

Кыргызстандын саламаттык сактоо
илимий-практикалык журналы
2025, № 4, б. 89-106

Здравоохранение Кыргызстана
научно-практический журнал
2025, № 4, с. 89-106

Health care of Kyrgyzstan
scientific and practical journal
2025, No 4, pp. 89-106

УДК: 664.8.039.5

ЕАЭБнин алкагында радиациялык биотехнологияны өнүктүрүү үчүн гигиеналык жөнгө салуу, көз карандысыз аралыктан мониторинг жүргүзүү жана сертификациялоо куралдарын бириктирген бирдиктүү санариптик экоплатформаны иштеп чыгууга системалуу мамиле кылуу

С.В. Кузьмин¹, О.В. Есаулова¹, Н.В. Мощенская^{1,2}, В.Н. Русаков¹, И.Е. Горина^{1,2}

¹ Керектөөчүлөрдүн укуктарын коргоо жана адамдын жыргалчылыгын көзөмөлдөө боюнча федералдык кызматтын "Ф.Ф. Эрисман атындагы гигиена боюнча федералдык илимий борбор" федералдык бюджеттик илим мекемеси, Москва облусу, Мытищи,

² "Ф.Ф. Эрисман илимий-өндүрүштүк борбору" чакан инновациялык ишканасы ЖЧКсы, Тула, Россия Федерациясы

МАКАЛА ЖӨНҮНДӨ МААЛЫМАТ КОРУТУНДУ

Негизги сөздөр:

Радиациялык иштетүү
Иондоштуруучу нурлануу
Аралыктан мониторинг жүргүзүү
Гигиеналык стандарттар
Аппараттык жана программалык камсыздоо комплекси
Микробиологиялык коопсуздук
Дозиметриялык көзөмөл
Көзөмөлдөө мүмкүнчүлүгү
Радиациялык биотехнология
Сертификациялоо

Киришүү. Бул макалада Евразия экономикалык биримдиги аймагында (ЕАЭБ) радиациялык технологиялар тармагын жөнгө салуунун заманбап ыкмалары каралат, алар иондоштуруучу нурланууну иштетүүнү колдонууда азык-түлүк жана айыл чарба продукцияларынын айланышын, сапатын жана коопсуздугун көзөмөлдөөнү камсыз кылуу үчүн мамлекеттик жөнгө салууга, аралыктан мониторинг жүргүзүүгө жана кайра иштетүү кызматтарынын жана нурланган продукциялардын шайкештигин баалоого негизделген.

Изилдөөнүн максаты - ЕАЭБге мүчө мамлекеттердин улуттук документтерин жана ЕАЭБдин улуттар аралык мыйзамдарын, ошондой эле мамлекеттик стандартташтырууга жана аралыктан мониторинг жүргүзүүгө негизделген радиациялык технологиялар тармагын жөнгө салуунун заманбап ыкмаларын камтыган эл аралык документтерди талдоо, ЕАЭБ рыногунда айланып жүргөн иондоштуруучу нурлануу менен иштетилген азык-түлүк жана айыл чарба продукцияларынын изин, сапатын жана коопсуздугун камсыз кылуу үчүн радиациялык биотехнология жаатында стандартташтыруу, көзөмөлдөө жана көзөмөлдөө системасын негиздөө жана иштеп чыгуу максатында оптималдуу иштетүү режимдерин негиздөө үчүн эксперименталдык илимий изилдөөлөрдү жүргүзү.

Материалдар жана усул. Изилдөө ЕАЭБге мүчө мамлекеттердин мамлекеттер аралык жана мамлекеттик стандарттарын, ЕАЭБ/ТС тех-

Адрес для переписки:

Есаулова Ольга Владимировна, 141014,
Российская Федерация, Московская обл., г. Мытищи,
ул. Семашко, д. 2,
ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Роспотребнадзора
Тел.: +7-916-5395041
E-mail: esaulova.ov@fncg.ru

Contacts:

Esaulova Olga Vladimirovna, 141014,
b. 2, Semashko St., Mytishchi, Moscow Region,
Russian Federation,
Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rospotrebnadzor
Phone: +7-916-5395041
E-mail: esaulova.ov@fncg.ru

Для цитирования:

Кузьмин С.В., Есаулова О.В., Мощенская Н.В., Русаков В.Н., Горина И.Е. Системный подход к разработке единой цифровой экоплатформы, объединяющей инструменты гигиенического нормирования, независимого дистанционного контроля и сертификации для развития радиационных биотехнологий на территории ЕАЭС. Научно-практический журнал «Здравоохранение Кыргызстана» 2025, № 4, с. 89-106. doi: 10.51350/zdravkg2025.4.12.11.89.106

Citation:

Kuzmin S.V., Esaulova O.V., Moshchenskaya N.V., Rusakov V.N., Gorina I.E. A systematic approach to the development of a unified digital ecoplatform that combines tools for hygienic rationing, independent remote monitoring and certification for the development of radiation biotechnologies in the EAEU. Scientific practical journal "Health care of Kyrgyzstan" 2025, No.4, p. 89-106. doi: 10.51350/zdravkg2025.4.12.11.89.106

никалык регламенттерин жана МАГАТЭнин, ДСУнун жана ФАОнун эл аралык ченемдик документтерин салыштырмалуу талдоо аркылуу жүргүзүлдү. Ошондой эле натыйжалуу жана коопсуз нурлануу деңгээлдерин камтыган оптималдуу иштетүү режимдерин түзүү үчүн эксперименталдык изилдөө аркылуу жүргүзүлдү. Сапат жана коопсуздук көрсөткүчтөрү менен иондоштуруучу нурлануунун деңгээлинин ортосундагы байланышты аныктоо үчүн продукциянын үлгүлөрү 10 МэВге чейинки энергияга ээ УЭЛР -10-10С2 сызыктуу электрондук ылдамдаткычын колдонуу менен нурлануу менен иштетүүгө дуушар болду.

Натыйжалар жана талкулоо. Жүргүзүлгөн илимий изилдөөлөрдүн негизинде ЕАЭБ аймагында иондоштуруучу нурлануу менен азык-түлүк жана айыл чарба продукцияларын кайра иштетүүнүн натыйжалуу башкаруу жана көзөмөлдөө системасынын концепциясы негизделип жана иштелип чыккан, ошондой эле бир катар артыкчылыктуу продукция түрлөрү үчүн оптималдуу технологиялык режим.

Жыйынтыгы. Аралыктан мониторинг жүргүзүү жана жасалма интеллект куралдарына негизделген "Радуризация" адистештирилген аппараттык жана программалык камсыздоо системасы, ошондой эле иондоштуруучу нурланууну жана нурланган продукцияларды кайра иштетүүчү борборлор үчүн заманбап "Жакшы тажрыйбалар" ыктыярдуу сертификациялоо системасы иштелип чыкты жана ЕАЭБ алкагында радиациялык биотехнология жаатында башкаруу жана көзөмөлдөө системасынын негизи катары өнөр жайлык ишке ашыруунун зарылдыгы негизделди.

Системный подход к разработке единой цифровой экоплатформы, объединяющей инструменты гигиенического нормирования, независимого дистанционного контроля и сертификации для развития радиационных биотехнологий на территории ЕАЭС

С.В. Кузьмин ¹, О.В. Есаулова ¹, Н.В. Мощенская ^{1,2}, В.Н. Русаков ¹, И.Е. Горина ^{1,2}

¹ ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Московская область, Мытищи,

² ООО «Малое инновационное предприятие «Научно-производственный центр им. Ф.Ф. Эрисмана», Тула, Российская Федерация

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Ключевые слова:

Радиационная обработка
Ионизирующее излучение
Средства дистанционного контроля
Гигиеническое нормирование
Программно-аппаратные комплексы
Микробиологическая безопасность
Дозиметрический контроль
Прослеживаемость
Радиационные биотехнологии
Сертификация

РЕЗЮМЕ

Введение. В работе рассмотрены современные подходы к регулированию отрасли радиационных технологий на территории Евразийского экономического союза (ЕАЭС) на основе государственного нормирования, дистанционного контроля и оценки соответствия услуг обработки и облученной продукции для обеспечения прослеживаемости оборота, качества и безопасности пищевой и сельскохозяйственной продукции при применении обработки ионизирующим излучением.

Цель исследования — анализ национальных документов стран-участниц ЕАЭС и наднационального законодательства ЕАЭС, а также международных документов, содержащих современные подходы к регулированию отрасли радиационных технологий на основе государственного нормирования и дистанционного контроля, проведение экспериментальных научных исследований по обоснованию оптимальных режимов обработки с целью обоснования и разработки системы нормирования, контроля и прослеживаемости в сфере радиационных биотехнологий для обеспечения прослеживаемости, качества и безопасности обработанной ионизирующим излучением пищевой и сельскохозяйственной продукции, обращающейся на рынке ЕАЭС.

Материалы и методы. Работа была выполнена путем сравнительного

анализа текстов межгосударственных и государственных стандартов стран-участниц ЕАЭС, технических регламентов ТС/ЕАЭС, международных регулирующих документов МАГАТЭ, ВОЗ, ФАО, а также проведения экспериментальной части для обоснования установления оптимальных режимов обработки, включая эффективные и безопасные уровни облучения. Образцы продукции для определения зависимости показателей качества и безопасности от уровня ионизирующего излучения подвергали радиационной обработке линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2 с энергией до 10 МэВ.

Результаты и обсуждение. На основе проведенных научных исследований обоснована и разработана концепция результативной системы контроля и прослеживаемости в области обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением на территории ЕАЭС, а также установлены оптимальные технологические режимы и уровни облучения для ряда приоритетных видов продукции.

Заключение. Разработан специальный программно-аппаратный комплекс «Радуризация» на базе современных средств дистанционного контроля и искусственного интеллекта, а также система добровольной сертификации центров обработки ионизирующим излучением и облученной продукции «Добросовестные практики», обоснована их ключевая роль и необходимость промышленного внедрения в качестве основы системы контроля и прослеживаемости в сфере радиационных биотехнологий на территории ЕАЭС.

A systematic approach to the development of a unified digital ecoplatform that combines tools for hygienic rationing, independent remote monitoring and certification for the development of radiation biotechnologies in the EAEU

S.V. Kuzmin ¹, O.V. Esaulova ¹, N.V. Moshchenskaya ^{1,2}, V.N. Rusakov ¹, I.E. Gorina ^{1,2}

¹ F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor), Moscow Region, Mytishchi,

² Small Innovative Enterprise “Erisman Research and Production Center” LLC, Tula, Russian Federation

ARTICLE INFO

Key words:

Radiation processing
Ionizing radiation
Remote monitoring tools
Hygienic standardization
Hardware–software systems
Microbiological safety
Dosimetric control
Traceability
Radiation biotechnologies
Certification

ABSTRACT

Introduction. The paper considers current approaches to regulating the radiation technology sector on the territory of the EAEU based on state standard-setting, remote monitoring, and conformity assessment of irradiation services and irradiated products to ensure traceability of circulation, quality, and safety of food and agricultural products when ionizing radiation processing is applied.

Aim of the study. To analyze intergovernmental and state standards of the EAEU member states and international documents reflecting modern approaches to regulating the radiation technology sector based on state standard-setting and remote monitoring, and to conduct experimental research to substantiate optimal processing regimes, in order to justify and develop a Rospotrebnadzor system of standard-setting, control, and traceability in the field of radiation biotechnologies ensuring traceability of circulation, quality, and safety of food and agricultural products treated with ionizing radiation.

Conclusion. Materials and methods. The study was performed through a comparative analysis of the texts of national documents of the EAEU member states and supranational legislation of the EAEU, CU/EAEU technical regulations, and international regulatory documents of the IAEA, WHO, and FAO, as well as an experimental component to substantiate optimal pro-

cessing regimes, including effective and safe irradiation levels. Product samples used to determine the dependence of quality and safety indicators on the ionizing radiation dose were processed using a UELR-10-10S2 linear electron accelerator with electron energy up to 10 MeV.

Results and discussion. Based on the conducted research, a concept of an effective control and traceability system for ionizing-radiation processing of food and agricultural products was substantiated and developed, and optimal technological regimes and irradiation levels were established for a number of priority product types.

Conclusion. A specialized “Radurization” hardware–software complex was developed using modern remote monitoring tools and artificial intelligence, along with the “Good Practices” voluntary certification system for irradiation processing centers and irradiated products; their key role and the need for industrial implementation were substantiated as the basis control and traceability system in the field of radiation biotechnologies on the territory of the EAEU.

Введение

Улучшение качества и снижение потерь при хранении и транспортировке пищевой и сельскохозяйственной продукции является одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности стран-участниц Евразийского экономического союза¹. Данная задача стоит в сегодняшних реалиях остро как никогда, а ее решение невозможно без внедрения современных технологий.

Дефицит продуктов питания является глобальной проблемой человечества в XXI веке. Проблема не только в производстве, но и в организации длительного хранения продуктов. Значительная часть пищевой продукции портится на складах и во время транспортировки. Сельскохозяйственные культуры гибнут из-за насекомых-вредителей, бактерий, прорастают и становятся непригодными для употребления в пищу [1].

Потребность производителей стран-участниц ЕАЭС в увеличении сроков хранения продукции и снижении требований к условиям транспортировки обострилась ввиду осложненной внешнеэкономической, политической и логистической ситуации.

Увеличение масштабов производства, удлинение логистического плеча и распространение крупноформатной торговли и логистических центров накладывает новые требования на упаковку и обработку пищевых продуктов. Реализация продуктов через крупные торговые сети требует значительного увеличения сроков хранения.

По официальным данным ФАО, ежегодные потенциальные потери урожая от болезней и вредителей в мире составляют около 35 %, в том числе от вредителей — 14 %, болезней — 12 %. При сохранении этих потерь можно прокормить 600 млн человек [2].

Одним из наиболее эффективных решений про-

блемы микробной контаминации, зараженности насекомыми-вредителями, а также продления сроков хранения и сроков годности пищевой и сельскохозяйственной продукции является радиационная обработка. Обработка ионизирующим излучением эффективно снижает микробную нагрузку и обеспечивает безопасность пищевой и сельскохозяйственной продукции. Обработка ионизирующим излучением позволяет снизить риск пищевых отравлений, вызванных сальмонеллой, листериями, E.coli и другими опасными бактериями. После такой обработки пищевая и сельскохозяйственная продукция хранится в 3-6 раз дольше [3].

Радиационные технологии не только эффективнее традиционных технологий обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции (тепловая обработка, химическая обработка и т. п.), но и экономически выгоднее [4, 5].

В настоящее время мировой рынок услуг обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением составляет более 5,5 млн тонн ежегодно и стабильно растет [4]. Технология обработки признана Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) безопасной и перспективной и уже более 45 лет применяется практически во всех передовых странах мира [6-15]. Основные направления применения радиационных биотехнологий сегодня включают обеззараживание специй, сухофруктов, зернового сырья, продовольственного сырья животного происхождения, мясных и рыбных полуфабрикатов, готовых к употреблению пищевых продуктов. В мире более 500 действующих радиационных центров обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции [4], при этом на территории ЕАЭС всего около 20 центров (14 из них находятся в России,

¹ Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» с изменениями, внесенными Указом Президента Российской Федерации от 10 марта 2025 года № 141



Рисунок 1. Сравнение радиационных технологий с традиционными методами обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции

Figure 1. Comparison of radiation technologies with conventional methods for processing food and agricultural products

остальные — в Беларуси и Казахстане), несмотря на то, что технология разрешена действующими техническими регламентами Таможенного союза/Евразийского экономического союза (Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011², Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» ТР ЕАЭС 040/2016³) и включена в Постановление Правительства РФ от 9 августа 2016 года № 768 «Перечень видов работ по карантинному фитосанитарному обеззараживанию»⁴.

Действующие и новые участники рынка радиационных технологий (ГК «Росатом» — "Акцентр", "Теклеор" (РФ), «ОИЭИ-Сосны» (Республика Беларусь) и пр. имеют намерение масштабировать сеть Центров обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции, но для этого необходимы прозрачная нормативная правовая база и контроль со стороны уполномоченных органов стран-участниц. Возможность свободного перемещения товаров на территории ЕАЭС также требует единого гармонизированного подхода к регулированию отрасли и унификации требований к центрам обработки и облученной продукции.

МАГАТЭ и ФАО запустили в 2023 году флагман-

скую инициативу Atoms4Food, которая призвана расширить использование радиационных технологий для обеспечения глобальной продовольственной безопасности. По линии Atoms4Food странам будет оказываться содействие в использовании инновационных ядерных методов, чтобы повысить производительность сельского хозяйства, сократить потери продовольствия, обеспечить безопасность пищевых продуктов, повысить качество питания.

Ключевым условием безопасного применения обработки ионизирующим излучением является установление предельных уровней облучения для конкретных видов продукции и контроль за их соблюдением в процессе обработки [8].

Международный комитет экспертов ФАО/МАГАТЭ /ВОЗ на основе многочисленных исследований подтвердил безопасность обработки пищевых продуктов дозами до 10 кГр [6-8]. Превышение указанного уровня связано с риском дальнейшего потребления пищевого продукта — облученные с нарушением режимов пищевые продукты могут содержать опасные продукты радиолитизации.

Однако действующие технические регламенты ТС/ЕАЭС не устанавливают санитарно-эпидемиологических требований к процессу обработки продукции ионизирующим излучением, а также гигиениче-

² Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), утвержденный решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880, с изменениями, внесенными решениями Совета Евразийской экономической комиссии от 08.08.2019 № 115, от 14.07.2021 № 61, от 25.11.2022 № 173, от 23.06.2023 № 70, от 22.04.2024 № 35, решениями Коллегии Евразийской экономической комиссии от 11.06.2013 № 129, от 25.06.2013 № 147, от 10.06.2014 № 91, от 24.12.2019 № 236 (далее - ТР ТС 021/2011).

³ Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016), утвержденный решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18.10.2016 № 162, с изменениями, внесенными решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23.06.2023 № 70.

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 9 августа 2016 года № 768 «Об установлении видов работ по карантинному фитосанитарному обеззараживанию».



Рисунок 2. Распределение центров обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением

Figure 2. Distribution of irradiation processing centers for food and agricultural products

ских норм в отношении уровней облучения. Действующие межгосударственные стандарты по обработке ионизирующим излучением пищевой и сельскохозяйственной продукции (ГОСТ 33339-2015⁵, ГОСТ 33340-2015⁶, ГОСТ 33302-2015⁷, ГОСТ 33271-2015⁸, ГОСТ 33820-2016⁹, ГОСТ 34154-2017¹⁰, ГОСТ 33825-2016¹¹ и пр.) также не содержат верифицированных уполномоченными органами стран-участниц норм облучения, содержат ссылки на нормы законодательства Соединенных Штатов Америки (FDA и USDA) и даже противоречат по максимально допустимым уровням международной безопасной дозе излучения до 10 кГр (например, ГОСТ 33271-2015). Отсутствие в технических регламентах Таможенного союза/Евразийского экономического союза методик качественной и количественной идентификации облученной продукции также затрудняет контроль за ее оборотом. В результате на общем рынке стран-участниц ЕАЭС могут находиться продукты, подвергшиеся радиационной обработке с нарушением безопасных доз облучения без соответствующей маркировки.

Цель настоящей работы — устранить пробелы в регулировании рынка услуг обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением:

- установить и обосновать единые санитарно-эпидемиологические требования к процессам обработки и безопасные уровни поглощенного излучения для

приоритетных видов продукции;

- валидировать и утвердить методики обработки для приоритетных видов продукции, которые лягут в основу межгосударственных стандартов, действующих на территории ЕАЭС;

- ввести централизованный контроль услуг обработки со стороны уполномоченных органов на территории стран-участниц ЕАЭС, оперативный обмен данными и взаимное признание результатов контроля и сертификации, проведенной в разных странах.

Для решения указанных задач создан Научно-исследовательский центр радиационных биотехнологий Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора (далее — НИЦ РадБиотех), выполняющий функции национального референс-центра в области радиационных биотехнологий. Подобные центры есть во всех передовых странах мира. Оснащенные современным оборудованием и укомплектованные профессиональными кадрами, эти центры являются ведущими площадками для проведения научных исследований, обоснования безопасных режимов обработки и валидации методик, разработки национальных стандартов, международного сотрудничества и подготовки специалистов в области радиационных технологий, а также масштабирования промышленных центров обработки ионизирующим излучением на территории государства.

⁵ ГОСТ 33339-2015 «Облучение пищевых продуктов. Термины и определения».

⁶ ГОСТ 33340-2015 «Пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением. Общие положения».

⁷ ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки».

⁸ ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами».

⁹ ГОСТ 33820-2016 «Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов».

¹⁰ ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов».

¹¹ ГОСТ 33825-2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов».



Рисунок 3. Эмблема референс-центра в области радиационных технологий ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора

Figure 3. Emblem of the reference center in radiation technologies of the F.F. Erismansky Federal Scientific Center of Hygiene of Rosпотребнадзор

С момента создания в 2022 году НИЦ РадБиотех на постоянной основе в рамках научно-исследовательских работ по государственному заказу проводит обоснование безопасных и эффективных уровней ионизирующего излучения для приоритетных видов продукции.

Эффективный уровень излучения (минимальная поглощенная продукцией доза) должен быть эффективным в отношении загрязнителей и обеспечивать микробиологическую, фитосанитарную, ветеринарную, санитарно-гигиеническую безопасность облученной пищевой и сельскохозяйственной продукции, а безопасный уровень излучения (максимальная поглощенная продукцией доза) не должен превышать уровень, при котором возникает риск для безопасности потребителя или нарушение качественных характеристик продукции — структурной целостности, функциональных и органолептических свойств.

На основе установленных уровней облучения и утвержденных методик обработки должны разрабатываться национальные SMART-стандарты¹², устанавливающие требования к обработке ионизирующим излучением приоритетных видов продукции.

Цель исследования — анализ национальных документов стран-участниц ЕАЭС и наднационального законодательства ЕАЭС, а также международных документов, содержащих современные подходы к регулированию отрасли радиационных технологий на основе государственного нормирования и дистанционного контроля, проведение экспериментальных научных исследований по обоснованию оптимальных режимов обработки с целью обоснования и разработки системы нормирования, контроля и прослеживаемости в сфере радиацион-

ных биотехнологий для обеспечения прослеживаемости, качества и безопасности обработанной ионизирующим излучением пищевой и сельскохозяйственной продукции, обращающейся на рынке ЕАЭС.

Материалы и методы

Работа была выполнена путем сравнительного анализа текстов межгосударственных и государственных стандартов стран-участниц ЕАЭС, технических регламентов ТС/ЕАЭС, международных регулирующих документов МАГАТЭ, ВОЗ, ФАО, а также проведения экспериментальной части для обоснования установления оптимальных режимов обработки, включая эффективные и безопасные уровни облучения. Образцы продукции для определения зависимости показателей качества и безопасности от уровня ионизирующего излучения подвергали радиационной обработке линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2 с энергией до 10 МэВ. Для проведения исследований облученной и контрольной продукции по показателям качества и безопасности при установлении минимальных и максимальных уровней облучения применялись аттестованные методики, включенные в Перечни стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований соответствующих технических регламентов ТС/ЕАЭС и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов определяли по ГОСТ 10444.15-94¹³. Для разработки ПАК «Радуризация» использованы отечественные технологии и разработки. Разработка СДС «Добросовестные практики» проведена на основе действующего законодательства РФ и ЕАЭС с применением наилучших международных практик.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного анализа национальных, межгосударственных и международных документов, содержащих современные подходы к регулированию отрасли радиационных технологий на основе государственного нормирования и дистанционного контроля, а также экспериментальных научных исследований, НИЦ РадБиотех обоснована и разработана концепция результативной системы контроля и прослеживаемости в области обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением, а также основные элементы такой системы [16-23]:

- механизмы, позволяющие устанавливать требования к процессу обработки и облученной продукции (гигиеническое нормирование), а также оперативно проводить валидацию методик обработки (установление оп-

¹² SMART-стандарты - это современный вид стандартов в формате структурированных машиночитаемых моделей данных, которые позволяют автоматизировать процессы контроля на производстве.

¹³ ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, введенные постановлением Госстандарта России от 21.02.1995 N 77.

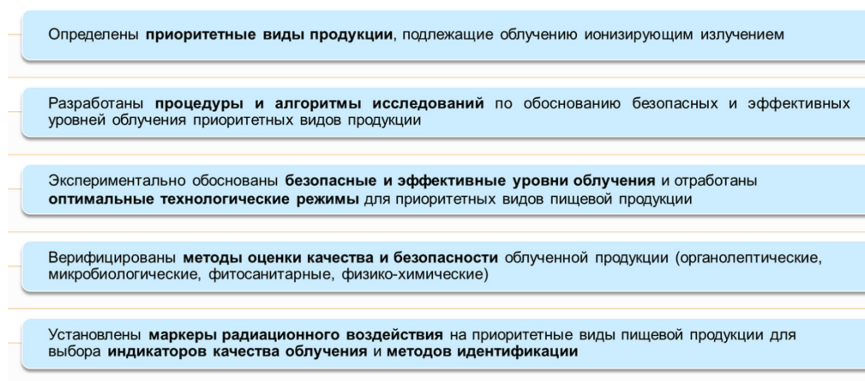


Рисунок 4. Основа гигиенического нормирования

Figure 4. Basis of hygienic standardization

тимальных технологических режимов обработки определенной продукции, с учетом фасовки и упаковки, определенного уровня исходной контаминации на определенной радиационно-технологической установке);

- механизмы дистанционного контроля хода обработки и принятия решений по результатам такого контроля (специальные программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие независимый контроль параметров обработки в режиме реального времени, включая уровни излучения);

- механизмы для обеспечения прослеживаемости и объективного подтверждения качества и безопасности облученной продукции (система сертификации, формирования и контроля маркировочных QR-кодов продукции);

- механизмы обмена результатами контроля между уполномоченными органами государств-членов ЕАЭС в области контроля радиационных технологий с целью обеспечения прослеживаемости облученной продукции по территории ЕАЭС и взаимного признания результатов сертификации в единой системе.

В результате проведенных исследований НИЦ РадБиотех достигнуты практические результаты (рис. 4), положенные в основу гигиенического нормирования в сфере обработки продукции ионизирующим излучением.

С целью формирования плана научных исследований и поэтапного наполнения необходимой для практического применения базы знаний с утвержденными технологическими режимами и методиками обработки конкретных видов продукции определены приоритетные для обработки ионизирующим излучением виды пищевой и сельскохозяйственной продукции.

Критериями отнесения продукции к приоритетным для обработки ионизирующим излучением видам являлся уровень риска, связанный с высоким уровнем исходной контаминации и(или) устойчивостью характерных для продукции контаминантов к альтернативным видам обработки, большие объемы импорта, необходимость сохранности качества и безопасности при длительной транспортировке и хранении и другие значимые критерии (табл.1).

Для обоснования и установления оптимальных режимов обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением, включая разрешенный диапазон уровней излучения, образцы продукции подвергали радиационной обработке линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2 с энергией до 10 МэВ и исследовали по показателям качества и безопасности в соответствии с утвержденными программами эксперимента (рис. 5, табл. 2).

Для проведения исследований облученной и контрольной продукции по показателям качества и безопасности применялись проверенные средства измерений и аттестованное испытательное оборудование в соответствии с утвержденными методиками, включенными в Перечни стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований соответствующих технических регламентов ТС/ЕАЭС и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции.

В результате проведенных исследований на основе калибровочных кривых зависимости инактивации опасных контаминантов (микрофлоры, паразитов, вредителей) и качественных характеристик продукта в зависимости от воздействующего уровня ионизирующего излучения установили оптимальные режимы обработки отдельных приоритетных видов пищевой и сельскохозяйственной продукции (более 30 групп продукции), включая максимальные и минимальные уровни облучения (табл. 3).

При однократном облучении ионизирующим излучением дозой 1,5 кГр в облученных образцах наблюдалось преобладание микроорганизмов родов *Clostridium* и *Lactobacillus* (по 25 %), а также *Aeromonas*, *Stenotrophomonas* и *Pseudomonas*; однократное облучение дозой 3 кГр является эффективным в отношении инактивации микроорганизмов (нормируемый уровень КМАФАнМ в охлажденном мясном фарше сохранялся в течение 24 суток, патогенная микрофлора погибает полностью) и не влияет на изменение химического состава, органолептических свойств и структурной целостности продукта, доза

Таблица 1. Приоритетные виды пищевой и сельскохозяйственной продукции для обработки ионизирующим излучением

Table 1. Priority types of food and agricultural products for treatment with ionizing radiation

Вид продукции	Критерии
Мясо и мясные продукты (чрезвычайно высокий риск)	<ul style="list-style-type: none"> • высокая исходная микробная обсеменённость, особенно в фаршах и полуфабрикатах; • альтернативные методы обеззараживания не обеспечивают полного уничтожения устойчивых форм микроорганизмов
Мясо птицы и др. продукция птицеводства (чрезвычайно высокий риск)	<ul style="list-style-type: none"> • продукт массового потребления • высокий риск заражения Salmonella и Campylobacter • термообработка не всегда применима к готовым полуфабрикатам
Рыба и морепродукты (чрезвычайно высокий риск)	<ul style="list-style-type: none"> • высокая вероятность микробной и паразитарной контаминации; • длинная логистика от мест вылова; • альтернативные методы обработки не уничтожают все формы возбудителей
Свежие овощи, зелень, фрукты и ягоды (высокий риск при импорте)	<ul style="list-style-type: none"> • высокая исходная микробная обсеменённость; • термическая обработка неприемлема
Сухофрукты (высокий риск при импорте)	<ul style="list-style-type: none"> • большие объёмы импорта; • частые превышения по микробной обсеменённости, содержанию микотоксинов и плесневых грибов; • компотная смесь поставляется для государственного оборонного заказа
Зерно и зернопродукты	<ul style="list-style-type: none"> • базовый стратегический продукт, экспорт; • высокая степень инсекционной контаминации; • альтернативные методы обеззараживания не обеспечивают сохранение класса (группы) качества при длительном хранении и транспортировке
Сухие специи, пряности, чай (высокий риск при импорте)	<ul style="list-style-type: none"> • большие объёмы импорта;
Какао-порошок (высокий риск при импорте)	<ul style="list-style-type: none"> • высокая степень исходной микробной контаминации, устойчивой к альтернативным видам обработки; • обработка повышает аромат и вкусовые качества • импортное сырьё с длительным логистическим плечом • повышенная микробная обсеменённость из-за условий ферментации и сушки бобов; • термообработка ухудшает аромат и цвет; • обработка ионизирующим излучением обеззараживает, стабилизирует качество, улучшает вкус и аромат
Продукты переработки сои (изюлят, концентрат, клетчатка, мука, жмыхи)	<ul style="list-style-type: none"> • активно растущий сегмент пищевой и кормовой индустрии РФ; • высокая степень микробной контаминации после экструзии и сушки; • наличие устойчивых к альтернативным методам обработки спор Bacillus и Clostridium; • требуется инактивировать ингибиторы протеаз и лектины сои; • обработка ионизирующим излучением обеззараживает без изменения функциональных свойств белка

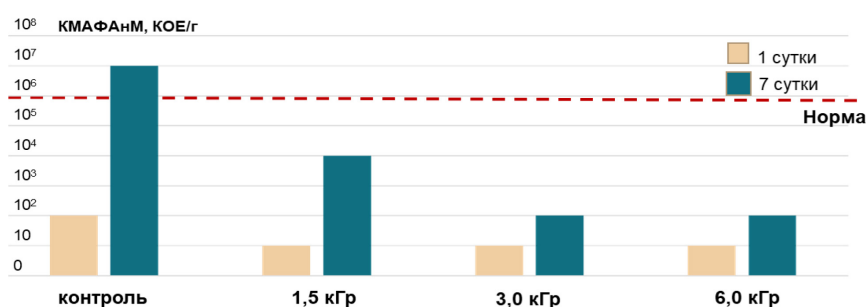


Рисунок 5. Микробиологические показатели облученной мясной продукции (на примере фарша свино-говяжьего охлажденного — измельченное мясо говядины и свинины в соотношении 1:1 с массовой долей жира 20 %)

Figure 5. Microbiological indicators of irradiated minced meat (example: minced beef and pork 1:1 with 20% fat content)

Примечание: При однократном облучении ионизирующим излучением дозой 1,5 кГр в облученных образцах наблюдалось преобладание микроорганизмов родов *Clostridium* и *Lactobacillus* (по 25 %), а также *Aeromonas*, *Stenotrophomonas* и *Pseudomonas*; однократное облучение дозой 3 кГр является эффективным в отношении инактивации микроорганизмов (нормируемый уровень КМАФАнМ в охлажденном мясном фарше сохранялся в течение 24 суток, патогенная микрофлора погибает полностью) и не влияет на изменение химического состава, органолептических свойств и структурной целостности продукта, доза облучения 6 кГр влияет на качественные характеристики фарша (незначительное потемнение и легкий запах окисленного жира).

Таблица 2. Показатели качества и безопасности облученной рыбы (на примере трески свежемороженой)

Table 2. Quality and safety indicators of irradiated fish (example: frozen cod)

Показатель	Контроль	1 кГр	3 кГр	5 кГр
КМАФАнМ (1 день)	4,1x10 ⁴ КОЕ/г	1,8x10 ³ КОЕ/г	4,6x10 ¹ КОЕ/г	10 КОЕ/г
КМАФАнМ (7 день)	2,1x10 ⁸ КОЕ/г (выше нормы)	1,6x10 ⁴ КОЕ/г	1,3x10 ² КОЕ/г	8,6x10 ¹ КОЕ/г
Текстура и органолептические свойства	Текстура плотная без расслоения, однородный слегка розоватый цвет, без пятен и повреждений, нейтральный морской аромат без признаков порчи, легкий сладковатый, характерный для трески вкус, без горечи и посторонних привкусов	Без изменений	Без изменений	Незначительные изменения текстуры (расслоение), незначительное изменение аромата
Срок хранения (при температуре +6°C)	4 дня	11 дней	15 дней	19 дней
Показатели качества (влажность, содержание жира, белка)	Влажность — 72,6 % Содержание жира — 5,73 % Содержание белка — 18,9 %	Без изменений	Без изменений	Незначительное снижение содержания жира — 5,44 %
ЛАС на 7 сутки хранения (признак порчи)	79,8 мг на 100 г (выше нормы)	52,2 мг на 100 г (выше нормы)	34,4 мг на 100 г	28,2 мг на 100 г
Появление гнилостного запаха при хранении	между 4 и 7 днями	между 11 и 14 днями	между 15 и 19 днями	между 19 и 22 днями

Примечание: Однократное облучение ионизирующим излучением в дозе 3 кГр является эффективным в отношении инактивации микроорганизмов (нормируемый уровень КМАФАнМ в охлажденной рыбе сохранялся в течение 19 суток), позволяет увеличить срок хранения более чем в 3 раза по сравнению с контрольными образцами (необлученными) и не влияет в какой-либо степени на химический состав продукта и его структурную целостность. Доза облучения ионизирующим излучением 6 кГр обладает более высокой антимикробной активностью, однако незначительно влияет на органолептические свойства и содержание жира в продукте.

Таблица 3. Библиотека знаний ПАК «Радуризация» (выдержка)

Table 3. Knowledge base of the “Radurization” hardware-software complex (excerpt)

Облучаемые продукты	Цель облучения	Уровень облучения Dmin-Dmax	Технологические режимы обработки
Грудка куриная охлажденная	Снижение количества микроорганизмов, устранение паразитов/ Увеличение срока годности	1-4 кГр	Энергия электронов — 9,8 МэВ; Ширина развертки пучка — 60x15 см, 60x23 см;
Орехи свежие	Снижение количества микроорганизмов и болезнетворных бактерий/ Увеличение срока хранения	0,1-1 кГр	Технологическая загрузка — меньше ширины развертки пучка;
Курага, изюм, чернослив	Снижение количества микроорганизмов и уничтожение насекомых-вредителей/ Увеличение срока хранения	1-4 кГр	Скорость обработки — 5-6 т/час (для зерна — 6-8 т/час); Частота импульсов — 250 Гц;
Перец черный молотый	Снижение количества микроорганизмов (бактерии, плесени, дрожжи)	4-10 кГр	Ток пучка электронов — 1,1 мА; Ток клистрона — 79,3 А
Треска атлантическая свежемороженая	Снижение количества патогенных микроорганизмов и паразитов/ Увеличение срока годности	0,5-3 кГр	
Фарш свино-говяжий охлажденный	Снижение количества патогенных микроорганизмов и паразитов/ Увеличение срока годности	1-3 кГр	
Зерно пшеницы	Снижение количества патогенных микроорганизмов/ Подавление прорастания/ Продление срока хранения	0,1-4 кГр	
Зелень и свежие огурцы	Снижение количества микроорганизмов и вредителей/ Подавление прорастания корнеплодов/ Увеличение срока хранения	1-4 кГр	

облучения 6 кГр влияет на качественные характеристики фарша (незначительное потемнение и легкий запах окисленного жира).

В результате верификации методов идентификации облученной продукции и методов определения поглощенной продуктом дозы излучения установлено, что все существующие методы идентификации облученной продукции являются качественными методами, позволяющими с разной долей вероятности установить факт обработки продукции ионизирующим излучением, имеют ряд ограничений применения и не валидированы в отношении количественного определения поглощенной дозы излучения. В практическом плане для выявления на рынке немаркированной облученной продукции наиболее перспективными являются методы ЭПР-спектроскопия и ГХ-МС-анализ:

- метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР-спектроскопия) на основе фиксации с помощью спектрометра ЭПР-спектра стабильных свободных радикалов, возникающих при воздействии

ионизирующего излучения и сохраняющихся до двух лет и более после обработки продукции (ГОСТ 31672-2012¹⁴, ГОСТ 31652-2012¹⁵, ГОСТ Р 52529-2006¹⁶), подходит для идентификации ограниченного спектра продукции: мясных продуктов, содержащих костную ткань; продуктов растительного происхождения, содержащих целлюлозу; сушеных фруктов, содержащих кристаллический сахар;
- метод ГХ-МС-анализа на основе обнаружения 2-алкилциклобутанов, образующихся в результате воздействия ионизирующего облучения на продукт, с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (ГОСТ 34131-2017¹⁷), подходит для идентификации ограниченного спектра продукции — облученных мясных продуктов, содержащих большое количество жира.

Для определения поглощенной дозы излучения в пищевом продукте при производственном контроле должны применяться дозиметрические системы (ГОСТ 34157¹⁸, ГОСТ 34156¹⁹, ГОСТ Р ИСО 51431²⁰, РМГ 144²¹) на основе фиксации изменения под воз-

¹⁴ ГОСТ 31672-2012 Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу.

¹⁵ ГОСТ 31652-2012. Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар.

¹⁶ ГОСТ Р 52529-2006. Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуктов, содержащих костную ткань.

¹⁷ ГОСТ 34131-2017. Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облученных продуктов газовой хроматографией.

¹⁸ ГОСТ 34157-2017 Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением.

¹⁹ ГОСТ 34156-2017 Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением.

²⁰ ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012 Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением.



Рисунок 6. Функциональные сервисы ПАК «Радуризация» для участников рынка услуг по обработке пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением (Роспотребнадзор — в качестве уполномоченного органа Российской Федерации, пилотный запуск системы)

Figure 6. Functional services of the “Radurization” hardware-software complex for participants in the processing chain of food and agricultural products treated with ionizing radiation

действием ионизирующего излучения оптической плотности пленочных радиохромных средств дозиметрии (пленочные дозиметры), которые размещаются в объеме обрабатываемого продукта и поглощают дозу излучения, эквивалентную поглощенной дозе в продукте. Для надежных и точных измерений связь оптической плотности с поглощенной дозой излучения устанавливается при калибровке в конкретных реальных условиях [24]. Для обеспечения качества и безопасности облученной продукции необходим контроль параметров работы радиационно-технологической установки, включая уровень излучения, непрерывно в течение всего цикла обработки.

В международной практике безопасность облученных пищевых продуктов обеспечивается **нормированием уровней облучения для различных видов продукции с учетом вида фасовки, упаковки и состояния продукта, включая исходный уровень контаминации, и обязательным контролем соблюдения разрешенного диапазона при обработке продукции** (ГОСТ ISO 14470-2014²²) [25].

В процессе обработки поглощенная продуктом доза излучения должна укладываться в разрешенный диапазон с учетом погрешности (неопределенности) измерений указанных величин:

$D_{min} \leq D_{погл.продуктом} \leq D_{max} \leq 10 \text{ кГр}$, где

D_{max} — максимальный допустимый уровень иони-

зирующего излучения для обработки продукции конкретного вида, безопасный для человека, не ухудшающий ее качественные характеристики и питательную ценность, утверждается в формате государственных гигиенических нормативов;

D_{min} — минимальный уровень ионизирующего излучения, эффективный в отношении конкретного уровня контаминации конкретного вида продукции; определяется при валидации технологических режимов и утверждается в методике обработки конкретного вида продукции.

НИЦ РадБиотех совместно с малыми инновационными предприятиями Федерального научного центра гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана разработал основные элементы системы контроля и прослеживаемости в области радиационных биотехнологий: специальный программно-аппаратный комплекс ПАК «Радуризация» [26, 27] на основе инновационных средств дистанционного контроля и технологий искусственного интеллекта (подключается непосредственно к датчикам радиационно-технологической установки и независимо фиксирует уровень излучения в течение всего цикла обработки), а также систему добровольной сертификации центров радиационной обработки и облученной продукции «Добросовестные практики» [28, 29].

Подобные автоматизированные системы дистанционного контроля и оценки соответствия уполномоченных органов в настоящее время не применяются на территории РФ и ЕАЭС [30, 31].

²¹ РМГ-144-2019 Обеспечение единства измерений поглощенной дозы ионизирующего излучения при радиационной обработке пищевых продуктов. Общие требования.

²² ГОСТ ISO 14470-2014 Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением.

ПАК «Радуризация» — это современная, масштабируемая и полностью адаптивная система, представляющая собой набор сервисов для всех участников отрасли обработки продукции ионизирующим излучением (рис. 6).

Сервис гигиенического нормирования — используя инструменты ПАК «Радуризация», НИЦ РадБиотех совместно с профильными лабораториями планирует и проводит исследования воздействия ионизирующего излучения на показатели качества и безопасности пищевой и сельскохозяйственной продукции для установления Роспотребнадзором гигиенических нормативов.

Сервис разработки нормативной правовой документации ПАК «Радуризация» позволяет провести необходимые расчеты при валидации методик обработки НИЦ РадБиотех и создания межгосударственных SMART-стандартов на их основе. В ПАК «Радуризация» размещаются утвержденные гигиенические нормативы, методики обработки и SMART-стандарты в машиночитаемом формате.

Сервис координации предоставляет центрам обработки после сертификации в СДС «Добросовестные практики» доступ к «Библиотеке знаний» с утвержденными гигиеническими нормативами, методиками обработки и SMART-стандартами. ПАК «Радуризация» позволяет координировать деятельность центров обработки и обеспечивать их заказами с учетом территориального признака, технического оснащения и текущей загрузки.

Сервис личных кабинетов заказчиков предоставляет изготовителям и поставщикам продукции возможность разместить заказ на ее обработку ионизирующим излучением и взаимодействовать с экспертами НИЦ РадБиотех и центром обработки. В ПАК «Радуризация» заказчик на основе результатов дистанционного контроля и выборочных испытаний в подведомственных Роспотребнадзору лабораториях получает протокол обработки и сертификат качества и безопасности в СДС «Добросовестные практики» на каждую партию обработанной продукции в центре обработки, подключенном к Системе, а также уникальный QR-код, обеспечивающий прослеживаемость маркированной продукции от центра обработки до конечного потребителя.

Сервис контроля деятельности центров обработки ПАК «Радуризация» позволяет дистанционно контролировать весь процесс обработки продукции в режиме реального времени, включая безопасный уровень излучения, за счет интеграции с системами управления оборудованием обрабатывающего центра и независимого инструментального контроля хода обработки. Безопасность — главный критерий при применении радиационных технологий в пищевой отрасли. Принципиально важно, чтобы обработка не только эффективно снижала микробную нагрузку, но

и сохраняла все свойства продукта, не создавала дополнительных угроз для потребителя. Контролирующему органу необходимо иметь уверенность, что обработка проводилась строго в соответствии с утвержденными нормативами и методиками, обеспечивающими ее эффективность и безопасность. Гигиенические нормативы, методики обработки и SMART-стандарты, загруженные в ПАК «Радуризация» в машинораспознаваемом формате, применяются информационными системами и технологическим оборудованием центра радиационной обработки напрямую, без участия человека. Например, при выходе уровня ионизирующего излучения за установленные пределы сработает система оповещения контролирующего органа и остановки радиационно-технологической установки, обработанная продукция в этом случае будет подлежать утилизации.

Лабораторный сервис ПАК «Радуризация» позволяет организовать проведение испытаний обработанной продукции в подведомственных Роспотребнадзору лабораториях, обработать и обобщить их результаты.

ПАК «Радуризация» дает возможность фиксировать каждый этап и сохранять всю историю процесса обработки — от приемки продукции до ее выхода на рынок. Такая прозрачность дает потребителю уверенность в безопасности, является эффективным инструментом надзора за рынком. **Сервис проверки** в автоматическом режиме сверяет данные о товаре, стандарте обработки, фактических условиях и лабораторных испытаниях, в случае выявления несоответствий выдает контролирующему органу задачу на детальную проверку.

Кроме того, ПАК «Радуризация» содержит **сервисы для контрольных надзорных органов**, позволяющие им получать необходимую информацию об обработке продукции ионизирующим излучением, осуществлять контроль за обращением облученной продукции на территории ЕАЭС.

ПАК «Радуризация» разработан полностью на российском программном обеспечении и прошел необходимые проверки на отсутствие уязвимостей и соответствие требованиям ФСТЭК, ФСБ и Роскомнадзора в области информационной безопасности. Система интуитивная и адаптивная, она сама ведет пользователя по алгоритму, подсказывает дальнейшие действия, предоставляет информацию из единого хранилища информации, напоминает о наступающих контрольных сроках.

Совместно с ГК «Росатом», НИЦ РадБиотех и подведомственными лабораториями Роспотребнадзора в течение многих месяцев проходила комплексная апробация и отладка ПАК «Радуризация», подтвердившая готовность системы к масштабному использованию.

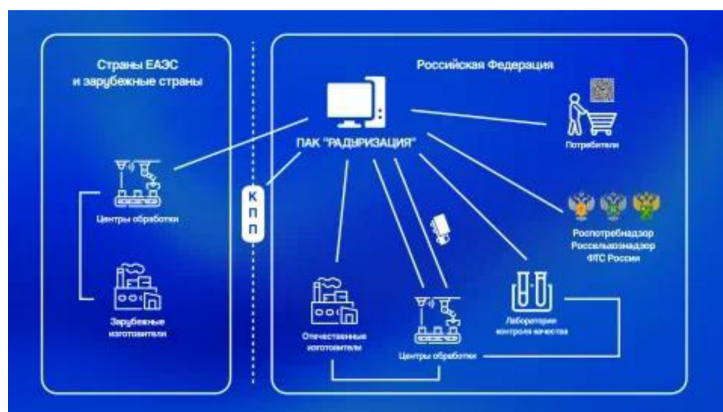


Рисунок 7. Принцип функционирования системы контроля и прослеживаемости в области обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением на основе ПАК «Радуризация» и СДС «Добросовестные практики»

Figure 7. Operating principle of the control and traceability system for food and agricultural products treated with ionizing radiation based on the “Radurization” platform and the “Good Practices” voluntary certification system



Рисунок 8. Поэтапное внедрение системы контроля и прослеживаемости в области обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением

Figure 8. Phased implementation of the control and traceability system for food and agricultural products treated with ionizing radiation

В качестве пилотного проекта по сертификации и подключению к Единой системе контроля и прослеживаемости выбран действующий многофункциональный центр радиационной обработки «Акцентр» в г. Дубна, на котором внедрена и с октября 2024 года работает в штатном режиме ПАК «Радуризация». Обработка пищевой продукции контролируется в режиме реального времени оператором системы, что обеспечивает соответствие действующим санитарно-эпидемиологическим требованиям и международным стандартам.

Таким образом, ПАК «Радуризация» и СДС «Добросовестные практики» создают основу функционирования системы контроля и прослеживаемости в области обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением на территории ЕАЭС (рис. 7).

В соответствии с Дорожной картой развития отрасли радиационных биотехнологий в Российской Федерации, утвержденной ГК «Росатом» и Роспо-

требнадзором, до конца 2025 года к ПАК «Радуризация» должны подключиться еще 5 центров ГК «Росатом», до конца 2026 года — оставшиеся центры сети. В 2027 году в ПАК «Радуризация» будет реализован модуль прослеживаемости обработанной продукции от центра до полки магазина и модуль выявления на рынке облученной немаркированной продукции, организовано подключение к ПАК «Радуризация» центров радиационной обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции в странах-участницах ЕАЭС (рис. 8).

Заключение

Таким образом, обоснован системный подход к разработке единой цифровой экосистемы, объединяющей инструменты гигиенического нормирования, независимого дистанционного контроля и сертификации для развития радиационных биотехнологий на территории ЕАЭС, и подготовлены ос-

новые элементы такой системы.

Разработан специальный программно-аппаратный комплекс «Радуризация» на базе современных средств дистанционного контроля и искусственного интеллекта, а также система добровольной сертификации центров обработки и облученной продукции «Добросовестные практики» на основе действующего законодательства РФ и ЕАЭС с применением наилучших международных практик оценки соответствия.

Внедрение единой системы контроля и прослеживаемости в области ионизирующего излучения на основе единой цифровой экосистемы ПАК «Радуризация», объединяющей инструменты гигиенического нормирования, независимого дистанционного контроля и сертификации (СДС «Добросовестные практики»), создаст предпосылки для обеспечения безопасности и легализации обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением, что в свою очередь даст толчок для развития отрасли радиационных биотехнологий на территории ЕАЭС.

Жазуучулар ар кандай кызыкчылыктардын чыр жоктугун жарыялайт.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов. The authors declare no conflicts of interest.

Авторлордун бул макалага кошкон жеке салымдары жөнүндө маалымат:

С. В. Кузьмин жана О. В. Есаулова изилдөөнүн максаттарын жана милдеттерин аныктап, изилдөөнүн дизайндын иштеп чыгышкан. Н. В. Мощенская маалыматтарды талдап, макала жазып, кол жазманын акыркы версиясын даярдаган. В. Н. Русаков изилдөөнүн эксперименталдык бөлүгүн пландаштырып, кол жазманын алдын ала версиясын редакциялаган. И. Е. Горина маалыматтарды чогултуп, иштетип, кол жазманын алдын ала версиясын редакциялаган. Бардык авторлор макаланын бардык бөлүктөрүнүн бүтүндүгү үчүн жооптуу.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей:

Кузьмин С. В., Есаулова О. В. — определили цели и задачи исследования, разработали дизайн исследования.

Мощенская Н. В. — провела анализ данных, написала текст статьи, подготовила окончательный вариант рукописи.

Русаков В. Н. — спланировал проведение экспериментальной части исследования, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Горина И. Е. — провела сбор и обработку материала, редактировала промежуточный вариант рукописи.

Ответственность за целостность всех частей статьи — все авторы.

Authors' personal contribution:

Kuzmin S., Esaulova O. - defined the goals and objectives of the study, developed the design of the study.

Moshenskaya N. - analyzed the data, wrote the text of the article, and prepared the final version of the manuscript.

Rusakov V. - planned the experimental part of the study, edited the intermediate version of the manuscript.

Gorina I. - conducted the collection and processing of the material, edited the intermediate version of the manuscript.

All authors are responsible for the integrity of all parts of the article.

Каржылоо булагы жөнүндө маалымат

Бул изилдөө Керектөөчүлөрдүн укуктарын коргоо жана адамдын жыргалчылыгын көзөмөлдөө боюнча федералдык кызматынын "Ф.Ф. Эрисман атындагы гигиена боюнча федералдык илимий борбор" Федералдык бюджеттик илимий мекемесинин 124030700031-1 мамлекеттик тапшырмасынын алкагындагы изилдөө гранты менен колдоого алынган.

Сведения об источнике финансирования

Исследование проведено за счет субсидии на выполнение исследований по Государственному заданию номер в ЕГИСУ НИОКТР 124030700031-1 Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Funding statement

This study was carried out with support from a subsidy for research conducted under State Assignment No. 124030700031-1 in the Unified State Information System for R&D (EGISU NIOKTR) of the Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Hygiene named after F. F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Rosпотребнадзор).

Литература / References

1. Н.Ф. Денискина, С.В. Гаспарян, М.Е. Дьяконова, А.Г. Левшин, И.Н. Гаспарян. Защита сельскохозяйственных культур от вредных организмов в периоды ухода и хранения. М.: Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2021. 108 с. <https://www.elibrary.ru/KVGGUR>. [Deniskina NF, Gasparyan ShV, Dykanova ME, Levshin AG, Gasparyan IN. Protecting crops from pests during growth and storage. Moscow: MEhSKh; 2021. 108 p. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/KVGGUR>]
2. Chemist's handbook in the XXI century [Internet]. [cited 2023 Nov 23]. Available from: <https://www.chem21.info/info/914632>.
3. Отчет Международной Консультативной группы ВОЗ/ФАО/МАГАТЭ по облучению пищевых продуктов Codex document CAC (1983). Микробиологическая безопасность облученных пищевых продуктов (The Microbiological Safety of Irradiated Food). Codex Alimentarius Commission, CX/FH/83/9, Rome. [Report of the WHO/FAO/IAEA International Consultative Group on Food Irradiation. Codex document CAC (1983). Microbiological safety of irradiated foods.]
4. Byron D.H., Luckman G.J. // Food Environ. Protection Newslett. - 2009. - Vol. 12, N 1. - P. 4-8.
5. Международная Консультативная группа по облучению пищевых продуктов ВОЗ/ФАО/МАГАТЭ. Микробиологические критерии для пищевой продукции, подлежащей обработке ионизирующим излучением (Consultation on Microbiological Criteria for Foods to be Further Processed by Irradiation), World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1989. [WHO/FAO/IAEA International Consultative Group on Food Irradiation. Consultation on microbiological criteria for foods to be further processed by irradiation.]
6. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Tech. Report Ser. 659 [Text]. - Geneva: World Health Organization, 1981.

7. High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy // WHO, Technical Report Series N 890. – Geneva.
8. Codex Alimentarius. CODEX STAN 106-1983 (Rev.1-2003) «General Standard for Irradiated Foods». Rome: FAO/WHO.
9. Directive 1999/3/EC of 22 February 1999 establishing a Community list of foods and food ingredients treated with ionising radiation (OJ L 66, 13.03.1999).
10. Health Canada / CFIA. Food Irradiation - разрешённые категории и правила маркировки. Government of Canada. [Food irradiation - permitted categories and labeling requirements.]
11. China National Food Safety Standard GB 14891 «Irradiated Foods» (линейка стандартов GB 14891.x). Beijing:NHC/CFSA. [China National Food Safety Standard GB 14891 “Irradiated Foods” (GB 14891.x standards series).]
12. Japan Food Sanitation Act и подзаконные акты. Официальные обзоры/разъяснения. [Japan Food Sanitation Act and subordinate regulations. Official reviews/clarifications.]
13. Food Safety Authority of Ireland (FSAI). Foodstuffs treated with ionising radiation — guidance. Dublin: FSAI.
14. 21 CFR 179.26 - Ionizing radiation for the treatment of food. eCFR / U.S. FDA.
15. 7 CFR Part 305 - Phytosanitary Treatments (в т.ч. требования к облучению импортируемой продукции). APHIS/USDA. [7 CFR Part 305 - Phytosanitary Treatments (including requirements for irradiation of imported products).]
16. Русаков В.Н., Есаулова О.В. Влияние ионизирующего излучения на химические свойства и пищевую ценность мяса и мясопродуктов. Эрисмановские чтения – 2024. Новое в нутрициологии и гигиене питания для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы II Всероссийского научного конгресса с международным участием, -М. 2024 с. 92-93. [Rusakov V.N., Esaulova O.V. Effect of ionizing radiation on the chemical properties and nutritional value of meat and meat products. Erisman Readings - 2024. Abstracts.]
17. Русаков В.Н., Есаулова О.В. Действие ионизирующего излучения на липиды в мясе и мясопродуктах. Эрисмановские чтения – 2024. Новое в нутрициологии и гигиене питания для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы II Всероссийского научного конгресса с международным участием, -М. 2024 с.93-94. [Rusakov V.N., Esaulova O.V. Effects of ionizing radiation on lipids in meat and meat products. Erisman Readings - 2024. Abstracts.]
18. Есаулова О.В., Русаков В.Н. Экспериментальное изучение эффективности радиационной обработки некоторых видов овощной продукции. Эрисмановские чтения – 2024. Новое в нутрициологии и гигиене питания для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы II Всероссийского научного конгресса с международным участием, -М. 2024 с. 38-39. [Esaulova O.V., Rusakov V.N. Experimental study of the effectiveness of radiation processing of certain types of vegetable products. Erisman Readings - 2024. Abstracts.]
19. Русаков В.Н., Есаулова О.В. Влияние ионизирующего излучения на витамины в мясе при его радиационной обработке. Эрисмановские чтения – 2024. Новое в нутрициологии и гигиене питания для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы II Всероссийского научного конгресса с международным участием, -М. 2024 с.91-92. [Rusakov V.N., Esaulova O.V. Effect of ionizing radiation on vitamins in meat during radiation treatment. Erisman Readings - 2024. Abstracts.]
20. Русаков В.Н. Влияние ионизирующего излучения на пищевую ценность продуктов. Тезисы докладов научно-практической конференции «Перспективы дезинфектологии. Актуальные вопросы обработок в современном пищевом производстве»: -М. 2024. с.112-114. [Rusakov V.N. Effect of ionizing radiation on the nutritional value of foods. Abstracts of a scientific-practical conference.]
21. «Радиационные технологии для пищевой продукции: требования к регламенту обработки, методы идентификации факта облучения, регулирование оборота облученной продукции», опубликованная в сборнике докладов V Международного научного форума «Ядерная наука и технологии», который состоялся 7-11 октября 2024 года в г. Алматы., Казахстан. [Radiation technologies for food products: requirements for processing regulations, methods for identifying irradiation, and regulation of irradiated product circulation.]
22. Кузьмин С.В., Русаков В.Н., Есаулова О.В., Сетко А.Г. Безопасность пищевых продуктов, подвергнутых обработке ионизирующим излучением (обзор литературы). Здравоохранение Российской Федерации. 2025;69(1): 60-64. [Kuzmin S.V., Rusakov V.N., Esaulova O.V., Setko A.G. Safety of food products treated with ionizing radiation (review).Healthcare of the Russian Federation. 2025;69(1):60-64.]
23. Esaulova Olga Vladimirovna, Barvina Anna Yaroslavovna, Moshchenskaya Nina Vladimirovna, Rusakov Vladimir Nikolaevich. Ensuring the safety and efficiency of processing food and agricultural products with ionizing radiation using remote control means. Международный молодежный форум «Россия-Африка: ядерное образование как потенциал для успешного развития региона». Сборник материалов. 188-193. 2025. ISBN: 978-5-907954-44-1. [Ensuring the safety and efficiency of processing food and agricultural products with ionizing radiation. (Conference/abstract).]
24. В. А. Берлянд, В. В. Генералова, М. Н. Гурский и А. П. Жанжора «Установка для аттестации плёночных дозиметров в интенсивных полях электронного излучения» Издание «Атомная энергия», том 42, выпуск 3, 1977 с. 199-202. [Berlyand V.A., Generalova V.V., Gurskiy M.N., Zhanzhora A.P. Installation for calibration of film dosimeters in an intensive electron beam. Atomic Energy. 1977;42(3):199-202.]
25. ISO/ASTM 51431:2005 "Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением" ("Standard Practice for Dosimetry in Electron Beam and X-Ray (Bremsstrahlung) Irradiation Facilities for Food Processing", NEQ). [ISO/ASTM 51431:2005. Standard Practice for Dosimetry in Electron Beam and X-Ray (Bremsstrahlung) Irradiation Facilities for Food Processing.]
26. Патент № 147323 Российская Федерация, МПКО 19-07. Схема «Принцип функционирования программно-аппаратного комплекса Радуризация (ПАК Радуризация)»: № 20255010980: заявлено 27.02.2025, опубликовано 06.05.2025 / Кузьмин С.В., Есаулова О.В., Никифоров С.И., Мошенская Н.В., Барвина А.Я.; патентообладатель ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора. – 1 с. : ил. [Patent No. 147323 (Russian Federation). Diagram “Operating principle of the Radurization hardware-software complex”. Filed 28 Feb 2025; published 6 May 2025.]
27. Патент № 147324 Российская Федерация, МПКО 19-07. Схема «Алгоритм взаимодействия координационного центра с центрами обработки продукции посредством программно-аппаратного комплекса Радуризация»: № 2025501129: заяв-

- лено 28.02.2025, опубликовано 06.05.2025 / Кузьмин С.В., Есаулова О.В., Никифоров С.И.; патентообладатель ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора. – 1с. : ил. [Patent No. 147324 (Russian Federation). Diagram “Algorithm for interaction between the coordination center and processing centers via the Radurization hardware-software complex”. Filed 28 Feb 2025; published 6 May 2025.]
28. Свидетельство о регистрации Системы добровольной сертификации «Добросовестные практики исполнения санитарно-эпидемиологических требований» (СДС «ДОБРОСОВЕСТНЫЕ ПРАКТИКИ») в Едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации Росстандарта № РОСС RU.33053.04ЭПС0 https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/VoluntaryAcknowledgement/reestr?portal:componentId=11f30a16-f554-4d49-a27a-e277ebf53b2f&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNs_r00ABXdHAAZhY3Rpb24AAAAABABBJb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQACMjAABmRvY19pZAAAAAEABDQ3ODIAB19fRU9GX18*&ysclid=mh4mwh0rq586713410. [Certificate of registration of the Voluntary Certification System “Good Practices of compliance with sanitary and epidemiological requirements”].
 29. Патент № 147325 Российская Федерация, МПКО 19-07. Схема «Порядок сертификации продукции, обработанной ионизирующим излучением, с применением средств дистанционного контроля»: № 2025501110: заявлено 28.02.2025, опубликовано 06.05.2025 / Кузьмин С.В., Есаулова О.В., Мощенская Н.В., Барвина А.Я.; патентообладатель ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора. – 1с. : ил. [Patent No. 147325 (Russian Federation). Diagram “Procedure for certification of products treated with ionizing radiation using remote monitoring tools”. Filed 28 Feb 2025; published 6 May 2025.]
 30. Роскомнадзор Реестр федеральных государственных информационных систем <https://46.rkn.gov.ru/p13908/>. [Roskomnadzor. Register of federal state information systems.]
 31. ФГБУ НТИ «Информрегистр». Реестр федеральных государственных информационных систем <https://infoereg.ru/rfgis/itemlist/category/77-obshhie-svedeniya>. [FSBI NTC “Informregistr”. Register of federal state information systems.]
 32. Chemist’s handbook in the XXI century [Internet]. [cited 2023 Nov 23]. Available from: <https://www.chem21.info/info/914632>.
 33. Codex document CAC (1983). The Microbiological Safety of Irradiated Food. Codex Alimentarius Commission, CX/FH/83/9, Rome.
 34. Byron D.H., Luckman G.J. // Food Environ. Protection Newslett. – 2009. – Vol. 12, N 1. – P. 4-8.
 35. Consultation on Microbiological Criteria for Foods to be Further Processed by Irradiation, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1989.
 36. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Ex-pert Committee. Tech. Report Ser. 659 [Text]. – Geneva: World Health Organization, 1981.
 37. High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy // WHO, Technical Report Series N 890. – Geneva.
 38. Codex Alimentarius. CODEX STAN 106-1983 (Rev.1-2003) «General Standard for Irradiated Foods». Rome: FAO/WHO.
 39. Directive 1999/3/EC of 22 February 1999 establishing a Community list of foods and food ingredients treated with ionising radiation (OJ L 66, 13.03.1999).
 40. Health Canada / CFIA. Food Irradiation. Government of Canada.
 41. China National Food Safety Standard GB 14891 «Irradiated Foods» (GB 14891.x). Beijing: NHC/CFSA.
 42. Japan Food Sanitation Acts and by-laws. Official reviews clarifications.
 43. Food Safety Authority of Ireland (FSAI). Foodstuffs treated with ionising radiation — guidance. Dublin: FSAI.
 44. 21 CFR 179.26 - Ionizing radiation for the treatment of food. eCFR / U.S. FDA.
 45. 7 CFR Part 305 - Phytosanitary Treatments. APHIS/USDA.
 46. Rusakov V.N., Esaulova O.V. The effect of ionizing radiation on the chemical properties and nutritional value of meat and meat products. Erisman Readings – 2024. New developments in nutrition and food hygiene to ensure the sanitary and epidemiological well-being of the population: proceedings of the II All-Russian Scientific Congress with International participation, -M. 2024 92-93.
 47. Rusakov V.N., Esaulova O.V. The effect of ionizing radiation on lipids in meat and meat products. Erisman Readings – 2024. New developments in nutrition and food hygiene to ensure the sanitary and epidemiological well-being of the population: proceedings of the II All-Russian Scientific Congress with International participation, -M. 2024 93-94.
 48. Esaulova O.V., Rusakov V.N. Experimental study of the effectiveness of radiation treatment of certain types of vegetable products. Erisman Readings – 2024. New developments in nutrition and food hygiene to ensure the sanitary and epidemiological well-being of the population: proceedings of the II All-Russian Scientific Congress with International participation, -M. 2024 38-39.
 49. Rusakov V.N., Esaulova O.V. The effect of ionizing radiation on vitamins in meat during its radiation treatment. Erisman Readings – 2024. New developments in nutrition and food hygiene to ensure the sanitary and epidemiological well-being of the population: proceedings of the II All-Russian Scientific Congress with International participation, -M. 2024 91-92.
 50. Rusakov V.N. The effect of ionizing radiation on the nutritional value of food. Abstracts of the scientific and practical conference "Prospects of disinfection. Topical issues of treatments in modern food production": -M. 2024. 112-114.
 51. "Radiation technologies for food products: requirements for processing regulations, methods for identifying the fact of exposure, regulation of the turnover of irradiated products", published in the collection of reports of the V International Scientific Forum "Nuclear Science and Technology", which was held on October 7-11, 2024 in Almaty, Kazakhstan.
 52. Kuzmin S.V., Rusakov V.N., Esaulova O.V., Setko A.G. Safety of food products treated with ionizing radiation (literature review). Healthcare of the Russian Federation. 2025;6 9(1): 60-64.
 53. Esaulova Olga Vladimirovna, Barvina Anna Yaroslavovna, Moshchenskaya Nina Vladimirovna, Rusakov Vladimir Nikolaevich. Ensuring the safety and efficiency of processing food and agricultural products with ionizing radiation using remote control means. International Youth Forum "Russia-Africa: Nuclear Education as a potential for successful development of the region". Collection of materials.188-193. 2025. ISBN: 978-5-907954-44-1.
 54. V. A. Berlyand, V. V. Generalova, M. N. Gursky and A. P. Zhazhora "Installation for certification of film dosimeters in intense fields of electronic radiation" Atomic Energy publication, volume 42, issue 3, 1977 199-202.
 55. ISO/ASTM 51431:2005 "Standard Practice for Dosimetry in Electron Beam and X-Ray (Bremsstrahlung) Irradiation Facilities

- for Food Processing", NEQ.
56. Patent No. 147323 Russian Federation, IPKO 19-07. Scheme "The principle of functioning of the Radurization software and hardware complex (Radurization package)": No. 20255010980: announced on 02/27/2025, published on 05/06/2025 / Kuzmin S.V., Esaulova O.V., Nikiforov S.I., Moshenskaya N.V., Barvina A.Ya.; patent holder of the F.F. FNTSG. Erisman of Rospotrebnadzor. – 1p. : il.
 57. Patent No. 147324 Russian Federation, IPKO 19-07. Scheme "Algorithm of interaction of the coordination center with product processing centers through the Radurization software and hardware complex": No.2025501129: announced on 02/28/2025, published on 05/06/2025 / Kuzmin S.V., Esaulova O.V., Nikiforov S.I.; patent holder of the F.F. FNTSG. Erisman of Rospotrebnadzor. – 1p. : ill.
 58. Certificate of registration of the Voluntary Certification System "Good practices in meeting sanitary and epidemiological requirements" (VTS "GOOD PRACTICES") in the Unified Register of Registered Voluntary Certification Systems of Rosstandart № РОСС RU.33053.04ЭПЦ0 https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/VoluntaryAcknowledgement/reestr?portal:componentId=11f30a16-f554-4d49-a27a-e277ebf53b2f&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationState=JBPNs_r00AB_XdHAAZhY3Rpb24AAAABABBBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQA_CmJAAABmRvY19pZA_AAAAEABDQ3ODIAB19fRU9GX18*&ysclid=mh4mwht0rq586713410.
 59. Patent No. 147325 Russian Federation, IPKO 19-07. Scheme "Procedure for certification of products treated with ionizing radiation using remote control devices": No. 2025501110: announced on 02/28/2025, published on 05/06/2025 / Kuzmin S.V., Esaulova O.V., Moshenskaya N.V., Barvina A.Ya.; patent holder of the F.F. FNTSG. Erisman of Rospotrebnadzor. — 1p. : ill.
 60. Roskomnadzor Register of Federal State Information Systems <https://46.rkn.gov.ru/p13908/>.
 61. Federal State Budgetary Institution NTC "Informregister". Register of Federal State Information Systems <https://infoereg.ru/rfgis/itemlist/category/77-obshhie-svedeniya>.

Авторы:

Кузьмин Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, директор Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-9732>

Есаулова Ольга Владимировна, кандидат экономических наук, руководитель Научно-исследовательского центра радиационных биотехнологий (референс-центр в области радиационных технологий) Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1936-1673>

Мощенская Нина Владимировна, кандидат химических наук, заместитель руководителя Научно-исследовательского центра радиационных биотехнологий (референс-центр в области радиационных технологий) Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, генеральный директор ООО «Малое инновационное предприятие «Научно-производственный центр им. Ф.Ф. Эрисмана», Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация
E-mail: moschenskaya.nv@fncg.ru

Русakov Владимир Николаевич, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра радиационных биотехнологий (референс-центр в области радиационных технологий) Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9514-9921>

Горина Ирина Евгеньевна, ведущий специалист Научно-исследовательского центра радиационных биотехнологий (референс-центр в области радиационных технологий) Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, заместитель генерального директора по развитию ООО «Малое инновационное предприятие «Научно-производственный центр им. Ф.Ф. Эрисмана», Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация
E-mail: gorina.ie@fncg.ru

Authors:

Kuzmin Sergey Vladimirovich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Hygiene named after F. F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Moscow Region, Mytishchi, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-9732>

Esaulova Olga Vladimirovna, Candidate of Economic Sciences, Head of the Research Center for Radiation Biotechnology (Reference Center in Radiation Technologies) of the Federal Budgetary Scientific Institution "F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of Rospotrebnadzor, Moscow Region, Mytishchi, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1936-1673>

Moschenskaya Nina Vladimirovna, Candidate of Chemical Sciences, Deputy Head of the Research Center for Radiation Biotechnology (a reference center in radiation technology) of the Federal Budgetary Scientific Institution "F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; General Director of the Small Innovative Enterprise "F.F. Erisman Research and Production Center" LLC, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation
E-mail: moschenskaya.nv@fncg.ru

Rusakov Vladimir Nikolaevich, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Research Center for Radiation Biotechnology (Reference Center for Radiation Technologies), Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9514-9921>

Gorina Irina Evgenievna, Leading Specialist, Research Center for Radiation Biotechnology (Reference Center for Radiation Technologies), Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Deputy General Director for Development, Small Innovative Enterprise "F.F. Erisman Research and Production Center", Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation
E-mail: gorina.ie@fncg.ru

Поступила в редакцию 18.12.2025
Принята к печати 29.12.2025

Received 18.12.2025
Accepted 29.12.2025