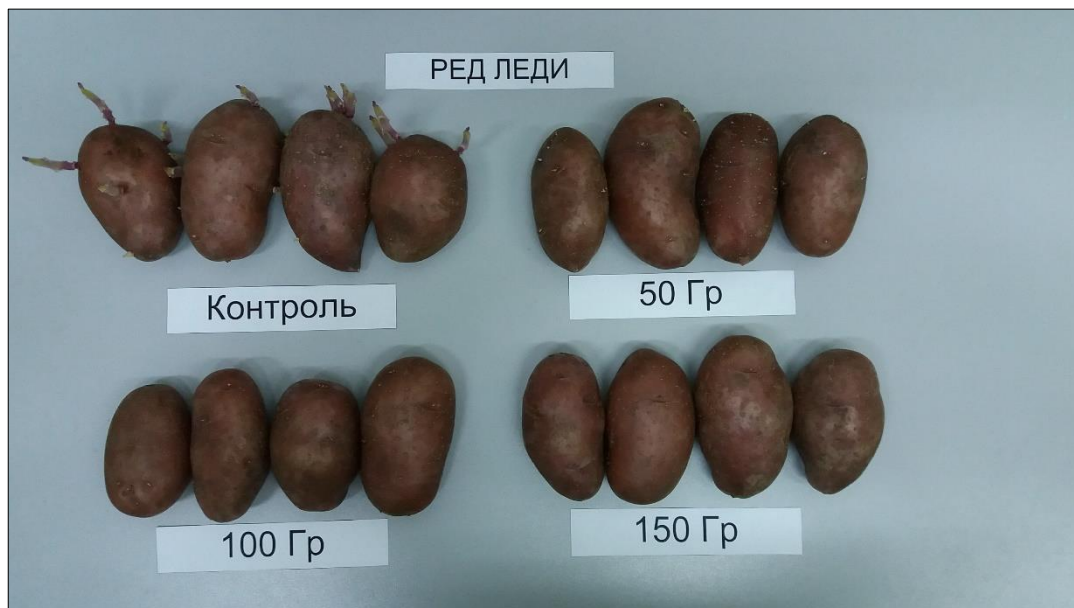


Рисунок А 25 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

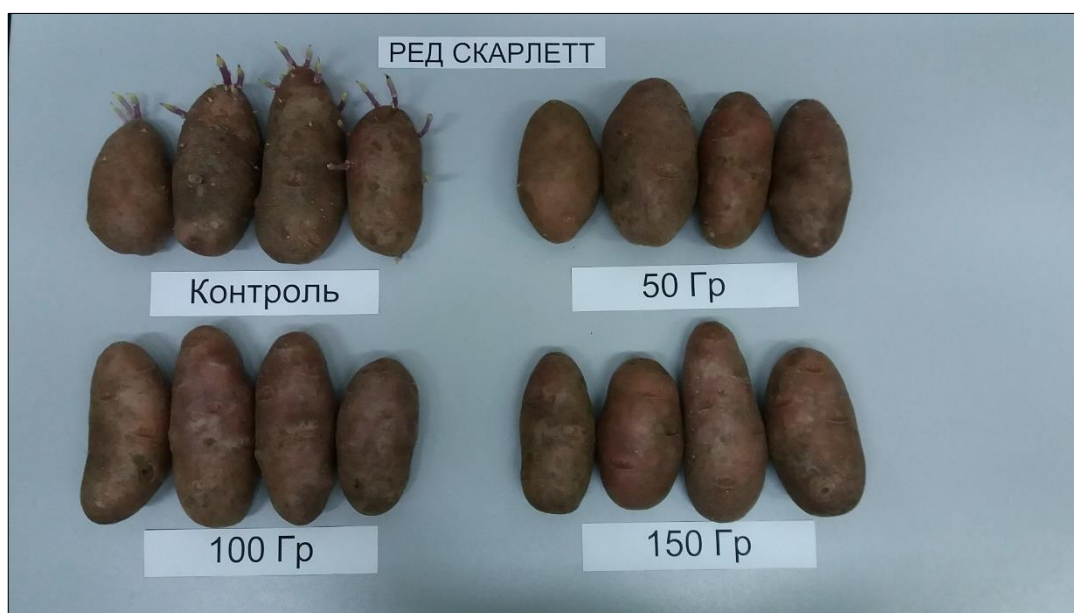


Рисунок А 26 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

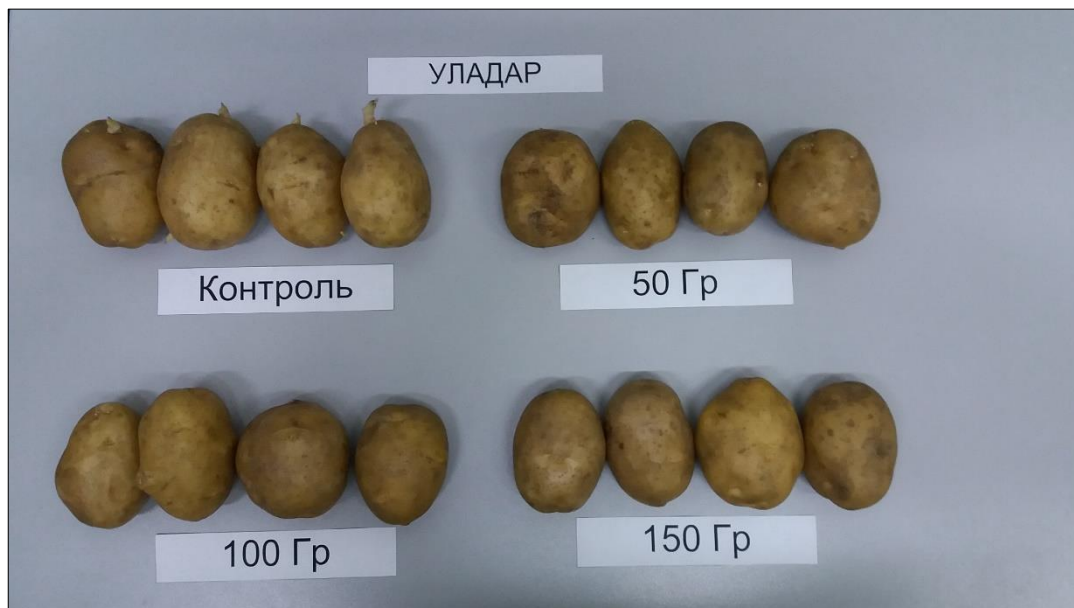


Рисунок А 27 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 5 мес. Дата фотофиксации: 20.03.2019

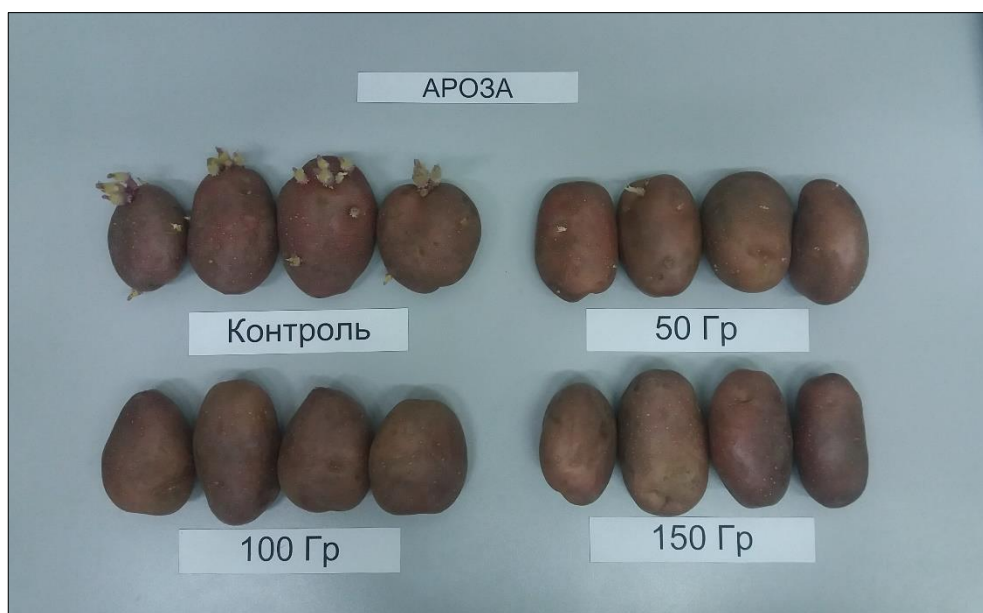


Рисунок А 28 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

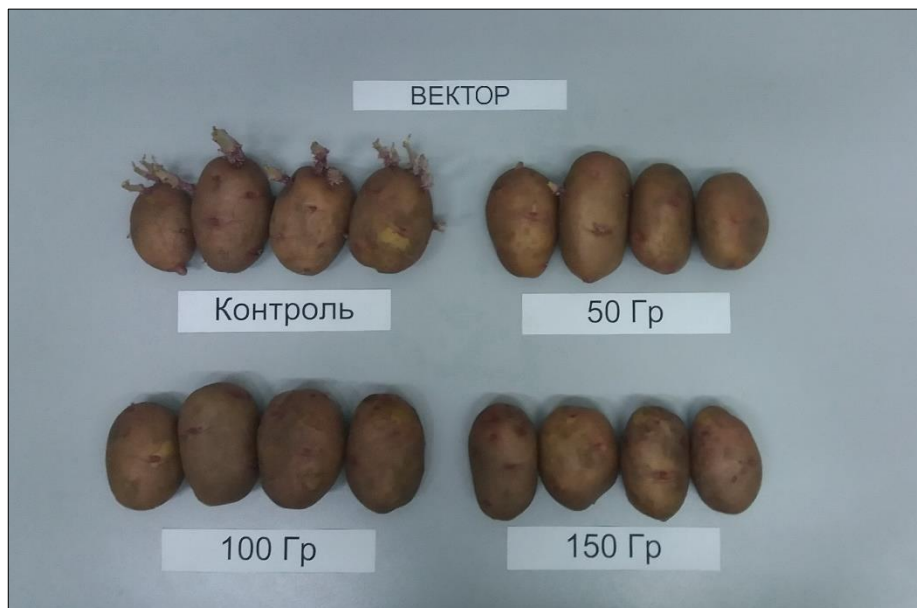


Рисунок А 29 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

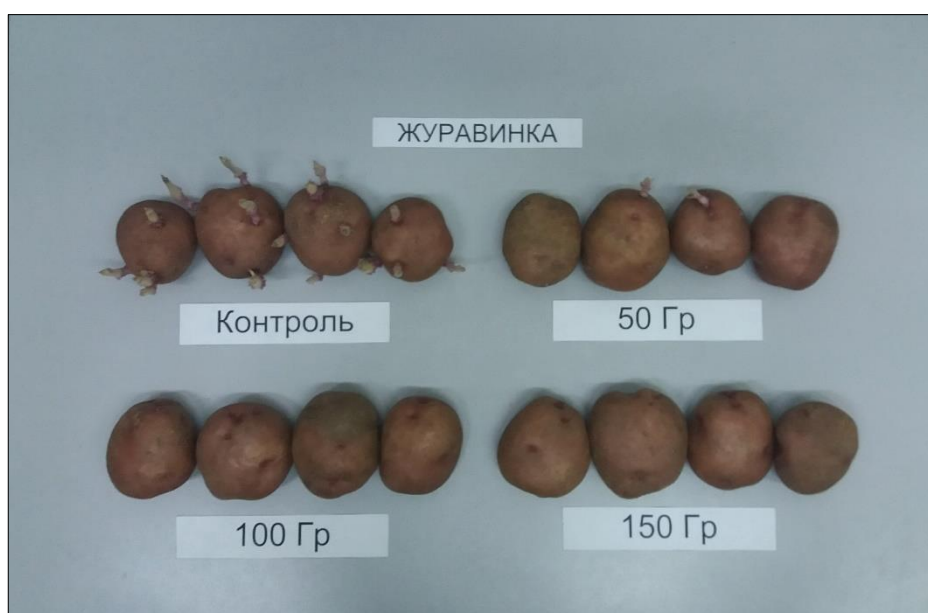


Рисунок А 30 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

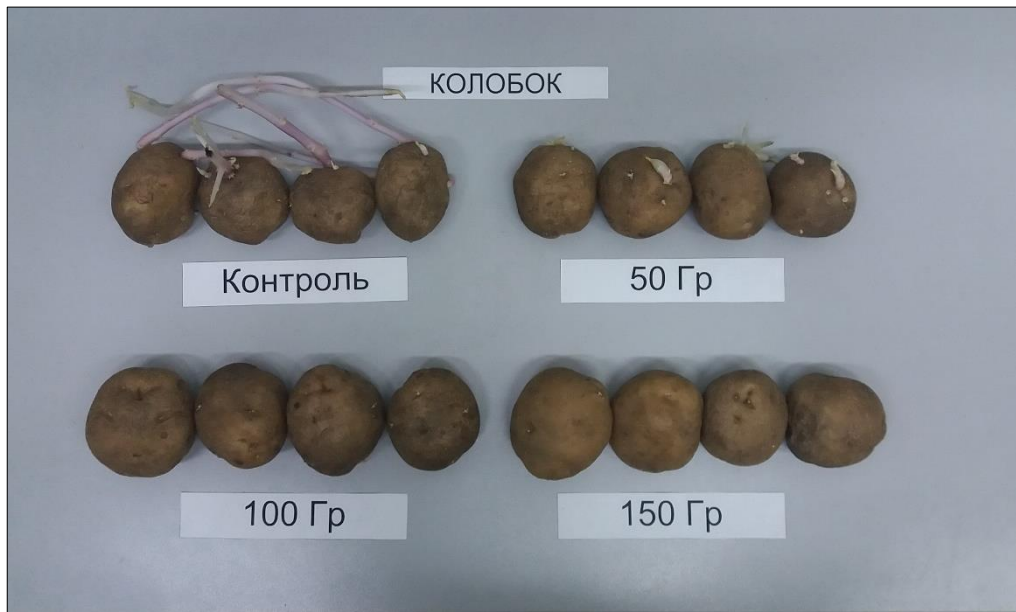


Рисунок А 31 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

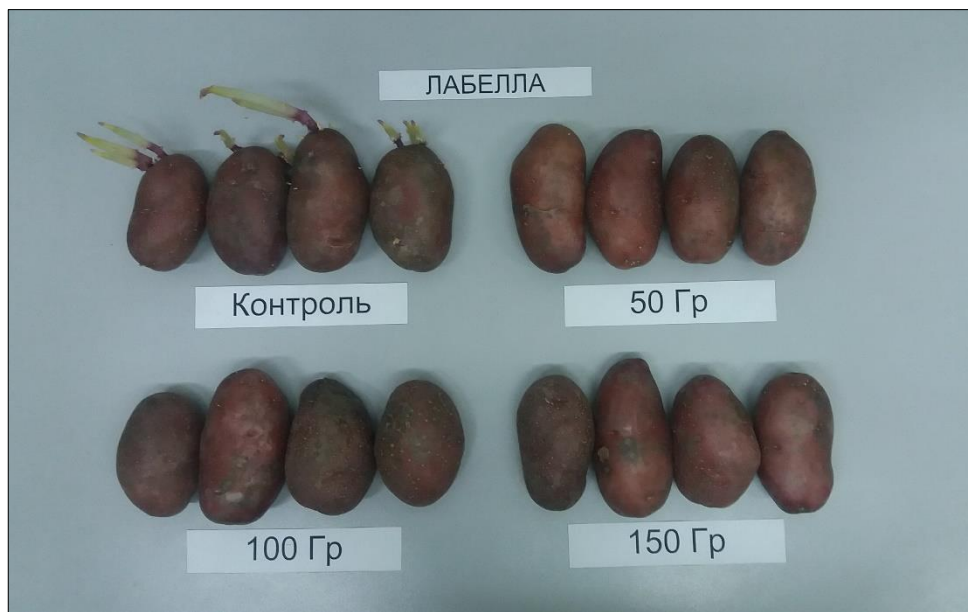


Рисунок А 32 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

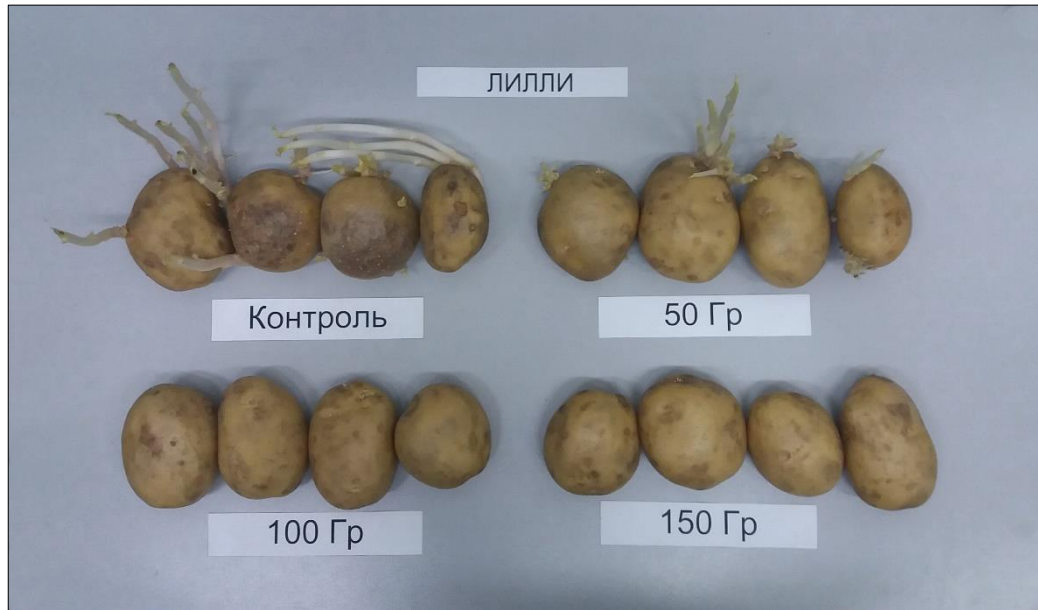


Рисунок А 33 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

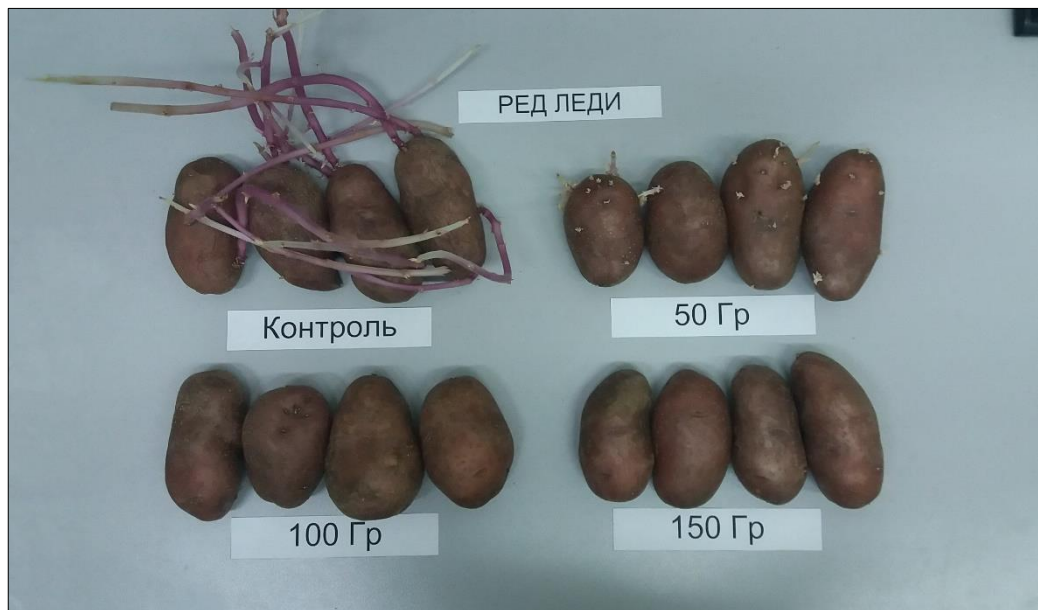


Рисунок А 34 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

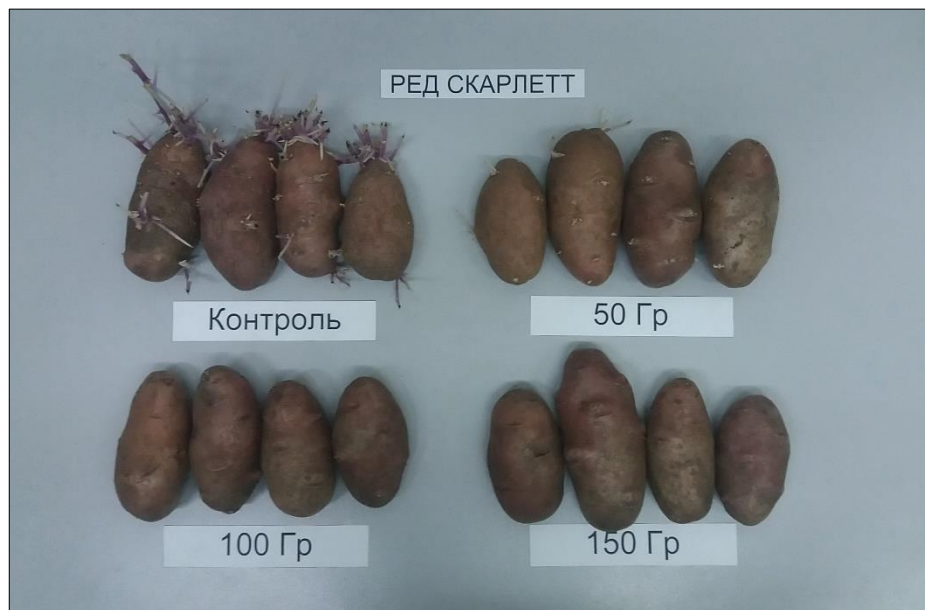


Рисунок А 35 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

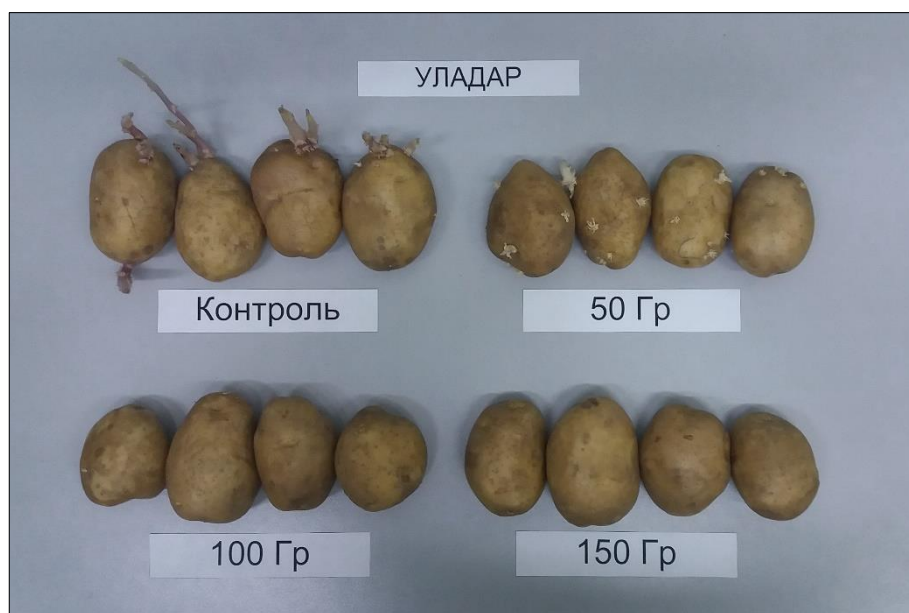


Рисунок А 36 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 7 мес. Дата фотофиксации: 24.05.2019

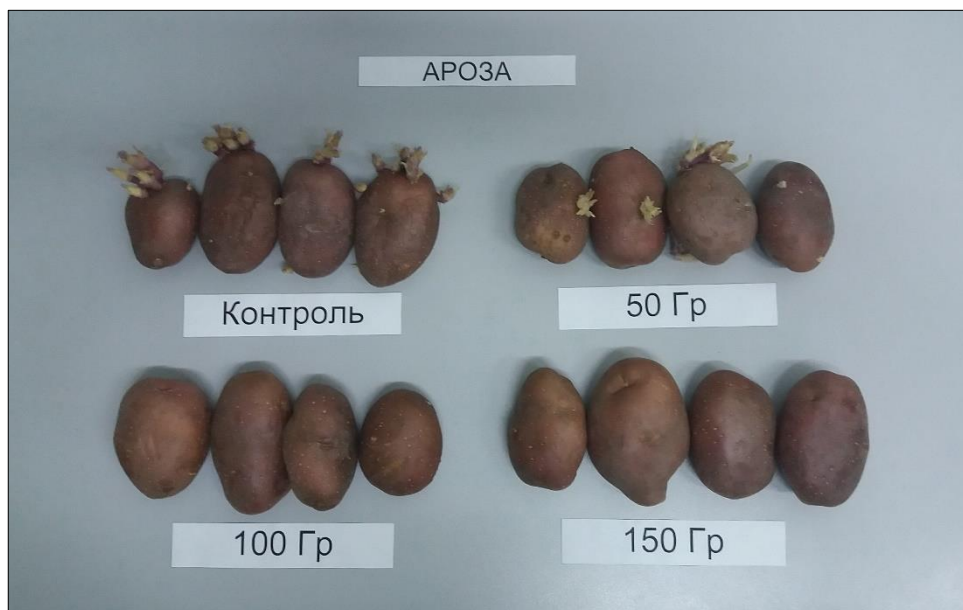


Рисунок А 37 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

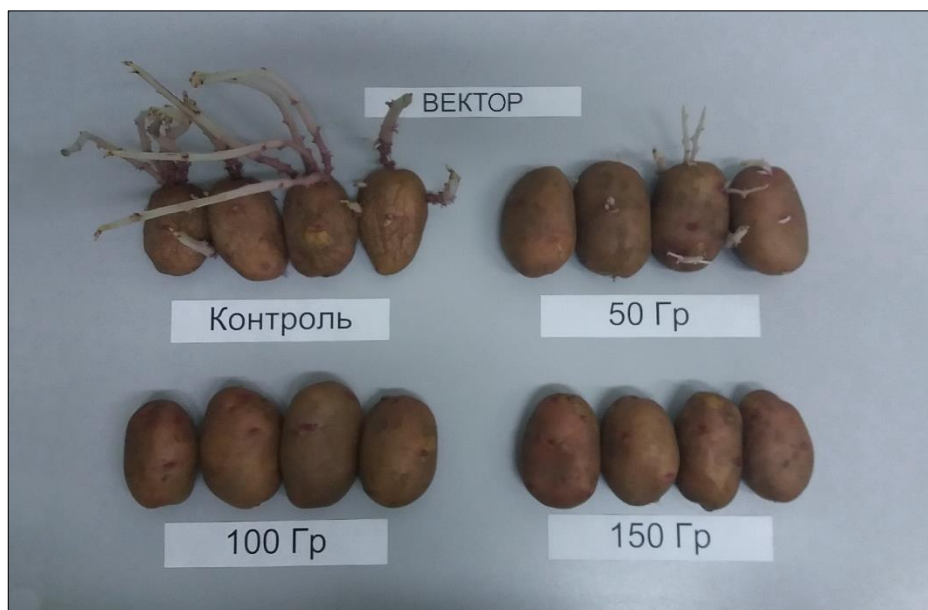


Рисунок А 38 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – клубни проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

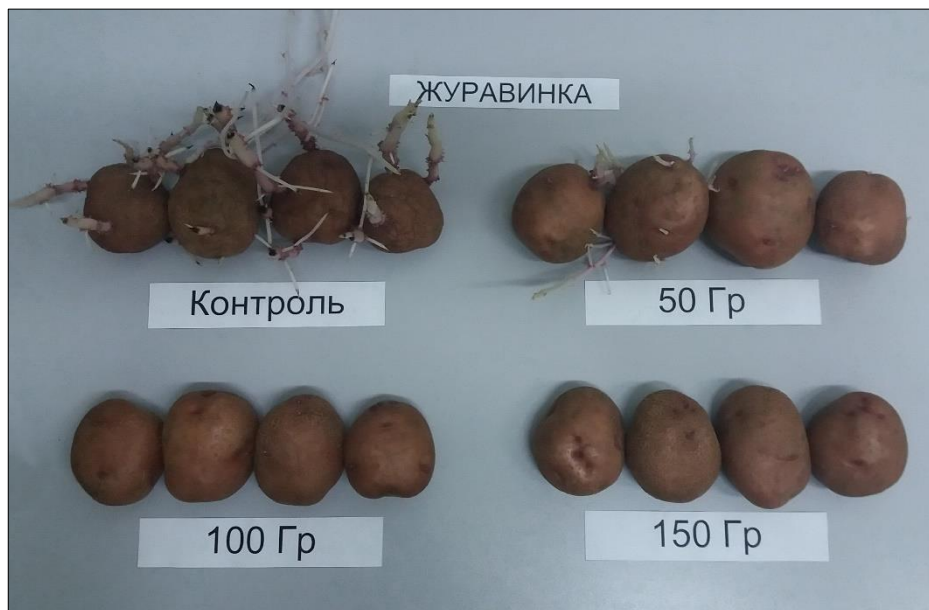


Рисунок А 39 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

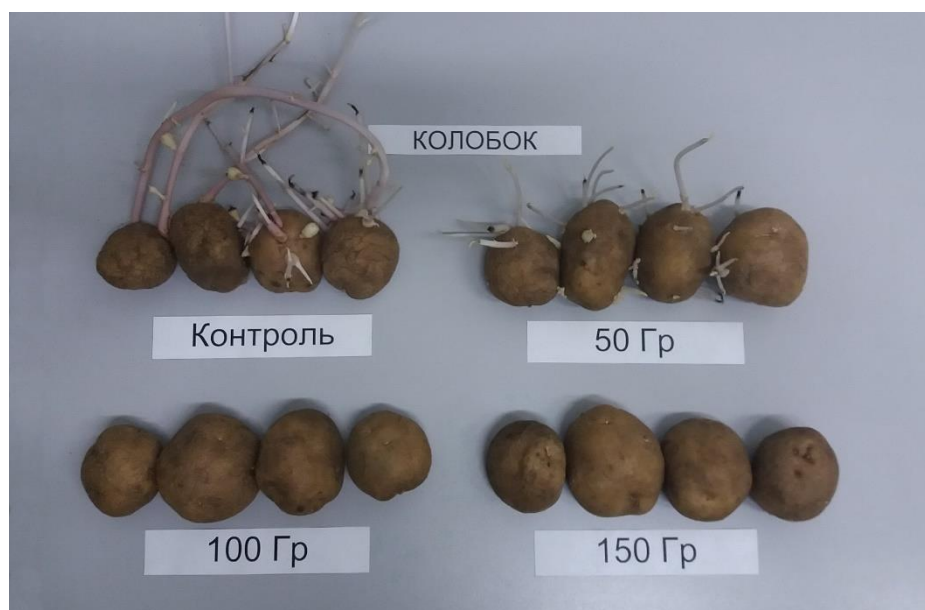


Рисунок А 40 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

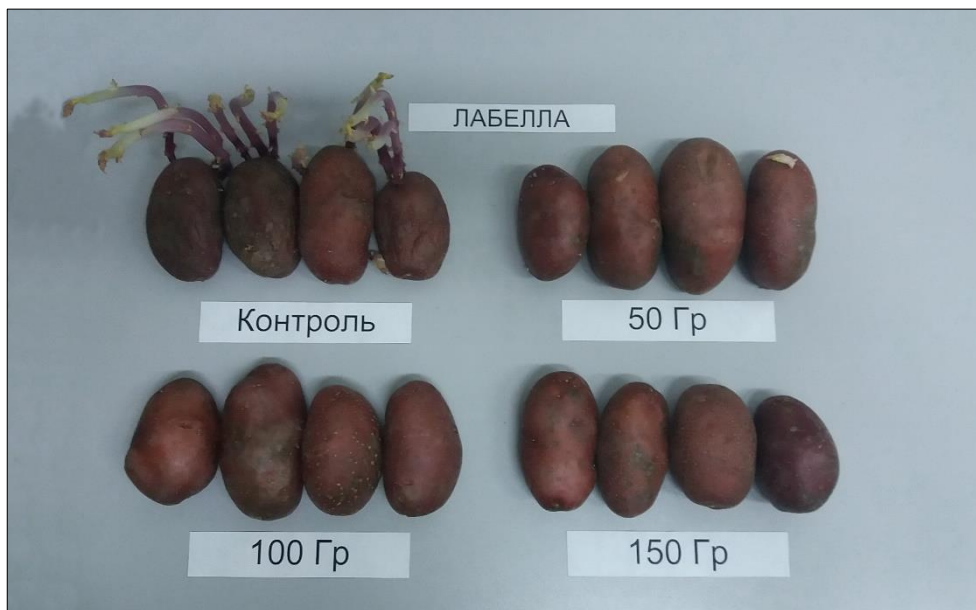


Рисунок А 41 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

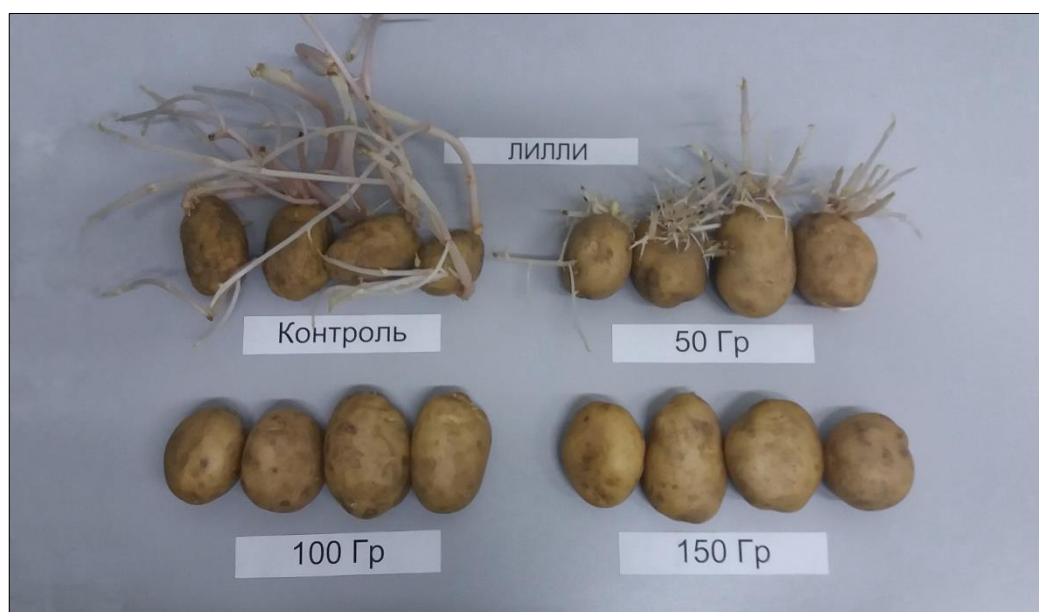


Рисунок А 42 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

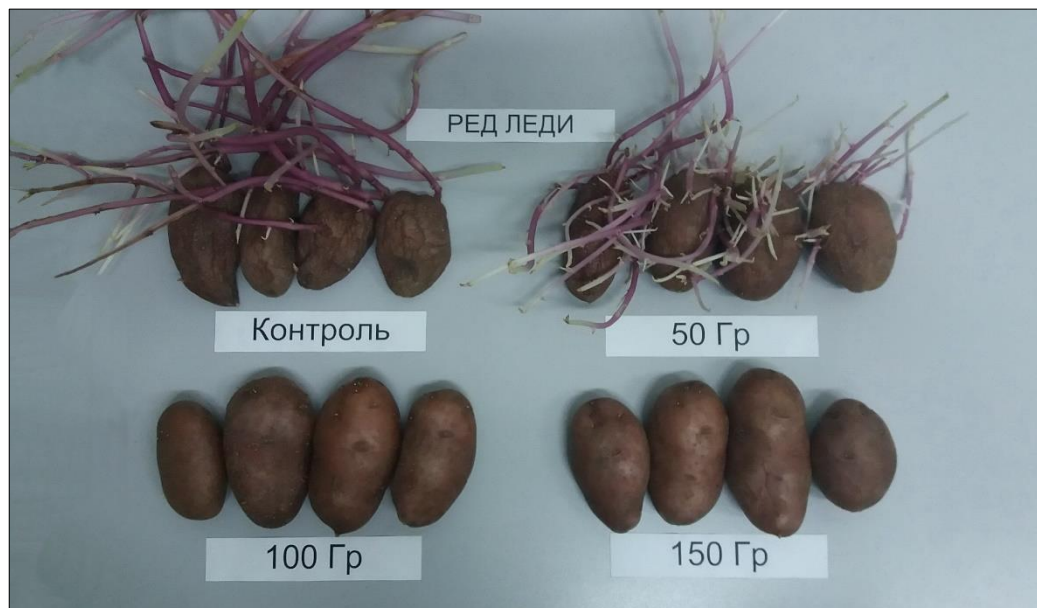


Рисунок А 43 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

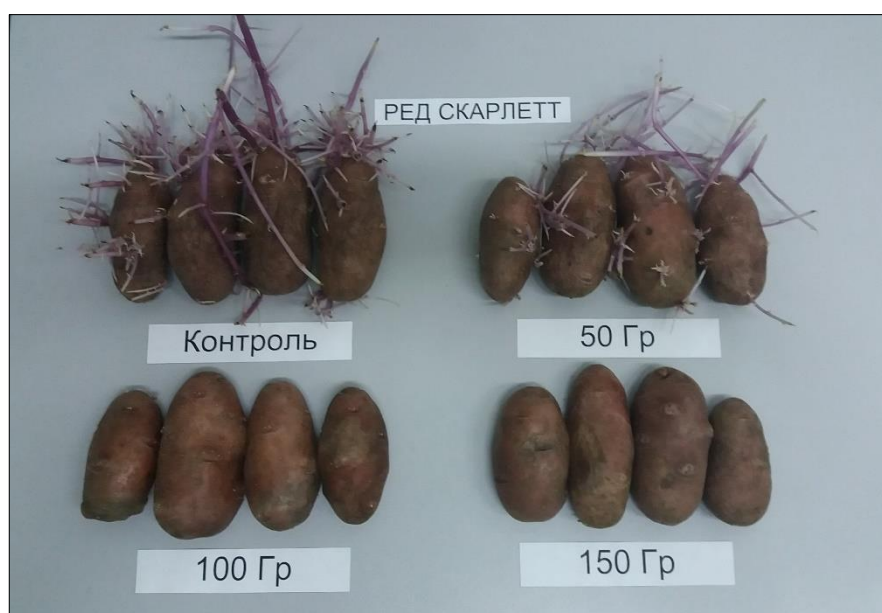


Рисунок А 44 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

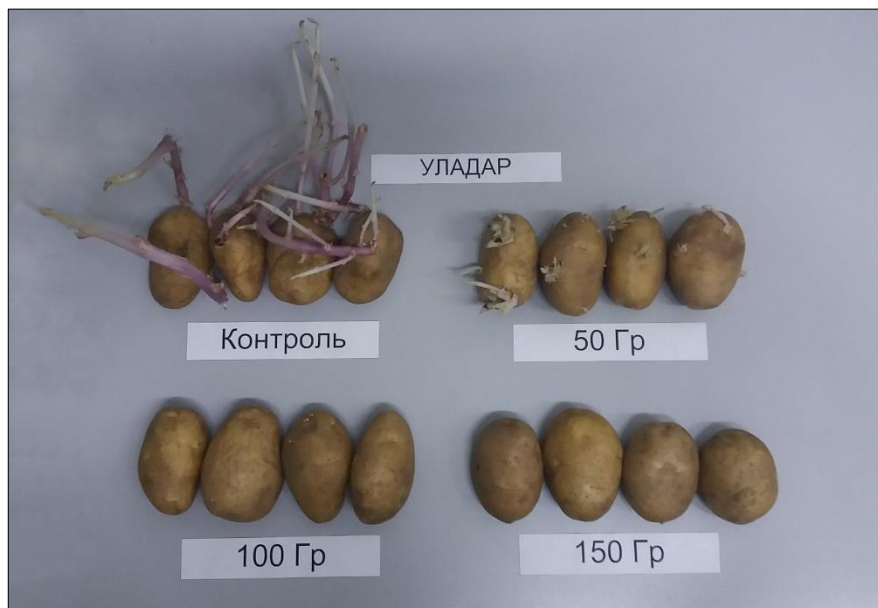


Рисунок А 45 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 9 мес. Дата фотофиксации: 26.07.2019

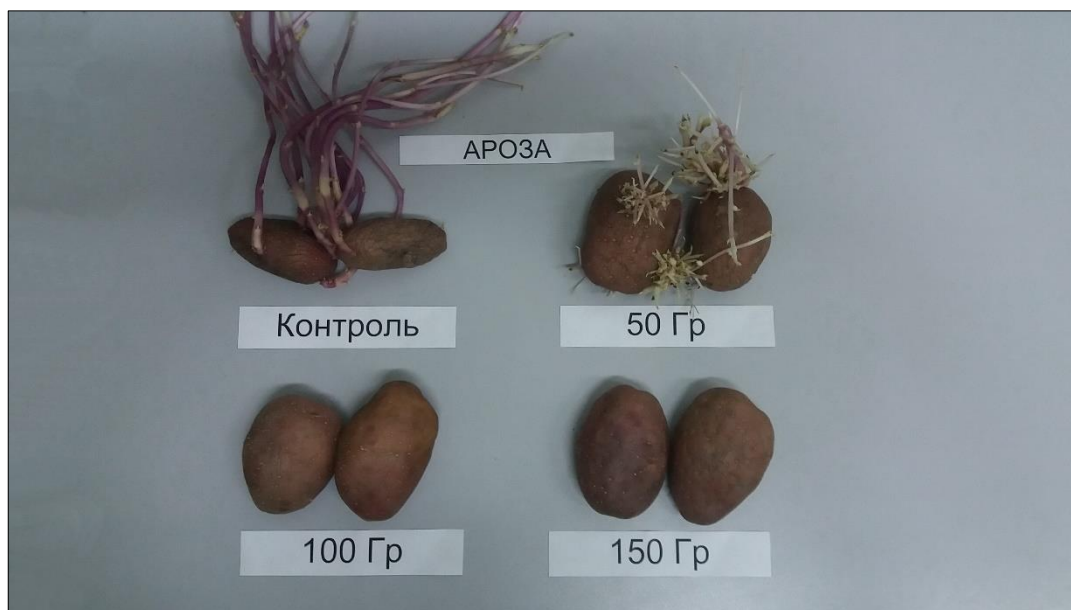


Рисунок А 46 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

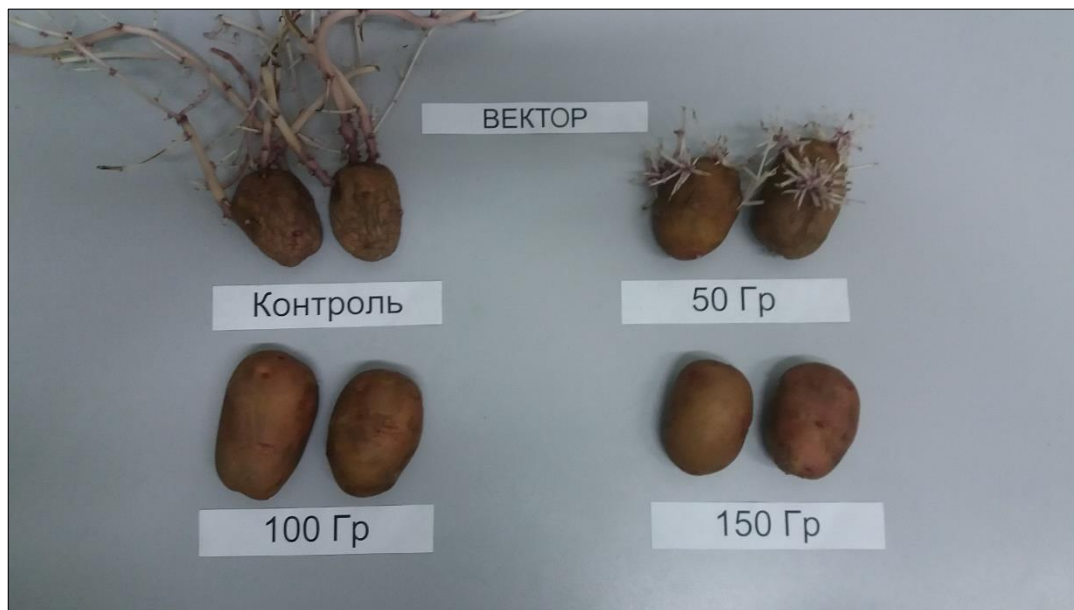


Рисунок А 47 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие



Рисунок А 48 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

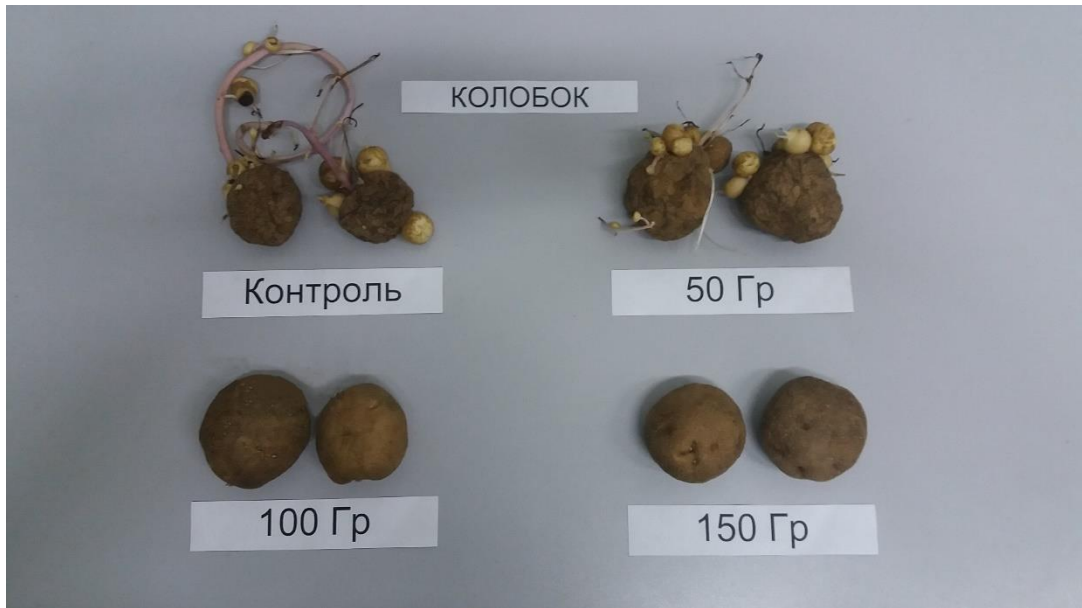


Рисунок А 49 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр – 50 Гр – проросшие, не увядшие; 150 Гр – не проросшие, не увядшие

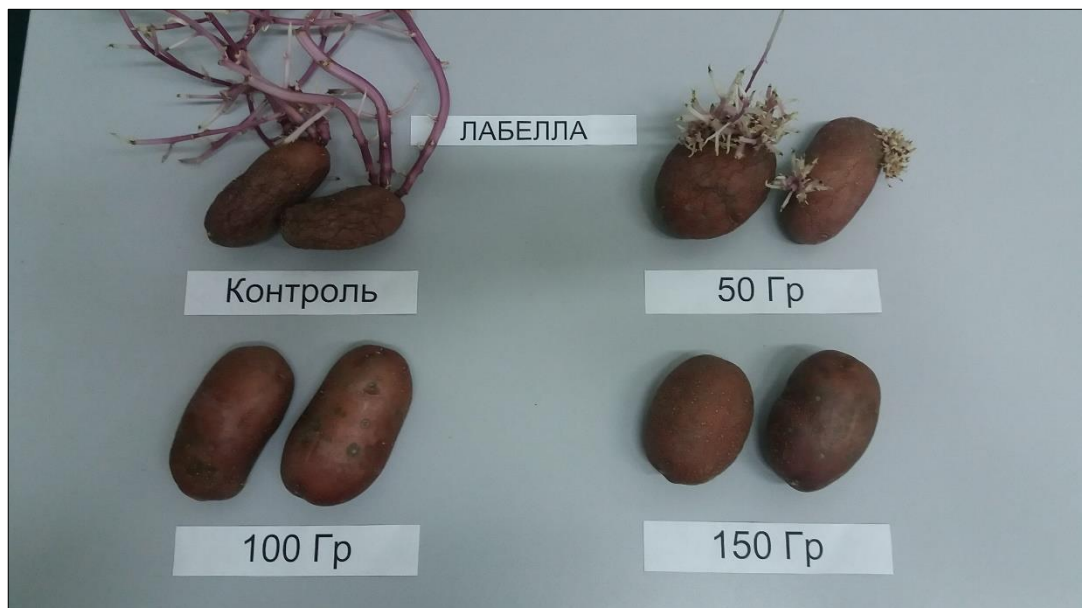


Рисунок А 50 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

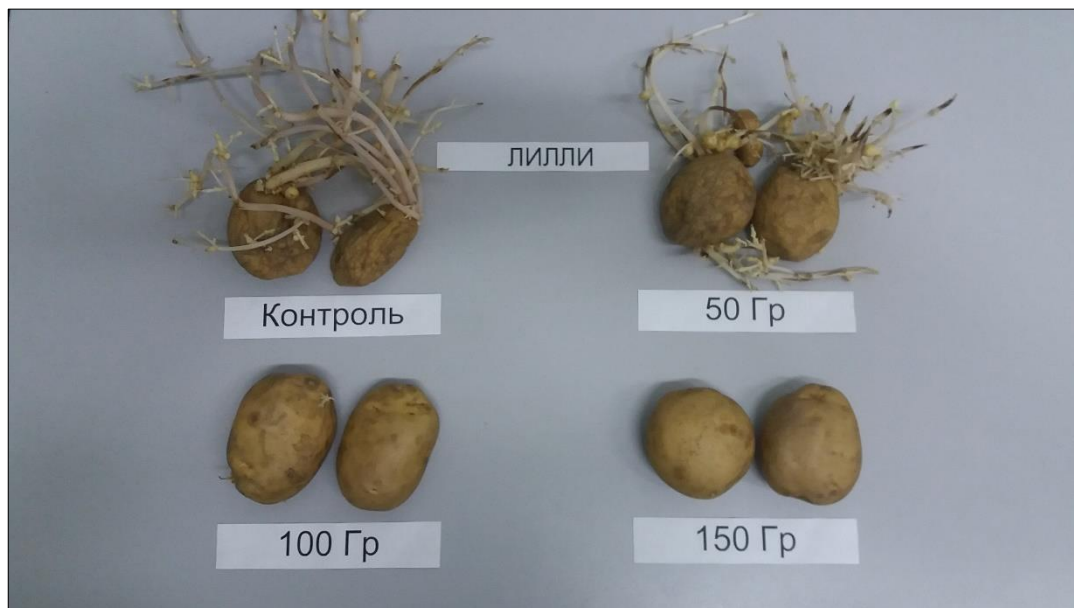


Рисунок А 51– Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

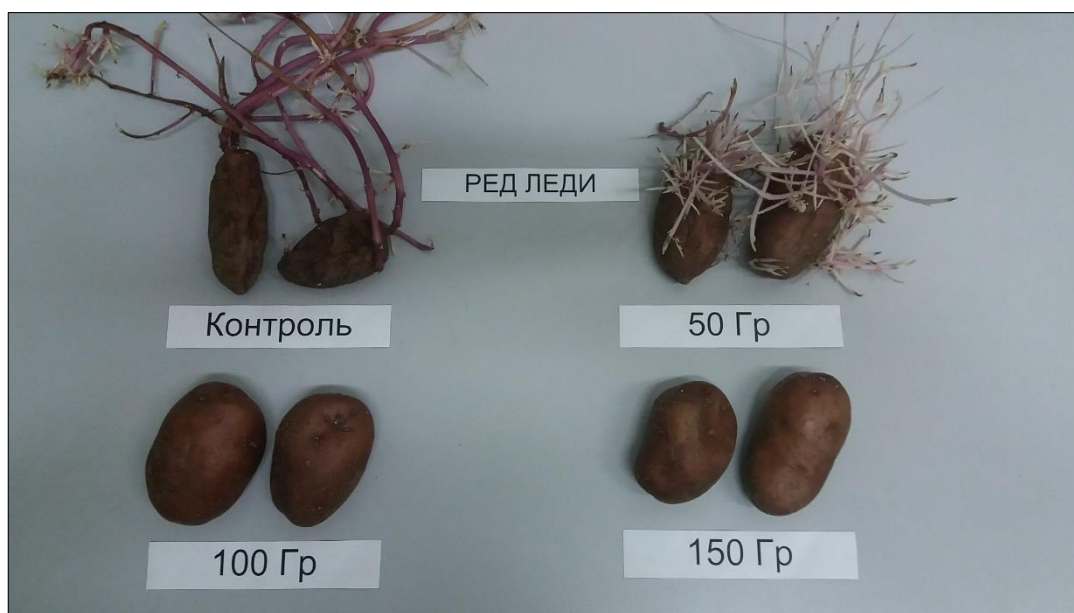


Рисунок А 52 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

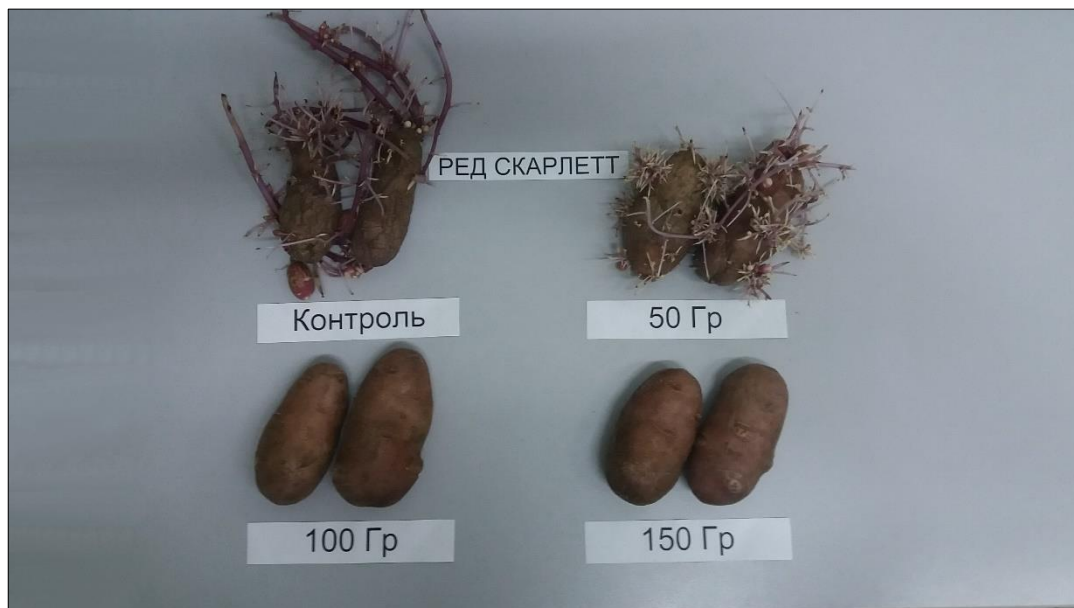


Рисунок А 53 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

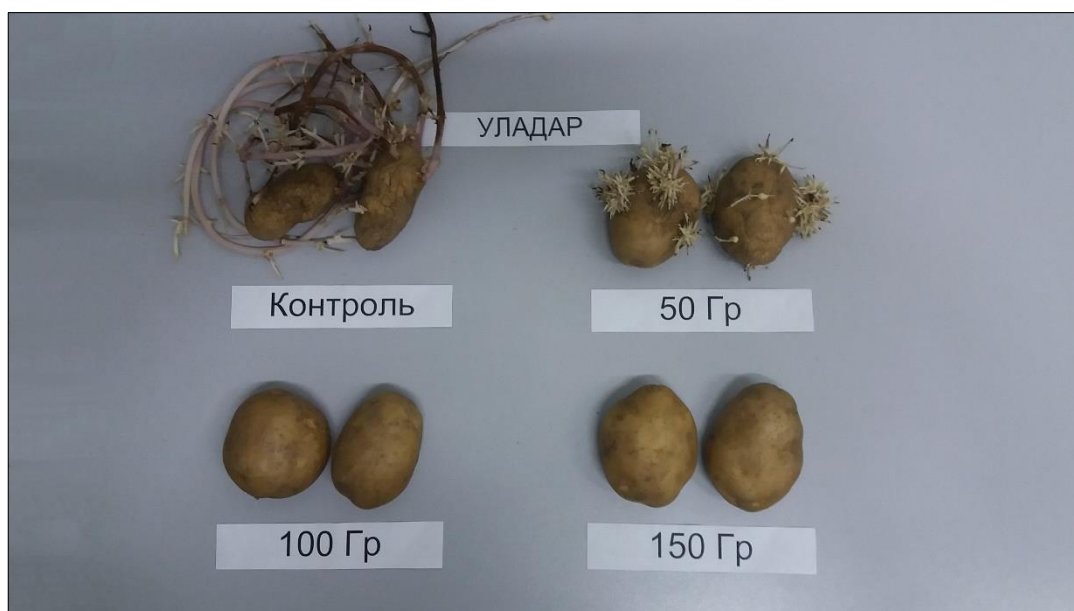


Рисунок А 54 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 и 150 Гр – не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорта: Ароза, Вектор, Журавинка, Колобок, Лабелла, Лилли, Ред Леди, Ред Скарлетт, Уладар. Температура хранения +6...+8 °С

Срок хранения после облучения: 0 мес. Дата фотофиксации: 27.01.2019

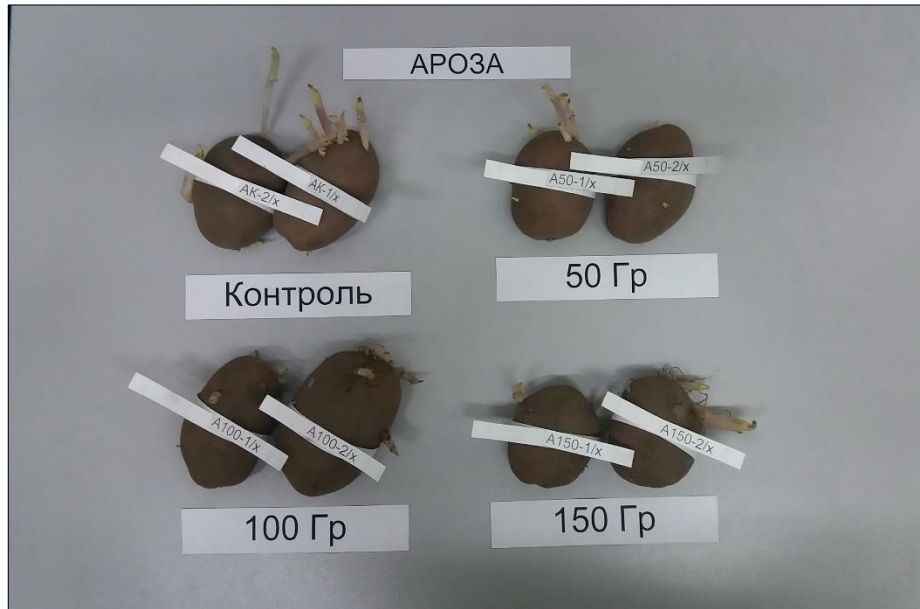


Рисунок А 55 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Клубни проросшие, не увядшие

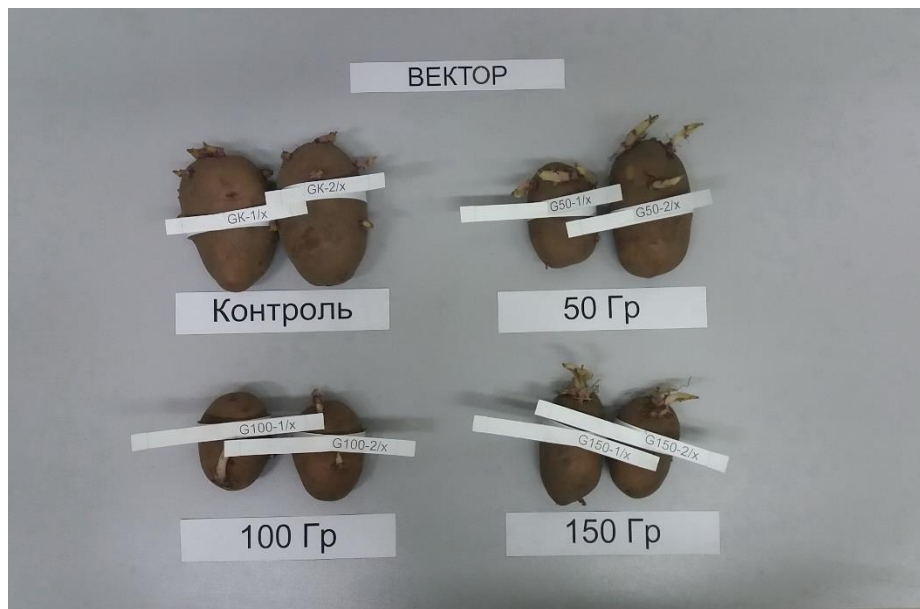


Рисунок А 56 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Клубни проросшие, не увядшие



Рисунок А 57 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Клубни проросшие, не увядшие

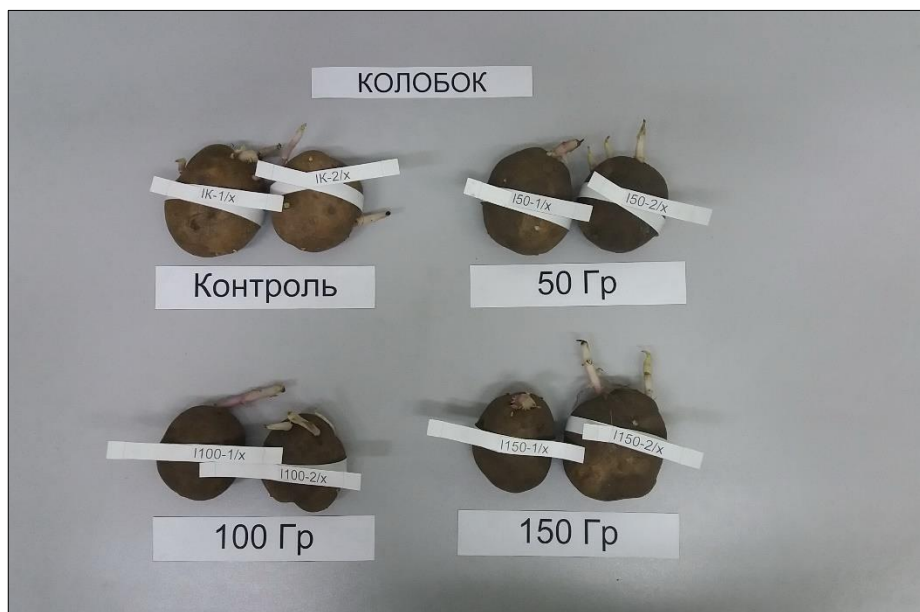


Рисунок А 58 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Клубни проросшие, не увядшие

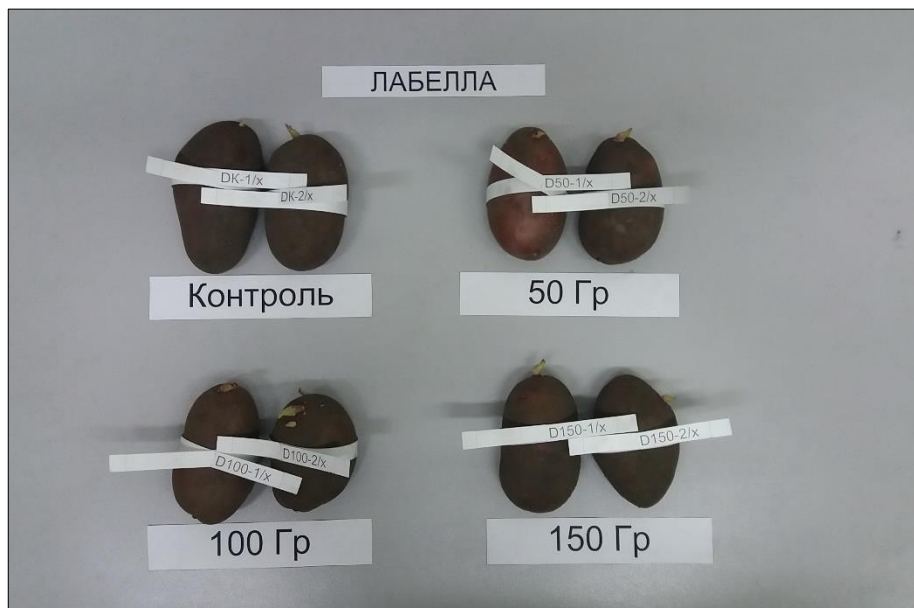


Рисунок А 59 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Клубни проросшие, не увядшие

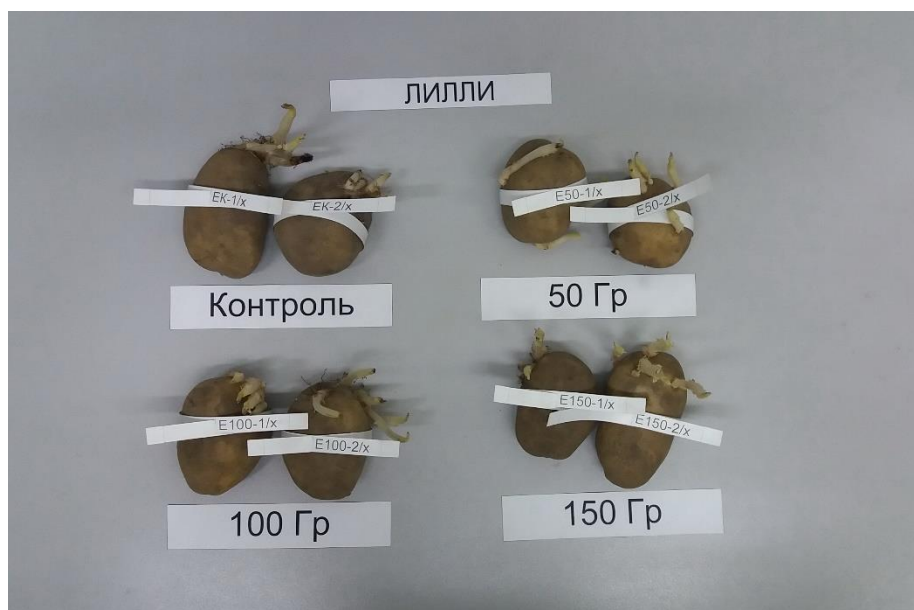


Рисунок А 60 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Клубни проросшие, не увядшие

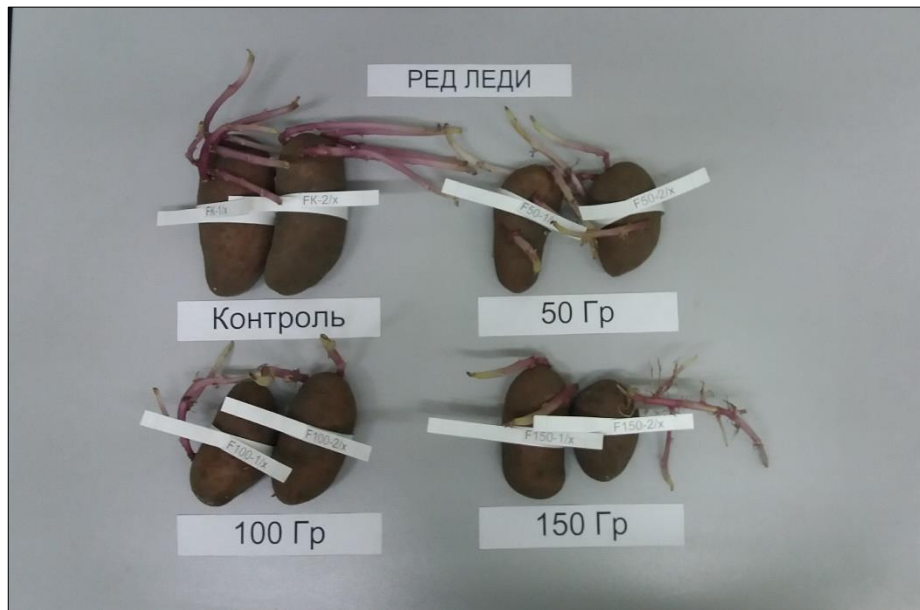


Рисунок А 61 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Клубни проросшие, не увядшие

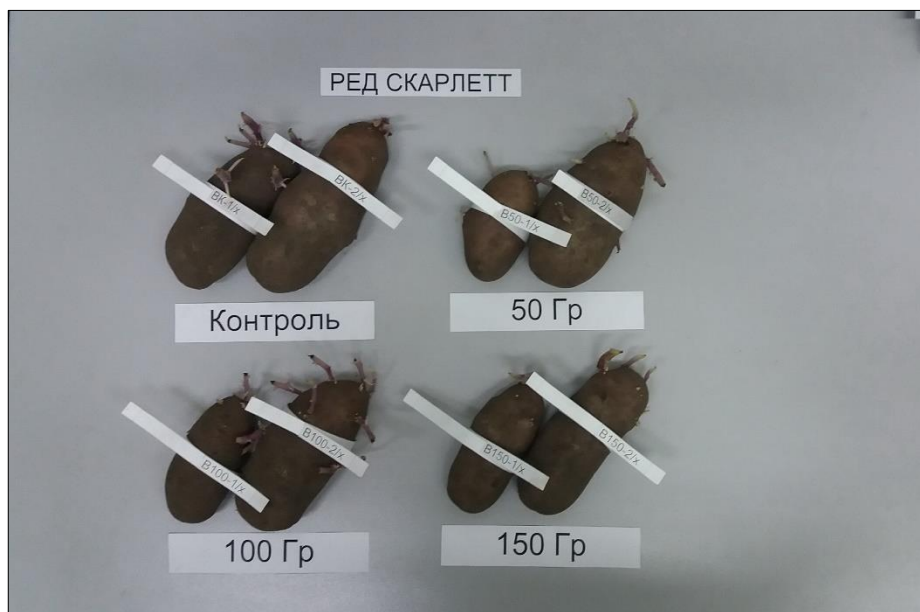


Рисунок А 62 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Клубни проросшие, не увядшие

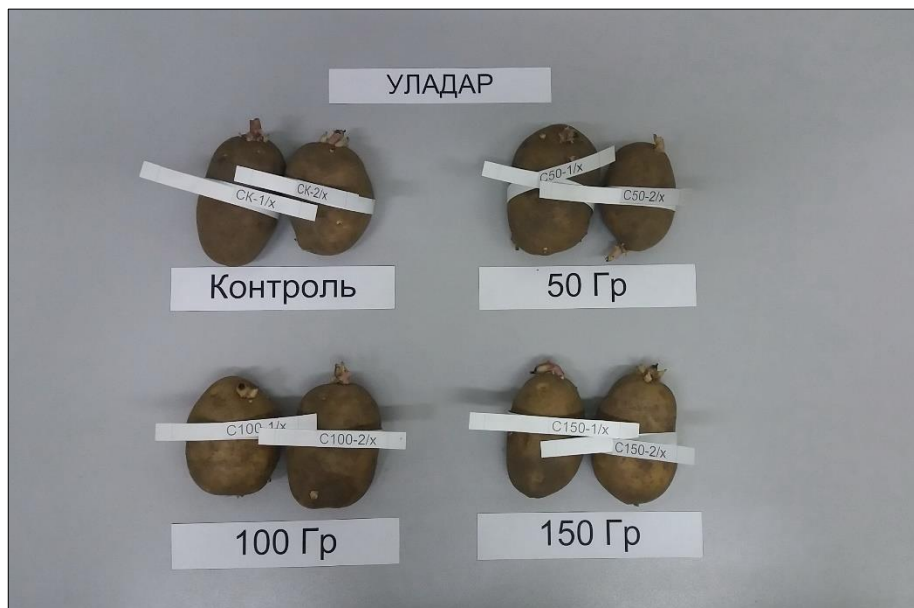


Рисунок А 63 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Клубни проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 1 мес. Дата фотофиксации: 28.02.2019

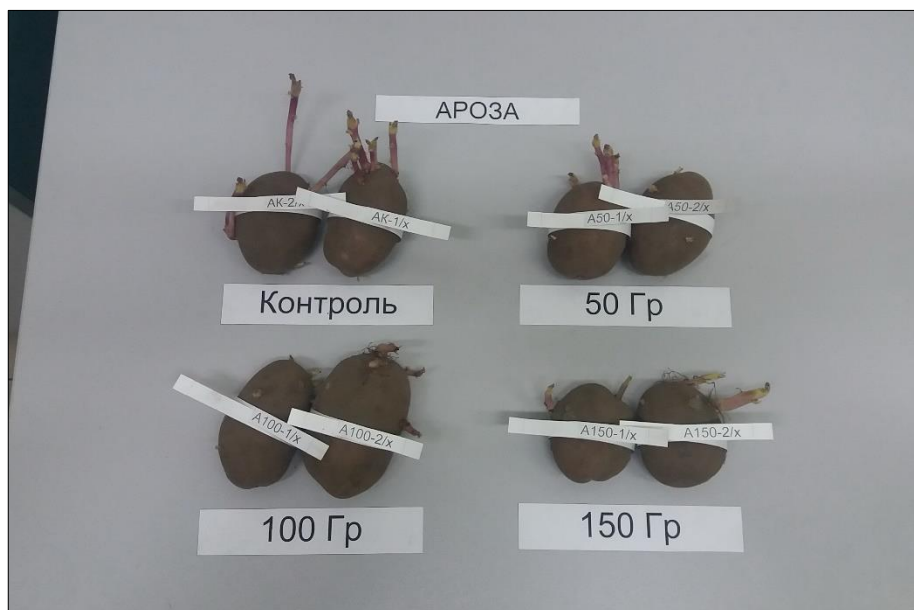


Рисунок А 64 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Клубни проросшие, не увядшие

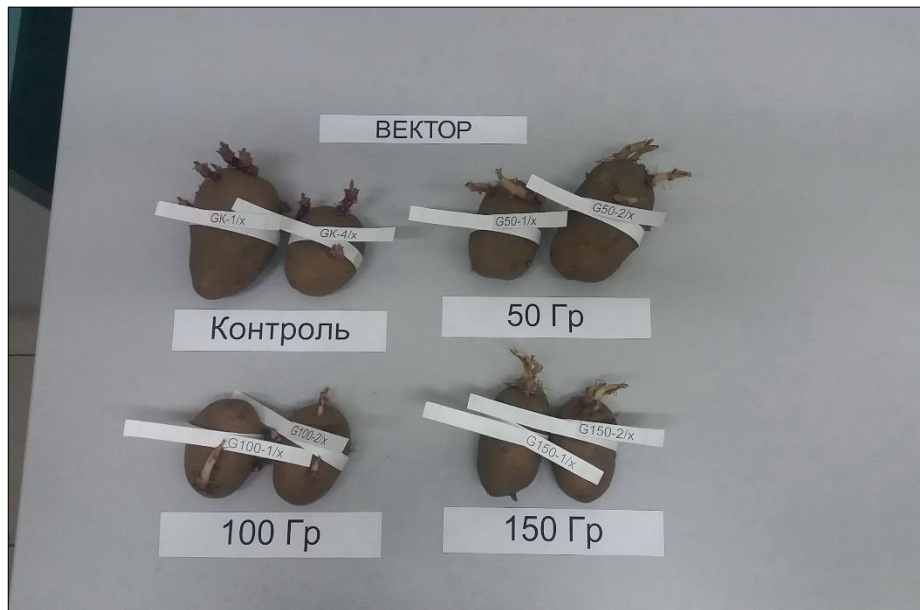


Рисунок А 65 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Клубни проросшие, не увядшие



Рисунок А 66 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Клубни проросшие, не увядшие



Рисунок А 67 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Клубни проросшие, не увядшие



Рисунок А 68 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Клубни проросшие, не увядшие

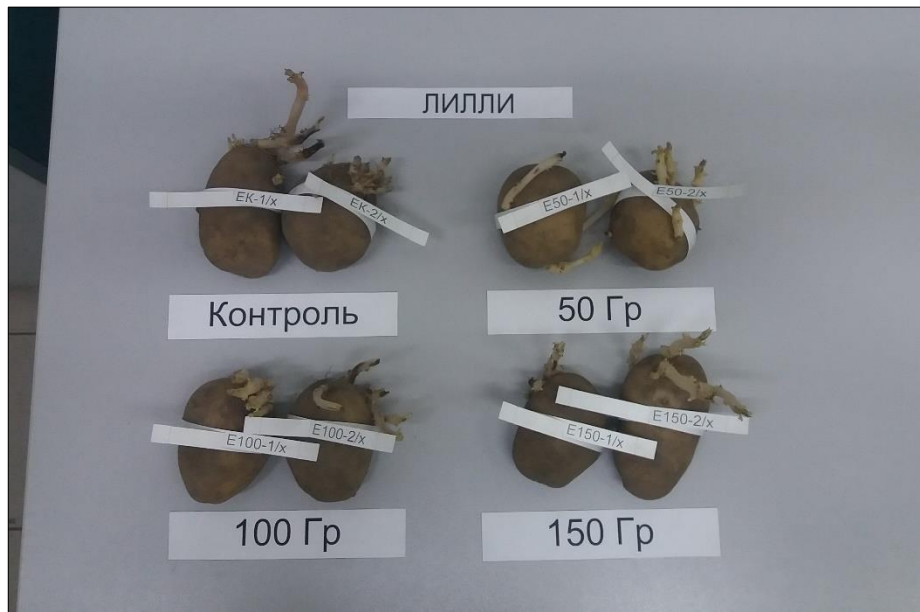


Рисунок А 69 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Клубни проросшие, не увядшие

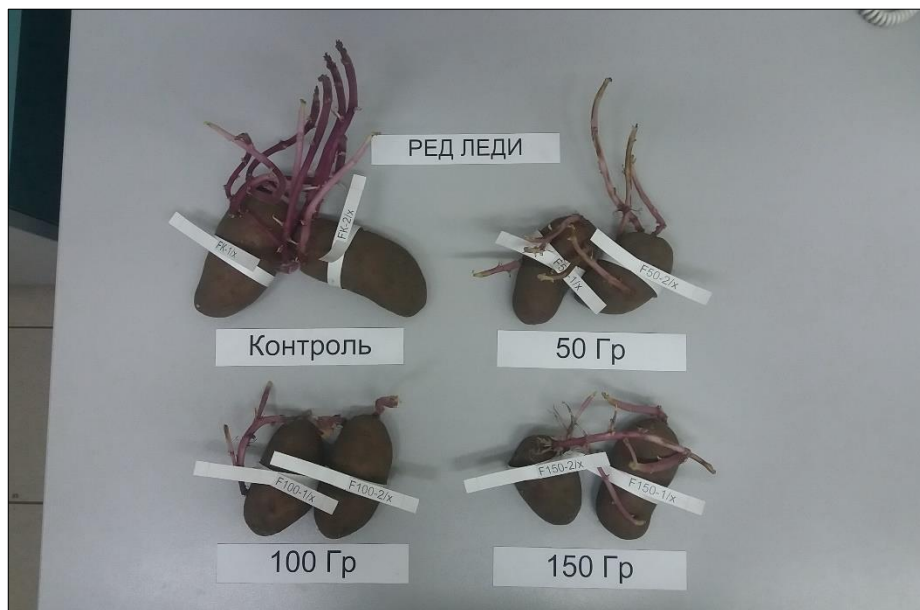


Рисунок А 70 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Клубни проросшие, не увядшие

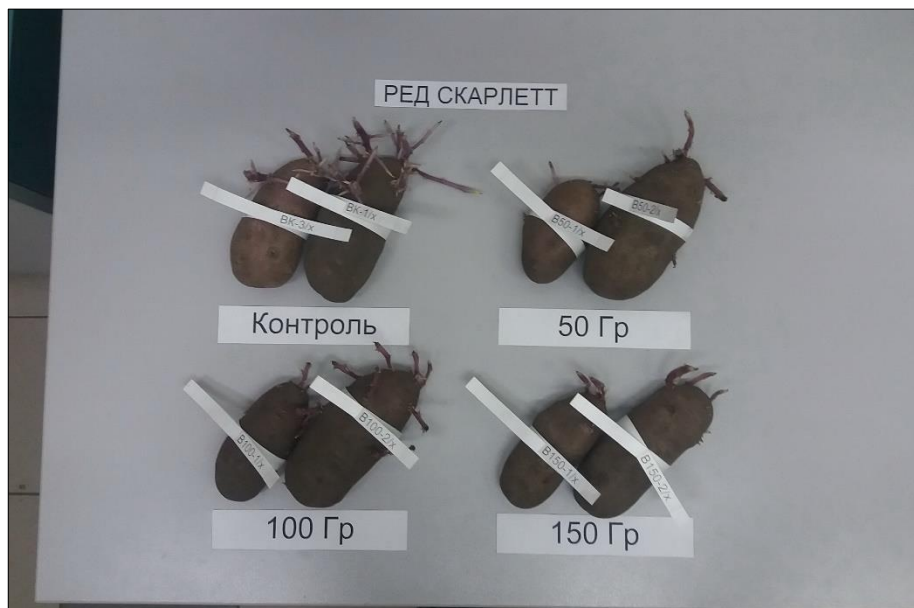


Рисунок А 71 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Клубни проросшие, не увядшие

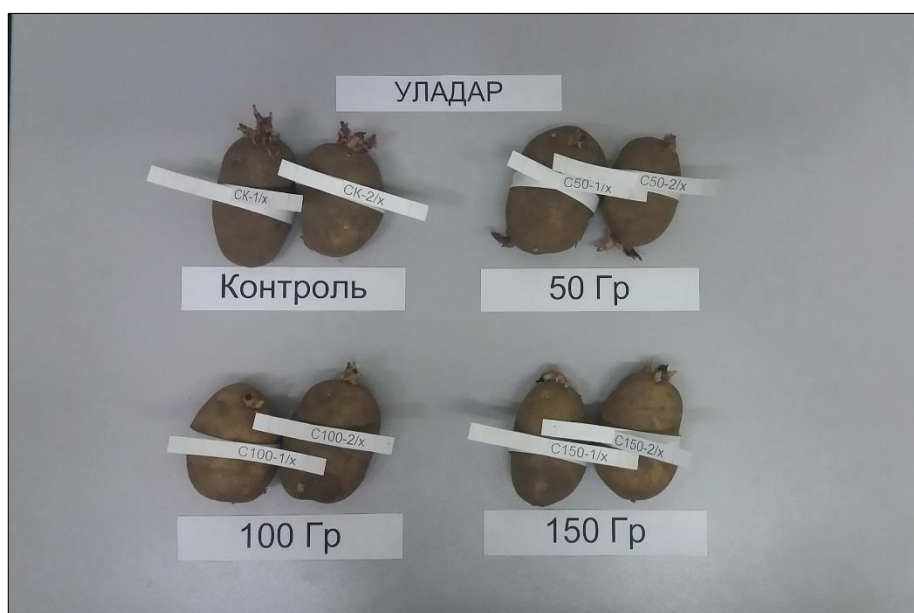


Рисунок А 72 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Клубни проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 27.04.2019

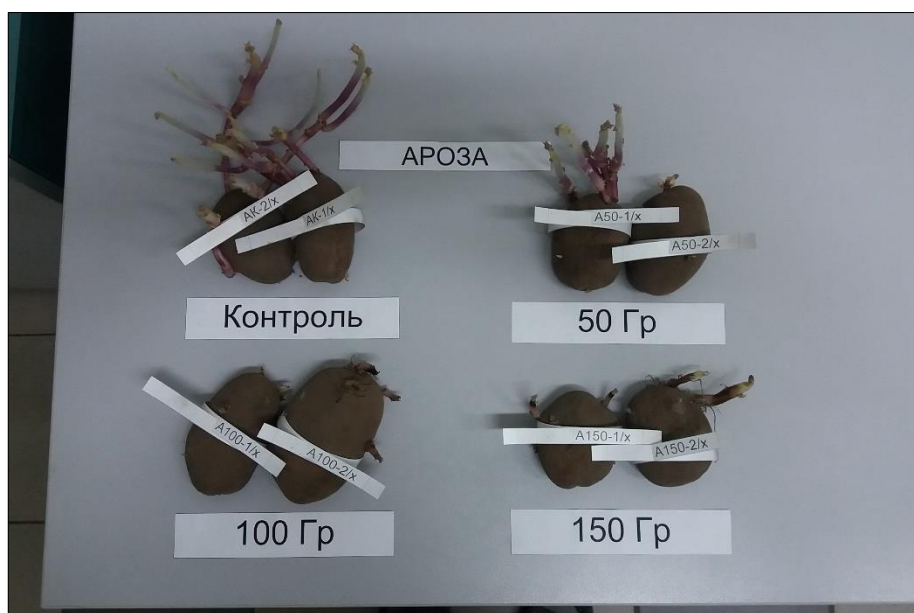


Рисунок А 73 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ароза. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие



Рисунок А 74 – Внешний вид клубней картофеля сорта Вектор. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие



Рисунок А 75 – Внешний вид клубней картофеля сорта Журавинка. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие



Рисунок А 76 – Внешний вид клубней картофеля сорта Колобок. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие

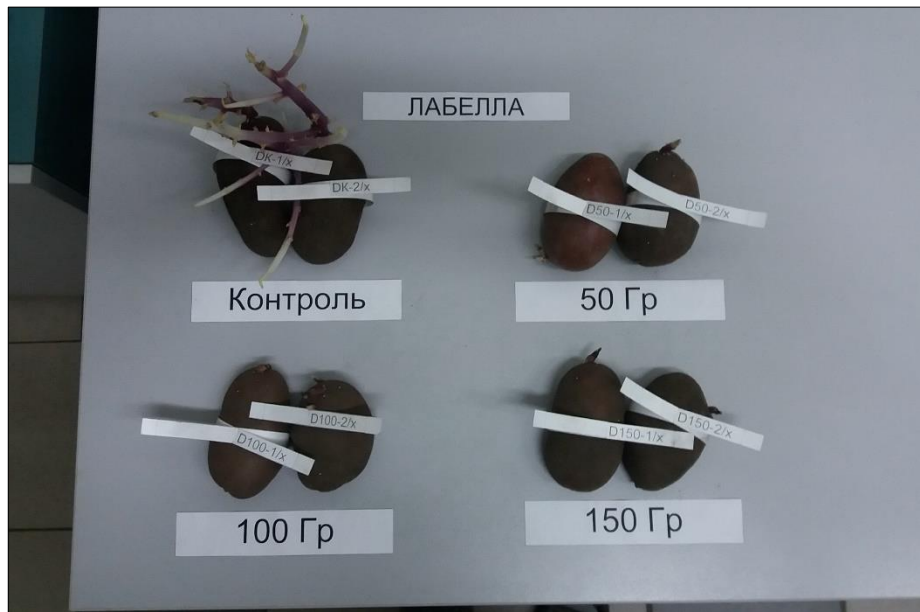


Рисунок А 77 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лабелла. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие



Рисунок А 78 – Внешний вид клубней картофеля сорта Лилли. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие

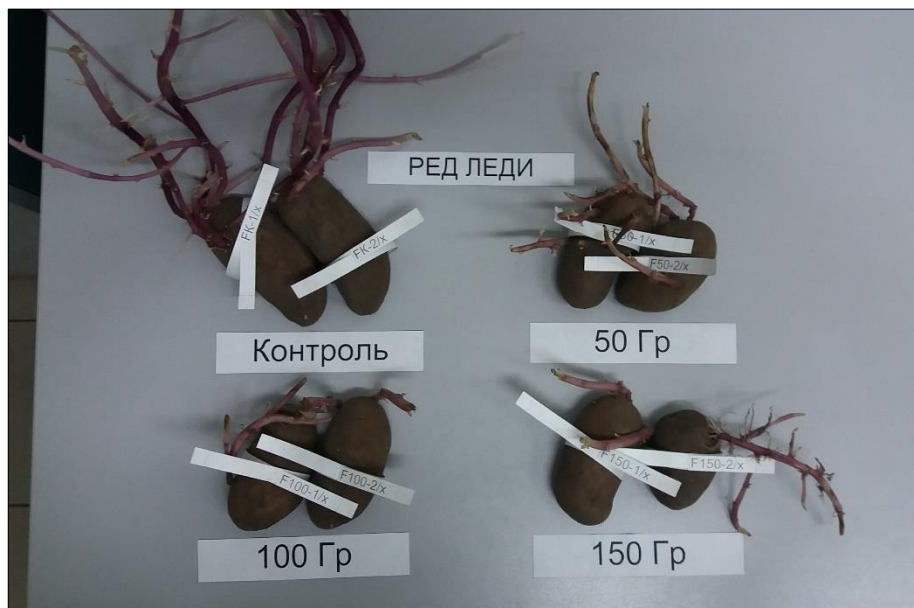


Рисунок А 79 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Леди. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие

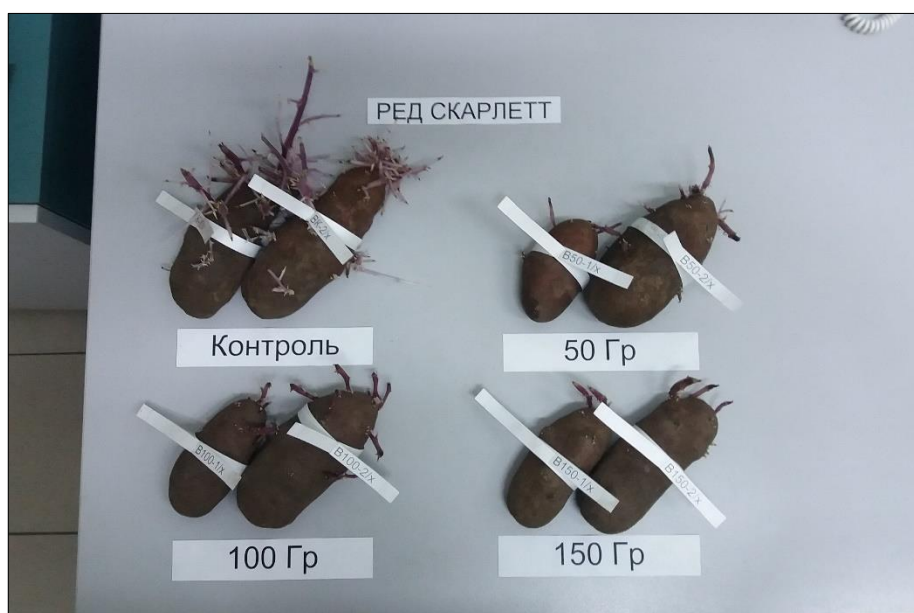


Рисунок А 80 – Внешний вид клубней картофеля сорта Ред Скарлетт. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие

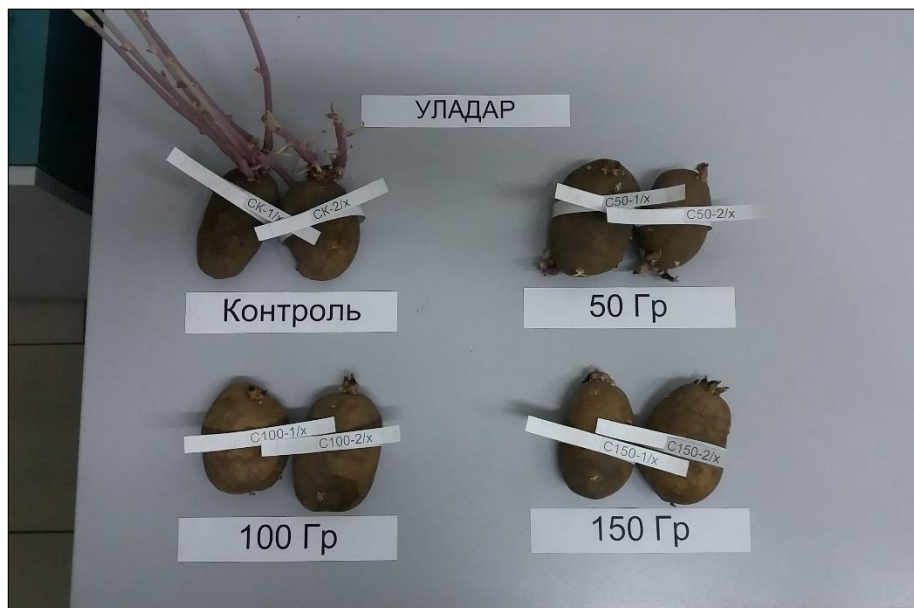


Рисунок А 81 – Внешний вид клубней картофеля сорта Уладар. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Невский. Температура хранения +6...+8 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 06.02.2020

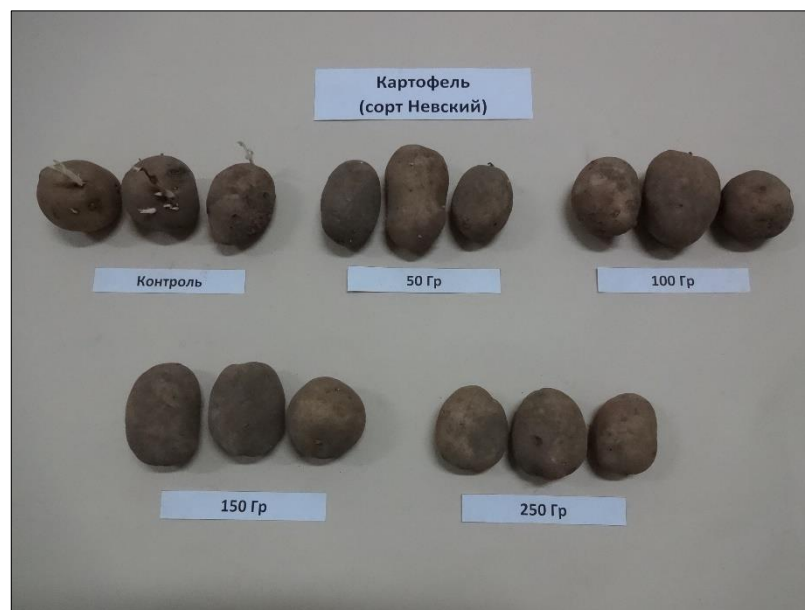


Рисунок А 82 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 20.03.2020

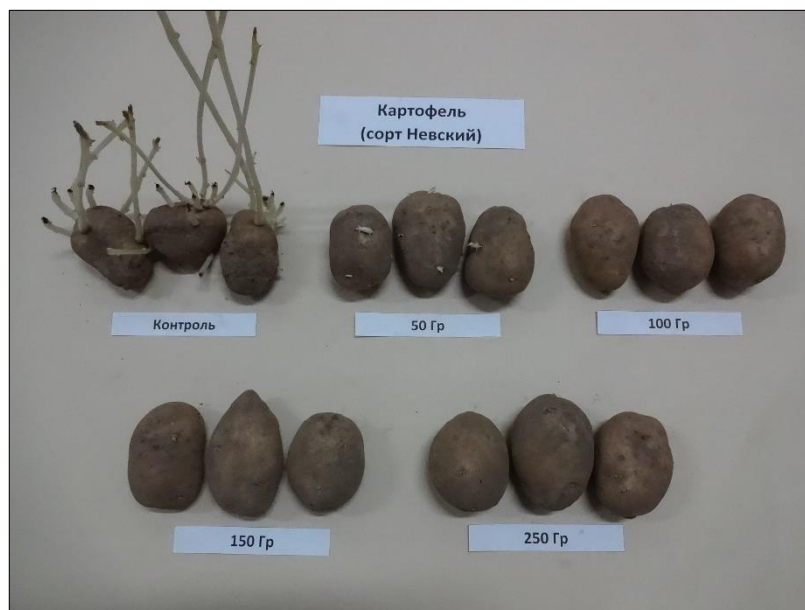


Рисунок А 83 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – клубни проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 23.04.2020

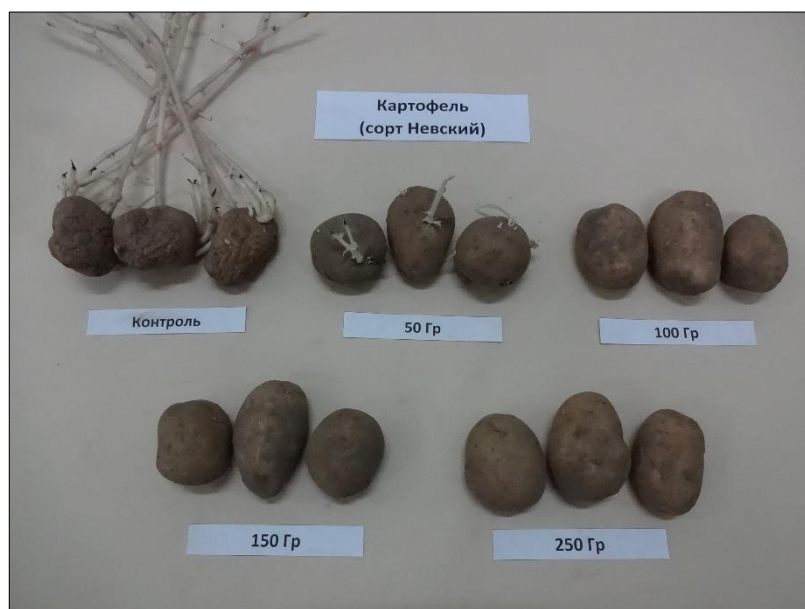


Рисунок А 84 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Невский. Температура хранения +18...+22 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

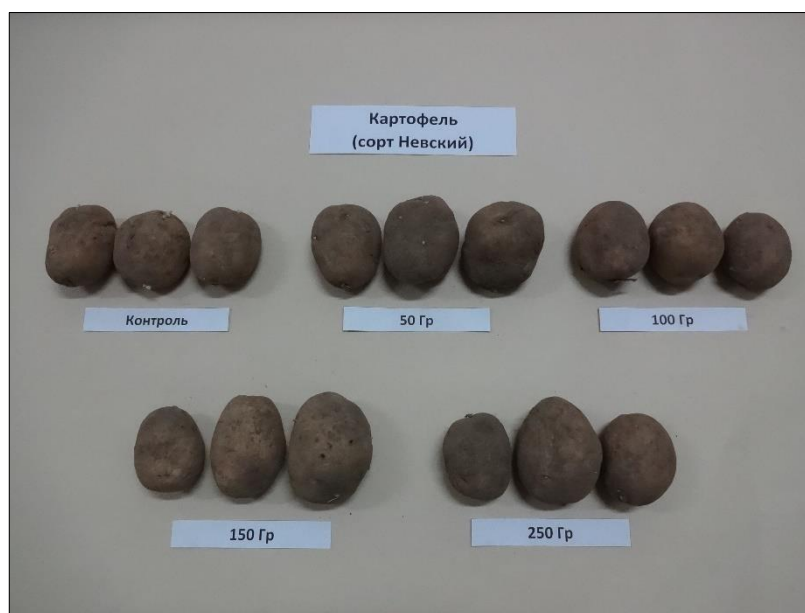


Рисунок А 85 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

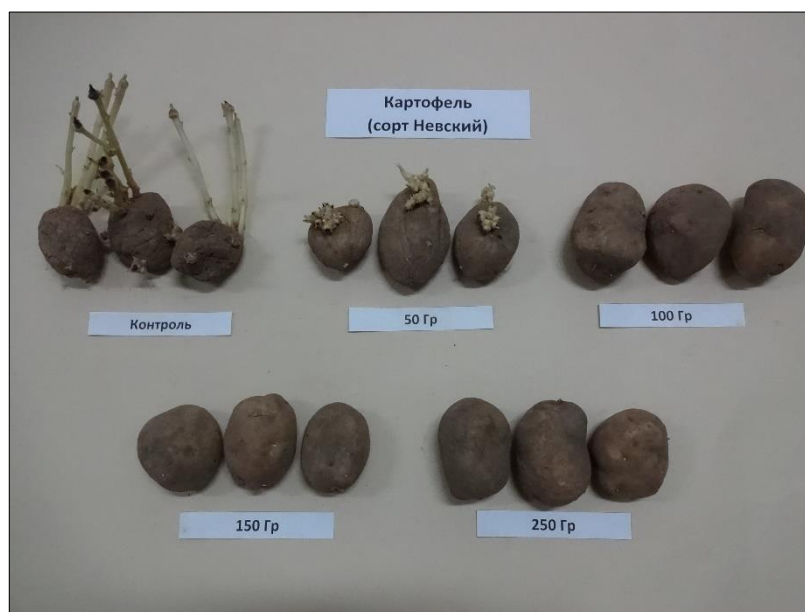


Рисунок А 86 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

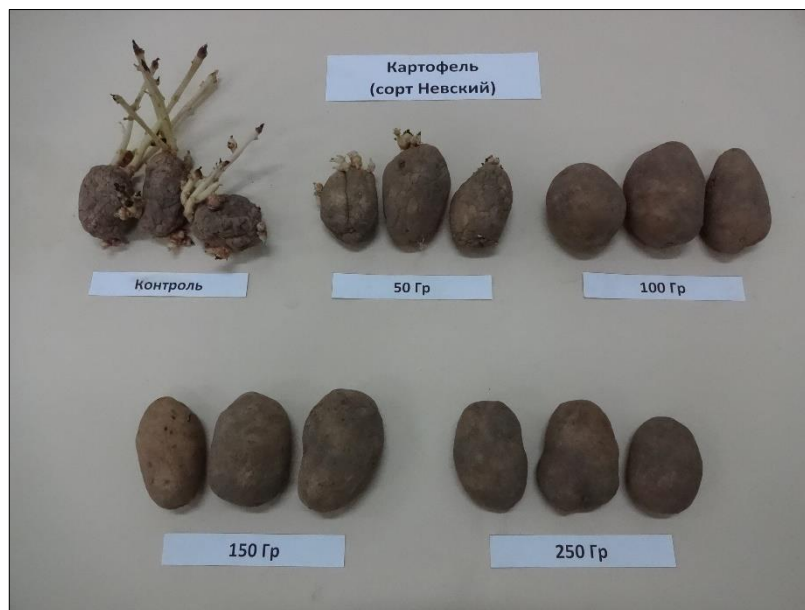


Рисунок А 87 – Внешний вид клубней картофеля сорта Невский. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Фаворит. Температура хранения +6...+8 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 06.02.2020

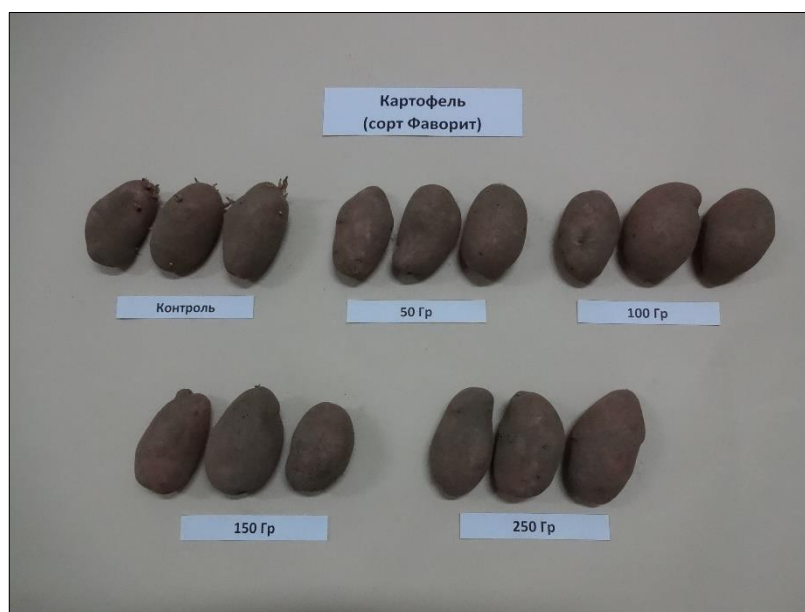


Рисунок А 88 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 20.03.2020

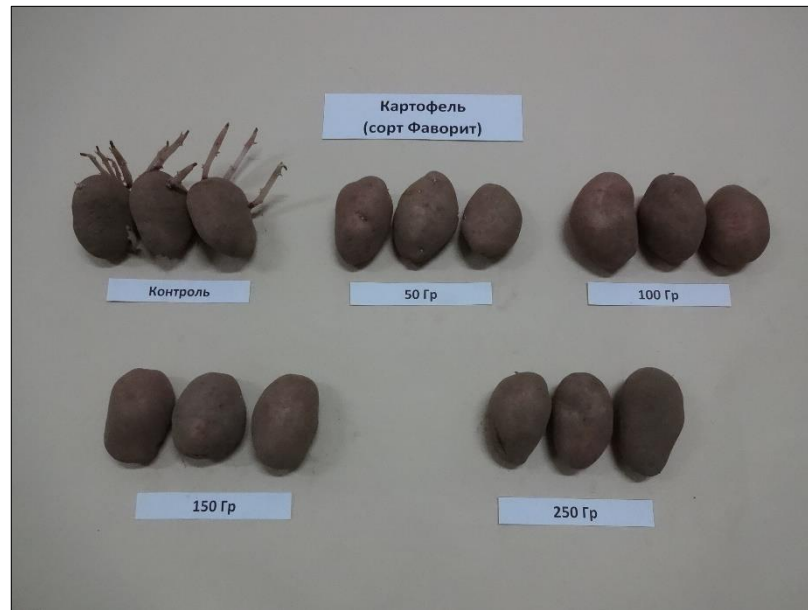


Рисунок А 89 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 23.04.2020

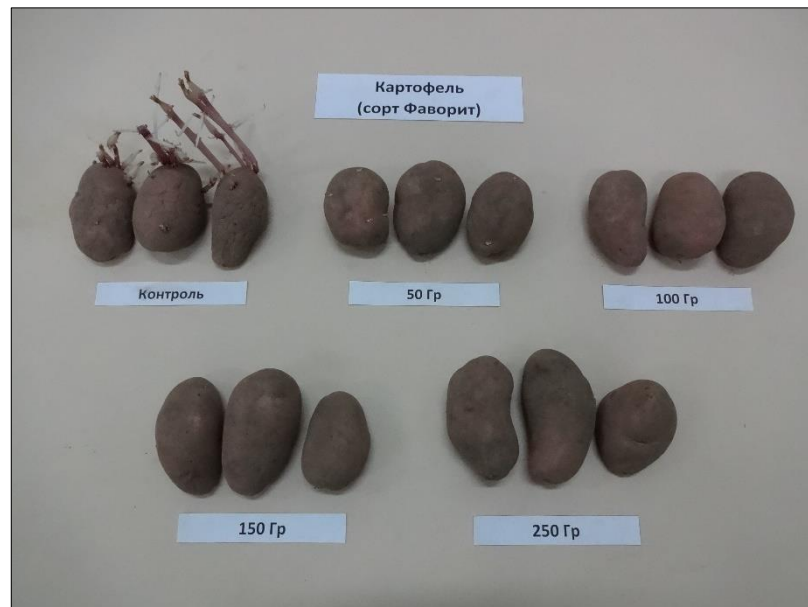


Рисунок А 90 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Фаворит. Температура хранения +18...+22 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

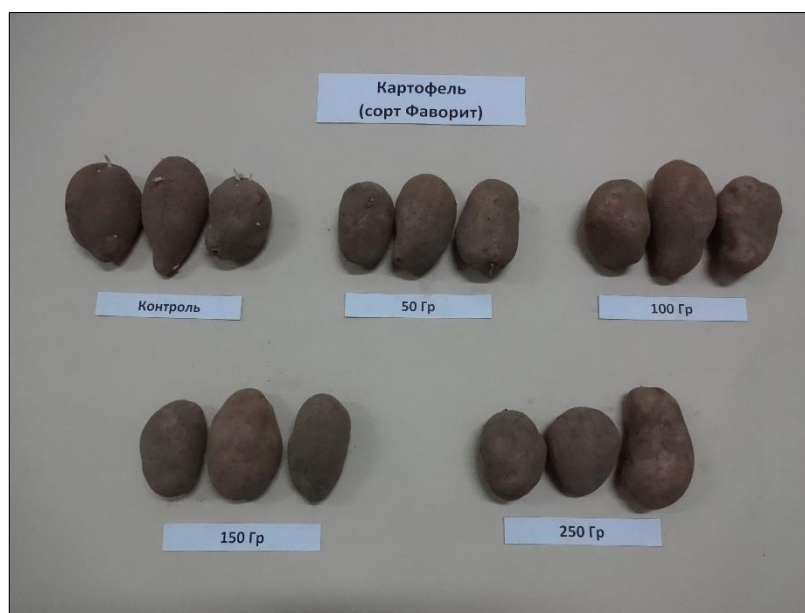


Рисунок А 91 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

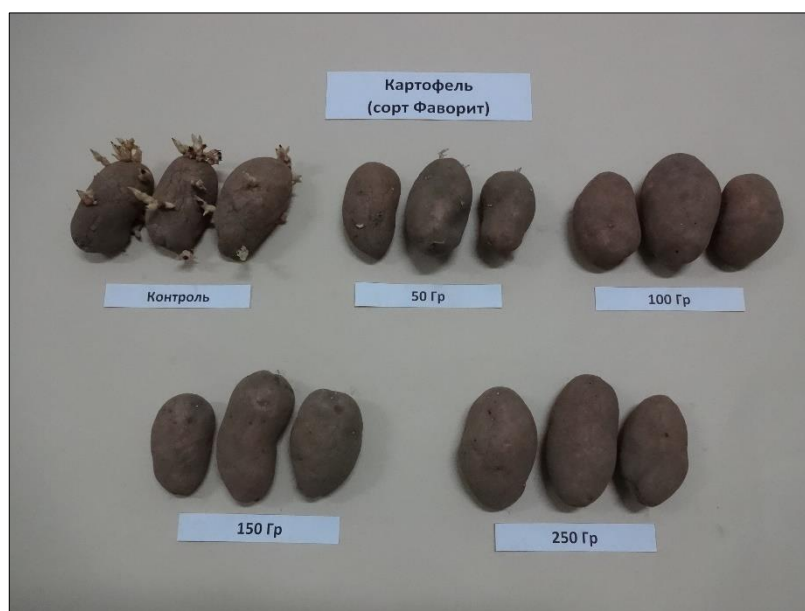


Рисунок А 92 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

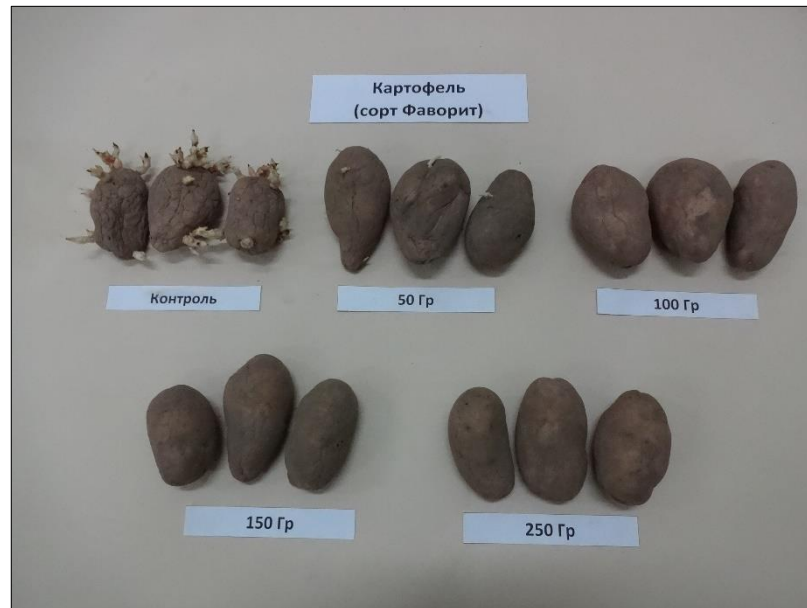


Рисунок А 93 – Внешний вид клубней картофеля сорта Фаворит. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр, 250 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Леди Клэр. Температура хранения +6...+8 °С

Срок хранения после облучения: 7 мес. Дата фотофиксации: 26.03.2021

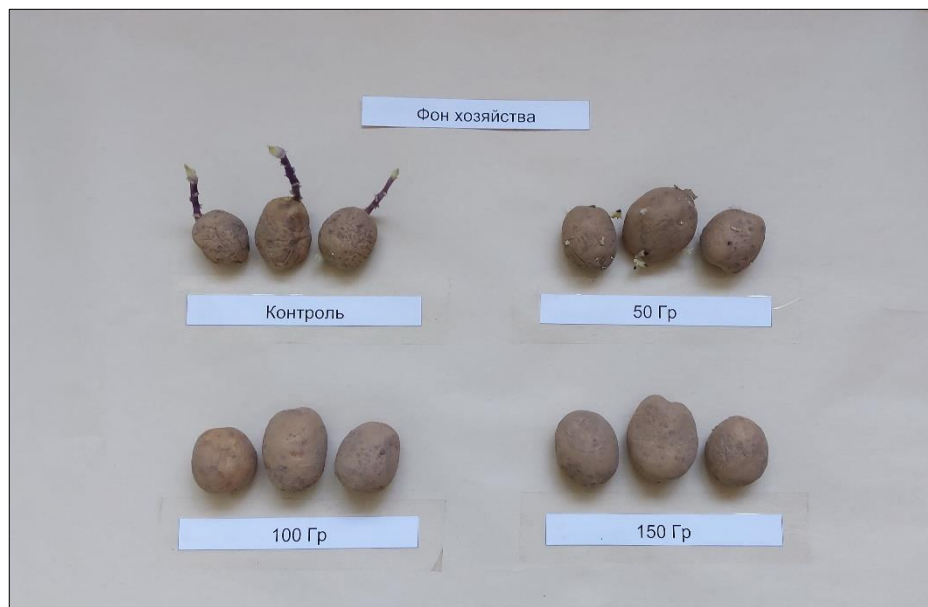


Рисунок А 94 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Без агроメリорантов. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

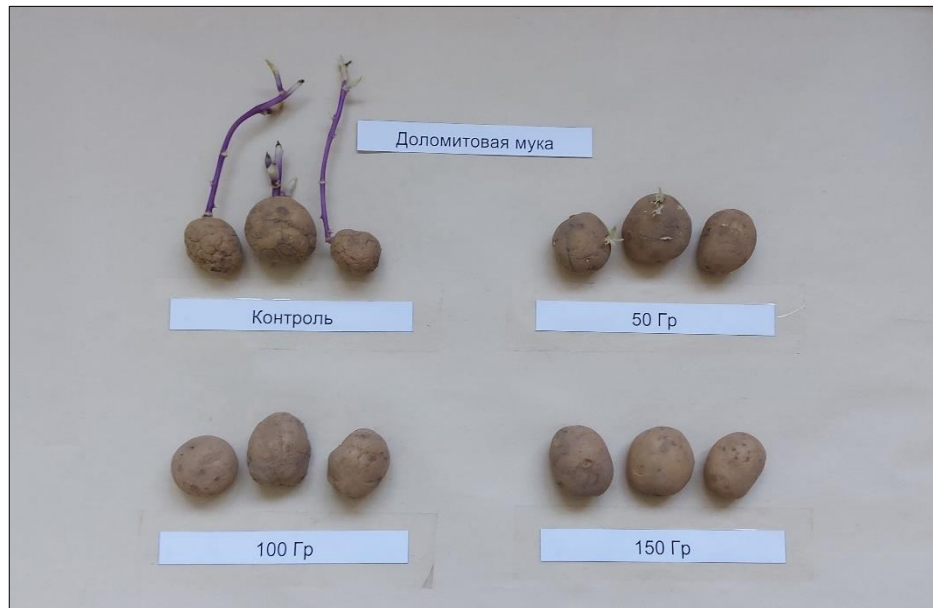


Рисунок А 95 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Доломитовая мука. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

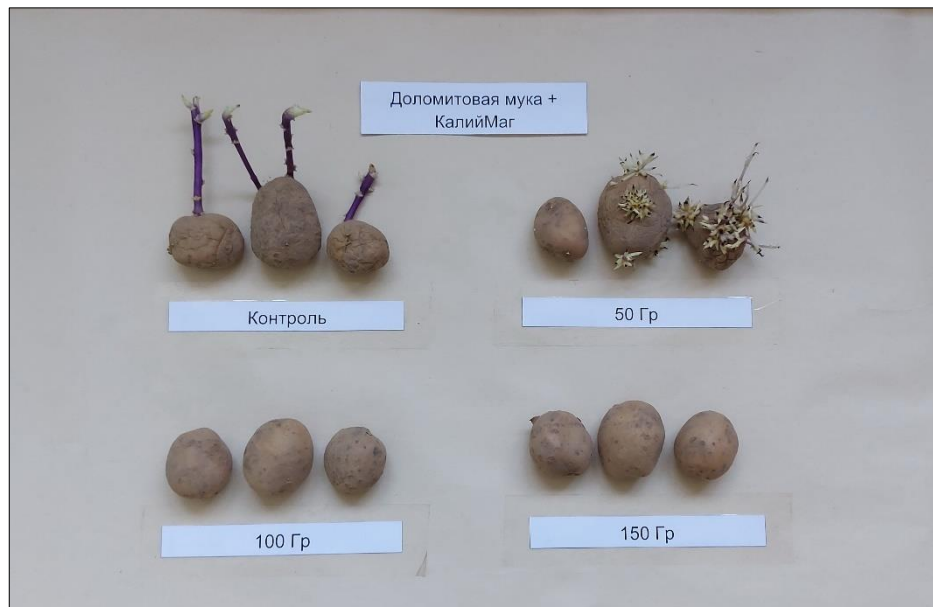


Рисунок А 96 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Доломитовая мука+КалийМаг. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

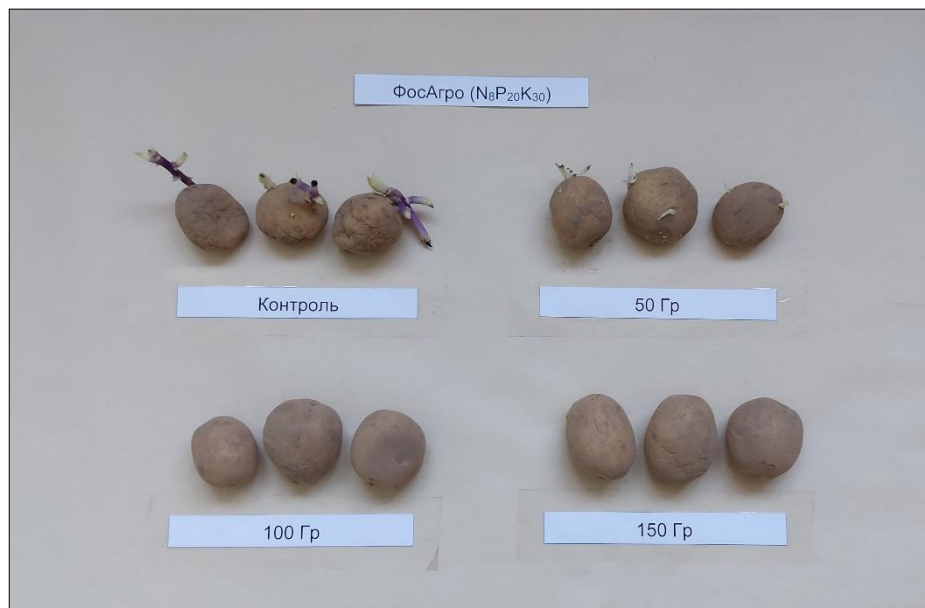


Рисунок А 97 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.
 FosАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие;
 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

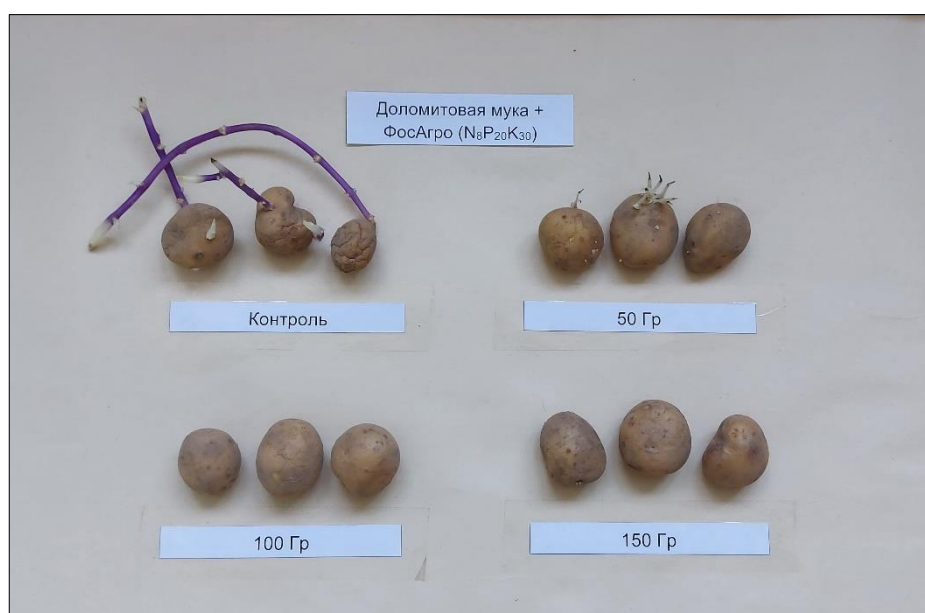


Рисунок А 98 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.
 Доломитовая мука+ФосАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр –
 проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, не увядшие

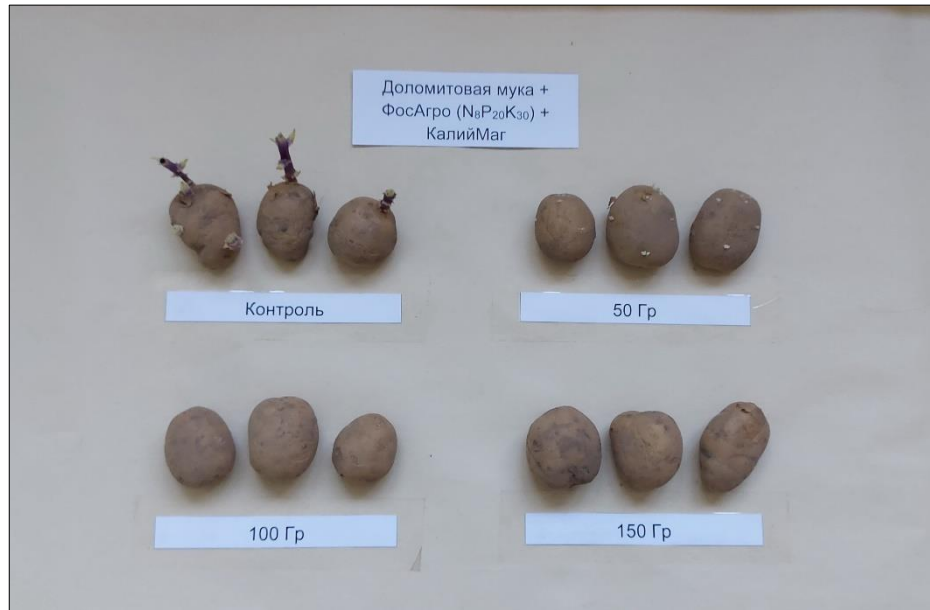


Рисунок А 99 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.

Доломитовая мука+ФосАгро+КалийМаг. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие.

Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, не увядшие

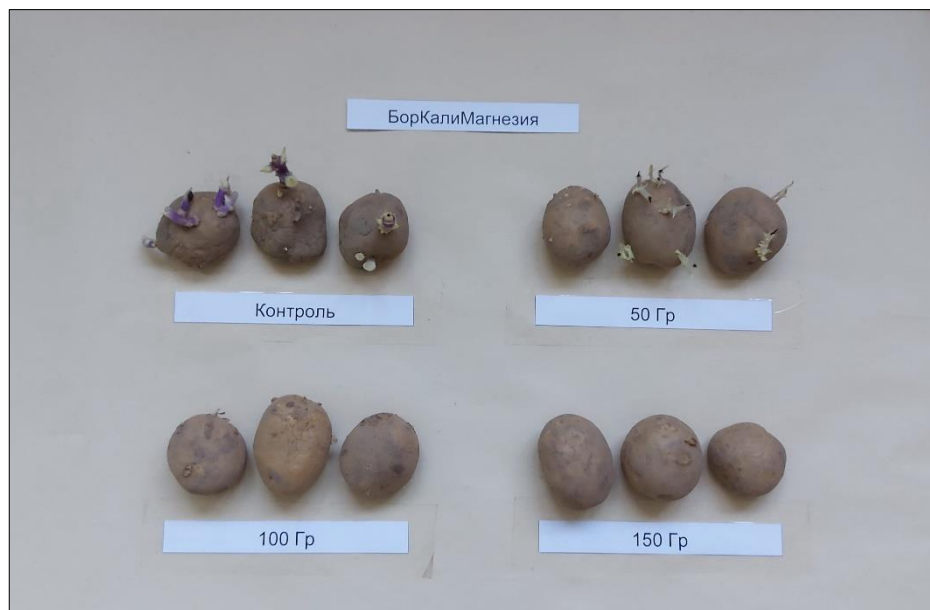


Рисунок А 100 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.

БорКалиМагnezия. Контроль: клубни проросшие, слегка увядшие. Облучение: 50 Гр –

проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, не увядшие

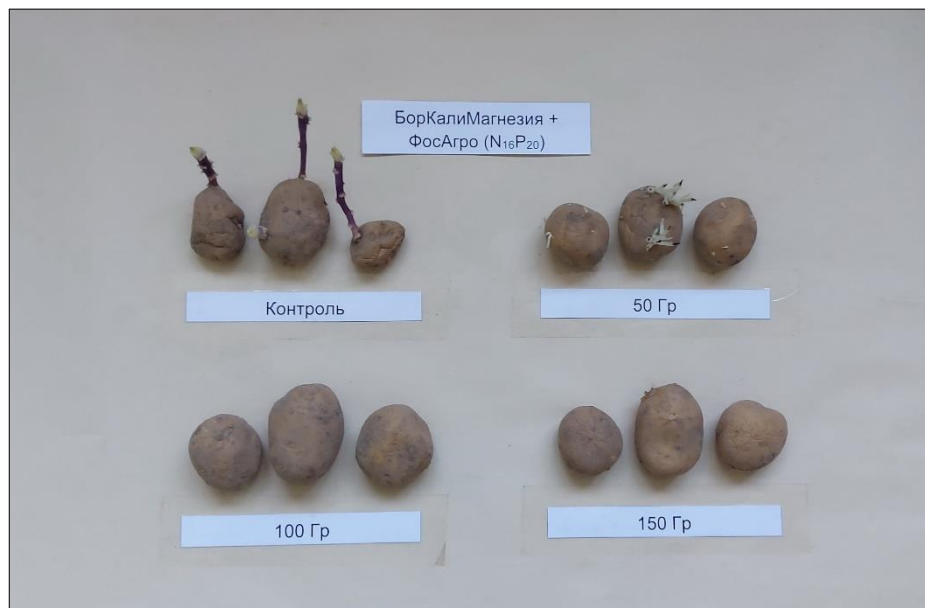


Рисунок А 101 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. БорКалиМагnezия+ФосАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, не увядшие

Картофель. Сорт Леди Клэр. Температура хранения +18...+22 °С

Срок хранения после облучения: 7 мес. Дата фотофиксации: 27.03.2021



Рисунок А 102 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Без агроулучшителей. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, слегка увядшие

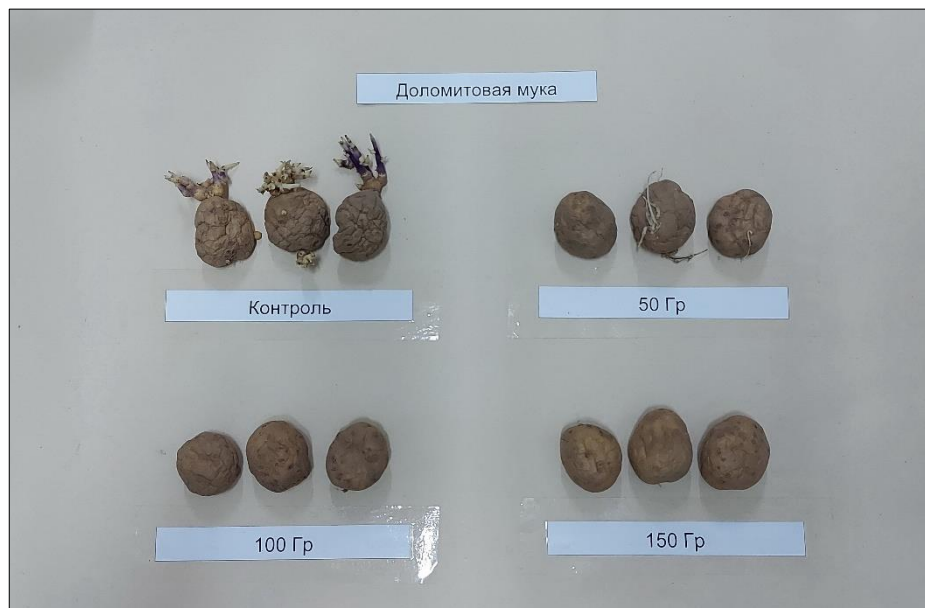


Рисунок А 103 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Доломитовая мука. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, увядшие

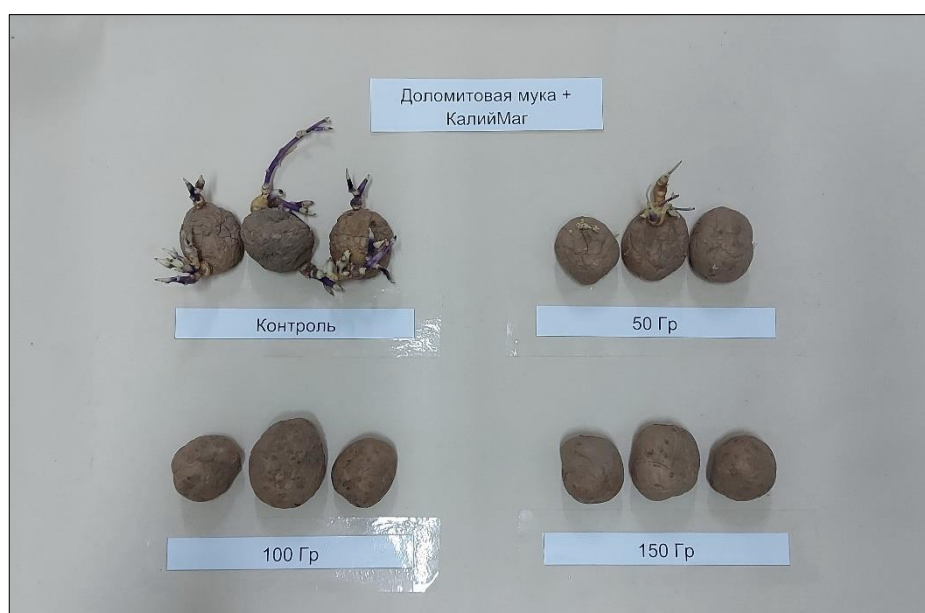


Рисунок А 104 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Доломитовая мука. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, слегка увядшие

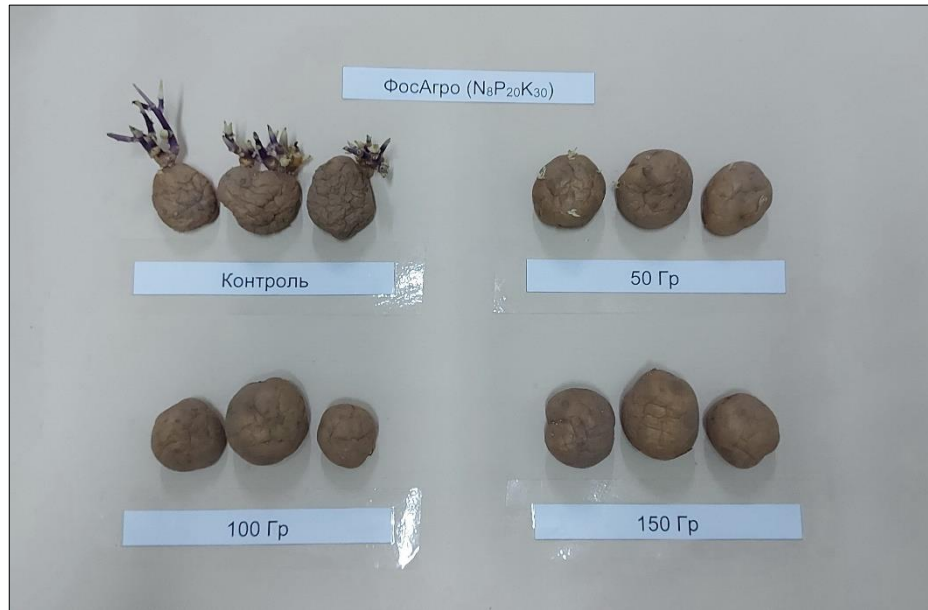


Рисунок А 105 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. ФосАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, слегка увядшие

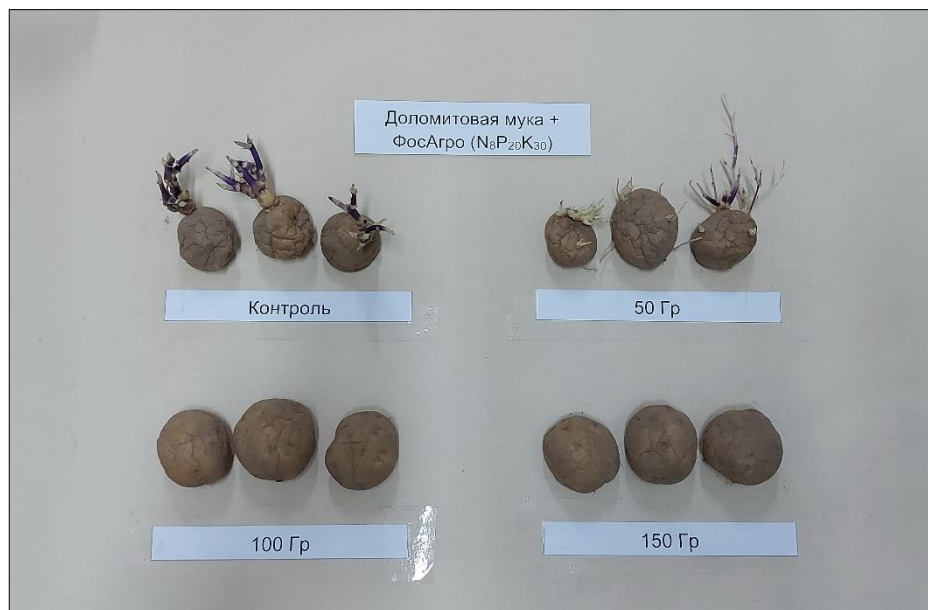


Рисунок А 106 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. Доломитовая мука+ФосАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, слегка увядшие

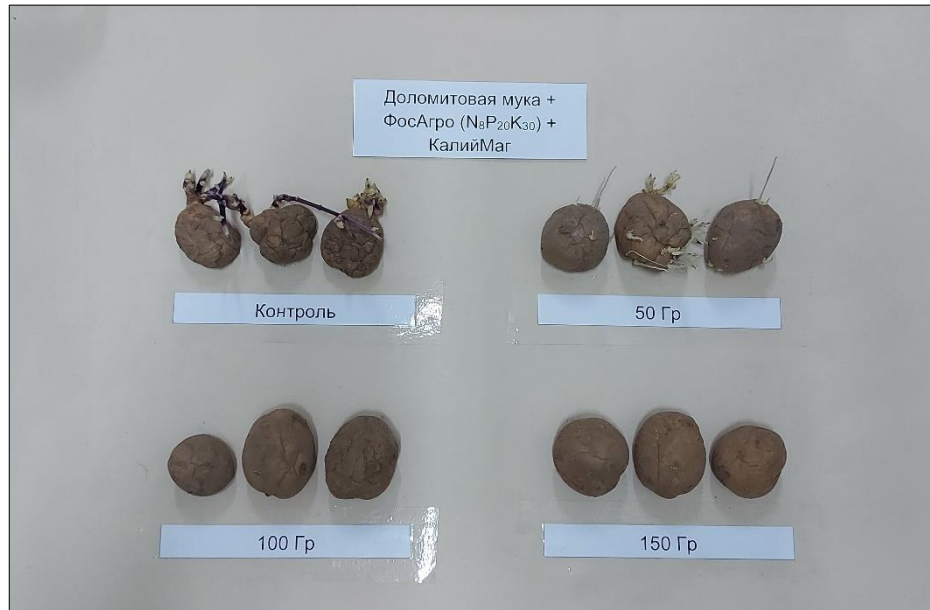


Рисунок А 107 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.

Доломитовая мука+ФосАгро+КалийМаг. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение:
50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – клубни не проросшие, слегка увядшие

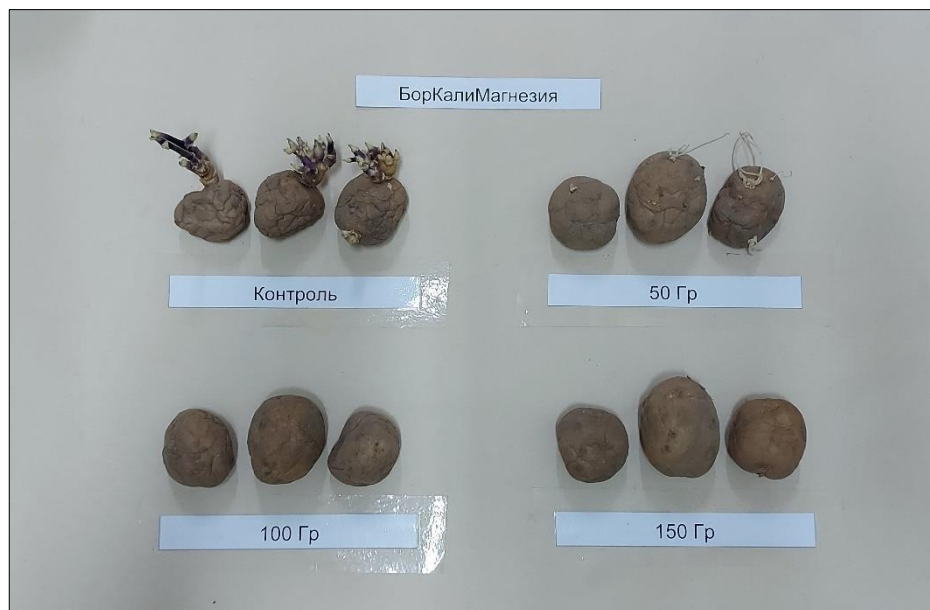


Рисунок А 108 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр.

БорКалиМагnezия. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие,
слегка увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, слегка увядшие

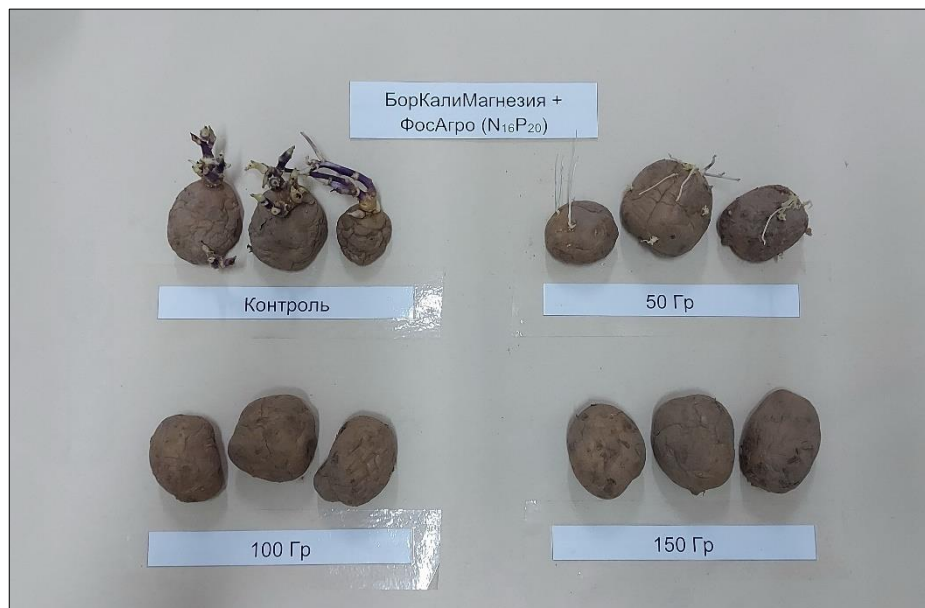


Рисунок А 109 – Внешний вид клубней картофеля сорта Леди Клэр. БорКалиМагnezия+ФосАгро. Контроль: клубни проросшие, увядшие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр – не проросшие, увядшие

Лук репчатый. Сорт Ростовский. Температура хранения 0...–1 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 06.02.2020

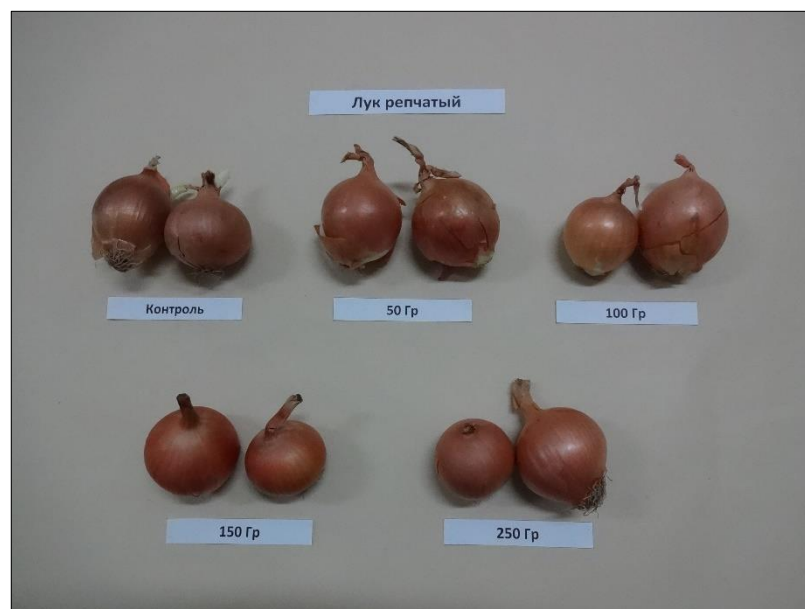


Рисунок А 110 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский. Контроль: луковички проросшие, не увядшие. Облучение: луковички не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 20.03.2020

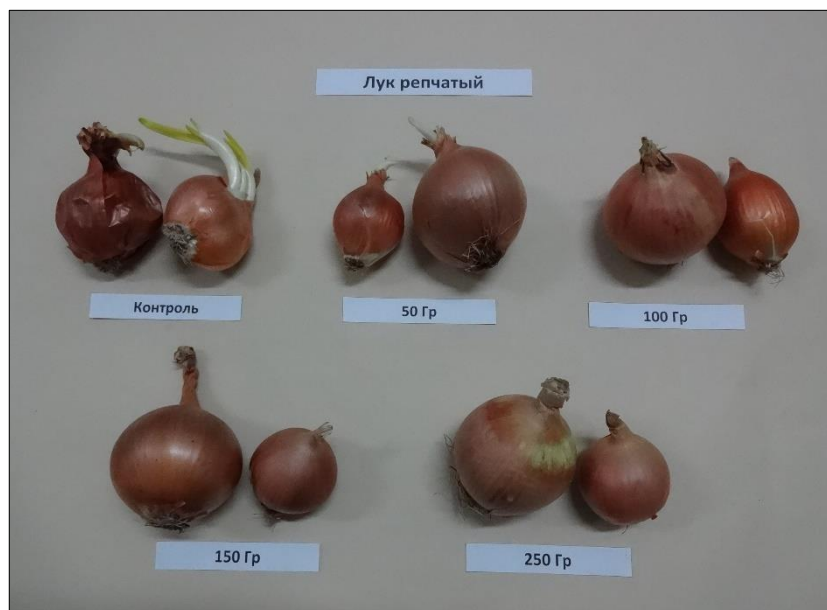


Рисунок А 111 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский. Контроль: луковички проросшие, увядшие, с признаками гниения. Облучение: 50 Гр – проросшие, не увядшие; 100 Гр, 150 Гр 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 23.04.2020

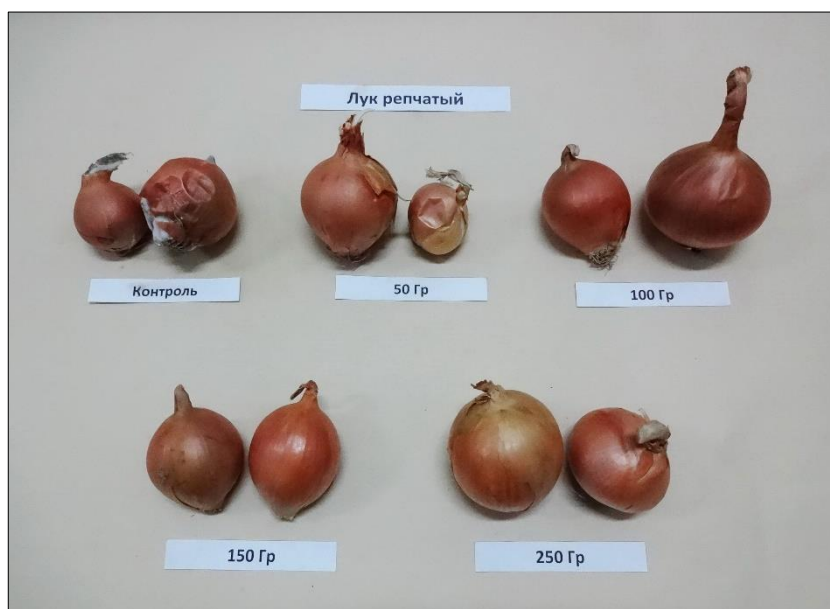


Рисунок А 112 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский. Контроль: луковички проросшие, увядшие, загнившие. Облучение: 50 Гр – луковички проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Лук репчатый. Сорт Ростовский. Температура хранения +18...+22 °С
Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

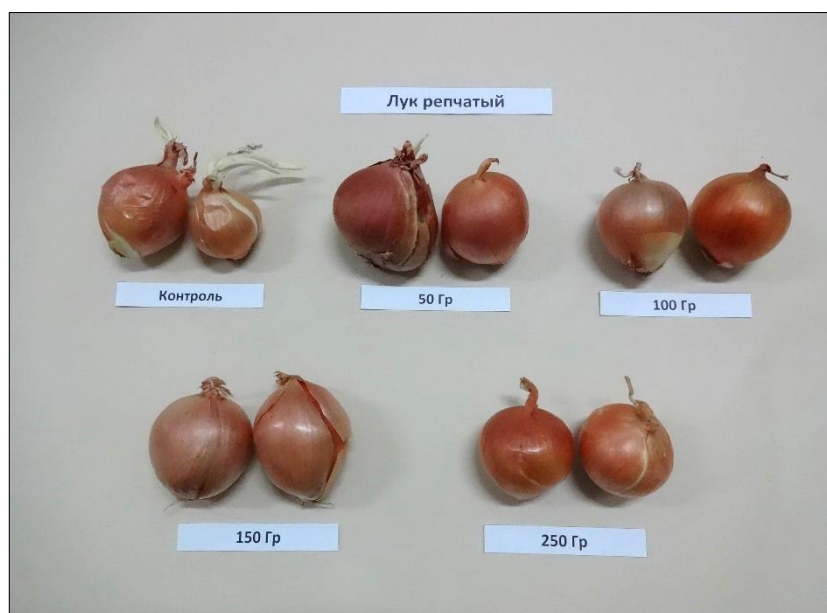


Рисунок А 113 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский.

Контроль: луковицы проросшие, увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

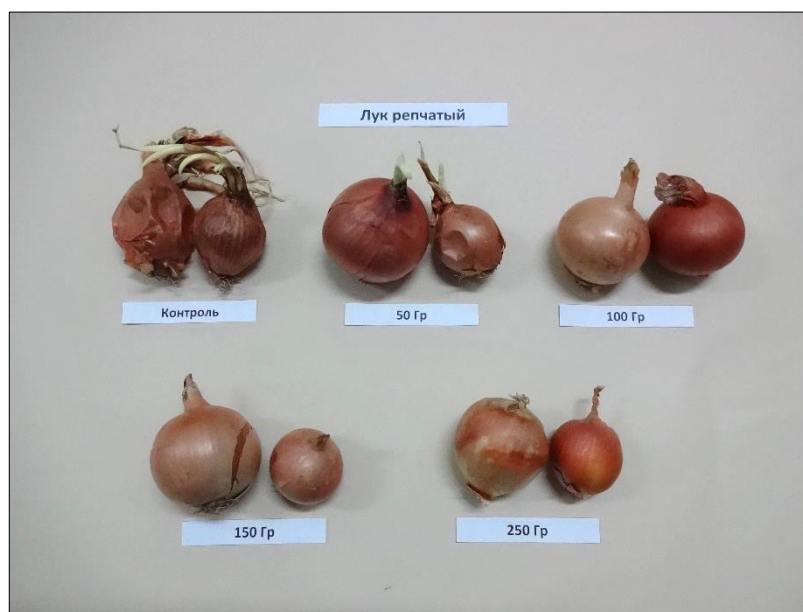


Рисунок А 114 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский.

Контроль: луковицы проросшие, увядшие, загнившие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие, загнившие; 100 Гр, 150 Гр 250 Гр – луковицы не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

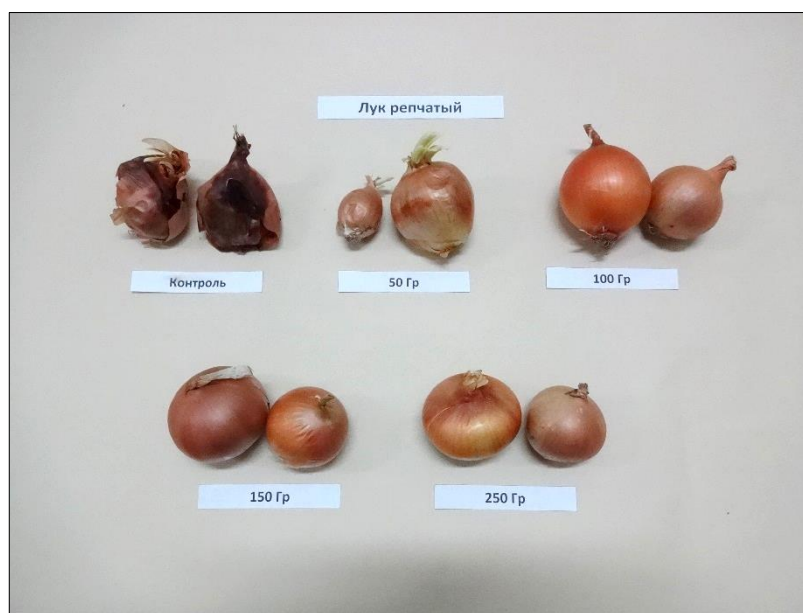


Рисунок А 115 – Внешний вид репчатого лука сорта Ростовский. Контроль: луковички проросшие, увядшие, загнившие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие, загнившие; 100 Гр, 150 Гр 250 Гр – луковички не проросшие, не увядшие

Лук репчатый. Сорт Черный принц. Температура хранения 0...–1 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

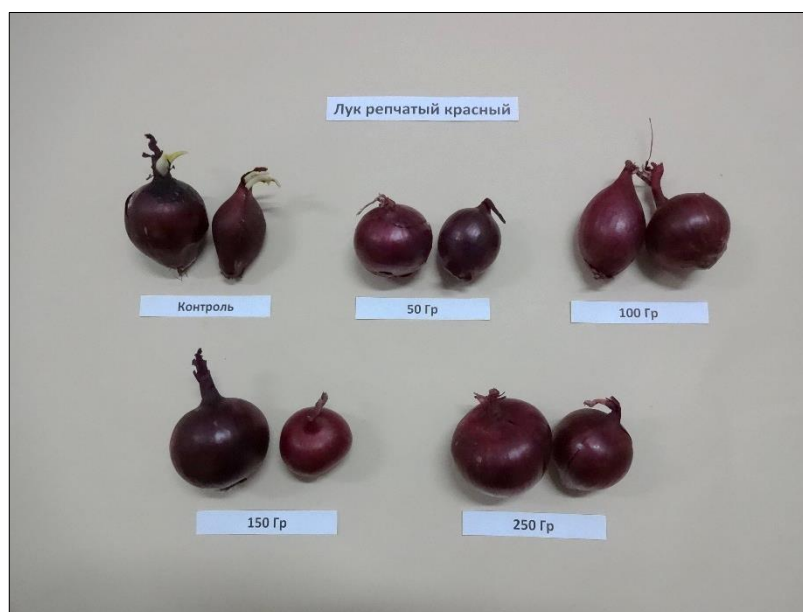


Рисунок А 116 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц. Контроль: луковички проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

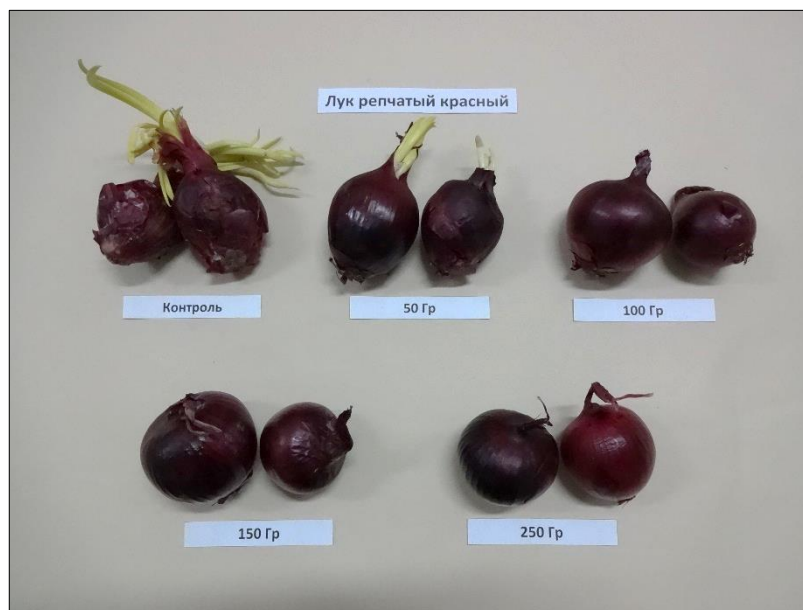


Рисунок А 117 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц. Контроль: луковицы проросшие, увядшие, загнившие. Облучение: 50 Гр – проросшие, увядшие; 100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – луковицы не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

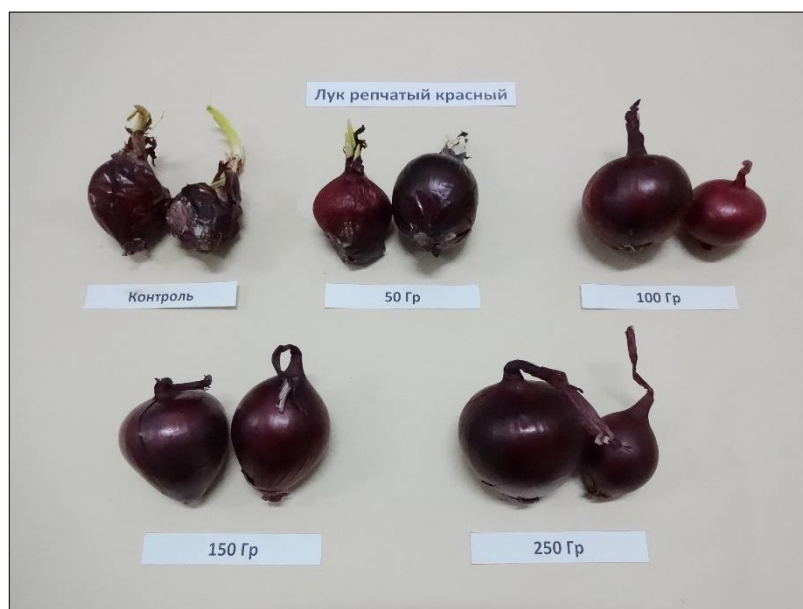


Рисунок А 118 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц. 0 Гр (контроль), 50 Гр – луковицы проросшие, увядшие, загнившие; 100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Лук репчатый. Сорт Черный принц. Температура хранения +18...+22 °С
Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

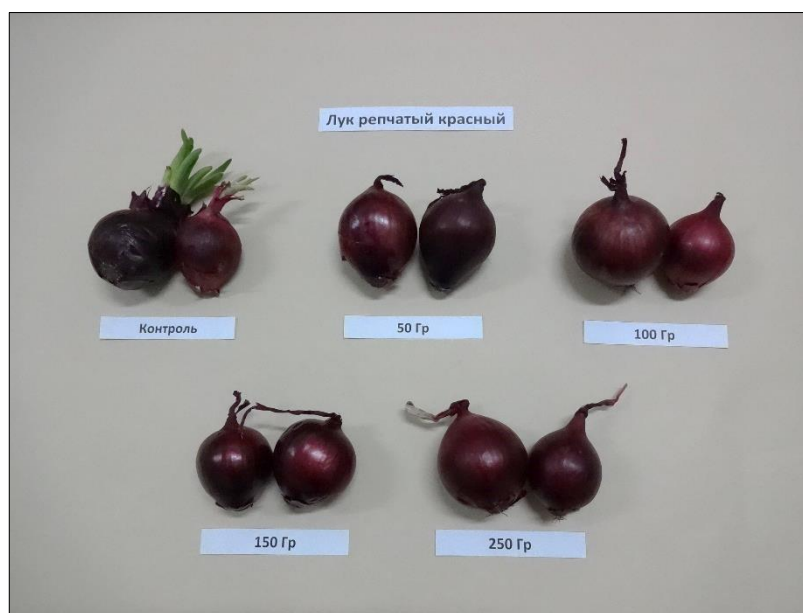


Рисунок А 119 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц.

Контроль – луковицы проросшие, увядшие, с признаками гниения. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

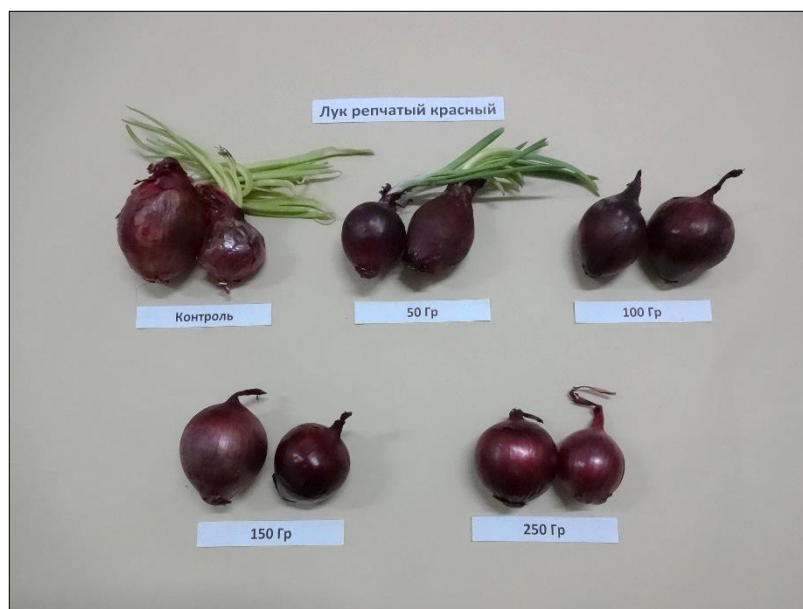


Рисунок А 120 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц.

0 Гр (контроль), 50 Гр – луковицы проросшие, увядшие, загнившие; 100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

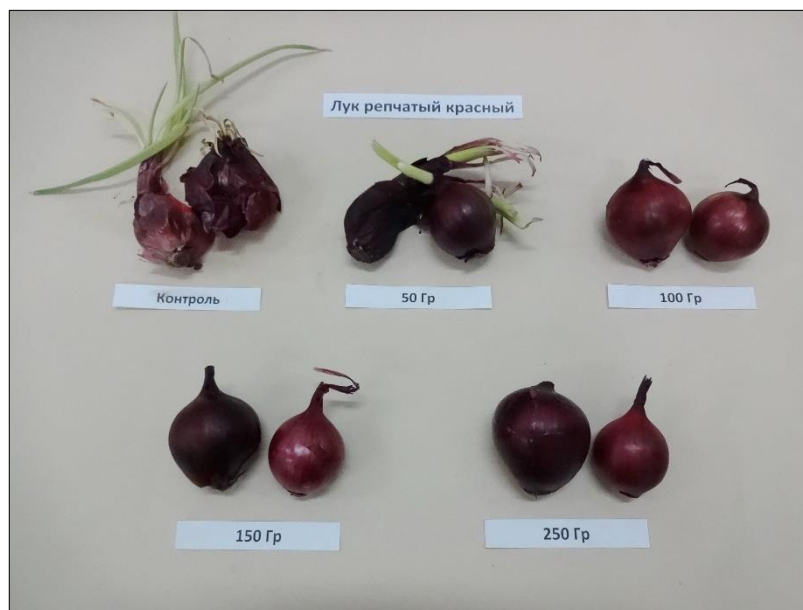


Рисунок А 121 – Внешний вид репчатого лука сорта Черный принц.
0 Гр (контроль), 50 Гр – луковицы проросшие, увядшие, загнившие; 100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Чеснок Youshu, Китай. Температура хранения 0...-1 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

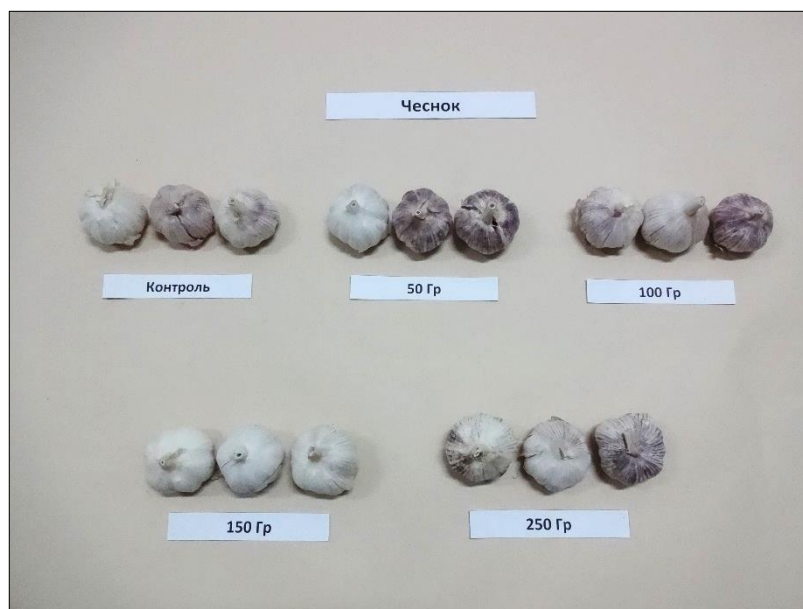


Рисунок А 122 – Внешний вид чеснока Youshu. Контроль – луковицы не проросшие, не увядшие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

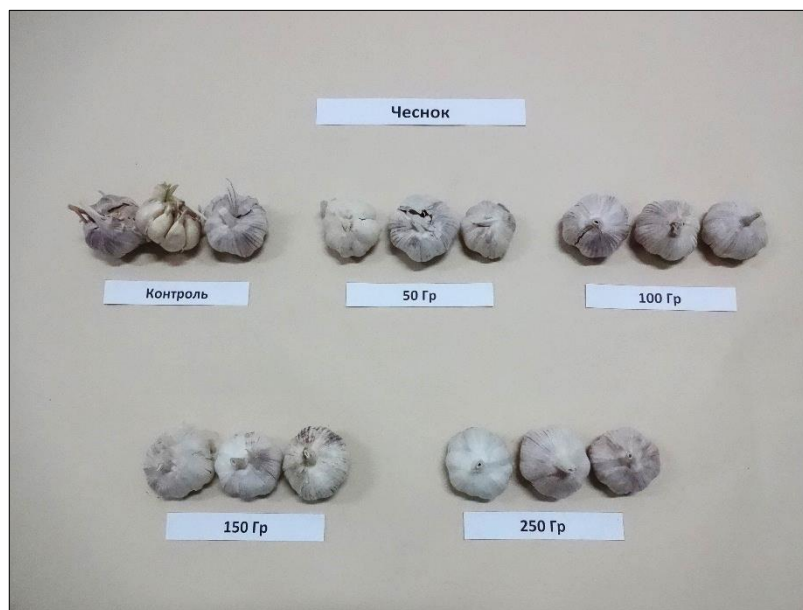


Рисунок А 123 – Внешний вид чеснока Youshu. Контроль – луковицы проросшие, увядшие.

Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

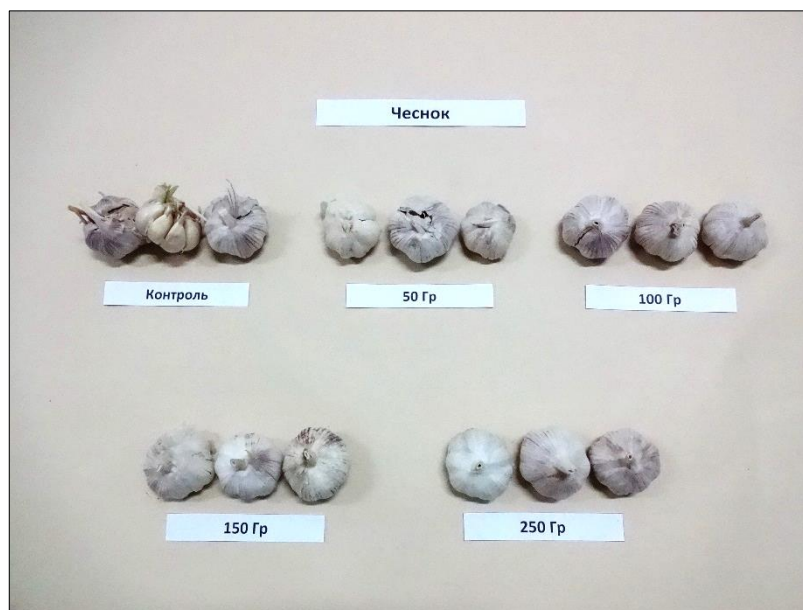


Рисунок А 124 – Внешний вид чеснока Youshu. Контроль – луковицы проросшие, увядшие,

подгнившие. Облучение: не проросшие, не увядшие

Чеснок Youshu, Китай. Температура хранения +18...+22 °С

Срок хранения после облучения: 1,5 мес. Дата фотофиксации: 07.02.2020

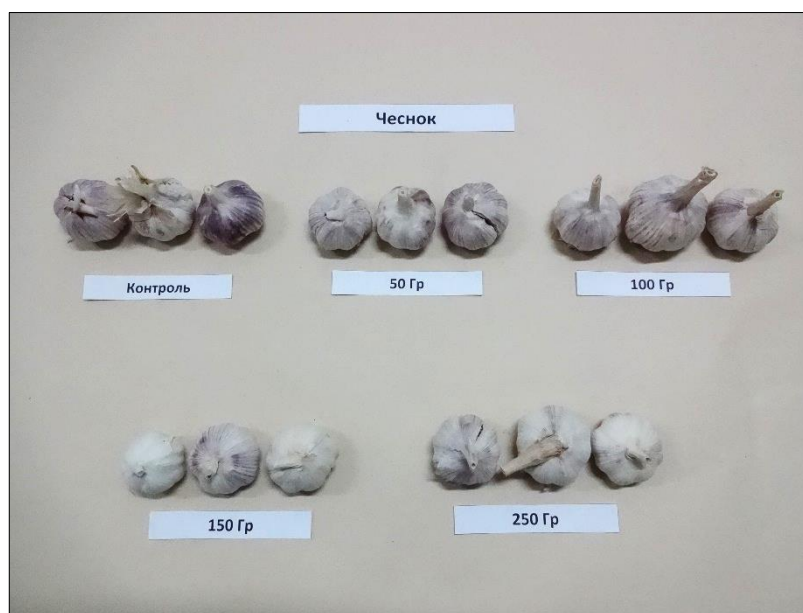


Рисунок А 125 – Внешний вид чеснока Youshu. Контроль – луковицы проросшие, увядшие.

Облучение: не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 3 мес. Дата фотофиксации: 19.03.2020

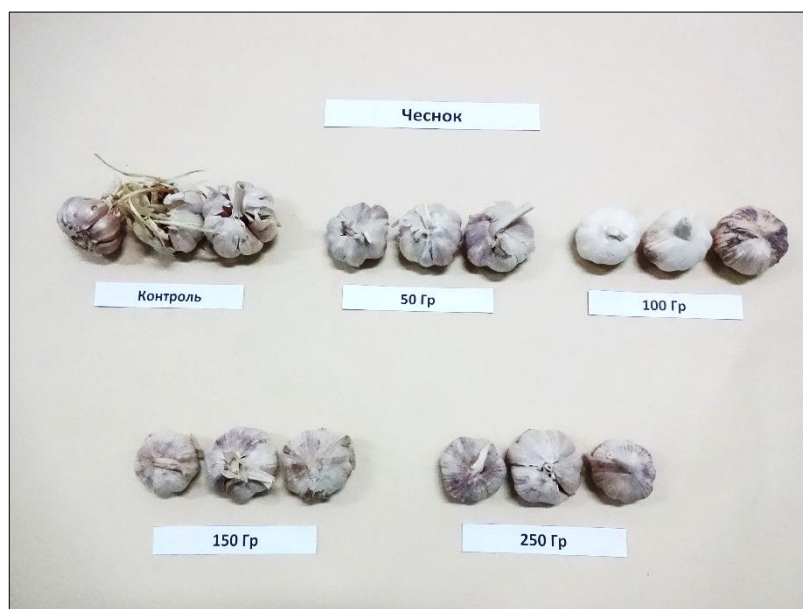


Рисунок А 126 – Внешний вид чеснока Youshu. Контроль – луковицы проросшие, увядшие.

Облучение: 50 Гр – проросшие, подгнившие; 100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – не проросшие, не увядшие

Срок хранения после облучения: 4 мес. Дата фотофиксации: 25.04.2020

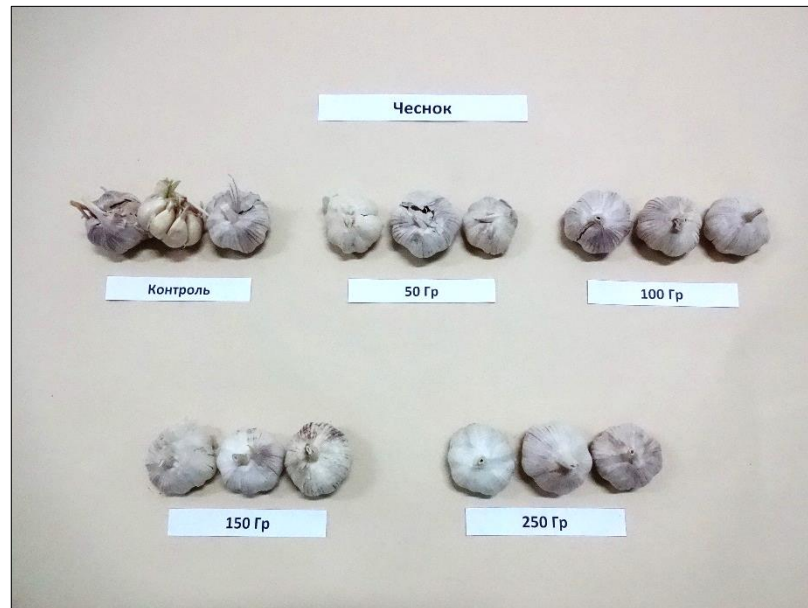


Рисунок А 127 – Внешний вид чеснока Youshu. 0 Гр (контроль), 50 Гр – проросшие, увядшие.
100 Гр, 150 Гр и 250 Гр – не проросшие, не увядшие



ЭРА
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ ФГУП «ПО «Маяк»

**Общество с ограниченной
ответственностью
«Региональный центр облучательных
технологий «Эра»
(ООО «РЦОТ «Эра»)**

ул. Седьмая линия, д. 16, пом. 201, г. Озерск,
Челябинская область, 456784, а/я 434,
Телефон (35130) 3-32-42
E-mail: era@po-mayak.ru
ОГРН 1197456048470
ИНН/КПП 7413026733/741301001

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
радиологии и агроэкологии»

13.02.2023 № 63-РЦ

На № _____ от _____

Акт о внедрении

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата биологических наук «Влияния ионизирующего излучения на сохранность и качество овощной продукции»

Чижа Тараса Васильевича

Результаты диссертационной работы Чижа Т.В. по применению ионизирующего излучения для продления сроков хранения овощной продукции (картофель, лук, чеснок), включающие оптимальные дозы облучения, дозиметрические параметры процесса, показатели качества облученной продукции были использованы ООО «Региональный центр облучательных технологий «Эра» для разработки технологического регламента облучения опытных и коммерческих партий овощной продукции.

Генеральный директор

Р.И. Ермолаев

Алексеева Светлана Сергеевна
(35130) 37086