

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-61-78>

УДК [664.854+634.5]:648.6



Влияние параметров ионизирующего излучения на эффективность дезинсекции и потребительские свойства продукции при облучении сухофруктов и орехов

С.В. Кузьмин, О.В. Есаурова✉, А.Ю. Скопин, А.В. Балакаева,
Н.В. Мощенская, В.Н. Русаков

Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены
им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора;
г. Мытищи, Российская Федерация,
✉ esaulova.ov@fncg.ru

Аннотация. Введение. В Российской Федерации и странах ЕАЭС применение ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции (радуризация) разрешено в соответствии с ТР ТС 021/2011 при условии соблюдения доз, установленных международными стандартами. При этом выбор дозы облучения должен быть сбалансирован: она должна быть достаточной для обеспечения микробиологической безопасности продукта, не ухудшая его органолептические и потребительские качества. **Целью исследования** стало исследование по оценке влияния различных доз обработки ионизирующим излучением сухофруктов на скорость гибели насекомых-вредителей, а также влияние такой обработки на органолептические, физико-химические и микробиологические показатели продукции. **Материалы и методы.** Объектами исследования явились курага, изюм светлый, изюм темный, грецкий орех и фундук, обработанные ионизирующим излучением, обеспечивающим поглощенные дозы от 150 до 1000 Гр. Оценивались следующие показатели качества и безопасности: органолептические, содержание влаги, витамина С, сернистого ангидрида, пестицидов ГХЦГ, ДДТ, токсичных элементов (кадмия, свинца, мышьяка, ртути), радионуклида ¹³⁷Cs, патулина. Также определялись: перекисное число жира, жирнокислотный состав, афлатоксин В1, микробиологические показатели (КМАФАнМ, БГКП, дрожжи и плесени, патогенные микроорганизмы в т.ч. сальмонелла). **Результаты и обсуждение.** Исследование показало, что эффективность ионизирующего облучения против насекомых-вредителей зависит от их вида и стадии развития и, в некоторых случаях, дозы облучения. Тип продукта (курага, изюм, орехи) не влиял на скорость гибели, что может позволить унифицировать режимы обработки. Воздействие облучением не ухудшило органолептические свойства продукции, показатели качества и безопасности сохранялись в норме при всех дозах обработки, кроме подавления плесеней в темном изюме, что требует оптимизации режимов обработки. **Заключение.** Показано, что радиационная обработка сухофруктов и орехов является эффективным методом дезинсекции, не оказывая негативного влияния на органолептические свойства, показатели качества и безопасности исследованных продуктов.

Ограничение исследования. Безопасность воздействия радиационных технологий на организм человека не изучалась

Соблюдение этических стандартов: не требуется

Финансирование. Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Научное обоснование системы гигиенической регламентации качества, безопасности, сертификации и верификации сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции, а также товаров народного потребления, прошедших ионизирующую обработку» по теме «Разработка технологических регламентов и режимов облучения (методик) сельскохозяйственной и пищевой продукции, а также товаров народного потребления, упаковки продукции» (Рег. № НИОКТР 1022081000010-3-3.3.5).

Ключевые слова: радиурезация, облучение пищевых продуктов, ионизирующее излучение, пищевая безопасность, орехи, сухофрукты, дезинсекция, скорость отмирания насекомых, радиоустойчивость, качество продукции

Для цитирования: Кузьмин С.В., Есaulова О.В., Скопин А.Ю., Балакаева А.В., Мощенская Н.В., Русаков В.Н. Влияние параметров ионизирующего излучения на эффективность дезинсекции и потребительские свойства продукции при облучении сухофруктов и орехов. *Новые технологии / New technologies*. 2025; 21(4): 61-78. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-61-78>

The effect of ionizing radiation on the efficiency of disinfection and consumer properties of dried fruits and nuts on irradiation

S.V. Kuzmin, O.V. Esaulova✉, A.Yu. Skopin,
A.V. Balakaeva, N.V. Moschenskaya, V.N. Rusakov

*Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; Mytishchi, the Russian Federation,
✉esaulova.ov@fncg.ru*

Abstract. Introduction. In the Russian Federation and the EAEU countries, the use of ionizing radiation for food processing (radurization) is permitted in accordance with TR CU 021/2011, provided that the doses established by international standards are observed. The choice of the radiation dose must be balanced: it must be sufficient to ensure the microbiological safety of the product without degrading its organoleptic and consumer qualities. **The goal of the research** is to evaluate the effect of different doses of ionizing radiation treatment of dried fruits on the mortality rate of insect pests, as well as the effect of such treatment on the organoleptic, physicochemical and microbiological parameters of the products. **The materials and methods.** Dried apricots, light raisins, dark raisins, walnuts and hazelnuts treated with ionizing radiation providing absorbed doses from 150 to 1000 Gy were the objects of the research. The following quality and safety indicators were assessed: organoleptic properties, moisture content, vitamin C, sulfur dioxide, pesticides HCH, DDT, toxic elements (cadmium, lead, arsenic, mercury), radionuclide ¹³⁷Cs, patulin. The following parameters were also determined: fat peroxide value, fatty acid composition, aflatoxin B1, microbiological parameters (QMAFAnM, coliform bacteria, yeasts and molds, pathogenic microorganisms, including *Salmonella*). **The results and discussion.** The study demonstrated that the effectiveness of ionizing radiation against insect pests depended on their species and developmental stage and, in some cases, the radiation dose. Product type (dried apricots, raisins, nuts) did not affect the mortality rate, which may allow for standardization of processing regimens. Irradiation exposure did not degrade the organoleptic properties of the products: quality and safety indicators remained within normal limits at all treatment doses, with the exception of mold suppression in dark raisins, which requires optimization of processing regimens. **Conclusion.** Radiation treatment of dried fruits and nuts has been shown to be an effective pest control method, without adversely affecting the organoleptic properties, quality, or safety indicators of the studied products.

The research restrictions. The safety of radiation technologies on the human body has not been studied

Compliance with ethical standards: not required

Funding. The research was conducted as part of the research project “Scientific Substantiation of a System of Hygienic Regulation of Quality, Safety, Certification, and Verification of Agricultural Raw Materials and Food Products, as well as Consumer Goods Subjected to Ionizing Treatment” on the topic «Development of Technological Regulations and Irradiation Modes (Methodologies) for Agricultural and Food Products, as well as Consumer Goods, and Product Packaging» (Registration No. NIOKTR 1022081000010-3-3.3.5)

Keywords: radurization, food irradiation, ionizing radiation, food safety, nuts, dried fruits, disinfestation, insect mortality rate, radioresistance, product quality

Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

For citation: Kuzmin S.V., Esaulova O.V., Skopin A.Yu., Balakaeva A.V., Moschenskaya N.V., Rusakov V.N. The effect of ionizing radiation on the efficiency of disinfection and consumer properties of dried fruits and nuts on irradiation. *Novye tehnologii / New Technologies*. 2025; 21(4): 61-78. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-61-78>

Введение. В последние годы стали уделять большое внимание вопросам обеззараживания продукции ионизирующим излучением (радуризации). В РФ и странах ЕАЭС ее применение разрешено для обеспечения соответствия продукции требованиям ТР ТС 021/2011 при условиях соблюдения международных дозовых норм и обязательной маркировки облученной продукции [1, 2, 3].

Ионизирующее излучение широко применяется в пищевой промышленности как физический метод дезинфекции, дезинсекции и консервирования, позволяющий повысить микробиологическую безопасность и срок хранения продукции без значительного нагрева. Особенно актуален этот метод для сухофруктов и орехов, которые подвержены заражению насекомыми-вредителями (долгоносиками, амбарной молью, хрущаками) и плесневыми грибами, в том числе производящими микотоксины. Микробиологический анализ играет ключевую роль в контроле качества продуктов, особенно в процессе их хранения, позволяя не только выявить общее количество микроорганизмов, присутствующих в образцах, но и отслеживать динамику их изменения на протяжении всего срока хранения.

Одной из основных задач облучения сухофруктов и орехов является инсектицидная обработка. Дозы в диапазоне 0,5-1,0 кГр эффективно уничтожают насекомых на всех стадиях развития, предотвращая их размножение и повреждение продукции при хранении и транспортировке [4]. Для подавления микробной флоры и плесеней могут применяться дозы до 3-5 кГр, хотя в большинстве стран, включая Россию и страны ЕАЭС, разрешённая максимальная доза для сухофруктов и орехов составляет 1 кГр (ТР ТС 021/2011) [1]. Кроме того, важнейший аспект

применения облучения – оценка его влияния на качество продукта.

Дозы излучения, требуемые для обеспечения гибели большинства насекомых в сухофруктах и орехах, обычно либо не вызывают ухудшение качества продукта, либо оно незначительно. Важно подобрать дозу, которая, с одной стороны, будет эффективна против вредителей, с другой, – будет обеспечивать микробиологическую безопасность с минимальным воздействием на органолептические и физико-химические показатели продукции.

В связи с этим, **целью работы** стало исследование различных доз обработки ионизирующим излучением сухофруктов и орехов на скорость гибели насекомых-вредителей, а также влияние такой обработки на органолептические, физико-химические и микробиологические показатели продукции.

Материалы и методы. В качестве продукции были выбраны наиболее широко распространенные в РФ сухофрукты (изюм светлый, изюм темный, курага) и орехи (грецкий и фундук – в скорлупе и очищенный).

Опытные партии продукции были приобретены в оптовой торговой сети. Основным критерием выбора продукции были показатели качества, подтвержденные сертификатами соответствия. Также во внимание принималось место производства и отсутствие предшествующей инсектицидной обработки. Объемы опытных партий и места производства указаны ниже:

- абрикос сушеный, без косточки (курага, кайса) – ООО «Чил Фрукт», 735920 Республика Таджикистан, Согдийская область, г. Исфара, ул. Маркази 95-85,5 кг (коробки картонные по 4,5 кг – 19 шт.);
- изюм светлый, без косточек – ОАО СХП «Светлогорское», 353320, Краснодарский край, с. Светлогорское, ул. Центральная 1-90 кг (коробки картонные по 5 кг – 18 шт.);

– изюм темный, без косточек – ОАО СХП «Светлогорское» (адрес – тот же) – 90 кг (коробки картонные по 5 кг – 18 шт.);

– грецкие орехи очищенные, без скорлупы (ядра) – ОАО СХП «Светлогорское» (адрес – тот же) – 90 кг (коробки картонные по 10 кг – 9 шт.);

– ядро фундука, без скорлупы – ООО «AZHAZELNUT», Хачмасский район, село Гусарчай, Азербайджан – 90 кг (мешки полиэтиленовые по 30 кг – 3 шт.).

Многие виды орехов и сухофруктов поражаются насекомыми-вредителями, которые по характеру своего влияния на показатели безопасности продукции подразделяются на карантинные, распространенные и нераспространенные виды.

В связи с этим исследование проводили с искусственным внесением в образцы в качестве биотестов следующих видов насекомых: распространенные виды – жук рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* L. (семейство *Circulionidae*), жук хрущака малого мучного *Tribolium confusum* Duv. (семейство *Tenebrionidae*), гусеницы и бабочки южной амбарной огневки *Plodia interpunctella* (семейство *Pyralidae*), жук мукоеда суринамского *Oryzaephilus surinamensis* L. (семейство *Cucujidae*) и нераспространенный вид – жук зернового точильщика *Rhizopertha dominica* F. (семейство *Bostrichidae*).

Зараженность сухофруктов и орехов насекомыми-вредителями после облучения определяли по действующему в ЕАЭС межгосударственному ГОСТ 1750-86 «Фрукты сушёные. Правила приёмки, методы испытаний».

Первый учет зараженности проводили через 1 сутки после облучения и далее – каждые сутки до полной гибели насекомых-вредителей. Погибших (некизнеспособных) насекомых-вредителей удаляли при каждом учете. Гибель насекомых рассчитывали в процентах на каждые сутки учета для определения скорости их отмирания.

Испытания по оценке показателей качества и безопасности проводились на соот-

ветствие требованиям: Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (все сухофрукты), ГОСТ 32896-2014 «Фрукты сушёные. Общие технические условия» (курага), ГОСТ 6882-88 «Виноград сушёный. Технические условия» (изюм светлый и темный), ГОСТ 16833-2014 «Ядро ореха грецкого. Технические условия» (ядро грецкого ореха), ГОСТ 16835-81 «Ядра орехов фундука. Технические условия» (ядро фундука), СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (все сухофрукты) по следующим показателям:

– содержание влаги – ГОСТ 34130-2017 «Фрукты и овощи сушёные. Методы испытаний» (курага, изюм светлый и темный), ГОСТ 16833-2014 (грецкий орех), ГОСТ 32287-2013 «Ядра орехов лещины. Технические условия» (фундук);

– содержание витамина С – ГОСТ 34151-2017 «Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии» (курага, изюм светлый и темный);

– содержание сернистого ангидрида – ГОСТ 25555.5-2014 «Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения диоксида серы» (курага, изюм светлый и темный);

– пестициды ГХЦГ, ДДТ – ГОСТ 30349-96 «Плоды, овощи и продукты их переработки. Методы определения остаточных количеств хлорорганических пестицидов» (все сухофрукты и орехи);

– массовое содержание токсичных элементов: кадмия, свинца, мышьяка, ртути – ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой», ГОСТ 30178-96 «Сыре и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов» (все сухофрукты и орехи);

- содержание радионуклида ^{137}Cs – ГОСТ 32161-2013 «Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137» (все сухофрукты и орехи);
- патулин (фактическое содержание) – ГОСТ 28038-2013 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения микотоксина патулина» (только курага);
- перекисное число жира – ГОСТ ISO 3960-2013 «Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа. Йодометрическое (визуальное) определение по конечной точке» (только орехи);
- жирнокислотный состав – ГОСТ 30418-96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава» (только орехи);
- афлатоксин В1 – ГОСТ 30711-2001 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В1 и М1» (только орехи);
- микробиологические показатели: КМАФАнМ – ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов» (все сухофрукты);
- БГКП – ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (килиформных бактерий)» (все сухофрукты);
- дрожжи и плесени – ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов» (курага, изюм светлый и темный);
- патогенные микроорганизмы в т.ч. сальмонелла – ГОСТ 31659-2024 «Микробиология пищевой цепи. Горизонтальный метод обнаружения, подсчета и серотипирования бактерий рода *Salmonella*. Часть 1. Обнаружение *Salmonella* spp.» (все сухофрукты);
- органолептические показатели – ГОСТ 34130-2017 «Фрукты и овощи сушё-

ные. Методы испытаний» (курага, изюм светлый и темный), ГОСТ 16833-2014 «Ядро ореха грецкого. Технические условия» (Грецкие орехи), ГОСТ 32287-2013 «Ядра орехов лещины. Технические условия» (фундук).

Облучение образцов сухофруктов и орехов проводили на радиационно-технологической установке (РТУ) с ускорителем электронов на базе линейного ускорителя электронов УЭЛР-10-20С (классификация по ГОСТ 26278-1984), находящегося на территории ООО «Акцентр Групп» по адресу: Московская область, г. Дубна, ул. Технологическая, д. (дозы, превышающие 1 кГр); на гамма-установке ГУР 120 ФГБНУ ВНИИРАЭ Центра антимикробной обработки пищевой продукции, ООО «Теклеор» (п. Ворсино, Калужской области) (дозы до 1 кГр).

Для изучения влияния облучения на скорость гибели насекомых-вредителей использовались дозы в 164, 354, 687, 1000 Гр, что связано с тем, что для насекомых планируют ступени, которые перекрывают регуляторные/практические пороги фитосанитарной обработки: ~150 Гр (для тефритид) [5], ~300-400 Гр (для большинства членистоногих), ~600-700 Гр (чтобы гарантированно «перекрыть» резистентные стадии/виды) и 1000 Гр как верхняя контрольная точка. Для оценки качества продукции чаще фиксируют плановые (номинальные) ступени: 150, 300, 600, 1000 Гр.

Перед облучением в пластиковые контейнеры размером $6 \times 11 \times 17$ см с крышками помещали 250 г сухофруктов или орехов и подсаживали по 20 особей разных насекомых без учета пола и возраста. Ввиду сильных различий в свойствах субстрата и в пищевых предпочтениях насекомых-вредителей для облучения были подготовлены следующие комбинации: сухофрукты (курага, изюм) – долгоносик рисовый, хрущак малый мучной, гусеница и бабочка южной амбарной моли; орехи (фундук и грецкие орехи) – мукоед суринамский, точильщик зерновой.

Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

Для определения показателей качества и безопасности контрольной и облученной продукции из опытных партий были приготовлены образцы. Каждые образец представлял собой один вид продукции, расфасованной в полипропиленовые контейнеры, плотно закрытые крышками и промаркованный. Предварительная упаковка и маркировка позволяет снизить вероятность повторного микробиологического загрязнения образцов. Геометрия контейнеров для различных типов продукции отличалась и зависела от физических характеристик самой продукции, в первую очередь, от размера компонентов (орехов, ягод и пр.) и насыпной плотности. Для орехов использовались контейнеры объемом 1,3 л, для остальной продукции объем контейнеров был 1 л. Вес одного образца варьировался в пределах от 19,25 до 22,25 кг для разных видов продукции и определялся показателями, подлежащими контролю и физическими свойствами продуктов.

Вес продукта в каждом контейнере составлял от 0,2 до 0,7 кг. После облучения контейнеры с сухофруктами и орехами, зараженными насекомыми-вредителями, хранили в термостате при постоянной температуре плюс 25 ± 1 °С. Все исследования проводили в 3-х повторностях.

При анализе динамики изменения органолептических, физико-химических, микробиологических показателей, а также показателей, характеризующих пищевую ценность продукции при обработке различными дозами излучения, изучались также контрольные образцы, не подвергавшиеся обработке.

Результаты. Ведущим фактором, определяющим жизнеспособность насекомых, является доза облучения. Ингибирующий эффект ионизирующих излучений на функциональную деятельность организма находится в прямой зависимости от дозы облучения. Величина абсолютной летальной дозы (ЛД₁₀₀) зависит от вида насекомых и стадии развития и изменяется в пределах от 30 до 3500 Гр.

Исследования чувствительности насекомых-вредителей к облучению в зависимости от стадии развития показали, что чем ниже стадия развития, тем она менее радиоустойчива (табл. 1).

При облучении **гусениц южной амбарной моли** в дозе 164 Гр 100 % смертность наступила на 29 сутки, в дозе 364 и 1000 Гр – на 33 сутки и в дозе 687 Гр – на 34 сутки (табл. 1). Отсутствие прямо пропорциональной зависимости смертности от дозы облучения объясняется разным возрастом гусениц в опытных образцах.

Динамика отмирания гусениц южной амбарной моли показала, что у облученных гусениц происходило накопление генетических повреждений, когда кривые графика выходили на плато, но в конечном итоге это приводило к гибели гусениц.

Кроме того, отмечено, что полная гибель гусениц наступала значительно позже по сравнению с взрослой особью бабочки или имаго других насекомых-вредителей, рассмотренных выше.

Необходимо отметить, что в отличие от бабочек южной амбарной моли, которые живут всего от 3 до 14 дней и не могут питаться, ее гусеницы при отрождении усиленно питаются и наносят пищевой продукции большой вред. Жизненный цикл гусеницы длится около 1,5 месяцев.

Установлено, что жизнеспособность долгоносика рисового зависит от дозы облучения: при высоких дозах 687 и 1000 Гр их гибель наступала на 4 сутки, при дозе 354 Гр на 13 сутки, а при дозе 164 Гр – на 20 сутки после облучения.

Динамика скорости отмирания долгоносика рисового показала, что при дозе 354 Гр смертность жуков в первые 4 суток была близка к дозам 687 и 1000 Гр и составила 97 %, и держалась на данном уровне 9 суток, когда погибли последние 3 % насекомых. При дозе облучения 164 Гр отмирание долгоносика рисового происходило более равномерно и на 13 сутки достигло уровня 98 %, который держался до 20 суток.

Таблица 1. Смертность насекомых при облучении различными дозами ионизирующего излучения*, %

Table 1. Insect mortality due to exposure to various doses of ionizing radiation*, %

Время после облучения, сут. Time after irradiation, days.	Смертность при облучении различными дозами ионизирующего излучения Mortality due to exposure to various doses of ionizing radiation																			
	Гусеницы южной амбарной моли в кураге Southern granary moth caterpillars in dried apricots				Долгоносик рисовый (имаго) в светлом изюме Rice weevil (imago) in light raisins				Хрущак малый мучной (имаго) в тёмном изюме Small flour beetle (imago) in dark raisins				Мукоед суринамский (имаго) в грецких орехах Surinam flour beetle (imago) in walnuts				Точильщик зерновой (имаго) в фундуке Grain borer (imago) in hazelnuts			
	Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)		Дозы облучения (Гр) Radiation doses (Gy)					
	164	354	687	1000	164	354	687	1000	164	354	687	1000	164	354	687	1000				
1	11	0	0	0	3	32	10	25	2	0	5	0	23	20	28	30	5	5	8	2
2	11	9	0	0	21	63	33	50	10	0	8	2	38	38	42	33	13	10	8	5
3	44	9	14	0	32	78	67	80	13	2	17	2	42	47	52	38	17	17	27	13
4	44	18	14	9	48	97	100	100	17	3	18	7	48	53	53	47	22	25	30	17
5	44	18	14	18	48	97			18	10	22	13	48	53	55	47	25	38	43	25
6	56	27	14	18	49	97			23	10	27	28	52	62	62	55	33	48	45	53
7	56	36	14	18	49	97			28	18	33	38	58	63	63	62	45	58	62	67
8	67	36	14	18	49	97			43	43	47	77	62	70	70	76	75	73	75	83
9	67	55	21	36	57	97			45	45	60	83	65	75	80	83	78	80	85	98
10	67	55	21	36	63	97			47	52	70	85	68	83	80	87	82	85	95	98
11	67	55	21	55	76	97			47	57	70	85	75	90	82	97	83	93	98	100
12	67	55	29	64	92	98			52	62	75	90	100	95	92	98	93	97	100	
13	67	55	29	64	98	100			55	75	85	90		100	100	100	100	100	100	
14	89	55	29	73	98				72	88	90	95								
15	89	55	29	73	98				85	90	100	97								
16	89	55	36	73	98				90	93		97								
17	89	64	43	73	98				93	97		98								
18	89	64	50	73	98				97	100		100								
19	89	64	50	73	98				100											
20	89	64	50	73	100															
21-22	89	73	50	73																
23	89	73	57	82																
24-25	89	73	64	82																
26-28	89	82	64	91																
29	100	82	64	91																
30-32		82	64	91																
33		100	93	100																
34			100																	

* в контроле смертности насекомых не отмечено

*no insect mortality was observed during the monitoring

Медленное отмирание имаго долгоносика рисового происходило при выходе на плато при дозах 354 и 164 Гр на уровень 97 и 98 %, соответственно, произошло из-за разновозрастного состава насекомых. Взрослые насекомые в возрасте четырех недель были более восприимчивы к облучению, чем трехдневные насекомые. Дозы 300 и 500 Гр вызывали немедленную смертность у этих взрослых насекомых.

При облучении рисового долгоносика в другом субстрате смертность взрослых жуков была аналогичной, из чего можно сделать вывод об отсутствии влияния субстрата.

Имаго хрущака малого мучного более радиоустойчивы по сравнению с долгоносиком рисовым. Полная смертность наступила на 19 сутки при 164 Гр, на 18 сутки при 354 и 1000 Гр и на 15 сутки – при дозе

687 Гр. Как и в случае с долгоносиком рисовым, разновозрастная популяция хрущака малого мучного была причиной более медленного его отмирания после облучения в дозе 1000 Гр, по сравнению с облучением в дозе 687 Гр.

Если сравнивать исследуемые дозы по достижению 90 %-го уровня смертности насекомых, то он наступил при дозе 1000, 687, 354 и 164 Гр на 12, 14, 15 и 16 сутки соответственно.

Динамика отмирания имаго хрущака малого мучного в изюме темном показала, что с 1 по 7 сутки после облучения нет четкой зависимости отмирания от величины дозы и лишь начиная с 8 суток происходит четкое разделение кривых прямо пропорциональной зависимости смертности от дозы облучения.

Установлено, что в первые 6 суток после облучения количество погибших насекомых составило около 20 %, в период с 7 по 14 сутки произошло массовое их отмирание, и с 15 по 19 сутки погибли оставшиеся, наиболее резистентные особи.

Жизнеспособность имаго мукоеда суринамского не зависела от дозы облучения – полная гибель насекомых наступила почти одновременно на 12-13 сутки после облучения.

Это полностью согласуется с выводами Закладного Г.А [6], который также отмечал слабый отклик на повышение дозы облучения от 6 до 100 кРад для жуков малого мучного хрущака и суринамского мукоеда, что обуславливает близкое расположение друг к другу линий регрессии отмирания этих жуков.

Гамма-облучение имаго точильщика зернового подавляло его жизнеспособность. Смертность имаго зависела от величины дозы: при дозах 164 и 364 Гр гибель наступала через 13 суток, при дозе 687 Гр – через 12 и дозе 1000 Гр через 11 суток. Показано, что различие в динамике скорости отмирания точильщика зернового в зависимости от величины дозы небольшое и находится в пределах уровня достоверности.

Таблица 2. Влияние ионизирующих излучений на насекомых-вредителей
Table 2. The effect of ionizing radiation on insect pests

Доза облучения, Гр Radiation dose, Gy	Время гибели последнего насекомого-вредителя, сутки Time of death of the last insect pest, days				
	Долгоносик Рисовый Rice Weevil	Малый мучной хрущак Small Mealworm	Мукоед суринамский Surinamese Flour Beetle	Точильщик Зерновой Grain Borer	Южная амбарная моль (абочка/ гусеница) Southern Granary Moth (butterfly/caterpillar)
164	20	19	12	13	6/29
354	13	18	13	13	7/33
687	4	15	13	12	5/34
1000	4	14	13	11	8/33

Таблица 3. Содержание влаги в контрольных и облученных продуктах, %
Table 3. Moisture content in control and irradiated products, %

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	< 20	< 20	< 20	< 12	< 5,0	< 12	< 7
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	19,8	16,9	15,1	3,2	3	4,42	3,6
150	19,5	16,2	13,8	3,7	3	4,1	4,2
300	19,9	15,7	14,6	5	2,9	4,8	3
600	18,5	14,9	12,8	3,5	2,6	4,4	2,2
1000	19,3	16,9	12,9	3,4	2,9	3,9	4,2

В таблице 2 приведено время (сутки) гибели последнего из насекомых-вредителей в каждом эксперименте.

При гамма-облучении гусениц южной амбарной моли самая низкая доза 164 Гр была наиболее эффективной по скорости отмирания – 29 суток, а при дозе 1000 Гр – 33 суток. При более низких дозах 50 и 100 Гр смертность наступила через 15 и 16 суток, а при дозах от 200 до 450 Гр на 22-24 сутки.

Результаты исследования показателей качества продукции до и после облучения различными дозами приведены ниже.

Контроль содержания влаги до и после облучения имеет важное значение для оценки технологической целесообразности, безопасности и стабильности хранения продукции.

Содержание влаги (табл. 3) не превышало норматив и находилось в пределах 12,5-19,9 %.

Содержание влаги во всех исследуемых продуктах – кураге, изюме (светлом и тёмном), грецких орехах (в скорлупе и ядрах), фундуке (в скорлупе и ядрах) – не превышало нормативных значений, установленных соответствующими стандартами. Уровень влаги оставался стабильным и не зависел от дозы ионизирующего облучения.

Полученные значения содержания витамина С в кураге и изюме светлом приведены в таблице 4 и варьировалось в пределах 2,15-8,60 мг/100 г и 2,07-4,41 мг/100 г соответственно, и не зависят от величины дозы обработки. Колебания, скорее всего, связаны с естественными колебаниями значений для данного продукта.

Содержание витамина С в контрольных и облученных образцах темного изюма находились ниже предела обнаружения, что связано с технологией производства (солнечная сушка). Так как темный изюм не является основным источником

ком витамина С, данный показатель не влияет на общее качество и пищевую ценность продукта.

Показатели безопасности, такие как содержание пестицидов (табл. 5, 6), сернистого ангидрида (табл. 7), токсичных элементов (табл. 8-11), афлатоксина В1 (табл. 12), и радионуклида ^{137}Cs (табл. 13) не превышают нормативных значений и не имеют достоверных различий между контрольными и облученными образцами.

Содержание пестицидов ГХЦГ (сумма изомеров) и ДДТ в контрольных и облученных образцах показаны в таблице 5.

Таблица 4. Содержание витамина С в контрольных и облученных образцах, мг/100 г

Table 4. Vitamin C content in control and irradiated samples, mg/100 g

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins
Норматив Norm	5	2,3 (0,7 – 4,6)
Доза, Гр Dose, Gr		
Контроль/Control group	6,19	3,26
150	4,81	3,32
300	2,15	3,29
600	4,19	2,94
1000	5,73	2,99

Таблица 5. Содержание ГХЦГ (сумма изомеров) в контрольных и облученных образцах, мг/кг

Table 5. Content of HCCN (sum of isomers) in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
150	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
300	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
600	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1000	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Таблица 6. Содержание ДДТ и его метаболитов в контрольных и облученных образцах мг/кг

Table 6. Content of DDT and its metabolites in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
150	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
300	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
600	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
1000	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007

Содержание сернистого ангидрида (диоксида серы, SO_2) в кураге и изюме – это результат намеренного применения серосодержащих веществ в процессе производства сухофруктов. Его наличие даёт определённые технологические преимущества, но сопряжено с рисками для здоровья, поэтому строго регулируется.

Содержание сернистого ангидрида в контрольных и облучённых образцах кураги и изюма значительно ниже нормативных значений (табл. 7). Влияние облучения на содержание сернистого ангидрида не выявлено.

Содержание токсичных элементов в контрольных и облученных образцах приведено в таблицах 8-11¹.

Таблица 7. Массовая доля сернистого ангидрида, %
Table 7. Mass fraction of sulfur dioxide, %

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins
Норматив Norm	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Доза, Гр Dose, Gr			
Контроль/Control group	0,4032±0,1129	0,0077±0,0022	0,0032±0,0009
150	0,4001±0,1120	0,0083±0,0023	0,0051±0,0014
300	0,4105±0,1149	0,0084±0,0024	0,0044±0,0012
600	0,4044±0,1132	0,0089±0,0025	0,0049±0,0014
1000	0,4021±0,1126	0,0091±0,0025	0,0037±0,0010

Таблица 8. Содержание кадмия (Cd) в контрольных и облученных образцах, мг/кг
Table 8. Cadmium (Cd) content in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	0,018	0,008	0,006	0,05	0,048	0,043	0,028
150	0,019	0,009	0,007	0,05	0,043	0,043	0,023
300	0,016	0,01	0,005	0,046	0,046	0,046	0,026
600	0,017	0,01	0,006	0,047	0,044	0,044	0,024
1000	0,019	0,009	0,004	0,043	0,043	0,043	0,023

Таблица 9. Содержание свинца (Pb) в контрольных и облученных образцах, мг/кг
Table 9. Lead (Pb) content in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	0,25	0,18	0,22	0,25	0,15	0,27	0,25
150	0,28	0,22	0,26	0,23	0,13	0,31	0,23
300	0,27	0,21	0,23	0,28	0,18	0,26	0,28
600	0,27	0,19	0,22	0,24	0,14	0,25	0,24
1000	0,26	0,21	0,24	0,25	0,15	0,27	0,25

Таблица 10. Содержание мышьяка (As) в контрольных и облученных образцах, мг/кг
Table 10. Arsenic (As) content in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	0,06	0,011	0,035	0,039	0,029	0,048	0,047
150	0,07	0,014	0,034	0,037	0,027	0,049	0,047
300	0,06	0,011	0,031	0,039	0,029	0,047	0,049
600	0,07	0,012	0,034	0,043	0,033	0,052	0,053
1000	0,05	0,014	0,034	0,041	0,031	0,05	0,051

¹ Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

пищевых продуктах указаны в СанПиН 2.3.2.1078-01

Таблица 11. Содержание ртути (Hg) в контрольных и облученных образцах, мг/кг
Table 11. Mercury (Hg) content in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	0,0015	0,0052	0,0048	0,0042	0,0032	0,0027	0,0014
150	0,0018	0,0056	0,0045	0,0045	0,0035	0,0028	0,0015
300	0,0017	0,0053	0,0043	0,0047	0,0037	0,0027	0,0017
600	0,0016	0,0054	0,0044	0,0046	0,0036	0,0026	0,0016
1000	0,0016	0,0056	0,0046	0,0048	0,0038	0,0028	0,0018

Таблица 12. Содержание микотоксинов (афлатоксина B1) в контрольных и облученных образцах, мг/кг

Table 12. Mycotoxin content (aflatoxin B1) in control and irradiated samples, mg/kg

Наименование образца Sample Name	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	не более 0,003	не более 0,003	не более 0,003	не более 0,003
Доза, Гр Dose, Gr				
Контроль Control group	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
150	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
300	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
600	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
1000	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003

Как видно из таблиц 8-11, во всех случаях уровни токсичных элементов значительно ниже установленных нормативов (СанПиН 2.3.2.1078-01). Более того, не выявлено достоверных различий между контрольными и облученными образцами – содержание Cd, Pb, As и Hg остаётся стабильным независимо от дозы ионизирующего излучения (в диапазоне до 1 кГр).

Содержание цезия-137 в исследуемых продуктах приведено в таблице 13.

Как видно из таблицы 13, содержание цезия-137 во всех продуктах при всех дозах облучения не превышала установленный норматив, было в одних случаях выше, в других – ниже даже в рамках исследования одного и того же вида продукта. Не было

установлено ни стабильного увеличения, ни уменьшения его количества при увеличении/уменьшении дозы обработки.

Патулин – стабильный термостойкий микотоксин, который является одним из индикаторов пищевой безопасности продукции. Результаты определения его в контрольных и облученных образцах кураги приведены в таблице 14.

При ионизирующем излучении могут образовываться свободные радикалы, ускоряться окислительные реакции, повышаться перекисное число даже в следовых жирах. Перекисное число служит индикатором окислительного стресса, вызванного облучением. Результаты определения данного показателя приведены в таблице 15.

Таблица 13. Результат определения содержания ¹³⁷Cs в контрольных и облученных образцах, Бк/кг

Table 13. The result of determination of ¹³⁷Cs content in control and irradiated samples, Bq/kg

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	200	200	200	200	200	200	200
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль/Control group	<0,3	<0,5	<0,8	<0,4	<0,5	<0,8	<0,7
150	<0,3	<0,3	<0,3	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4
300	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<0,7	<0,9	<0,5
600	<0,4	<0,4	<0,3	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
1000	<0,5	<0,7	<0,4	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5

Таблица 14. Содержание патулина в контрольных и облученных образцах кураги, мг/кг
Table 14. Patulin content in control and irradiated dried apricot samples, mg/kg

Доза, Гр Dose, Gr	Норматив Norm	Не более 0,05 в пересчете на исходное сырье No more than 0,05 in terms of raw materials	
		Контроль/Control group	<0,001
150			<0,001
300			<0,001
600			<0,001
1000			<0,001

Таблица 15. Перекисное число жира в контрольных и облученных образцах
(2,5 ммоль О₂/кг, 0,1-1,5 ммоль О₂/кг)

Table 15. Peroxide value of fat in control and irradiated samples
(2.5 mmol O₂/kg, 0,1-1.5 mmol O₂/kg)

Наименование образца Sample Name	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Доза, Гр Dose, Gr	Норматив Norm	не более 0,1	не более 0,1	не более 0,1
Контроль/Control group	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
300	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
600	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Как видно из данных таблицы 15, перекисное число жира в контрольных и облученных образцах не отличаются между собой и не отклоняются от значений, указанных в литературных источниках, т.е. облучение в дозах до 1 кГр не влияет на пищевую ценность ядер фундука.

Микробиологические показатели (табл. 16-20) соответствуют нормативам, за исключением содержания плесневых грибов, которое во всех исследуемых образцах превышают норматив вне зависимости от дозы облучения и типа установки.

Таблица 16. Содержание КМАФАнМ в контрольных и облученных образцах, КОЕ/г
Table 16. QMAFAnM content in control and irradiated samples, CFU/g

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins
Доза, Гр Dose, Gr	Норматив Norm	<5×10 ⁴	<5×10 ⁴
Контроль/Control group	1,2×10 ²	1,5×10 ²	4,3×10 ³
150	4,1×10 ²	1,1×10 ²	6,6×10 ³
300	2,6×10 ²	<10	9,9×10 ³
600	2,1×10 ²	<10	8,3×10 ³
1000	6,9×10 ²	<10	2,3×10 ⁴

Таблица 17. Содержание БГКП в контрольных и облученных образцах, КОЕ/г
Table 17. Coliform Bacteria Content in Control and Irradiated Samples, CFU/g

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Доза, Гр Dose, Gr	Норматив Norm	НД в 0,1 г	НД в 0,1 г	НД в 0,1 г	НД в 0,01 г
Контроль/Control group	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,01 г	НО в 0,01 г
150	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,01 г	НО в 0,01 г
300	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,01 г	НО в 0,01 г
600	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,01 г	НО в 0,01 г
1000	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,1 г	НО в 0,01 г	НО в 0,01 г

НО – не обнаружены; НД – не допускается

НО – not detected; НД – not allowed

Таблица 18. Содержание дрожжей в контрольных и облученных образцах, КОЕ/г

Table 18. Yeast content in control and irradiated samples, CFU/g

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins
Норматив Norm	< 500	< 500	< 500
Доза, Гр Dose, Gr			
Контроль/Control group	<10	<10	<10
150	<10	60	<10
300	<10	30	<10
600	<10	20	<10
1000	<10	10	<10

Таблица 19. Содержание плесеней в контрольных и облученных образцах, КОЕ/г

Table 19. Mold content in control and irradiated samples, CFU/g

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	< 500	< 500	< 500	< 10 ³	< 10 ³
Доза, Гр Dose, Gr					
Контроль/Control group	< 10	< 10	3,8×10³	6,2×10 ²	< 10
150	< 10	< 10	4,3×10³	5,5×10 ²	< 10
300	< 10	< 10	6,2×10²	40	10
600	< 10	< 10	2,5×10³	2,5×10³	< 10
1000	< 10	< 10	7,2×10³	1,9×10 ²	< 10

Таблица 20. Содержание патогенных микроорганизмов (сальмонелл),
 в контрольных и облученных образцах

Table 20. Content of pathogenic microorganisms (salmonella) in control and irradiated
 samples

Наименование образца Sample Name	Курага Dried Apricots	Изюм светлый Light Raisins	Изюм темный Dark Raisins	Грецкий орех Walnuts	Ядро грецкого ореха Walnut Kernels	Орех фундука Hazelnuts	Ядро фундука Hazelnut Kernels
Норматив Norm	НД в 25 г	НД в 25 г	НД в 25 г	НД в 25 г	НД в 25 г	НД в 25 г	НД в 25 г
Доза, Гр Dose, Gr							
Контроль Control group	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г
150	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г
300	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г
600	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г
1000	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г	НО в 25 г

НО – не обнаружены; НД – не допускается

НО – not detected; НД – not allowed

Из полученных данных видно, что во всех образцах темного изюма вне зависимости от дозы облучения отмечены превышения нормативов по содержанию плесеней, хотя это никак не проявляется в изменении органолептических показателей. По всем остальным контролируемым показателям образцы изюма соответствуют нормативным значениям и контрольные образцы не отличаются от облученных.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что для обеспечения микробиологической безопасности и снижения количества плесневых грибов необходимо увеличить дозы облучения. Предел доз необходимо подбирать экспериментально.

Органолептические показатели контрольных и облученных образцов кураги не отличались и соответствовали ГОСТ 32896-2014. Внешний вид – целые, приплюснутые сушеные фрукты с выдавленной косточкой, с неповрежденной кожицей. Вкус и запах свойственные фруктам данных видов, без постороннего вкуса и запаха. Цвет однородный, ярко-оранжевый, типичный для хорошо вызревших абрикосов.

Органолептические показатели контрольных и облученных образцов изюма, как светлого, так и темного, не отличались друг от друга и соответствовали ГОСТ 6882-88. Масса ягод сушеного винограда одного вида, сыпучая, без комкования, без

плодоножек. Запах и вкус свойственные сушенному винограду, вкус сладкий и сладко-кислый без постороннего привкуса и запаха. Цвет – светло-зеленый с желтым (золотистым) оттенком у светлого изюма, и сине-черный с красным оттенком – у темного.

Органолептические показатели контрольных и облученных образцов грецких орехов не отличались друг от друга и соответствовали ГОСТ 32874-2014 (целый орех) и ГОСТ 16833-2014 (ядра). Степень зрелости орехов не изменена: оболочка ядра легко отделяется, на внутренней центральной перегородке имеются признаки потемнения. Состояние ядер позволяет выдерживать транспортирование, погрузку, разгрузку и доставку в место назначения в удовлетворительном виде. Ядро орехов нормально развито, без излишней внешней влажности, чистое, однородное по окраске. Окраска ядер светлого тона, без темно-соломенной и лимонно-желтой окраски, без посторонних примесей. Запах и вкус свойственные грецким орехам, не прогорклые, без постороннего запаха и/или привкуса.

Органолептические показатели контрольных и облученных образцов орехов фундука не отличались друг от друга и соответствовали ГОСТ 16834-81. Орехи были целые, нормально развитые, без околоплодника, сходные по форме, размеру и цвету. Без излишней внешней влажности. Ядра достаточно развитые, хорошо сформировавшиеся, не усохшие, без отвердевших участков, без пятен обесцвечивания. Запах и вкус всех образцов был свойственный, без посторонних запаха и вкуса.

Обсуждение. Установлено, что летальность насекомых напрямую зависит от поглощённой дозы ионизирующего излучения, однако эта зависимость не всегда строго линейна и может варьироваться в зависимости от вида насекомого, его стадии развития и возраста.

Наиболее чувствительными к облучению оказались имаго долгоносика рисового: при дозах 687 и 1000 Гр полная гибель наступала уже на 4-5 сутки. В то же

время хрущак малый мучной проявил наибольшую радиоустойчивость среди исследованных жуков, что согласуется с литературными данными, где отмечается высокая устойчивость представителей семейства *Tenebrionidae* к ионизирующему излучению [7, 8].

Динамика отмирания гусениц южной амбарной моли показала, что у облученных гусениц происходило накопление генетических повреждений, когда кривые графика выходили на плато, но в конечном итоге это приводило к гибели гусениц. При этом отмечено, что полная гибель гусениц наступала значительно позже по сравнению с взрослой особью бабочки или имаго других насекомых-вредителей, рассмотренных выше.

Показано, что тип субстрата (изюм, курага, грецкий орех, фундук) не оказывает существенного влияния на скорость отмирания насекомых одного вида, что говорит о преобладании радиационного фактора над средовым. Это позволяет стандартизировать режимы облучения для различных видов сухофруктов и орехов в рамках одного технологического процесса.

В исследовании изучено влияние ионизирующего облучения в дозах до 1 кГр на показатели качества, безопасности и физико-химические свойства сухофруктов (курага, изюм светлый и тёмный) и орехов (грецкий орех и фундук – как в скорлупе, так и в виде ядер). Во всех случаях органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах, вкус) оставались неизменными и соответствовали требованиям соответствующих нормативных документов, что свидетельствует о сохранении потребительских свойств продукции после обработки.

Содержание влаги во всех образцах находилось в пределах норматива (не более 20% для сухофруктов, не более 5-12% для орехов), а уровень витамина С варьировался в пределах естественных биологических колебаний и не зависел от дозы облучения.

Ключевые показатели безопасности – пестициды (ГХЦГ, ДДТ), микотоксины

(афлатоксин B1, патулин), радионуклиды (^{137}Cs), токсичные элементы (Cd, Pb, As, Hg) и сернистый ангидрид – во всех случаях оказались ниже пределов обнаружения или значительно ниже установленных нормативов, причём различий между контрольными и облучёнными образцами выявлено не было. Таким образом, облучение в указанных дозах не приводит образованию и накоплению токсичных соединений.

Особое внимание уделено жирнокислотному составу и перекисному числу жира в орехах. Оба показателя остались стабильными при всех дозах облучения и соответствовали литературным данным: у грецкого ореха преобладают линолевая и α -линоленовая кислоты, у фундука – олеиновая. Перекисное число во всех случаях было $<0,1$ ммоль $\text{O}_2/\text{кг}$, что указывает на отсутствие окислительной деградации липидов.

Перекисное число – показатель накопления гидроперекисей, первичных продуктов окисления ненасыщенных жирных кислот. Исследования показывают, что даже при дозах 1-2 кГр перекисное число в кураге и изюме достоверно возрастает по сравнению с контролем, особенно в процессе хранения [9, 10]. Семёнова и Кузнецова (2015) отметили увеличение перекисного числа на 15-25% через 30 суток после облучения кураги дозой 2 кГр, что свидетельствует об окислительном стрессе, вызванном облучением [10].

В то же время в орехах (грецких, фундуке), где содержание жира достигает 60-70 %, риск окисления значительно выше. Здесь контроль перекисного числа становится критически важным: превышение допустимых значений (>10 ммоль $\text{O}_2/\text{кг}$) указывает на начало прогоркания и снижение пищевой ценности [11]. Тем не менее, при соблюдении рекомендованных доз (≤ 1 кГр) и условий хранения (вакуум, темнота, низкая температура) изменения перекисного числа остаются в пределах нормы [12].

В нашем исследовании показано, что перекисное число в орехах не превышает нормы.

Микробиологические показатели соответствовали нормативам. Исключение составляет содержание плесеней в тёмном изюме, где во всех образцах (включая контрольные) зафиксировано превышение норм (до $7,1 \times 10^3$ КОЕ/г при допустимых 500 КОЕ/г) даже при самой высокой дозе обработки в 1000 Гр. Это указывает на недостаточную эффективность использованных доз для подавления плесневой микрофлоры в данном продукте и требует дальнейшей оптимизации режимов обработки.

Таким образом, ионизирующее облучение в дозах до 1 кГр не оказалось негативного влияния на органолептические качества, показатели качества и безопасности исследованных продуктов, за исключением необходимости контроля плесеней в тёмном изюме. Наблюдаемые незначительные колебания значений, вероятно, связаны с естественной вариабельностью сырья по географическому происхождению и условиям выращивания, а не с влиянием облучения.

Заключение. Исследования чувствительности насекомых-вредителей к облучению в зависимости от стадии развития показали, что чем ниже стадия развития, тем она менее радиоустойчива. Динамика скорости отмирания исследуемых насекомых при различных дозах воздействия различается у разных видов: в одних случаях зависимость имеется, в других – нет. Тип субстрата (изюм, курага, грецкий орех, фундук) не оказывает существенного влияния на скорость отмирания насекомых одного вида, свидетельствуя о преобладании радиационного фактора над средовым.

Проведённое исследование показало, что радиационная обработка сухофруктов и орехов является эффективным методом дезинсекции, позволяющим уничтожать широкий спектр насекомых-вредителей, не оказывая негативного влияния на органолептические качества, показатели безопасности и физико-химические свойства исследованных продуктов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Минск: Евразийская экономическая комиссия, 2011.
2. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle / Rodrigues L.M. [и др.] // Food Chemistry. 2020. Vol. 313. Art. 126137.
3. Diehl J.F. Safety of Irradiated Foods. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 464 p.
4. Козьмина Г.В., Гераськина С.А., Санжарова Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. С. 65-78.
5. Generic irradiation phytosanitary treatments for insects in fresh fruits and vegetables: IAEA-TECDOC-1955 [Electronic resource] / International Atomic Energy Agency. Vienna: IAEA, 2021. 128 p. Includes PT 7: Irradiation treatment for fruit flies of the family Tephritidae (generic, 2009). URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1955_web.pdf (дата обращения: 28.10.2025).
6. Radiation disinfestation of grain in a port elevator with capacity of 400 T/h. / Zakladnoy G.A. [et al.] // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part C: Radiation Physics and Chemistry 1989. Vol. 34, No. 6. P. 991-994 (1989). DOI: 10.1016/1359-0197(89)90340-8
7. Hallman G.J. Phytosanitary irradiation: generic treatments and international adoption // Journal of Economic Entomology. 2019. Vol. 112, No. 5. P. 2029-2035.
8. Ignatowicz S. Radiation sensitivity of stored-product insects // Journal of Stored Products Research. 2003. Vol. 39, No. 3. P. 285-295.
9. Göksoy A., Özdemir S., Göncüoğlu N. Effects of gamma irradiation on chemical and sensory properties of dried apricots // Journal of Food Engineering. 2007. Vol. 79, No. 1. P. 127-132. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.010.
10. Семёнова А.А., Кузнецова Т.В. Влияние гамма-облучения на качество сухофруктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 6. С. 45-49.
11. ГОСТ 31751-2012. Масла растительные. Метод определения перекисного числа. Введ. 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.
12. Delincée H. Irradiation of food: Analytical methods and safety aspects // Radiation Physics and Chemistry. 2002. Vol. 63, No. 3-6. P. 377-382. DOI: 10.1016/S0969-806X(01)00452-8.

REFERENCES

1. Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 “On Food Safety”. Minsk: Eurasian Economic Commission, 2011. [In Russ.]
2. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle / Rodrigues L.M. [et al.] // Food Chemistry. 2020. Vol. 313. Art. 126137.
3. Diehl J.F. Safety of Irradiated Foods. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 464 p.
4. Kozmina, G.V., Geraskina, S.A., Sanzharova, N.I. Radiation technologies in agriculture and food industry: status and prospects. Obninsk: VNIIRAE, 2015. P. 65-78. [In Russ.]
5. Generic irradiation phytosanitary treatments for insects in fresh fruits and vegetables: IAEA-TECDOC-1955 [Electronic resource] / International Atomic Energy Agency. Vienna: IAEA, 2021. 128 p. Includes PT 7: Irradiation treatment for fruit flies of the family Tephritidae (generic, 2009). URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1955_web.pdf (accessed 10/28/2025).
6. Radiation disinfestation of grain in a port elevator with capacity of 400 T/h. / Zakladnoy G.A. [et al.] // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part C: Radiation Physics and Chemistry 1989. Vol. 34, No. 6. P. 991-994 (1989). DOI: 10.1016/1359-0197(89)90340-8
7. Hallman, G.J. Phytosanitary irradiation: generic treatments and international adoption // Journal of Economic Entomology. 2019. Vol. 112, No. 5. P. 2029-2035.

8. Ignatowicz, S. Radiation sensitivity of stored-product insects // Journal of Stored Products Research. 2003. Vol. 39, No. 3. P. 285-295.
9. Göksoy A., Özdemir S., Göncüoğlu N. Effects of gamma irradiation on chemical and sensory properties of dried apricots // Journal of Food Engineering. 2007. Vol. 79, No. 1, pp. 127-132. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.010.
10. Semenova, A. A., Kuznetsova, T. V. «The Effect of Gamma Irradiation on the Quality of Dried Fruits.» Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2015, No. 6, P. 45-49. [In Russ.]
11. GOST 31751–2012. Vegetable Oils. Method for Determining Peroxide Value. Introduction. 2014–01–01. Moscow: Standartinform, 2012. 8 p. [In Russ.]
12. Delincée, H. «Irradiation of Food: Analytical Methods and Safety Aspects.» Radiation Physics and Chemistry. 2002, Vol. 63, Nos. 3–6. P. 377-382. DOI: 10.1016/S0969-806X(01)00452-8.

Информация об авторах / Information about the authors

Кузьмин Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, директор, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-9732>, e-mail: fncg@fncg.ru

Есаурова Ольга Владимировна, кандидат экономических наук, руководитель НИЦ «Радиационные биотехнологии», Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1936-1673>, e-mail: esaulova.ov@fncg.ru

Скопин Антон Юрьевич, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий отделом научного обеспечения лабораторных исследований продукции и объектов окружающей среды, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-9489>, E-mail: skopin.ayu@fncg.ru

Балакаева Алиса Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдела научного обеспечения лабораторных исследований продукции и объектов окружающей среды Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4217-4300>, e-mail: balakaeva.AV@fncg.ru

Мощенская Нина Владимировна, кандидат химических наук, заместитель руководителя НИЦ «Радиационные биотехнологии» по сертификации, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, e-mail: moschenskaya.nv@fncg.ru

Русаков Владимир Николаевич, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела гигиены питания, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; 141014, Российская Федерация, Московская область, городской округ Мытищи, город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9514-9921>, e-mail: rusakov.vn@fncg.ru

Sergei V. Kuzmin, Dr Sci. (Medicine), Professor, Director, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141014, the Russian Federation, the Moscow Region, the Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-9732>, e-mail: fncg@fncg.ru

Olga V. Esaulova, PhD (Econ.), Head of the Scientific Research Center "Radiation Biotechnology", Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman" of Rospotrebnadzor; 141014, the Russian Federation, the Moscow Region, the Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1936-1673>, e-mail: esaulova.ov@fncg.ru

Anton Yu. Skopin, PhD (Medicine), Associate Professor, Head of the Department of Scientific Support for Laboratory Research of Products and Environmental Objects, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141014, the Russian Federation, the Moscow Region, the Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-9489>, e-mail: skopin.ayu@fncg.ru

Alisa V. Balakaeva, PhD (Biology), Senior Researcher of the Department of Scientific Support for Laboratory Research of Products and Environmental Objects, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141014, Russian Federation, Moscow Region, Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4217-4300>, e-mail: Balakaeva.AV@fncg.ru

Nina V. Moschenskaya, PhD (Chemistry), Deputy Head of the Scientific Research Center «Radiation Biotechnology» for Certification, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141014, the Russian Federation, the Moscow Region, the Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, e-mail: moschenskaya.nv@fncg.ru

Vladimir N. Rusakov, PhD (Medical), Leading Researcher, Department of Food Hygiene, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor; 141014, the Russian Federation, the Moscow Region, the Mytishchi urban district, Mytishchi, Semashko Street, Building 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9514-9921>, e-mail: rusakov.vn@fncg.ru

Заявленный вклад авторов

Кузьмин Сергей Владимирович – обсуждение статьи, редактирование.

Есаурова Ольга Владимировна – дизайн исследования, редактирование.

Скопин Антон Юрьевич – написание текста, обсуждение статьи, редактирование.

Балакаева Алиса Викторовна – написание текста, обсуждение статьи, редактирование.

Мошенская Нина Владимировна – сбор и обработка материала.

Русаков Владимир Николаевич – сбор и обработка материала.

Claimed contribution of the authors

Sergey V. Kuzmin – article discussion, editing.

Olga V. Esaulova – research design, editing.

Anton Y. Skopin – text writing, article discussion, editing.

Alisa V. Balakaeva – text writing, article discussion, editing.

Nina V. Moshchenskaya – data collection and processing.

Vladimir N. Rusakov – data collection and processing.

Поступила в редакцию 13.10.2025

Поступила после рецензирования 24.11.2025

Принята к публикации 27.11.2025

Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

Received 13.10.2025

Revised 24.11.2025

Accepted 27.11.2025