

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Научный аналитический обзор



Москва 2019

Техника и оборудование для села

Сельхозпроизводство • Переработка • Агротехсервис • Агробизнес

ЖУРНАЛ

«ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА» – ВАШ ПОМОЩНИК В НАУЧНОЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ, УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ!

Ежемесячный полнокрасочный научно-производственный и информационно-аналитический журнал «Техника и оборудование для села», учредителем и издателем которого является ФГБНУ «Росинформагротех», выпускается с 1997 г. при поддержке Минсельхоза России и Россельхозакадемии. За это время журнал стал одним из ведущих изданий в отрасли и как качественное и общественно значимое периодическое средство массовой информации в 2008, 2009 и 2011 гг. удостоен знака отличия «Золотой фонд прессы». В редакционный совет журнала входят 7 академиков РАН.

В журнале освещаются актуальные проблемы технической и технологической модернизации АПК; инновационные проекты, технологии и оборудование, энергосбережение и энергоэффективность; механизация, электрификация и автоматизация производства и переработки сельхозпродукции; агротехсервис; аграрная экономика; информатизация в АПК; развитие сельских территорий; технический уровень сельскохозяйственной техники; возобновляемая энергетика и др.

Журнал является постоянным участником большинства международных и российских выставок, конференций и других крупных мероприятий в области АПК, проходящих в России, неоднократно отмечался почетными грамотами, дипломами и медалями (более 10).

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Регионы распространения журнала: Центральный, Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Северный, Северо-Западный, Калининградская область, а также государства СНГ (Украина, Беларусь, Казахстан).

Индекс в каталоге агентства «Роспечать» – 72493, в объединенном каталоге «Пресса России» – 42285.

Стоимость подписки на 2019 г. с доставкой по Российской Федерации – 8316 руб. с учетом НДС (10%), по СНГ и странам Балтии – 9480 руб. (НДС – 0%).

Приглашаем разместить в журнале «Техника и оборудование для села» информационные (рекламные) материалы, соответствующие целям и профилю журнала.

Подписку и размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» с любого месяца, на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет.

Банковские реквизиты: УФК по Московской области

(Отдел № 28 Управления Федерального казначейства по МО)

ИНН 5038001475/КПП 503801001

ФГБНУ «Росинформагротех», л/с 20486Х71280,

р/с 40501810545252000104 в ГУ Банка России по ЦФО, БИК 044525000

В назначении платежа указать код КБК (000 0000 0000000 000 440), ОКТМО 46647158.

Адрес редакции: 141261, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Лесная, 60,

Росинформагротех, журнал «Техника и оборудование для села».

Справки по телефонам: (495), 993-44-04, (496) 531-19-92;

E-mail: r_technika@mail.ru, fgnu@rosinformagrotech.ru



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации и
технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса»

**РАДИАЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Научный аналитический обзор

Москва 2019

УДК 621.039.8:664

ББК 28.072:36.91

P15

Авторы:

Ю.С. Павлов, д-р техн. наук, зав. лаб. радиационных технологий
(Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН);

А.Н. Пегров, акад. РАН, д-р. техн. наук, директор;

М.В. Тришканева, канд. хим. наук, вед. науч. сотр., ученый секретарь;

Н.И. Федянина, ст. науч. сотр.

(ВНИИТеК филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН);

Н.П. Мишуров, канд. техн. наук, гл. науч. сотр., зам. директора по научной работе,
начальник НИЦ «Агроинновация»; **Л.А. Немушная**, ст. науч. сотрудник

(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Рецензенты:

А.А. Манохина, д-р с.-х. наук, доц., зам. директора по научной работе Института
механики и энергетики им. В.П. Горячкина (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева);

А.В. Прокопенко, канд. техн. наук, доц., вед. науч. сотрудник
(ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН)

Радиационные методы в переработке сельскохозяйственных культур-

P15 **тур:** науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.

ISBN 978-5-7367-1521-3

Представлены характеристика, перспективные методы и направления использования ионизирующих радиационных технологий в агропромышленном производстве. Рассмотрены возможности их воздействия на растительное сырье и готовую продукцию, технологические приемы практического использования, основные нормативные документы в данной области и вопросы безопасности облученного растительного сырья и продукции.

Предназначен для научных сотрудников, руководителей и специалистов в области переработки сельскохозяйственных культур и АПК в целом. Представляет интерес для студентов и аспирантов, работающих в области биофизики.

Radiation methods in processing crops: scientific and analytical review. – Moscow: Rosinformagrotekh FSBSI, 2019. – 80 p.

Features, advanced methods and approaches to the use of ionizing radiation technologies in agro-industrial production are described. The possibility of their impact on plant material and ready products, technological methods of practical use, basic normative documents in this area and the issues of safety of radiated materials and products are considered.

This study is intended for research scientists, persons in charge and specialists in the sphere of processing crops and those who are associated with agro-industrial complex. It also may be of some interest for students and postgraduate students who work in the area of biophysics.

ISBN 978-5-7367-1521-3

УДК 621.039.8:664

ББК 28.072:36.91

© ФГБНУ «Росинформагротех», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Современные приоритеты в сфере аграрной политики предусматривают снижение ресурсоемкости агропромышленного производства, ограничение применения химических препаратов. В Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы ставятся задачи по повышению товарности, качества и конкурентоспособности сельскохозяйственного сырья и готовой продукции (<http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>).

Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы предусмотрено создание и внедрение конкурентоспособных отечественных технологий переработки сельскохозяйственной продукции, за счет чего планируются снижение уровня импортозависимости и повышение продовольственной безопасности страны (<https://www.fntp.ru/o-programme>).

Одним из способов решения поставленных задач является внедрение технологий, основанных на различных физических методах, таких как электромагнитное излучение, акустическая обработка, обработка электрическим током. В основе принципа действия этих технологий лежат процессы, являющиеся результатом взаимодействия биологических, химических и физических реакций в органических объектах.

К таким перспективным и активно развивающимся направлениям относится ионизирующая радиационная обработка. Ионизирующее облучение в рекомендуемых дозах безопасно и не меняет биохимического состава сельскохозяйственной и пищевой продукции, не приводит к разрушению тканей, менее энергозатратно по сравнению с методами тепловой стерилизации, сушки, консервирования, значительно продлевает сроки хранения сырья и готовой продукции без использования химических консервантов, может использоваться при обработке продукции в упаковке.

По данным экспертов, мировой рынок по облучению в пищевой промышленности и сельском хозяйстве составляет более 2 млрд долл. США. По прогнозам, к 2020 г. он достигнет 4,8 млрд, а к 2030 г. – 10,9 млрд долл. США. Ежегодно в мире с помощью радиационных

технологий обрабатывается около 1,3 млн т сельскохозяйственной и пищевой продукции. Лидируют в этой сфере – Китай (63% от общего объема продукции) и США (22%). Ведущие позиции в использовании ионизирующего излучения в агропромышленном производстве занимает Индия, в Европе обрабатывается более 200 тыс. т продуктов в год.

Информационные материалы МАГАТЭ свидетельствуют, что разрешение на облучение более чем 80 видов продукции действует в 69 странах, из них 40 стран проводят облучение пищевой продукции на постоянной основе, 7 – одобрили ее использование для мясных продуктов, 13 – для рыбы и морепродуктов, облучение специй используется во всех странах.

В мире функционирует более 200 специализированных центров по радиационной обработке сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Такие центры есть в Китае, США, Индии, Франции, Германии, Бельгии, Нидерландах, Испании, Великобритании, Канаде, ЮАР, Бразилии, Мексике, Чили, Перу, Таиланде, Индонезии, Вьетнаме, Бангладеш и Молдавии [1].

По типам оборудования для облучения в мире число гамма-установок примерно в 5 раз меньше, чем ускорителей. Наибольшее количество ускорителей внедрено в США (более 500) и Японии (более 300). Ускорители численно преобладают и в странах БРИКС, кроме Индии [2, 3].

Ведущими научными организациями в этой сфере в мире являются Институт пищевых технологий (США), лаборатория пищевой химии и технологии Университета Иоаннины (Греция), Токийский университет, Национальный институт науки и технологии (Филиппины), Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и биотехнологии (Гана), Сельскохозяйственный университет (Болгария), Институт генетики растений (Польша), Институт электрофизики и радиационных технологий (Украина), Институт радиационных проблем (Азербайджан), лаборатория радиационных технологий в пищевой промышленности Атомного научного центра им. Хоми Джахангира Баба (Индия), Институт пищевой промышленности и радиобиологии (Бангладеш), ГНУ «ОИЭиЯИ – Сосны» НАН Беларуси и др. В России это, прежде всего, ФГБНУ ВНИИ-

РАЭ (г. Обнинск), институты, входящие в ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, НИИ технической физики и автоматизации (НИИТФА), ГНЦ Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России и др. [4-7].

Российская Федерация находится на начальном этапе формирования рынка. Имеются организации, занимающиеся облучением, в том числе сельскохозяйственной и пищевой продукции, но в основном их деятельность распространяется на стерилизацию для медицины и фармацевтики. Инфраструктура в большинстве таких предприятий представлена устаревшими и непригодными для соответствующих целей исследовательскими гамма-установками и электронными ускорителями [4-7]. В последнее десятилетие активно ведутся работы по созданию новых и модернизации существующих радиационно-ускорительных комплексов. В 2016-2017 гг. в России введены в эксплуатацию АО «Стерион» (Московская обл., г. Лыткарино), ООО «Теклеор» (Калужская обл.) и ООО «Акцентр», индустриальный парк «Родники» (Ивановская обл.) [7].

Перспективы развития и коммерциализации радиационных технологий агропромышленного профиля напрямую зависят от возможностей внедрения в производство современных технологий облучения, специализированной техники и строительства крупных радиационных центров.

Поскольку из всей облучаемой продукции АПК почти 90% приходится на растениеводческую, 52% из которой составляют специи, сухие овощи и фрукты, основной темой обзора стали радиационные методы в переработке сельскохозяйственных культур.

В издании проанализированы и обобщены современные отечественные исследования и разработки в данной области, определены перспективные направления их применения в пищевой и перерабатывающей промышленности.

Издание будет способствовать повышению интереса среди сельскохозяйственных производителей к использованию методов радиационной обработки для снижения потерь, увеличения сроков хра-

нения и обеспечения безопасности продуктов переработки сельскохозяйственных культур, а следовательно, повышению уровня конкурентоспособности отрасли и качества продукции.

Отзывы по изданию просьба направлять в ФГБНУ «Росинформ-агротех» по адресу: 141261, Московская обл., Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Лесная, 60.

Тел.: (495) 993-44-04, 993-42-92.

E-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru

1. ПОНЯТИЕ, ВИДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ионизирующие излучения – электромагнитные излучения, которые создаются при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образуют при взаимодействии со средой ионы различных знаков. Разновидностями ионизирующих излучений являются корпускулярные потоки альфа-частиц, электронов (бета-частиц), нейтронов и фотонные (тормозное, рентгеновское и гамма-излучение).

Основные виды ионизирующего радиационного облучения пищевых продуктов – гамма-излучение, излучение жестких фотонов, тормозное рентгеновское и электронно-лучевое (без использования радиоактивных изотопов – ускоренные электроны) излучения.

По своим характеристикам энергия рентгеновских лучей (5 или 7,5 МэВ) значительно больше энергии гамма-облучения на основе кобальта-60, а мощность дозы рентгеновского излучения значительно выше, чем у гамма-фотонов. К облучательным установкам для агропромышленного комплекса предъявляют обязательные требования: они должны обеспечивать электронное излучение с энергией не более 10 МэВ; гамма-излучение радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,25$ МэВ); гамма-излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ); тормозное излучение, генерируемое ускорителями, с энергией не более 5 МэВ.

На территории Российской Федерации для облучения продукции АПК используются:

- гамма-установки:
 - КСВ-500 (Обнинский филиал ОАО ГНЦ «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова»);
 - ГУ-200М, (НИИТФА, Москва);
- электронные ускорители:
 - линейный волноводный У003 «Электроника» 5 МэВ (НИИТФА, Москва);
 - ИЛУ-10, 5 МэВ (ИЯФ им. Г.И. Будкера, г. Новосибирск);

- УЭЛР-10-10-40, 10 МэВ (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Москва);
- УЭЛВ-10-10-С-70 (ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН);
- ускоритель электронов 10 МэВ со средней мощностью пучка 15 кВт (НИИЯФ МГУ совместно с АО «НПП «Торий») радиационного центра ООО «Теклеор»;
- ускоритель электронов с перестраиваемой энергией от 2 до 10 МэВ со средней мощностью пучка 12 кВт и рекордным значением КПД «от розетки» – до 21% (ООО «НПП «Корад» совместно с НИЯУ МИФИ) стерилизационного центра ООО «Акцентр».

На рынке радиационных материалов широко представлены кобальтовые источники С-188 производства «MDS Nordion» (Канада); RSL 2089 («PURIDEC», Великобритания); ГИК-А3 (ПО «МАЯК», Россия); ГК60СО2 и ГК60СО3 (ГНЦ РФ НИИАР, Россия); СБ60 (Ленинградская АЭС, Россия). Крупнейшим производителем кобальта-60 в мире является компания «MDS Nordion» (Канада), занимающая более 50% мирового рынка. Она производит промышленные комплексы γ -стерилизации: JS-10000 «Hanging Tote Irradiator», «Parallel Row PalletIrradiator», «Gamma Beam™-127 Irradiator» для радиационной стерилизации [8].

В России наиболее известна компания ОАО «НИИТФА» (Москва), выпускающая радиационно-технологические установки на основе изотопа ^{60}Co . Подобные источники γ -излучения на основе изотопов отличаются необходимостью больших капитальных расходов на их обслуживание, трудностью с обращением с радиоактивными материалами и проблемами с утилизацией отработанных элементов. Поэтому в настоящее время в радиационных технологиях более распространены методы облучения, основанные на использовании электронных ускорителей. Высокая мощность дозы электронного облучения позволяет воздействовать им в течение нескольких секунд в отличие от более длительного воздействия на продукт гамма-излучением. Кратковременность воздействия ускоренных электронов снижает возможные эффекты окисления продукта, сводя к минимуму деструкцию как продукта, так и упаковочного материала. На ускорителях имеется возможность варьировать энергию электронов и тормозного излучения. Снижение энергии приводит к минимизации повреждения продуктов при радиационной обработ-

ке. В настоящее время в эксплуатации находятся более 60 линейных электронных ускорителей [8].

В табл. 1 представлены организации, в которых в 2018 г. проводились практические работы по облучению пищевых продуктов на электронных ускорителях [8].

Таблица 1

Характеристика технического оснащения организаций, проводивших радиационное облучение пищевых продуктов

Пользователь	Ускоритель	Область применения
ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск	ИЛУ-6; ИЛУ-10; ИЛУ-14; ЭЛВ-6; ЭЛВ-12	Стерилизация, облучение пищевых продуктов, радиационное модифицирование полимеров, электронно-пучковые технологии
ФГУП «МРТИ РАН», Москва	СТЕРУС-1; С-1; ЭОЛ-400	Стерилизация, облучение пищевых продуктов, радиационная обработка материалов
ООО «РАД», Санкт-Петербург	УЭЛР-10-10; ЛУЭ-8-5С	
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Москва	УЭЛР-10-10-40; ИЛУ-14	
ГНЦ РФ ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» филиал в г. Обнинске	УЭЛР-10-10-Т-80	
АО «ВНИИТФА», Москва	У-003	
ФГУП «РФЯЦ «ВНИИЭФ», г. Саров	ЛУ-6-2; ЛУ-8-2; ЛУ-10-20	
ИФХЭ РАН, Москва	УЭЛВ-10-20-С-70-1; УЭЛВ-10-15-Т; УРТ-1	Стерилизация, облучение пищевых продуктов, модифицирование полимеров, кристаллов, наноматериалов, полупроводников
ООО «Теклеор», дер. Старомихайловское, Калужская область	УЭЛР-15-С-60-1	Холодная пастеризация пищевой продукции, стерилизация, облучение пищевых продуктов

Продолжение табл. 1

Пользователь	Ускоритель	Область применения
ФГУП НПП «Торий», Москва	УЭЛВ-10-10; УЭЛВ-10-10-1	Стерилизация, облучение пищевых продуктов
ООО «Акцентр», г. Родники, Ивановская область	УЭЛР-10-15С	
АО «Стерион», г. Лыткарино, Московская область	УЭЛР-10-10С	
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург	УЭЛР-10-10-С2	
ФГУП «НИИП», г. Лыткарино, Московская область	У-003	Стерилизация, обработка полупроводниковых приборов, облучение пищевых продуктов
ООО «СФМ-Фарм», р.п. Кольцово, Новосибирская область	ИЛУ-10	Радиационный синтез субстанций веществ для фармпрепаратов

Эффективные промышленные электронные ускорители для радиационно-технологических установок для облучения пищевых и сельскохозяйственных продуктов разработаны на следующих предприятиях: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск); ФГУП «НПП «Торий» (Москва); ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» (Санкт-Петербург); ООО НПП «Корад» (Санкт-Петербург); ОАО «МРТИ РАН» (Москва); НИЯУ «МИФИ» (Москва); Институт электрофизики УрО РАН (г. Екатеринбург); НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ (Москва); ФГУП «РФЯЦ «ВНИИ экспериментальной физики» (г. Саров). Их основные технические параметры представлены в табл. 2 [8].

Таблица 2

Техническая характеристика электронных ускорителей

Марка ускорителя	We, МэВ	$P_{и'}$, кВт	Генератор энергии ($P_{и'}$, $P_{ср}$)
<i>ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск)</i>			
ИЛУ-6	1,7-2,5	20	ГИ-50А (2 МВт, 40 кВт)
ИЛУ-8	0,75-1	25	ГИ-50А (2 МВт, 40 кВт)

Продолжение табл. 2

Марка ускорителя	We, МэВ	P_n , кВт	Генератор энергии (P_n, P_{cp})
ИЛУ-10	4-5	50	ГИ-50А (2 МВт, 40 кВт) 2 шт.
ИЛУ-14	7,5-10	100	ГИ-50А (2 МВт, 40 кВт) 5 шт.
<i>ОАО «МРТИ РАН» (Москва)</i>			
СТЕРУС-1	9,5	9	КИУ-15 (20 МВт, 18 кВт)
С-1 («Радуга»)	5,5	1,8	МИ-456А (2,5 МВт, 3,5 кВт)
ЭОЛ-400	0,4	10	ВТ
<i>ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» (Санкт-Петербург), ООО НПП «Корад» (Санкт-Петербург)</i>			
УЭЛР-10-10С, УЭЛР-10-10-40, УЭЛР-10-15С	10	10, 10, 15	КИУ-268 (6 МВт, 25 кВт)
<i>ФГУП «НПП «Торий» (Москва)</i>			
«Электроника» У-003	4-8	5	МИ-320 (10 МВт, 10 кВт)
«Электроника» УЭЛВ-10-10	10	10	МИ-435 (10 МВт, 22 кВт)
«Электроника» УЭЛВ-10-15	10	15	МИ-470 (10 МВт, 30 кВт)
<i>ФГУП «НПП «Торий» (Москва), НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ (Москва)</i>			
«Электроника» УЭЛР-10-15-С-60	10	15	КИУ-268 (6 МВт, 25 кВт)
<i>ООО «Теклеор» (Калужская обл.)</i>			
УЭЛР-15-С-60-1	10	15	КИУ-147А
<i>ФГУП «РФЯЦ «ВНИИ экспериментальной физики» (г. Саров)</i>			
ЛУ-6-2	6	2	МИ-456А (2,5 МВт, 3,5 кВт)
ЛУ-8-2	8	2	МИ-456А (2,5 МВт, 3,5 кВт)
ЛУ-10-20	10	10	МИ-328 (6,5 МВт, 20 кВт)
Примечание. Гарантированная долговечность генераторов энергии для ускорителей (ч): триод – ГИ-50А (1500); клистрон – КИУ-15 (2000), КИУ-268 (3000); магнетрон – МИ-456А (3000), МИ-470 (2000), МИ-262 (500).			

Универсальной дозиметрической величиной является поглощенная доза излучения, единицей которой в системе СИ является грей (Гр), равный поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия, равная 1 Дж.

Биологическое воздействие ионизирующего излучения разделяют на прямое (изменения под непосредственным воздействием энергии излучения), которое происходит при облучении сухих продуктов и жиров, и косвенное (изменения в результате воздействия на них активных радикалов, образующихся при прямом воздействии на менее стойкие вещества, чаще всего в процессе радиолитического распада воды), составляющее около 80% всех изменений.

На устойчивость микроорганизмов к ионизирующим излучениям существенное влияние оказывают наличие кислорода в среде, степень её влажности, присутствие органических веществ. Более устойчивы к излучениям дрожжи, они погибают при дозе свыше 10 кГр, плесневые грибы при дозе 1-6 кГр, споровые бактерии – до 10 кГр, менее устойчивы неспоровые бактерии. Грамотрицательные бактерии менее устойчивы, чем грамположительные [6, 7, 9].

В области малых уровней воздействия (0,003-0,05 кГр) проявляется эффект радиационного гормезиса, который заключается в стимуляции жизненных процессов. Механизм эффекта радиационного гормезиса заключается в двойственном действии малых доз ионизирующего облучения на живую клетку – происходит повреждение ДНК, являющееся сигналом о стимулировании процессов, нейтрализующих повреждения ДНК с немедленным запуском репаративных систем клетки. Повреждения ДНК нерадиационной природы превалируют над радиационными повреждениями и по этой причине происходит стимулирование биохимических процессов в клетке. Гормезис используют в технологиях предпосевной обработки, сокращения сроков вегетации сельскохозяйственных культур, повышения урожая и др.

Дальнейшее увеличение уровня воздействия вызывает подавление процессов прорастания корнеклубнеплодов, лукович и фруктов (0,03-1 кГр), заложенных на хранение, гибель насекомых-вредителей (0,15-1 кГр). Средние (0,1-10 кГр) дозы облучения ингибируют патогены и микроорганизмы, вызывающие порчу сельскохозяйственной

и пищевой продукции, заложенной на хранение. Высокие (более 10 кГр) дозы в сочетании с термической обработкой применяются при производстве микробиологически безопасной продукции (например, пищи космонавтов и больничных диет) [10-15].

Приведем пример гормезиса, проявившегося при изучении в ИФХЭ РАН влияния обработки ионизирующим облучением на изменение микробиологических показателей растительного сырья муки и орехов для разработки эффективной промышленной технологии ионизационной обработки кондитерского сырья. В результате исследований было отмечено стимулирующее воздействие ионизирующего излучения 0,4 кГр на микробиоту ореха: увеличивались скорость роста бактерий и размер колоний, менялся их внешний вид и свойства. Учитывая данный факт, были разработаны режимы обработки ореха в промышленных упаковках, позволяющие обеспечить летальную дозу ионизационного излучения для санитарно-показательных микроорганизмов [6-9, 15].

Официально установленная доза облучения продукции АПК: в Бельгии – 4-7,9 кГр, Чешской Республике – 5,66-9,92, Германии – 5-10, Эстонии – 10, Испании – 9,31, Франции – 5-10, Венгрии – 2-10, Нидерландах – 4-8, Польше – 5-10 кГр [4, 5, 16, 17].

Функции радиационных технологий в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений представлены в табл. 3 [12].

Таблица 3

Функции радиационных технологий в зависимости от дозы ионизирующих излучений

Функция	Доза, кГц	Облученные продукты
<i>Низкая доза (до 1 кГц)</i>		
Задержка прорастания корнеклубнеплодов и луковиц, заложенных на хранение	0,03-0,15	Картофель, лук, чеснок, корнеплоды, имбирь
Уничтожение насекомых вредителей	0,15-1	Зерно, крупы, мука, орехи, семена масличных культур и бобовых, свежие и сушеные фрукты и овощи, вяленая рыба
Задержка созревания фруктов	0,2-1	Свежие фрукты

Продолжение табл. 3

Функция	Доза, кГц	Облученные продукты
<i>Средняя доза (1-10 кГц) – радиационная, радиурезация</i>		
Увеличение срока годности за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевой продукции	0,5-3	Фрукты, овощи, мясо, мясной фарш, полуфабрикаты и готовые блюда
Инактивация и/или уничтожение различных паразитарных микроорганизмов	0,1-3	Пищевая продукция растительного и животного происхождения
Инактивация неспорообразующих бактерий (<i>Salmonella, Campylobacter, Listeria</i>) в свежей и замороженной пище	3-10	Свежие и замороженные продукты животного и растительного происхождения
Улучшение технологических свойств пищи, сокращение сушки и кулинарной обработки	3-10	Ягоды (повышение выхода сока), сушеные овощи (сокращение кулинарной обработки)
Снижение количества микроорганизмов в специях и других сушеных ингредиентах до минимального содержания в тех пищевых продуктах, в которых они применяются	3-10	Специи, сушеные пищевые ингредиенты
<i>Высокая доза (10-50 кГц) – радианпертизация</i>		
Производство микробиологически стабильной пищевой продукции с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации после замораживания	25-60	Мясо, птица, фарш, морепродукты, готовая пища, стерилизованные больничные диеты

Анализ современного состояния развития и применения радиационных методов в агропромышленном производстве показал, что из-за большей трудо- и капиталоемкости, проблем с утилизацией отработанных элементов оборудование с использованием источников γ -излучения на основе изотопов менее распространено, более перспективны методы облучения с применением электронных ускорителей.

Исследования и практические испытания по облучению пищевой продукции проводятся во многих научных и производственных организациях, имеются разработки эффективного оборудования для облучения, но для промышленного применения их количества недостаточно.

К основным изучаемым и возможным сферам эффективного использования радиационных технологий в АПК в целом относятся повышение урожайности и улучшение качества сельскохозяйственной и пищевой продукции, продление сроков ее хранения с одновременным снижением потерь, уничтожение патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей, совершенствование технологических процессов.

2. НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Вопросами нормирования и радиационной безопасности продовольствия на мировом уровне занимаются ФАО, ВОЗ, МАГАТЭ, а также Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов. Право потребителей на доступ к безопасным продуктам питания подтверждено Резолюцией 39/248 Генеральной Ассамблеи ООН (принята 09.04.1985, <http://docs.cntd.ru>).

В сфере поддержания мировой безопасности пищевой продукции широко распространена система НАССР (Hazard Analysis & Critical Control Points – Анализ рисков и критические контрольные точки), применяющаяся компаниями, производящими пищевые продукты, для определения рисков, связанных с пищевой безопасностью, предотвращения угроз пищевой безопасности и решения вопросов соответствия нормативным требованиям.

Одним из основных международных документов в этой сфере является Кодекс Алиментариус, в котором для облучения пищевых продуктов определены основные нормы и правила его проведения, оформления и маркировки. Кодексом устанавливается максимальная доза поглощенного излучения – не более 10 кГр, кроме тех случаев, когда это необходимо для получения приемлемого результата технологического процесса.

Нормативно-правовая база применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности в Российской Федерации продолжает развиваться. Задача по ее разработке была поставлена в соответствии с решением президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 г. Она разрабатывается с учетом основных действующих нормативных положений идентичных международных стандартов, которые регламентируют технологию облучения и методику дозиметрии.

Российская система управления безопасностью опирается на законы, постановления, приказы, стандарты (ГОСТ Р и ГОСТ), тех-

нологические регламенты, санитарные правила и нормы. Обработка продовольственного сырья или пищевых продуктов ионизирующим излучением может быть оформлена как часть плана НАССР по ГОСТ Р 51705.1-2001.

В настоящее время ведется разработка не только внутригосударственных (ГОСТ Р), но и межгосударственных стандартов (ГОСТ). Межгосударственным советом по стандартизации метрологии и сертификации принят «План разработки межгосударственных нормативных документов об обеспечении единства измерений при радиационной обработке пищевых продуктов». В соответствии с ним на рассмотрении находятся один межгосударственный стандарт (ГОСТ) «Пищевые продукты. Радиационная обработка пищевых продуктов. Методика дозиметрии» и три рекомендации межгосударственные (РМГ): «Установки радиационно-технологические с радионуклидными источниками излучения для радиационной обработки пищевых продуктов. Методика аттестации по поглощенной дозе в продукции», «Установки радиационно-технологические с ускорителями электронов для радиационной обработки пищевых продуктов. Методика аттестации по поглощенной дозе в продукции», «Обеспечение единства измерений поглощенной дозы ионизирующего излучения при радиационной обработке пищевых продуктов. Общие требования» (<http://easc.by/images/document/metrologia/16%20Plan%20razrabotki%20mezghosudarstvennyh%20normativnyh%20dokumentov%20po%20obespecheniyu%20edinstva%20izmerenij%20pogloshchennoj%20dozy%20ioniziruyushchego%20izlucheniya%20pri%20radiacionnoj%20obrabotke%20pishchevyh%20produktov.pdf>).

Основной целью разработки всех нормативных документов и последующего нормирования облученной продукции является подтверждение ее безопасности и качества. Также необходимо оформление документации для сопровождения пищевых продуктов, подвергшихся облучению, и маркировки, которую рекомендуется проводить с использованием специального знака «Радура» (рис. 1) [18].

К основным стандартам, методическим указаниям, нормам и правилам МАГАТЭ и ФАО МАГАТЭ относятся:



Рис. 1. Знак для маркировки продуктов, обработанных ионизирующим излучением «Радура»

- IAEA. *Radiation Safety of Gamma, Electron and X-Ray Irradiation Facilities. IAEA Safety Standards Series No. SSG-8, 2008.* IAEA, Vienna включает в себя рекомендации о том, как выполнять требования международных основных норм безопасности МАГАТЭ в отношении установок для облучения. В нем содержится практическая информация о безопасном проектировании и эксплуатации гамма-электронных и рентгеновских облучателей в соответствии с этими требованиями, а также обсуждаются полезные области применения ионизирующего облучения и способы предотвращения потенциальной радиационной опасности на промышленных облучателях, включая загрязнение, возникающее из поврежденных радиоактивных источников. Руководство по безопасности предназначено для использования проектировщиками и эксплуатирующими организациями этих объектов, а также регулируемыми органами;

- IAEA. *Manual of Good Practice in Food Irradiation. Sanitary. Phytosanitary and Other Applications. Technical report series №481,* в нем показаны различные применения облучения к пище и ориентировочная минимальная доза для каждой цели (табл. 4). Регулирование облучения в фитосанитарных целях должно касаться свежих продуктов (например, яблок);

- IAEA. *Dosimetry for Food Irradiation. Technical report series № 409* (Технические отчеты серии № 409. Дозиметрия для продовольственного облучения). В данном документе представлены диапазоны технологических доз облучения пищевых продуктов (табл. 5).

Таблица 4

**Применение облучения для пищевого
и индикативного дозового диапазона**

Доза облучения, кГр	Результат обработки	Вид сырья
0,1-1	Ингибирование прорастания	Картофель, лук, чеснок и ямс
	Созревание задерживается	Банан и папайя
	Насекомые, не способные к размножению (фитосанитарная обработка)	Свежие продукты
	Насекомые убиты	Сушеная рыба, сушеные фрукты и бобовые
	Паразиты инактивированы (гельминты и простейшие)	Мясные продукты, свежие фрукты и овощи
1-10	Количество побочных организмов уменьшено	Клубника
	Срок хранения продлен	Охлажденное мясо и рыба, готовые к употреблению блюда
	Неспоровые микроорганизмы инактивированы	Охлажденное или замороженное мясо, рыба и морепродукты, предварительно нарезанные фрукты и овощи
	Микробиологическое загрязнение уменьшено	Специи и сухие пищевые ингредиенты
Выше 10	Уменьшено количество микроорганизмов до точки бесплодия	Больничные диеты, экстренные рационы, питание для космонавтов

Таблица 5

Диапазоны технологических доз облучения

Класс продуктов	Цель	Максимальная доза, кГр	ICGFI (аналог GMP)
1	2	3	4
Класс 1: луковицы, корнеплоды	Для подавления прорастания при хранении	0,2	8
Класс 2: свежие фрукты и овощи (другое, чем 1 класс)	Для задержки созревания	1	6
	Дезинсекция насекомых	1	3, 7, 17
	Продление срока годности	2,25	6
	Карантинный контроль		

1	2	3	4
Класс 8: разное питание, в том числе, но не ограничено, мед, космическая еда, продукты питания для больниц, военные пайки, специи жидкие яичные, сгустители	Сокращение количества микроорганизмов	>10	
	Стерилизация	>10	
	Управление карантинном	>10	

В документе описаны следующие рекомендации для разных уровней облучения:

- низкие дозы (10 Гр – 1 кГр). Применяются для подавления процессов прорастания картофеля, лука, чеснока, лука-шалота, ямса в диапазоне доз 20-150 Гр. Физиологические процессы, такие как созревание плодов, могут быть отсрочены в диапазоне доз 0,1-1 кГр. Эти процессы являются следствием ферментативных изменений в тканях растений. Обеззараживание насекомых радиацией рекомендовано в диапазоне доз 0,2-1 кГр. Минимальная поглощенная доза около 150 Гр может обеспечить карантинную защиту от различных видов мошек тефретид в свежих фруктах и овощах, а минимальная доза 300 Гр может помешать распространению насекомых других видов в незараженных районах;

- средние дозы облучения (1-10 кГр). Указано, что свежие овощи и фрукты могут подвергаться радиационной обработке в дозах от 1 до 10 кГр. Европейский научный комитет по продуктам питания (SCF) высказал мнение об облученных продуктах в 1986, 1992, 1998 и 2003 гг. и дал благоприятные мнения об облучении ряда продуктов питания, для которых классы и максимальные дозы были перечислены.

Облученные пищевые продукты регулируются Директивой 1999/2/ЕС, которая охватывает общие и технические аспекты процесса облучения и маркировки облученных пищевых продуктов и условия для разрешения облучения пищевых продуктов.

Кроме того, Директива 1999/3/ЕС устанавливает список разрешенных сообществом пищевых продуктов и пищевых ингредиентов для обработки ионизирующим излучением. Пока этот список содержит только одну категорию продуктов питания: сушеные ароматические травы, специи и овощные приправы. До вступления в силу более широкого положительного списка государства-члены могут сохранять существующие национальные разрешения для соответствующих групп продуктов питания.

В табл. 6 представлены обобщенные основные нормативные документы, используемые при контроле облучения сельскохозяйственной и пищевой продукции.

Таблица 6

**Сопоставление отечественных
и международных нормативных документов в сфере
радиационной обработки**

Нормативные акты Российской Федерации	Международные нормативные акты
	<p>Стандарты, методические указания, нормы и правила МАГАТЭ и ФАО МАГАТЭ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • IAEA. Radiation Safety of Gamma, Electron and X-Ray Irradiation Facilities. IAEA Safety Standards Series №SSG-8, 2008. IAEA, Vienna; • IAEA. Manual of Good Practice in Food Irradiation. Sanitary, Phytosanitary and Other Applications. Technical Reports. Series. №481
<p>Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ. Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 02.01.2000 № 29-ФЗ. Постановление Правительства Российской Федерации «О государственном надзоре и контроле в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов» от 21.12.2000 № 987</p>	<p>Кодекс Алиментариус «Облученные продукты питания», 2007. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением, 2003 ASTM F1356-08. Международный Кодекс рекомендуемых норм облучения (International..., 1991)</p>

Нормативные акты Российской Федерации	Международные нормативные акты
<p>ГОСТ ISO 14470-2014 Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением.</p> <p>ГОСТ 33339-2015 Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования.</p> <p>ГОСТ Р 51705.1-2001 Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования.</p> <p>Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011</p>	<p>® CAC/RCP19-1979, Rev. 2-2003 «Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения продуктов» (CAC/RCP19-1979, Rev. 2-2003. Recommended international code of practice for radiation processing of food)</p>
<p>ГОСТ 33340-2015 Пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением. Общие положения. Разработан на основе CODEX STAN 106-198</p>	<p>CODEX STAN 106-198 «General Standard for Irradiated Foods» (Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим облучением).</p> <p>CODEX STAN 106-198 устанавливает, что источниками излучения для обработки пищевой продукции, в том числе фруктов, овощей и грибов, могут быть использованы следующие виды ионизирующего излучения:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) гамма-излучение радионуклидов ^{60}Co или ^{137}Cs; б) рентгеновские лучи от искусственных источников с энергией меньшей или равной 5 МэВ; в) поток ускоренных электронов от искусственного источника с энергией меньшей или равной 10 МэВ. <p>При облучении любого пищевого продукта минимальная доза поглощенного излучения должна быть достаточной для достижения технологической цели, а максимальная – быть меньше той, при которой мог бы возникнуть риск для безопасности потребителя или которая могла бы отрицательно сказаться на структурной целостности, функциональных или</p>

Нормативные акты Российской Федерации	Международные нормативные акты
	органолептических свойствах продукта. Максимальная доза поглощенного излучения не должна превышать 10 кГр, кроме тех случаев, когда это необходимо для получения приемлемого результата технологического процесса
ГОСТ 31672-2012 Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу. Разработан на основе EN 1787:2000	CODEX STAN 231-2001 устанавливает перечень стандартов EN для определения облученных продуктов питания. Согласно документу для облученных фруктов и овощей может применяться европейский региональный стандарт EN 1787:2000 Foodstuffs – Detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy (Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу). Метод проверен на таких пищевых продуктах, как земляника, фисташки и молотый красный перец. Действует на территории Российской Федерации и СНГ
ГОСТ 33302-2015 Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки	Международный стандарт ASTM F1355-2006 «Руководство по облучению свежей сельскохозяйственной продукции в целях фитосанитарной обработки» (ASTM F1355-2.006 «Standard Guide for Irradiation of Fresh Agricultural Produce as a Phytosanitary Treatment»). © «Руководство по использованию облучения в качестве фитосанитарной меры»
ГОСТ 33271-2015 Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами	Международный стандарт ASTM F1885-2004 «Руководство по облучению сухих пряностей, трав и овощных приправ в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами» (ASTM F3 885-2004 «Standard Guide for Irradiation of Dried Spices, Herbs, and Vegetable Seasonings to Control Pathogens and Other Microorganisms»)

Нормативные акты Российской Федерации	Международные нормативные акты
По отдельным культурам стандарты не разработаны	Стандарты международного Кодекса рекомендуемых доз облучения зерна кукурузы (Codex stan 153-1985. REV. 1-1995), риса (Codex stan 198-1995), пшеницы и пшеницы твердой (Codex stan 199-1995), овса (Codex stan 201-1995) и по другим видам культур
ГОСТ 33825-2016 Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов. ГОСТ 33820-2016 Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов	Международный стандарт ASTM E 2449-2005 «Руководство по облучению фасованных обработанных мясных продуктов и птицепродуктов в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами» (ASTM E 2449-2005 «Standard Guide for Irradiation of Pre-packaged Processed Meat and Poultry Productsto Control Pathogens and Other Microorganisms»)
По аквакультуре стандарты не разработаны	Международный стандарт ASTM F 1736-2009 «Руководство по облучению плавниковых и водных беспозвоночных, употребляемых в пищу, в целях борьбы с патогенными микроорганизмами и микроорганизмами, вызывающими порчу» (ASTM F 1736-2009 «Standard Guide for Irradiation of Finfishand Aquatic Invertebrates Usedas Food to Control Pathogensand Spoilage Microorganisms»)
ГОСТ 33800-2016 Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке	
По упаковочным материалам стандарты не разработаны	® Международный стандарт ASTM F 1640-2009 «Руководство по выбору и использованию упаковочных материалов для облучаемых продуктов» (ASTM F 1640-2009 Standard Guide for Selection and use of packaging materials for foods to be irradiated)
ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012 Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением.	ISO/ASTM 51204:2004 «Практика дозиметрии объектов гамма-облучения для пищевой промышленности».

Нормативные акты Российской Федерации	Международные нормативные акты
<p>ГОСТ Р 52529-2006 Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань (с поправкой).</p> <p>ГОСТ 34131-2017 Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облученных продуктов газовой хроматографией.</p>	<p>ISO/ASTM51702:2004 «Практика дозиметрии объектов гамма-облучения для радиационной обработки».</p> <p>«ASTME 2303:2003 «Стандартное руководство по отображению поглощенной дозы на объектах радиационной обработки».</p> <p>ISO/ACTM 51204 «Стандартная методика дозиметрии на оборудовании с гамма-облучением при обработке пищевых продуктов».</p> <p>ISO/ASTM51539 «Руководство по использованию индикаторов чувствительности к облучению».</p> <p>EN 1786:1996. Продукты пищевые. Идентификация облученных продуктов питания, содержащих кости, методом ЭПР-спектроскопии.</p> <p>EN 13708:2001. Продукты пищевые. Идентификация облученных продуктов питания, содержащих целлюлозу, методом ЭПР-спектроскопии.</p> <p>Европейский комитет по стандартизации (CEN). Метод идентификации облученных пищевых продуктов, основанный на принципе обнаружения облученных пищевых продуктов, содержащих жир, методом газовой хроматографии и масс-спектрометрического анализа alkylcyclobutanones (Obanaetal., 2006)</p>
<p>СанПиН2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (с изменениями на 6 июля 2011 г.).</p> <p>СанПиН2.3.2.1324-03 «Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов»</p>	

Сравнительный анализ имеющейся нормативной базы в области облучения сельскохозяйственной и пищевой продукции показал, что

по сферам применения отечественные документы соответствуют международным, также идет постоянная работа над созданием новых нормативных актов, но в отечественном нормировании еще необходима разработка ряда стандартов. К ним относятся стандарты, регламентирующие технологии облучения для отдельных культур и видов продукции, использования упаковки облучаемых продуктов.

3. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Соблюдение радиологической безопасности при переработке сельскохозяйственных культур является фактором, влияющим на здоровье населения и сохранение его генофонда. Ионизирующие радиационные методы обработки связаны с ядерными процессами взаимодействия фотонов с веществом облучаемой продукции, радиолизом органических компонентов, поэтому обязательно требуется оценка их радиологической и химико-токсикологической безопасности, качества и пищевой ценности.

Большинство населения относится к облученной продукции с опасениями, не различая понятий, *радиоактивно загрязненные продукты*, в которые радионуклиды попали из-за произрастания растений на радиоактивно загрязненных территориях или в виде корма в организм животных, и *радиационно-обработанные продукты*, которые обработаны ионизирующим излучением без контакта с ними радиоактивного вещества. На самом деле, по данным многочисленных исследований, активность радионуклидов, которые могут появиться у человека при употреблении облученных пищевых продуктов, значительно меньше средней суммарной активности природных радионуклидов естественного происхождения, а введенные в международном документе «Кодексе Алиментариус. Облученные продукты питания» ограничения по максимальной энергии ионизирующих излучений практически сводят к нулю риск дополнительного внутреннего облучения.

Подробные оценки эффективных доз облучения населения в результате потребления облученных продуктов питания за счет образования в них радионуклидов наведенной активности были выполнены в документе МАГАТЭ IAEA-TECDOC-1287 (Natural..., 2002). В результате было выяснено, что при ежегодном индивидуальном потреблении 50 кг пищи через два дня после ее облучения дополнительная доза, обусловленная потреблением облученных продуктов питания, будет примерно равна 10^{14} МэВ в год. Этот уровень до-

полнительного облучения составляет 1/30000 от естественного природного фона [4, 5].

Исследования по радиационной обработке и ее безопасности в применении к продуктам питания активно проводились еще в СССР. С 1960-х годов этими вопросами занимались научные институты АН СССР, Минпищепрома СССР, Минторга СССР и др. (распоряжение Совета Министров СССР от 27.11.1956 № 6946-р). В результате был накоплен большой опыт использования ионизирующих излучений в сфере АПК.

После некоторого сокращения в Российской Федерации объемов исследований из-за аварии на Чернобыльской АЭС (1980-1990-е годы), научные работы по исследованию ионизирующих излучений в АПК продолжились [19].

На основании проведенных исследований в ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» была разрешена радиационная обработка опытных партий некоторых пищевых продуктов (картофель; лук репчатый; зерно пшеницы, кукурузы, ячменя; пищевые концентраты; сухофрукты; свежие плоды и ягоды; рыба морская нежирная свежая, горячего копчения (рыбная кулинария); мясо сырое полуфабрикаты (в пленке); куры потрошенные (в пленке); кулинарно подготовленные мясные полуфабрикаты (в пленке), но все эти разрешения получены в период 1958-1992 гг. и требуют актуализации и стандартизации [19].

В ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова и Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана проведена работа, в результате которой для повышения безопасности использования радиационно-облученной продукции выявлены зависимости доза – эффект; определен диапазон количественного обнаружения химических маркеров продуктов, подвергнутых ионизирующему излучению; исследованы биохимические изменения маркеров ионизирующего излучения в процессе хранения облученных продуктов; разработана методика обнаружения облученных пищевых продуктов методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Разработанный ГОСТ 34131-2017 внедрен в работу Испытательного центра ФНЦ пищевых систем [20].

Основываясь на результатах многолетнего анализа научных данных, Комитет экспертов ВОЗ/ФАО/МАГАТЭ подтвердил безопасность пищевых продуктов, если их обработка проводилась поглощенной дозой до 10 кГр. Потребление такой радиационно-обработанной пищи не приводит к мутациям, преобладанию летальных эффектов или цитогенетическим нарушениям.

При высоких уровнях ионизирующего облучения при обработке пищевых продуктов (более 25 кГр) у потребителей могут быть отмечены случаи полиплоидии, слабовыраженные токсические проявления (снижение массы тела, изменение активности ферментов в крови и печени – щелочной фосфатазы, АЛТ, АСТ и др.). Сведения об обработке продукции высокими дозами обязательно должны направляться в объединенный комитет ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ [4, 5, 19].

К негативным характеристикам обработки радиоактивным излучением относится появление свободных радикалов, которые могут, взаимодействуя с другими молекулами в пищевой системе, приводить к изменению молекулярной структуры продуктов и их органолептических свойств (вкус, запах, консистенция, окраска, внешний вид, цвет и т.д.). Также при определенных дозах в облученных пищевых продуктах наблюдаются окислительные процессы липидов с образованием перекисных соединений. В некоторых случаях возможно взаимодействие между редуцирующими углеводами и аминокислотами с образованием меланоидинов.

В ИФХЭ РАН предложена методика контроля качества облученной продукции на основе спектрофотометрии спиртовых экстрактов. Результаты исследований показывают, что облучение электронным пучком на базе ускорителя УЭЛВ-10-10-С-70 для консервирования в пищевой промышленности эффективно подавляет микроорганизмы при дозе 5 кГр, но при этом продукт может терять вкусовые свойства. Чтобы избежать потери качества и для его контроля, был разработан фотометрический метод, примененный к облучению водорослей. В его основе – анализ различий спектральных характеристик образцов [21].

Исследования Уральского ГЭУ, ООО «Спектр», УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина показали, что даже до введения

разрешительной законодательной базы на потребительский рынок России поступали облученные пищевые продукты (чили жгучий молотый, чили острый молотый, перец черный молотый).

Важную роль в обеспечении безопасной торговли облученной продукцией имеет их идентификации облученности [22-29].

Подобные факты и приведенные данные свидетельствуют о необходимости и возможности контроля безопасности и качества как облученных продуктов и сырья, так и потенциально возможных (особенно специй и пряностей). Кроме дозиметрии, требуется подтверждение соблюдения всех необходимых мер при обработке методами радиационного облучения, установленных системой нормативной документации; обязательное наличие сопровождающей радиационно-обработанные продукты документации; правильная маркировка [4, 5, 19].

В настоящее время механизм контроля облученной продукции еще недостаточно отлажен. Поэтому в дальнейшие исследования безопасности перспективной для облучения продукции должны включаться проведение медико-биологических исследований с использованием современных постгеномных технологий в экспериментах на лабораторных животных; изучение влияния поглощенной дозы облученных пищевых продуктов на показатели их пищевой ценности, физико-химические свойства, структурную целостность, функциональные свойства, показатели безопасности; расширение спектра используемых методов выявления факта облученности пищевой продукции; утверждение регламентов качества и безопасности облученной пищевой продукции, а также требований безопасности производственных процессов, правил их упаковки, транспортировки, маркировки, реализации. Многими исследователями подтверждается также необходимость создания банка данных о радиационной чувствительности различных пищевых продуктов с целью определения оптимальных доз облучения и изучения их влияния на сроки хранения и качество продуктов [19, 30].

Пищевая ценность облученных продуктов питания. Имеются подтвержденные данные, что не все пищевые продукты подходят для облучения. Например, при облучении устриц снижаются срок их годности и другие качественные показатели, поскольку повреж-

дается живая устрица в раковине; облучение яиц в скорлупе дозой 2-4 кГр приводит к разжижению белка и ослаблению оболочки желтка.

Действующий ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности зерна» (с изменениями на 15 сентября 2017 г.) допускает радиационную обработку зерна: «...обеззараживание зерна – химическое, радиационное или физическое воздействие на зерно с целью уничтожения вредителей и микроорганизмов».

Действующий ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» не допускает к потреблению и использованию мясо птицы, кроликов, конину, меланж, альбумин, яичный порошок, обработанные ионизирующим облучением [30].

ТР ТС 021/2011 не устанавливает запретов или иных требований к радиационной обработке свежих фруктов, овощей, грибов. При этом ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей», утвержденный Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 882, вводит ограничение на применение ионизирующего излучения для целей консервирования: «Консервирование сока может быть осуществлено только с использованием физических способов, за исключением обработки ионизирующим излучением» (ст. 2, пп.1).

Соблюдение рекомендованных доз облучения гарантирует пищевую ценность и безопасность облученного продукта, при отступлении от рекомендаций возможны различные изменения. Наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются компоненты пищевых продуктов, ответственные за аромат, вкус и другие органолептические свойства.

Витамины. После облучения сохраняются гораздо лучше, если находятся в пищевом продукте, а не в чистом виде или в искусственных растворах и смесях. Радиоустойчивость разных витаминов различается и зависит от химического состава продуктов, в которых они находятся. При дозе 20 кГр каротин (провитамин А) в говядине разрушается на 40-60%, а при автоклавной тепловой стерилизации на 60-80%. Витамин Е разрушается в мясе при дозе 30 кГр на 60%, если облучение проводилось в атмосфере кислорода. При замене кислорода азотом токоферол не разрушается. Разрушение витами-

на К в шпинате незначительно и не имеет практического значения даже при дозах 50 кГр. Из водорастворимых витаминов наименьшей стойкостью отличается аскорбиновая кислота (витамин С) и тиамин. Большой резистентностью обладает витамин В₁₂, рибофлавин и никотиновая кислота. Облучение в замороженном состоянии позволяет повысить сохраняемость тиамина.

Белки. Под влиянием ионизирующих излучений биологическая ценность белковых веществ продуктов питания изменяется примерно так же или чуть выше, как и в результате других методов обработки. Исключения составляют молоко и горох, у которых биологическая ценность белков после облучения на 8% меньше, чем у контрольных образцов. Аминокислотный состав практически не изменяется и возникающие при облучении белков и аминокислот соединения не являются токсичными и канцерогенными.

Углеводы. Под влиянием ионизирующих излучений превращаются из более сложных соединений в менее сложные за счет разрыва преимущественно гликозидных связей. Крахмал деполимеризуется с образованием редуцирующих веществ; увеличивается содержание амилопектина, растворимого в кипящей воде; снижается вязкость крахмальных суспензий. Аналогичные изменения происходят при облучении целлюлозы и пектиновых веществ. Иногда могут начаться реакции конденсации, полимеризации и денатурации; взаимодействие между редуцирующими углеводами и аминокислотами с образованием меланоидинов; появление редуктонов.

Превращение крахмала в его растворимую модификацию происходит лишь при дозах от 800 кГр и выше. Дозы облучения в пределах 10-80 кГр значительного воздействия на органолептические свойства углеводов не оказывают, но могут несколько изменять технологические свойства пищевых продуктов (например, уменьшение желирующей способности пектина). Пищевая ценность углеводов после облучения практически не изменяется, а в некоторых случаях повышается за счет увеличения количества простых и уменьшения доли сложных, менее усваиваемых, углеводов.

Липиды. Из-за образования свободных радикалов облучение может индуцировать процессы окисления жиров в продуктах их содержащих, чем выше поглощенная доза излучения и температура, тем

больше вероятность ухудшения физико-химических показателей качества.

Количество перекисей изменяется не только во время облучения, но и после радиационной обработки. Характер этих изменений зависит от вида жиров и масел, наличия других соединений (в том числе антиоксидантов и других защитных веществ), температуры, присутствия или отсутствия свободного кислорода и др. Оливковое масло более стойко к окислению при облучении, чем маргарин [4, 5, 19].

Препятствует образованию перекисных соединений создание анаэробных условий. Процессы полимеризации усиливаются с увеличением дозы облучения, но заметно проявляются только после облучения дозами более 500 кГр. Дозы в пределах 10-50 кГр не оказывают существенного влияния на вязкость, калорийность, усвояемость жиров и масел; еще менее значительны изменения точки плавления; практически неизменными остаются их плотность и число двойных связей [31].

Упаковка. При выборе упаковочного материала в рамках процедуры оценки его влияния на безопасность и качество пищевых продуктов, подлежащих облучению, должно учитываться воздействие облучения на химические и физические свойства упаковочного материала. Определение санитарно-химических показателей безопасности и оценка влияния упаковочных материалов на пищевые продукты должны проводиться в установленном порядке в соответствии с ГН 2.3.3.972-00 Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами. Требования к качеству и безопасности упаковки и упаковочных материалов должны соответствовать следующим нормативным документам: ГОСТ 32626-2014 Средства укупорочные полимерные. Общие технические условия; ГОСТ Р 52145-2003 Материалы, комбинированные на основе алюминиевой фольги. Технические условия; ГОСТ 745-2014 Фольга алюминиевая для упаковки. Технические условия; ГОСТ 7247-2006 Бумага и комбинированные материалы на основе бумаги для упаковывания на автоматах пищевых продуктов, промышленной продукции и непродовольственных товаров. Общие технические условия; ГОСТ 7630-96 Рыба, морские

млекопитающие, морские беспозвоночные, водоросли и продукты их переработки. Маркировка и упаковка; ГОСТ 12302-2013 Пакеты из полимерных пленок и комбинированных материалов. Общие технические условия; ГОСТ 13342-77 Овощи сушеные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение (с изменениями № 1, 2).

Облучение упаковочных материалов потенциально может приводить к образованию свободных радикалов или ионов, образованию ненасыщенных молекулярных связей, а также расщеплению и образованию поперечных межмолекулярных связей. Такие химические реакции могут менять физические свойства упаковочного материала и приводить к образованию низкомолекулярных радиолитических продуктов, способных мигрировать в пищевой продукт. Глубина вызванных облучением изменений зависит от типа полимерного материала, содержащихся в нем добавок, поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, а также от состава газовой среды в момент облучения. При облучении упакованной продукции дозами до 10 кГр, в частности, рекомендуется использовать такие материалы, как целлофан с покрытием нитроцеллюлозы, пергамент, вошеную бумагу, полиолефиновую пленку, полиэтилентерефталат, полистирольную пленку [19, 30, 31].

Исследование влияния радиационной обработки на структуру многокомпонентного упаковочного полимерного материала после облучения и при его хранении было проведено в ИФХЭ РАН. Полимерный упаковочный материал толщиной 80 мкм полиамид/полиэтилен (РА/РЕ, 20:80) производства Дмитровского завода гибкой упаковки (ДЗГУ) обрабатывали на КРТУ «Радуга» в МРТИ РАН со средней энергией электронов пучка 5 МэВ и на установке в ГНЦ – ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с энергией электронов пучка – 10 МэВ дозами облучения от 3 до 18 кГр.

Оценка структуры образцов до, после облучения и после одного года хранения показала, что при увеличении доз облучения отмечается деградация полимерного материала в РА-слое, в результате уменьшаются –С–С– и –NH– группы, но после одного года хранения количество –NH– групп восстанавливается. Было отмечено незначительное увеличение количества эфирных –С–О–С– групп после одного года хранения, что повлияло на уменьшение краевого угла

смачивания в РЕ- слое от 80 до 67°. Данные нарушения могут повлечь изменения физико-механических и барьерных параметров полимерного материала, что может существенно отразиться на сроках хранения сельскохозяйственной продукции [32]. Полученные результаты подтверждают важность соблюдения дозирования при обработке пищевой продукции в упаковке и учета физических свойств упаковочного материала, обусловленных его типом и структурой.

Эффект воздействия озона при радиационной обработке. При исследовании процессов радиационной обработки необходима оценка влияния на подавление микроорганизмов озона, образующегося при радиоллизе воздуха во время радиационной обработки пищевых продуктов электронным пучком.

В экспериментах ИФХЭ РАН исследовалась зависимость степени подавления микробов от площади контакта среды с озонированным воздухом. Размер площади регулировался способом установки пробирки с питательной средой под пучком ускорителя. Было установлено, что при горизонтальном расположении пробирки из-за большего размера площади контакта среды с озонированным воздухом внутри пробирки по сравнению вертикальным расположением, эффект воздействия озона на микроорганизмы был выше.

Процессы облучения контролировались пленочными дозиметрами, расположенными вблизи пробирок и внутри пробирок с аналогом субстрата. Для количественного определения фактора влияния озона выполнены расчетные оценки количества озона, образовавшегося в экспериментах, проведено также моделирование процесса облучения пробирок с помощью программы «BeamScanning». Результаты исследований подтвердили существенное влияние озона на подавление микроорганизмов в ходе облучения [33].

Радиационная стойкость. Данные по радиационной стабильности продуктов, препаратов и биологически активных соединений необходимы для оценки их возможной деструкции и изменения потребительских свойств.

В качестве примера приведена оценка радиационной стабильности экстрактов водорослей, проведенной в ИФХЭ РАН. Исследования образцов проводились на основании изменений спектральных характеристик каротиноидных и хлорофилловых фракций экстрак-

тов водорослей в пострадиационный период. Установлено, что радиационная стабильность каротиноидных и хлорофилловых фракций экстрактов зависит от вида водорослей, дозы облучения и природы насыщающего газа. Зависимость радиационной стабильности каротиноидных и хлорофилловых фракций экстрактов водорослей от дозы имеет сложный характер, особенно при малых дозах облучения. Радиационная стабильность каротиноидов в водно-спиртовых растворах в аэробных условиях за счет регенерации пигмента выше для всех видов водорослей. При насыщении экстрактов водорослей закисью азота в момент облучения усиливаются окислительные процессы за счет дополнительного образования радикалов ОН [34, 35].

Радиолиз при наличии стойких органических загрязнителей продукции. Негативные последствия радиолиза в облученной продукции связаны с возможностью образования токсичных вторичных органических соединений при содержании в продуктах органических веществ – стойких загрязнителей окружающей среды. Если в облучаемой продукции содержались пестициды в дозах, значительно превышающих допустимые, то возможно образование вторичных продуктов радиационно-химического разложения с более высокой токсичностью. Следовательно, необходим предварительный (перед облучением) контроль на содержание подобных веществ в облучаемой продукции [31].

Анализ представленных материалов показывает, что в настоящее время контроль безопасности облученной продукции недостаточно налажен. Нет полного перечня пищевой продукции, которую нельзя подвергать облучению; не регламентирован учет воздействия возникающих сопутствующих физических и химических реакций (радиолиз, выделение озона, деструкция тканей и материалов упаковки), влияющих на качество и безопасность облучаемой продукции; не подтверждена документально необходимость входящего и последующего контролей.

Многочисленные исследования также подтверждают, что получение безопасной и сохранившей пищевую ценность продукции при ее ионизирующем облучении возможно, но только при неукоснительном соблюдении требований нормативных документов по переработке и производству облученной пищевой продукции; использовании доз облучения, соответствующих данному виду продукции.

4. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Хотя в настоящее время в Российской Федерации радиационное облучение агропромышленной продукции используется недостаточно широко, изучение материалов по данной тематике подтвердило наличие достаточного задела разработанных технологических схем. Наиболее распространенными и эффективными направлениями применения ионизирующих излучений для переработки сельскохозяйственных культур с целью повышения микробиологической безопасности и качества в послеуборочный период (при хранении и транспортировании) без использования химических веществ являются частичное подавление жизнедеятельности и стерилизация патогенной и условно-патогенной микрофлоры.

Первое упоминание применения ионизирующего излучения в целях фитосанитарной обработки датируется 1930 г. В 1936 г. было показано, что образование проростков у овощей можно задержать с помощью рентгеновского излучения. В 1950 г. было наглядно продемонстрировано, что небольшая доза рентгеновского излучения в 45 Гр ингибирует прорастание семенного картофеля. Многочисленные исследования и публикации подтвердили эффективность радиационных методов для фитосанитарной обработки различных видов растительной продукции [36-45].

4.1. Радиационная обработка специй, пряностей, сушеных овощей и трав

Наиболее широко методы радиационной ионизирующей обработки используются для стерилизации специй, пряностей, сушеных овощей и трав. Они содержат большое количество спорообразующих микроорганизмов, свойственных почве и среде, где эти пряности выращены, и которые выдержали процесс сушки.

Количество вегетативных бактерий сокращается при дозе 4-7 кГр, а спорообразующих бактерий – с 8-15 кГр. Такое облучение одновременно уничтожает любых насекомых на всех стадиях их развития. В табл. 7 представлены рекомендуемые диапазоны минимальных доз облучения для ряда пряностей и трав [3-5, 12].

Таблица 7

**Рекомендуемые минимальные дозы облучения
для некоторых пряностей, трав и овощных приправ**

Продукт	Минимальная доза облучения, кГр
Все пряности	4-8
Базилик	6-8
Тмин, корица, паприка, красный перец	3-8
Кардамон, семя сельдерея, кориандр, имбирь, мускат	4-8
Фенхель, чесночный порошок, майоран, орегано, черный перец, тимьян	6-12
Луковый порошок	7-15

Примечание. Для достижения минимальной поглощенной дозы для всей партии обработки некоторые части партии должны получить более высокую дозу облучения. Самая высокая доза должна находиться в пределах указанной верхней границы минимальной поглощенной дозы.

В ФГБНУ ВНИИРАЭ были отработаны технологии радиационной обработки сушеных пряностей и овощей на исследовательской радиационной установке ГУР-120, обеспечивающей облучение с мощностью поглощенной дозы до 900 Гр/ч. Особенностью данных технологий является необходимость механического переворачивания упаковки с продуктами во время облучения для обеспечения равномерности его в пределах 20%. В результате исследований в качестве причин вариативности показателей обсеменённости сушеных овощей и специй микроорганизмами были определены условия выращивания растений, способы уборки урожая, методы сушки, переработки и хранения полученного сырья. Была выявлена зависимость эффективности деконтаминации продукции от начальных уровней ее загрязнения и типа присутствующих в ней микроорганизмов (табл. 8) [4, 5, 17].

Чтобы достичь соответствия санитарным требованиям, предъявляемым к специям, сушеным овощам, пряностям, в качестве ингибирующих доз для плесневых грибов и колиформных бактерий (БГКП) были определены 4-5 кГр, споробразующих бактерий и некоторых плесневых грибов – до 10 кГр.

Таблица 8

Эффективность гамма-облучения растительного сырья

Продукты	КМАФАнМ, тыс. КОЕ/г		Эффективность, %
	до облучения	после облучения 10 кГр	
<i>Низкий уровень загрязнения</i>			
Специи:			
перец черный	0,5	0	100
перец красный	1,6	0	100
кориандр	0	0	-
Сушеные травы:			
петрушка	0	0	-
укроп	0	0	-
базилик	0,05	0	100
Овощи дробленые:			
капуста сушеная	5,8	0	100
лук сушеный	0	0	-
<i>Средний уровень загрязнения</i>			
Специи:			
перец черный	3,3	0	100
перец красный	30	2,5	96
кориандр	10		
Сушеные травы:			
петрушка	6,2	0,17	97
укроп	15,6	1,2	92
базилик	0,35	0	100
Овощи дробленые:			
капуста сушеная	2,7	0,5	81
лук сушеный	0,12	0	100
<i>Высокий уровень загрязнения</i>			
Специи:			
перец черный	1850	110	94
перец красный	105	55	48
кориандр	2500	70	97
Сушеные травы:			
петрушка	8300	1450	83
укроп	12000	300	98
базилик	300	0	100
Овощи дробленые:			
капуста сушеная	110	6,5	94
лук сушеный	28	0,5	98

При оценке качества облученной продукции было выявлено, что приправы и пряности очень устойчивы к облучению, иногда наблюдаются небольшие потери в цвете овощных приправ, летучих веществ. Сушеные продукты несколько изменяют качество при поглощенных дозах более 30 кГр [4, 5, 17].

4.2. Радиационная обработка свежей продукции растениеводства (фруктов, овощей, картофеля, грибов, зерна, хлеба)

Среди пищевых продуктов свежие плоды и овощи как объекты хранения занимают особое место, в них постоянно происходят сложные процессы жизнедеятельности, поэтому необходимо создать условия, замедляющие процессы жизнедеятельности хранимой продукции и микроорганизмов путем понижения температуры и использования ингибиторов метаболизма.

Во ФГБНУ ВНИИРАЭ установили, что у радиочувствительных плесневых грибов *Penicillium sp.*, *Moniliafmcitigena* и др. диапазон летальных доз составляет 1,5-2 кГр, для более радиоустойчивых плесневых грибов (*Nigricans*, *Mucor sp.*, *Alternaria sp.*, *Cladosporum sp.* и др.) – 8-15 кГр, для уничтожения всей поверхностной микрофлоры свежей растительной продукции необходимы дозы выше 10-15 кГр. Однако обработка на этих режимах свежих фруктов и овощей вызывает нежелательные изменения (снижение устойчивости к патогенам, размягчение консистенции, растрескивание кожицы, потемнение или обесцвечивание окраски, снижение органолептических характеристик) в тканях. Поэтому для обработки плодов и овощей ионизирующими излучениями в целях наиболее длительного хранения используют диапазон доз до 3 кГр, не приводящих к серьезным нарушениям качественных характеристик и сокращающих потери при хранении и транспортировании. Данный метод наиболее перспективен для скоропортящегося сырья, поскольку дозы до 3 кГр удлиняют период хранения свежей плодоовощной продукции на ограниченный срок.

Иногда дозы от 5 кГр и выше приводят к частичному разрушению витаминов, белков, углеводов, пигментов, усилению выделения

диоксида углерода и других газов, портящих продукцию. Поэтому в технологии радуризации плодов и овощей необходимо предусматривать интенсивную вентиляцию и последующее хранение продукции при пониженных температурах [4, 5, 17].

Облучение незрелых плодов приводит к более заметному ослаблению их природной сопротивляемости микроорганизмам, физиологическим нарушениям. Плоды со сравнительно высокой устойчивостью к возбудителям порчи (яблоки, груши, персики, томаты и др.) необходимо подвергать радиационному воздействию в состоянии полной зрелости; плоды, у которых облучение существенно не влияет на природную сопротивляемость к воздействию микроорганизмов (абрикосы, земляника, черешня, вишня, черная смородина), можно облучать в технической стадии зрелости.

Основными причинами продолжающейся порчи сырья в пострадиационный период являются размножение радиостойчивых видов микроорганизмов, развитие микроорганизмов, жизнедеятельность которых была подавлена облучением и восстановилась, повторное заражение облученных плодов, ягод и овощей микроорганизмами воздуха или тары в складских помещениях. Длительное хранение плодов (более двух-трех недель) практически невозможно, так как в течение указанного времени даже радиочувствительные возбудители порчи восстанавливают свою жизнедеятельность.

Исследования и полупроизводственные испытания, проведенные во ФГБНУ ВНИИТеК, дают основание утверждать, что оптимальными условиями для сохранения товарных качеств облученного плодово-ягодного сырья являются температура 6-15°C и относительная влажность воздуха 90-92% [4, 5, 17].

В табл. 9 представлены краткие характеристики разработок научных и образовательных организаций в данной сфере [4, 5, 17, 46-51].

В результате НИР ФГБНУ ВНИИТеК [52-59] разработаны технологические режимы комплексной обработки растительного сырья, сочетающей радиационную обработку с модифицированием состава газовой среды и охлаждением (при температуре 4-6°C) и технологические режимы радиационной обработки с последующим низкотемпературным хранением.

Методы радиационной обработки плодов, фруктов, ягод, картофеля и грибов

Вид технологии	Рекомендуемые дозы и условия обработки	Эффект
<i>ФГБНУ ВНИИРАЭ</i>		
Обработка облучением свежих овощей, фруктов, ягод	Обработка γ -облучением дозы от 4 до 20 кГр	Продлевает срок хранения, снижает риск заболеваний у населения. Красные, неперезревшие томаты – хранение при 18-22°C в течение 15-17 дней. Стандартные, немного перезревшие томаты – хранение при 18-22°C в течение 6-8 дней
Обработка земляники	γ -облучение дозой 2 кГр. Сочетание охлаждения и радиационной обработки дозой 2,5 кГр	Увеличивает срок хранения на 5 дней. Увеличивает срок хранения на 9 дней по сравнению с хранением в условиях охлаждения
Обработка ягод, овощей	Комплексное применение γ -облучения и невысоких температур (0-4°C, доза 6-8 кГр, сорбенты для устранения неприятных запахов), в комплексе с упаковкой с газовой средой с CO	Позволяет уменьшить дозу γ -излучения. Сохранение земляники при 20°C в течение 30 дней, капусты – в течение 120 дней
Обработка ягод, фруктов, овощей	Инактивирование ферментов при 70°C (2 мин), охлаждение холодной водой при 1,1°C 30 мин, доза облучения – 0,7 кГр, температура хранения – 20°C	Продлевает срок хранения перца красного, яблок, персиков, томатов, цветной капусты, моркови и др.
Обработка конного салата	В упаковках с модифицированной газовой средой γ -облучение дозой 0,35 кГр. γ -облучение упаковки дозой 1-2 кГр при температуре 3°C, в газовой среде с содержанием O ₂ – 1,5-3,7% при повышенной концентрации CO ₂	Количество микроорганизмов сокращается с 10 ⁵ -10 ⁶ КОЕ/г до 1,5 log[0КОЕ/г за 14 суток хранения при 4°C, качество сохраняется. Сокращение потерь от порчи в период хранения в течение 5 суток

<p>Получение сока из винограда, вишни, малины, сливы, овощей</p>	<p>Радиационная обработка дозами 3-4 кГр. Радиационная обработка дозами 3-4 кГр совместно с препаратами ферментов</p>	<p>Позволяет увеличить выход сока от 3 до 12%. Смягчает режим тепловой обработки, сокращает потери от порчи в 3-5 раз, увеличивает выход сока черной смородины на 7-15%, крыжовника – на 5-6, моркови – на 10, томатов – на 9, сливы (в зависимости от степени зрелости) – до 28%</p>
<p>Хранение огурцов и клубники</p>	<p>Обработка γ-излучением в диапазоне доз 0,5-3 кГр, температура хранения – 3-4°C</p>	<p>Срок хранения и содержание сахаров в огурцах при дозах 0,5 и 1,5 кГр увеличиваются; при дозе 3 кГр подавляется развитие <i>Botrytis cinerea</i> на клубнике и повышается содержание сахаров</p>
<p>Облучение картофеля для уменьшения убыли массы при хранении</p>	<p>Облучение дозами 50, 100, 150 Гр, хранение в холодильнике в течение 12 месяцев, γ-излучение в дозе 100 Гр более перспективно</p>	<p>У сорта Галя снижение потерь в 4,5 раза, у сорта Журавинка – в 2,2 раза. Потери массы клубней сорта Журавинка были сопоставимы с контролем. Повышение содержания витамина С – в 1,1-2 раза. Безопасность и качество продукции не отличались от таковой в необлученном контроле</p>
	<p>Облучение клубней картофеля среднего раннего сорта ВР-808 и среднепозднего сорта Гермес перед закладкой на хранение в дозах 50, 100 и 150 Гр (при мощности дозы 100 Гр/ч)</p>	<p>Снижает потерю массы клубней при всех изученных дозах при хранении картофеля при температуре 4-6°C. Облучение клубней в дозах 100 и 150 Гр снижает потерю массы клубней в 3-4 раза по сравнению с контролем, у сорта ВР-808 облучение клубней в дозах 100 и 150 Гр – в 3-4 раза. Облучение в диапазоне 50-150 Гр и хранение при разных температурных режимах не оказало отрицательного влияния на показатели качества картофеля</p>
	<p>Ускоритель электронов ИЛУ-6 в режиме тормозного γ-излучения в дозах 120, 240, 360 Гр и на γ-установке ГУР-120 с источником ^{60}Co в дозах 5, 10, 50, 100 и 150 Гр</p>	<p>Облучение в дозах свыше 100 Гр снижает потери массы клубней вследствие процессов дыхания и транспирации в процессе хранения в 1,5-2 раза по сравнению с необлученным картофелем</p>

Вид технологии	Рекомендуемые дозы и условия обработки	Эффект
Комплексная технология обработки и хранения вишни	Обработка γ -облучением 1-3 кГр с применением газовой среды и полипропиленовых упаковок при холододильном хранении	Замедление через 5-12 суток процессов созревания и старения, снижение пострадиационной устойчивости фруктов к микроорганизмам. Количество стандартных фруктов составляло на период 15-25 суток хранения 90-96%. Выход стандартной продукции – до 73-82%, контроль – не более 50-69% (по черной смородине). Сокращение потерь в – 2-5 раз
Облучение фруктов и овощей	Обработка γ -излучением и ускоренными электронами дозами от 2 до 3 кГр Обработка дозой в 1,75 кГр	Снижение общего количества поверхностной микрофлоры, задерживается ее последующее развитие. Сокращение потерь от порчи в 2-5 раз при высоком товарном качестве, подавление развития ряда афлотоксинообразующих культур плесневых грибов. Увеличение сроков хранения в 3-5 раз по сравнению с необлученными (для многих видов скоропортящихся свежих плодов и ягод)
Технология комплексного влияния режимов обработки свежих фруктов и овощей ионизирующими излучениями	Обработка γ -лучами (дозы 3,5-4 кГр/ч) или ускоренными электронами (1-3 кГр) в комплексе с модифицированной газовой средой с повышенным содержанием CO_2 (5-15%) и пониженным O_2 в условиях охлаждения (4-5°C)	Высокая эффективность для задержки процессов созревания (старения) растительных тканей, стабилизации устойчивости к патогенам и продления сроков хранения. Сокращение потерь в 2-5 раз, продление сроков хранения при высоких показателях качества

ФГБНУ ВНИИТек – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН»

<i>Кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский ГТУ</i>		
Комплексная технология переработки и производства полуфабрикатов, блюд, кулинарных изделий и функциональных продуктов питания на основе полуфабриката из культивированной вешенки	Обработка ускоренным потоком электронов	Сбережение нутриентов и биологически активных веществ. Обеспечение пролонгации сроков хранения, улучшение показателей биологической ценности и изменение физико-химических свойств полуфабриката: улучшение антиоксидантных свойств, увеличение доли растворимого белка, ферментной активности, изменение доли сахаров, улучшение функциональных свойств продукта, повышение пено-, геле- и эмульгирующей способности белков, входящих в состав грибов

Таким образом, было установлено, что облучение томатов, моркови, шпината, рукколы, сладкого перца, вишни, черной смородины дозами 1-3 кГр позволяет ингибировать поверхностную микрофлору, а также направленно регулировать процессы созревания (замедление или ускорение созревания) и старения. Подтверждено замедление созревания фруктов и овощей при облучении дозами 1-3 кГр и ускорение созревания этих же объектов дозами до 0,5-1 кГр. В настоящее время ведутся работы в данном направлении с расширенным ассортиментом растительного сырья (персики, клубника, абрикосы и др.).

Продолжаются работы по изучению возможностей применения радиационной обработки фруктов в технологии производства соков из фруктов и овощей для увеличения выхода их до 10-17% [58-59]. Во ФГБНУ ВНИИТеК в настоящее время ведутся работы по исследованию применения радиационной обработки грибов (для шампиньонов).

По сравнению с обычными методами радиационные технологии менее энергозатратны и позволяют заменить или значительно сократить использование пищевых консервантов, фумигантов и других химических препаратов. Кроме представленных технологий, радиурезация способна ускорить процесс созревания коньячных спиртов путем облучения древесины дуба высокими дозами γ -излучения (200-500 кГр), вызывающими ускорение гидролиза клетчатки и других полисахаридов с образованием моносахаридов и увеличение количества кислотно-растворимой фракции лигнина [30]. Для борьбы с болезнями свежей растительной продукции рекомендуются дозы 3,5-4 кГр/ч.

Актуальные радиационные технологии, используемые для задержки созревания плодоовощной продукции, представлены в табл. 10.

Необходимость учитывать не только эффективность угнетения микрофлоры, но и эффективность установки для конкретных видов плодоовощной продукции доказана результатами опытных исследований на радиационно-технологических установках ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН и ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Таблица 10

Дозы радиации для задержки созревания сельскохозяйственной продукции

Вид продукции	Доза, Гр	Срок обработки	Примечание
Тропические и субтропические плоды	От 25 до 35	После уборки	Плоды чувствительны к охлаждению даже в 10-15°C, поэтому использование радиационной обработки очень эффективно
Груши, яблоки сливы и др.	Свыше 1000	После уборки	Обработка часто вызывает повреждение плодов (неровное созревание, дряблость), поэтому в данном случае целесообразно использовать облучение в комбинации с другими способами
Картофель	50-70, 100-150	Октябрь-ноябрь Позднее	Облучают выдержанный в течение 12-14 суток при температуре 15-20°C и влажности воздуха 85%. Клубни не должны быть механически повреждены, также их нельзя перебирать, все это увеличивает потери. Радиационная обработка позволяет хранить картофель на обычном складе без дополнительного охлаждения или химической обработки
Лук	20-40	В течение 2 недель после уборки	Обработка лука ионизирующим облучением в дозе до 60 Гр позволяет в течение 9-12 месяцев хранить лук практически без потерь (по сравнению с контролем)
Лук-шалот, чеснок	20-60	После уборки	
Орехи	4000	Перед хранением	В упаковке
Грибы	60-1000	После сбора	Задерживает раскрытие шляпок, удлинение ножек

В ходе исследований выявлены зависимости ингибирования патогенной микрофлоры от структуры (плотности) изучаемых образцов

при облучении с различной интенсивностью. Получены результаты эффективного ингибирования начальной степени обсеменения для двух установок. Установлено, что эффективность ингибирования *E. coli* может варьироваться в зависимости от установки [35, 60].

В настоящее время актуальной является проблема борьбы с вредителями и возбудителями болезней зернового сырья и продукции из него. В данном сегменте исследований имеются два направления: первое – прямое уничтожение и стерилизация патогенов и вредителей (доза 2-3 кГр); второе – элиминация популяции насекомых-вредителей при насыщении её самцами, стерилизованными радиацией. В качестве единой для комплекса вредителей дезинсекционной дозы рекомендовано использовать 200 Гр. Существуют также проверенные рекомендации по дозам в зависимости от вида насекомых-вредителей (табл. 11). По данным исследований, такие воздействия не изменяют вкус, цвет и запах облученных продуктов [61-63].

Таблица 11

Рекомендуемые дозы гамма-облучения для предотвращения развития насекомых вредителей в муке, зерне, сухофруктах

Насекомое-вредитель	Доза, Гр	Облучаемый материал
Мельничная огневка	250	Мука, крупа, зерно и др.
Рисовый долгоносик	100	Зерно пшеницы, риса и др.
Зерновой долгоносик	160	Зерно
Комплекс вредителей	100-500	Зерно, мука, сухофрукты

В табл. 12 приведены другие возможные направления использования радиационного воздействия на зерновое сырье и продукцию [61, 62, 64-71].

Воздействием ионизирующего излучения можно существенно улучшать технологические свойства низкосортной муки. Облучение такой муки дозами 10-20 кГр приводит к «сшиванию» белковых молекул, что придает ей свойства муки из сильной пшеницы [30]. В результате продолжительность хранения хлебобулочных изделий в упаковке увеличивается до одного месяца, чего не удается добиться иными способами, даже при использовании химических консервантов [71].

Таблица 12

Примеры возможного использования радиационных технологий для обработки зерна, муки и хлеба

Направление исследований	Характеристика	Положительный эффект
1	2 ФГБНУ ВНИИРАЭ	3
Уничтожение продуцентов микотоксинов и разрушение токсичных метаболитов в различных видах продукции	Обоснованы режимы радиационной обработки. Разработана специальная камера с двумя источниками электронного излучения, которая при облучении не затрагивает внутренние структуры эндосперма. Полное разложение микотоксинов в зерне кукурузы, пшеницы и ячменя при влажности 20-26% происходит при облучении дозой 20-25 кГр, в сухих зернах при 25 кГр токсыны разлагаются на 65-75%. Для ингибирования прорастания дозы облучения составляют 10 кГр	Позволяет получать «чистый» от микробиологического загрязнения посевной материал. Облучение образцов кукурузы в дозах 5 и 10 кГр снижает концентрацию продуцентов микотоксинов на 21 и 62,5% соответственно, даже при высокой влажности зерна. Облучение раствора цитрата элимоклавина (концентрация 0,1 г/мл) продемонстрировало зависящее от дозы снижение его содержания, при дозе 10 кГр концентрация элимоклавина уменьшилась на 69%
Уничтожение продуцентов микотоксинов и разрушение токсичных метаболитов в кукурузе, пшенице, ячмене	При облучении зерна влажностью 20-26% дозой 20-25 кГр. Облучение сухого зерна дозой 25 кГр	Полное разложение микотоксинов снижает концентрацию микотоксинов только на 65-75%
Дезинфекция и задержка прорастания зерна	Облучение дозой 10 кГр	Ингибирование прорастания зерна и микроорганизмов, вызывающих плесень зерна и хлебных продуктов

1	2	3
Улучшение качества хлеба и хлебных изделий	Облучение дозой 10 кГр	Предотвращение картофельной болезни хлеба
Технология радиационной обработки против микотоксинов	Воздействие на элимоклавин (концентрация 0,1 г/мл), который относится к эрготоксинам микрогриба спорыньи. Электронные ускорители с энергией электронов до 10 МэВ и пробивающих образец на глубину более 4 см. Применение электронных ускорителей с энергией электронов порядка 100 кэВ Томского ПУ	При дозе 10 кГр концентрация элимоклавина уменьшилась на 69%. Эффективный способ получения безопасных продуктов питания и «чистого» посевного материала. Формируются в поверхностном слое зерен, проходящих через специальную камеру с двумя источниками электронного излучения, не затрагивая внутреннюю структуру эндосперма
<i>Институт радиационных проблем НАН Азербайджана</i>		
Уничтожение микотоксинов в ячмене, пшенице	γ-облучение зерен ячменя и пшеницы	Существенное снижение концентрации микотоксинов
<i>Санкт-Петербургский ГУ низкотемпературных и пищевых технологий</i>		
Технология консервирования хлеба с использованием ионизирующего излучения	Облучение в дозах от 3 до 6 кГр Облучение в дозе 10 кГр	Не дает эффекта полной стерилизации хлеба, позволяет увеличить сроки хранения до 3-5 месяцев Получение хлеба с удлинённым сроком годности (до 6 месяцев)
Доза облучения 3-6-10 кГр Позволяет увеличить срок годности хлеба «Дарницкий» до 3-5-8 месяцев		

Институт ядерной физики СО РАН

Технологии противотоксичной обработки муки и зерна	Мука пшеничная хлебопекарная 2 сорта: «Алейка» и зерно. Обработки от 0,27-10 кГр на ускорителе ИЛУ-10 с энергией электронов 5 МэВ; максимальная мощность пучка – 50 кВт	Содержание токсичных элементов в обработанных пробах не увеличилось и не превышает предельно допустимые концентрации в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011. Доза облучения – 0,81 кГр позволяет получить изделия с хорошими органолептическими и физико-химическими показателями качества и повышенной устойчивостью к поражению «картофельной» болезнью в процессе хранения
--	---	---

4.3. Радиационная обработка консервированной продукции

Радиационная обработка многокомпонентных продуктов питания, готовых к употреблению, перспективна, но характеризуется рядом проблем. Прежде всего, недостаточно разработана методология радиационной обработки и изучены последствия для показателей качества и сохранности подобных продуктов.

Показателями микробиологической безопасности консервов являются:

- отсутствие патогенных микроорганизмов;
- низкая продукция CO_2 и малое потребление молекулярного кислорода микроорганизмами, содержащимися в продуктах;
- высокий дыхательный коэффициент для микробиоты, свидетельствующий об отсутствии или незначительном биосинтезе потенциально токсичных микробных метаболитов (антибиотики, микотоксины и др.). Очень значимо определение уровня и состава исходной микробиологической загрязненности готового продукта.

Во ФГБНУ ВНИИРАЭ, Московском государственном университете технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ФГУН Институте биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН изучена обработка консервов на примере рыбных пресервов, результаты исследований подтвердили, что применение радиационных технологий в этой области имеет значительный потенциал [72].

В настоящее время разрабатываются методы «холодной» стерилизации пищевых продуктов, основанные на радиационной обработке быстрыми электронами с энергией до 10 МэВ с мощностью поглощенной дозы $\sim 0,5-2,5$ кГр/с, а также с использованием γ -установок, заряженных ^{60}Co , являющимся источником излучения с энергией 1,25 МэВ. В качестве объекта исследований чаще всего выступают рыбные консервы, хотя есть разработки и для плодово-овощных консервов.

В консервированной продукции значительная доля микробиологических загрязнений приходится на специи, дающие серьезный вклад в общую обсемененность консервов и пресервов дрожжами, что влияет на сроки хранения. Согласно исследованиям, проведенным во ФГБНУ ВНИИРАЭ, дозы 4-6 кГр считаются максимально

эффективными, но не приводящими к изменению органолептических свойств консервируемого продукта [73].

Радиационная обработка консервов может быть проведена на различных стадиях технологического процесса их производства. Облучение, встроенное в технологический процесс, требует применения специальной, достаточно сложной и дорогой радиационной техники, например, производимой канадской фирмой «Nordion», что сопряжено со значительными капитальными затратами.

При внедрении радиационной технологии в уже действующий технологический процесс имеются две возможности облучения: на входе технологии (облучение исходных продуктов и ингредиентов) и на выходе, т.е. облучение уже готового продукта, что предполагает включение в систему ХАССП дополнительной конечной контрольной точки.

Во ФГБНУ ВНИИРАЭ при оценке антимикробной эффективности радиационной обработки консервной продукции на различных электронных ускорителях (У003 «Электроника», ИЛУ-10, УЭЛР-10-10-40 и УЭЛР-10-15-С-60-1) с энергией электронов от 5 до 10 МэВ образцов консервов сразу после воздействия и во время хранения при низких положительных температурах ($5\pm 3^\circ\text{C}$) оказалось, что для их холодной пастеризации наиболее эффективно использование электронных ускорителей всех рассмотренных типов и дозы облучения от 3 до 6 кГр. Отмечается необходимость ограничения плотности потока электронов для 10 МэВ-установок, которая требует дальнейшего изучения [74].

Существующая на сегодняшний день техника для реализации радиационных технологий позволяет решать задачи обработки такой продукции в разнообразной упаковке [75].

Радиационная обработка является единственным методом, который может быть применен для антимикробной обработки упакованных продуктов, готовых к употреблению. При этом целостность упаковки, обеспечивающей сохранность достигнутого антимикробного эффекта, не нарушается, продукт не нагревается и обрабатывается весь объем [76].

Анализ опубликованных литературных источников показал, что в АПК радиационные технологии могут стать эффективными в ре-

сурсосбережении и повышении качества растительного сырья и продукции из него. По сравнению с обычными методами они требуют меньших затрат энергии, позволяют заменить или существенно сократить использование пищевых консервантов, фумигантов и других химических препаратов, при их применении не происходит термического разрушения органического материала. Оборудование для реализации радиационных технологий часто может встраиваться в традиционные технологические процессы, что является конкурентным преимуществом.

К основным сферам применения радиационных технологий в переработке сельскохозяйственных культур (зерновые, зернобобовые, кормовые, масличные, эфиромасличные, технические, овощные, лекарственные, цветочные, плодовые, ягодные растения, картофель, сахарная свёкла, виноград) относятся дезинфекция (специй, сушеных, свежих, замороженных овощей и фруктов, кормов для животных, растительного сырья и консервов из него, очистных стоков); облучение корнеплодов для задержки прорастания и борьбы с болезнями; интенсификация сокоотделения и экстракции компонентов из растительного сырья.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АПК

Обобщая данные информационных источников, можно заключить, что для эффективного развития радиационных технологий в АПК необходимо решение задач, основные из которых представлены на рис. 2. Над реализацией многих из них уже работают ведущие научные и производственные организации.

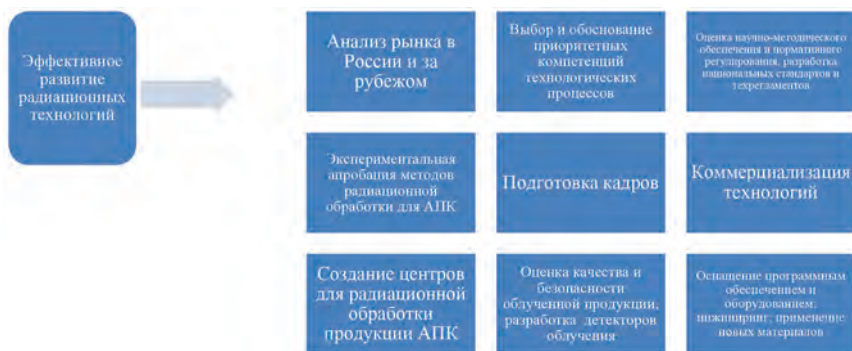


Рис. 2. Основные составляющие эффективного развития радиационных технологий для АПК

Для формирования научно-методической и технической баз радиационных технологий ФГБНУ ВНИИРАЭ выполнены анализ и обобщение результатов мирового и отечественного опыта, а также разработаны «Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве», «Концепция продолжения научно-практических работ по использованию радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности», оборудование и технологические регламенты, соответствующие требованиям отечественных и международных нормативных документов, для облучения ионизирующим и неионизирующим излучениями отдельных видов продукции АПК. Там же проведена экспериментальная апробация радиационной стерилизации свежих и сушеных овощей, специй и сушеных трав на γ -установке ГУР-120 для ингибирования микроорганизмов, вызывающих порчу продукции; установлены оптимальные режимы облучения для специй, сушеных трав и ово-

шей. При содействии ФГБНУ ВНИИРАЭ в ООО «Теклеор» создан промышленный радиационный комплекс по обработке пищевой и сельскохозяйственной продукции, эксплуатация которого позволит расширить возможности исследования влияния ускоренных электронов на новые виды сырья и пищевых продуктов.

Во ФГБНУ ВНИИРАЭ началась реализация задачи оснащения программным обеспечением оборудования для облучения путем его создания для установки ГУР-120. Данное программное обеспечение позволит получать прецизионные значения характеристик дозовых полей в облучаемом объекте для отработки технологических регламентов облучения различных видов продукции растительного и животного происхождения, решать «прямые» задачи (расчет дозовых полей в облучаемых объектах), «обратные» задачи (определение режима облучения для получения требуемых доз), оптимизировать сценарии облучения. Онлайн-режим работы программного обеспечения функционирует посредством широкого использования подготовленных баз данных [77].

Для обеспечения производственной базы облучения продукции АПК государственной корпорацией «Росатом» было запланировано создание двух центров радиационной стерилизации, один из которых представлен уже частично действующим Обнинским радиационным кластером. Там же разработана и предложена логистика дорожной карты освоения радиационных технологий в агропромышленном производстве Российской Федерации; корпорацией широко позиционируется усиление направления неэнергетического использования достижений атомной науки и техники в различных сферах экономики (рис. 3). Отечественная компания «Русатом Хэлскеа» – дочернее предприятие «Росатома» – разрабатывает новую технологию радиационной обработки пищевых продуктов [5, 78].

На предприятии госкорпорации «Росатом» АО «Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации» разработана радиационно-технологическая установка на основе радионуклида ^{60}Co (рис. 4), также институт оказывает широкий спектр инжиниринговых услуг по всем научно-техническим направлениям своей деятельности.



Рис. 3. Виды использования достижений атомной науки и техники в различных сферах экономики



Транспортная линия

Зона автоматической загрузки-выгрузки продукции

Рис. 4. Радиационно-технологическая установка на основе радионуклида ^{60}Co

Многочисленные разработки по вопросам облучения растительного сырья и продуктов его переработки имеются в ФГБНУ ВНИИ-

ТеК. Специалистами института создан экспериментальный радиационный центр с установкой гамма-излучения (Богучарово, Тульская обл.); промышленно апробировано оборудование для предприятий по облучению и оптимизации хранения картофеля (Черниговский овощесушильный завод, Украина); разработан проект γ -установки по радиационной обработке фруктового сырья для консервирования, сушки, производства соковой продукции. В настоящее время работа специалистов обеспечивает развитие наиболее перспективных направлений использования ионизирующих радиационных технологий в сфере обработки плодов и овощей. К таковым относятся: радиационная обработка картофеля и лука для предотвращения их прорастания; влияние облучения на ингибирование ростовых процессов в клубнях при дозах облучения 70-100 Гр из-за пострадиационного ослабления синтеза нуклеиновых кислот, изменения их качественного состава, нарушения процесса окислительного фосфорилирования, трансформации анатомического строения глазков; разработка технологий использования облученного картофеля для промышленной переработки (жареный, сушеный картофель и пюре); применение ионизирующих излучений для обработки фруктов, овощей и продуктов их переработки с целью антисептирования и снижения потерь при хранении.

С учетом пострадиационных физиолого-биохимических изменений в растительном сырье определены эффективные технологии хранения и переработки растительной продукции с использованием ионизирующего излучения. Предложенные разработки способны обеспечить повышение степени антисептирования и продолжительности хранения свежих и замороженных фруктов, овощей и продуктов их переработки в технологическом процессе; сохранение качества фруктов, овощей и продуктов их переработки; сокращение процесса сушки; направленное регулирование интенсивности процессов созревания и старения фруктов и овощей; увеличение выхода плодоовощных соков и экстрагируемости лечебных компонентов из растительного сырья [6].

В процессе исследований, проведенных ФГБНУ ВНИИТеК и Национальным исследовательским ядерным университетом «МИФИ», разработаны технологические схемы γ -облучения различных про-

дуктов и установлены режимы, при которых не происходят нежелательные изменения их качества. Как считают авторы исследований, применение для этих целей электронных ускорителей в радиационных технологиях агропромышленного комплекса является более предпочтительным. Определены перспективные направления использования ионизирующих излучений: электронное излучение с энергией не более 10 МэВ; γ -излучение искусственно произведенного радиоизотопа кобальта ^{60}Co (период полураспада $T_{1/2}=5,27$ года, энергия $E=1,25$ МэВ); гамма-излучение радиоизотопа цезий ^{137}Cs ($T_{1/2}=30,17$ года, $E=0,66$ МэВ), который выделяют из продуктов реакции деления, осуществляемой в ядерном реакторе; тормозное излучение, генерируемое электронным ускорителями с энергией не более 5 МэВ [17, 71, 79-82].

Научно-производственное отделение радиационных технологий Государственного научного центра – «Институт биофизики» НПО РТ совместно с ФГБНУ ВНИИТеК осуществляет разработку ряда технологических процессов с использованием электронных пучков, генерируемых линейными ускорителями электронов, с энергиями 8-10 МэВ. Имеются проверенные на практике технические решения по радиационной обработке продуктов и технологические решения, позволяющие организовать промышленный процесс, а также возможность на базе действующей технологической линии производить дезинсекцию и радуризацию продуктов питания. Экспериментально-промышленный комплекс состоит из двух линейных ускорителей электронов ИЛУ-14 и УЭЛР-10-10-40 с энергией пучка 8-10 МэВ, аттестованных Госстандартом, транспортной системы, комплекта контрольно-измерительной аппаратуры и стендов управления [17, 69, 79-83].

Учеными ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН впервые показана возможность электронно-лучевого преобразования воспроизводимого растительного сырья в стабильные жидкие продукты с высокими потребительскими качествами. Таким образом, можно получить ценные реагенты, топливо или топливные компоненты. Для синтеза жидкого топлива пригодны три фракции продуктов ЭЛ-перегонки:

- непосредственно жидкие органические продукты (50-60%);

- газообразные продукты (20%), поскольку они богаты водородом и представляют собой синтез-газ;
- древесный уголь (20-30%), поскольку он также может быть конвертирован в синтез-газ.

Соответственно, степень прямой и косвенной конверсии растительной биомассы в жидкое топливо может составлять от 60 до 90% сухой массы сырья. Качество жидкого топлива (выход компонентов, относящихся к моторному, дизельному, реактивному или котельному типу жидкого топлива) регулируется путем изменения условий ЭЛ-перегонки и последующей переработки парогазовой смеси.

При ЭЛ-перегонке в момент работы механизма саморазборки выход конверсии биомассы в жидкие органические продукты существенно выше продуктивности процессов получения биоэтанола или биодизельного топлива. Традиционные методы получения спирта в бродильных и гидролизных производствах характеризуются большим выходом высокозагрязненных стоков (последрожевая бражка, меласная барда и т.п.), обезвреживание которых достаточно трудоемко и дорого. ЭЛ-технология является безотходной и экологически чистой. С ее помощью из биомассы можно получить этанол, фураны, глицерин и его производные, углеводороды (прежде всего, изопрен), молочную, янтарную, гидроксипропионовую (или альдегид) и левулиновую кислоты, а также сорбит и ксилит [84].

В ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН разработаны методы создания биологически активных агрочипов, функционализированных по электронно-лучевой технологии. Биологически активные агрочипы с внедренными наночастицами (БАН, Biologically Active Nanochip, BAN) используются для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений с целью повышения урожайности и продуктивности. Железосодержащие наночастицы, синтезированные в обратных мицеллах, являются многофункциональным биологически активным и фитосанитарным веществом агрочипов из активных углей, полученных из сельскохозяйственных отходов: соломы топинамбура (*Helianthus tuberosus*), рапса (*Brassica napus* L. ssp. *Oleifera* Metzg), рыжика (*Camelina sativa* (L.) Crantz), пшеницы (*Triticum aestivum*). Результаты испытаний БАН-агрочипов на тест-культурах подтвердили их пригодность для агропромышленного комплекса и

эффективность методов электронно-лучевой активации и наномодифицирования активных углей из отходов растениеводства [85-95].

Представленные перспективные разработки и направления исследований ведущих научных и производственных организаций в данной сфере показали, что охвачены и постепенно решаются практически все задачи, определенные как составляющие эффективного развития радиационных технологий. Однако большинство экспериментов являются лабораторными. Мало информации о производственной апробации методов радиационной обработки для АПК, решении вопросов кадровой подготовки для облучательных центров и коммерциализации разработанных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современного состояния развития и применения радиационных методов в агропромышленном производстве показал, что более распространены и перспективны методы радиационного облучения сельскохозяйственной и пищевой продукции с применением электронных ускорителей. Исследования и практические испытания по облучению пищевой продукции проходят во многих научных и производственных организациях, имеются разработки эффективного оборудования для облучения, но их количества недостаточно для промышленного применения.

Приведенные данные об использовании методов ионизирующей радиационной обработки в технологиях АПК в большинстве подтверждают повышение сроков хранения и качества растительного сырья и готовой продукции при сокращении энергозатрат и времени их обработки. Разработанные для агропромышленного комплекса радиационные технологии отличаются ресурсосбережением, позволяют существенно снизить использование химических препаратов, при их применении не происходит термического разрушения органического материала.

Например, технология комплексного влияния режимов обработки свежих фруктов и овощей ионизирующими излучениями ФГБНУ ВНИИТеК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН» – обеспечивает высокую эффективность для задержки процессов созревания растительных тканей, стабилизации устойчивости к патогенам и продления сроков хранения. Потери растительной продукции при ее использовании сокращаются в 2-5 раз при высоких показателях качества. Использование методов радиационной обработки при производстве соков позволяет увеличить выход сока от 3 до 28%.

Радиационная обработка является перспективным методом, который может быть применен для антимикробной обработки упакованных продуктов, готовых к употреблению. При этом целостность упаковки, обеспечивающей сохранность достигнутого антимикробного эффекта, не нарушается, продукт не нагревается и обрабатывается весь его объем. С помощью радиационного облучения срок

хранения упакованного хлеба увеличивается на один месяц, такого результата не дают даже химические консерванты.

Методы радиационного облучения эффективны в комплексе с другими методами воздействия для повышения безопасности пищевой продукции и более успешного сохранения важнейших показателей качества (витамины, биологически активные соединения и др.). Например, технология комплексного применения γ -облучения и невысоких температур (0-4°C, доза 6-8 кГр) с упаковками с газовой средой CO₂, разработанная ФГБНУ ВНИИРАЭ, позволяет уменьшить используемую дозу γ -излучения и обеспечить сохранение земляники при 20°C в течение 30 дней, капусты – в течение 120 дней.

Есть перспективы использования радиационных технологий в борьбе с болезнями и порчей зерна и продукции из него, возникающими при хранении; а также при обработке плодоовощных консервов. Учеными ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН впервые показана возможность электронно-лучевого преобразования воспроизводимого растительного сырья в стабильные жидкие продукты с высокими потребительскими качествами. Таким образом, можно получить ценные реагенты, топливо или топливные компоненты (этанол, фураны, глицерин и его производные, углеводороды, молочная, янтарная, гидроксипропионовая (или альдегид), левулиновая кислоты, а также сорбит и ксилит).

В ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН созданы биологически активные агрочипы с внедренными наночастицами (БАН, Biologically Active Nanochip, BAN), которые используются для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений с целью повышения урожайности и продуктивности. Результаты испытаний БАН-агрочипов на тест-культурах подтвердили их применимость для агропромышленного комплекса и эффективность методов электронно-лучевой активации и наномодифицирования активных углей из отходов растениеводства. Материалы исследований, приведенные в издании, подтвердили наличие перспективных разработок, промышленно апробированных и готовых к апробации.

Одной из причин, сдерживающих развитие радиационных технологий в Российской Федерации, является недостаточное развитие отечественной нормативно-правовой базы. Ее сравнительный ана-

лиз с международными нормативными документами показал, что по сферам применения она в основном соответствуют международной, идет постоянная работа над созданием новых нормативных актов, но в отечественном нормировании еще необходима разработка ряда стандартов. К ним относятся стандарты, регламентирующие технологии облучения для отдельных культур и видов продукции, учитывающих воздействие сопутствующих облучению реакций, использования упаковки облучаемых продуктов.

Для эффективного развития радиационных технологий в агропромышленном производстве ощущается острая нехватка специализированных центров по облучению продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности. Как следствие, недостаточные объемы производственной апробации методов радиационной обработки для АПК и кадровой подготовки, трудности в коммерциализации разработанных технологий Отдельного рассмотрения требуют вопросы обязательного контроля пищевой ценности и безопасности облученных продуктов питания. Все представленные исследования подтверждают, что получение безопасной и сохранившей пищевую ценность продукции при ее ионизирующем облучении возможно только при неукоснительном соблюдении требований нормативных документов; использовании доз облучения, соответствующих данному виду продукции; проведении предварительного и последующего контроля ее безопасности и качества, учете воздействия возникающих сопутствующих реакций. Данные методы обработки растительного сырья и готовой продукции из него перспективны и могут способствовать повышению товарности и конкурентоспособности отечественного сельского хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Емельяненко А.** Пять дорог – и все из «Сколково» // Российская газета: сайт. URL: http://s3a2f2frg.ru/2f2012%2f03%2f12%2fenergetika.html&cc_key= (дата обращения: 18.04.2017).

2. **Грачева А. Ю., Завьялова М.А., Илюхина Н.В., Кухто В.А., Тарасюк В.Т., Филиппович В.П., Егоркин А.В., Часовских А.В., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Строкова Н.Е., Артемьев С.А., Полякова С.П.** Повышение эффективности хранения и переработки продовольственного сырья с использованием радиационных технологий // Ядерная физика и инжиниринг. – 2015. – Т. 6. – № 11-12. – С. 673-679.

3. **Быстров П.А., Гордеев А.В., Колоколова А.Ю., Завьялов М.А., Илюхина Н.В., Молин А.А., Павлов Ю.С., Полякова С.П., Прокопенко А.В., Филиппович В.П.** Перспективы применения облучения электронным пучком для обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции // Ядерная физика и инжиниринг. – 2018. – Т. 9. – № 2. – С. 211-216.

4. **Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н.** Перспективы развития рынка радиационных технологий в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности // Экономика с.-х. и перераб. предприятий. – 2015. – № 8. – С. 30-34.

5. **Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н.** Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – №5. – С. 87-92.

6. **Петров А.Н., Шишкина Н.С., Шаталова Н.И.** Перспективные направления применения ионизирующих излучений для оптимизации технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 222-225.

7. **Иванова Д.М., Кондакова Е.И., Ультан С.И.** Форсайт мирового рынка радиационных технологий // Молодёжь третьего тысячелетия : сб. науч. ст. – 2017. – С. 553-558.

8. **Gracheova A.Yu., Zaviyalov M.A., Kondratenko V.V., Filipovich V.P., Pavlov Yu.S., Prokopenko A.V.** // Accelerators application for radiation processing of foodstuffs. Proc. 24th Russian Particle Accelerator Conference RuPAC 2014. – 2014. – P. 470-472.

9. **Андреев М.П.** Радиационные технологии в пищевой промышленности // Перспективы рыболовства и аквакультуры в современном мире : матер. III науч. школы молодых учёных и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвященной 140-летию со дня рождения К.М. Дерюгина. / Под ред. А.М. Орлова, И.И. Гордеева, А.А. Сергеева. – 2018. – С. 10.

10. **Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Тихонов В.Н.** Перспективы применения физических факторов в АПК // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы» : матер. Международ. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 278-282.

11. Материалы сайта: доступ свободный https://ec.europa.eu/food/safety/biosafety/irradiation_en/ (дата обращения: 07.07.2019).

12. **Будник С.В., Шилов О.А.** Антимикробная обработка ускоренными электронами рыбы и морепродуктов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Международ. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 78-81.

13. **Громов А.А., Жанжора А.П., Коваленко О.И., Тенишев В.П.** Обработка пищевых продуктов ионизирующим излучением в Российской Федерации. – Там же. – С. 151-154.

14. Материалы сайта: доступ свободный http://rosatom.ru/about-nuclear-industry/ves-spektr-radiatsionnykh-tekhnologiy/index.php?sphrase_id=731585 (дата обращения 07.07.2019).

15. **Полякова С.П., Баженова А.Е., Пестерев М.А., Грачева А.Ю., Прокопенко А.В., Илюхина Н.В., Филиппович В.П., Павлов Ю.С., Завьялов М.А.** Использование ионизационного облучения для повышения микробиологической безопасности растительного сырья // Пища. Экология. Качество : тр. XIV Международ. науч.-практ. конф. (8-10 ноября 2017 г.). – Новосибирск: Новосибирский ГАУ. – 2017. – Т. 2. – С. 122-125.

16. **Сушенцова Д.М.** Современные технологии обработки пряностей // Евразийское пространство: добрососедство и стратегическое партнерство : матер. VIII Евразийского экономического форума молодежи. – В 3-х т. / Отв. за выпуск: Я.П. Силин, Р.В. Краснов, Е.Б. Дворянкина. – 2017. – С. 229-233.

17. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Федянина Н.И.** Трансформация факторов лежкоспособности свежих фруктов при обработке ионизирующими излучениями, модифицировании состава газовой среды и условий охлаждения // Междунар. науч.-практ. конференция, посвященная памяти В.М. Горбатова. – 2018. – № 1. – С. 297-299.

18. **Тимакова Р.Т.** Новое в национальной нормативной базе по регламентации применения радиационных технологий в пищевой промышленности // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания : матер. Междунар. науч.-практ. конф. / Отв. за выпуск: С.Л. Тихонов, Ю.А. Овсянников. – 2017. – С. 262-267.

19. **Никитюк Д.Б., Хотимченко С.А., Багрянцева О.В.** Вопросы нормирования качества и безопасности облученной пищевой продукции // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 37-40.

20. **Куликовский А.В., Вострикова Н.Л., Горбунова Н.А., Иванкин А.Н.** Идентификация накопления химических маркеров облучения в мясе при ионизирующей обработке. – Там же. – С. 203-207.

21. **Быстров П.А., Полякова С.П., Ревина А.А., Суворова О.В., Павлов Ю.С., Ершов Б.Г.** Возможности радиационного центра ИФХЭ РАН по исследованию электронно-лучевой обработки сельскохозяйственных и пищевых продуктов. – Там же. – С. 131-135.

22. **Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Тарарков А.Н., Вахнин Д.О.** ЭПР-спектроскопия пряностей // Вестн. ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 187-193.

23. **Delincée Henry**. Analytical methods to identify irradiated food – a review, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 63, Issues 3-6, March 2002. – P. 455-458.

24. **Al-Safadi B., Sharabi N. E., Nabulsi I.** Evaluation of Tissue Culture and Growth Assays to Identify Irradiated from Non-Irradiated Vegetables, Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria, Published online: 22 Oct 2008.

25. **Autio T., Pinnioja S.** (1990). Identification of irradiated foods by the thermoluminescence of mineral contamination. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* – 191(3):177-180.

26. **Delincée H.** (1998). Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends in Food Science & Technology* 9(2):73-82.

27. **Bayram G., Delincee H.** (2004). Identification of irradiated Turkish foodstuffs combining various physical detection methods. *Food Control* 15:81-91.

28. **Delincée H.** (1998b). Detection of irradiated food: DNA fragmentation in grapefruits. *Radiation Physics and Chemistry* 52:135-139.

29. **Desrosiers M. F., McLaughlin W. L.** (1990). Onion skin as a radiation monitor. *Radiation Physics and Chemistry* 35:321.

30. **Мусина О.Н., Коновалов К.Л.** Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов // *Пищ. пром-сть.* – 2016. – № 8. – С. 46-49.

31. **Асланова М.А., Дыдыкин А.С., Деревицкая О.К.** Влияние радиационной обработки на показатели окислительной порчи мясного фарша // *Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти В.М. Горбатова.* – 2018. – № 1. – С. 24-26.

32. **Баранов О.В., Быстров П.А., Гордеев А.В., Молин А.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Пучков С.Н., Соловьева В.И., Строкова Н.Е., Тарасюк В.Т., Филиппович В.П.** Изучение воздействия облучения электронным пучком на многослойные полимерные материалы после обработки и хранения в течение года // *Лазерные, плазменные исследования и технологии (ЛаПлаз-2018): сб. науч. тр. IV Междунар. конф.* – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 397-398.

33. **Vystrov P.A., Pavlov Yu.S., Souvorova O.V., Filippovich V.P., Pyhina N.V.** Effect of ozone in experiments on the development of food

irradiation methods. Proceedings of RuPAC2018, Protvino, Russia. Joint Accelerator Conferences Website Publishing (Geneva, Switzerland). – 2018. – С. 240-242.

34. **Ревина А.А., Геворгиз Р.Г., Лозинина С.С., Железнова С.Н., Тхан Т., Павлов Ю.С., Нехорошев М.В., Рябушко В.И.** Оптические свойства и радиационная стабильность экстрактов морской диатомеи *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimannet Lewin // Сорбционные и хроматографические процессы. – Воронеж: ВГУ, 2016. – Т. 16. – № 2. – С. 173-182.

35. **Ревина А.А., Павлов Ю.С., Суворова О.В.** Радиационная стабильность бурых макро- и микроводорослей, их спиртовых и водно-спиртовых экстрактов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : матер. XII Междунар. конф. (Ялта, 6-10 июня 2016 г.). – М.: РУДН, 2016. – С. 490-493.

36. **Ihsanullah I., Rashid A.** Current activities in food irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries, Food Control Volume 72, Part B, February 2017. – P. 345-359.

37. **Hallman G.J.** Process control in phytosanitary irradiation of fresh fruits and vegetables as a model for other phytosanitary treatment processes, Food Control Volume 72, Part B, February 2017. – P. 372-377.

38. **Ito H.** Hygienic Treatment of Foods by Ionizing Radiation, Foods Food Ingredients J. Jpn., 2004, Vol. 209, № 12. – P. 232-237.

39. Process control in phytosanitary irradiation of fresh fruits and vegetables as a model for other phytosanitary treatment processes, 2017 in Food Control, Guy J. Hallman15 (International Atomic Energy Agency).

40. **Follett P.A.** 2006b. Irradiation as a phytosanitary treatment for *Aspidiotus destructor* (Homoptera: Diaspididae). J. Econ. Entomol. 99 (6), 1138-1142.

41. **Follett P.A.** 2014. Phytosanitary irradiation for fresh horticultural commodities: generic treatments, current issues, and next steps. Stewart Postharvest Rev. 10 (3), 1.p. 7.

42. **Follett P.A., Snook K.** 2013. Cold storage enhances the efficacy and margin of security of phytosanitary irradiation treatments against fruit flies (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 106, 2035-2042.

43. **Obra G.B., Resilva S.S., Follett P.A., Lorenzana L.R.J.** 2014. Large-scale confirmatory tests of a phytosanitary irradiation treatment against *Sternochetus frigidus* (Coleoptera: Curculionidae) in Philippine mango. *J. Econ. Entomol.* 107. – P. 161-165.

44. **Thang K., Au K., Rakovski C., Prakash A.** 2016. Effect of phytosanitary irradiation and methyl bromide fumigation on the physical, sensory, and microbiological quality of blueberries and sweet cherries. *J. Sci. Food Agric.*

45. **Arthur V., Machi A.R.** 2016. Development of phytosanitary irradiation against *Aceria litchi* (Trombidiformes: Eriophyidae) on lychee. *Fla. Entomol.* 99. – P. 143-149.

46. **Рождественская Л.Н., Дриль А.А.** Использование электронной стерилизации при комплексной переработке, культивированной вешенки // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 225-227.

47. **Чиж Т.В., Лой Н.Н., Губарева О.С., Кузнецов В.К., Урсу Н.В., Гулина С.Н.** Влияние гамма-излучения на продолжительность хранения и показатели качества картофеля. – Там же. – С. 238-241.

48. **Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В., Гулина С.Н.** Применение радиационных технологий при хранении картофеля // Науч. тр. / СКФНЦСВВ. – Т. 20. – 2018. – С. 66-71.

49. **Цыгвинцев П.Н.** Торможение физиологических процессов в клубнях картофеля после облучения // Междунар. жур. прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 11. – С. 341-346.

50. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И., Левшенко М.Т., Коровкина Н.В.** Эффективная комплексная технология хранения фруктов и овощей с применением ионизирующих излучений и модифицированием состава газовой среды // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 318-321.

51. **Лой Н.Н., Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В., Гулина С.Н.** Влияние гамма-облучения на хранение и качество свежих овощей и фруктов. – Там же. – С. 214-217.

52. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Федянина Н.И.** Исследование влияния обработки ионизирующим излучением на лежкоспособность фруктов, различающихся по видовым особенностям // Холодильная техника. – 2018. – № 12. – С. 42-48.

53. **Чиж Т.В., Лой Н.Н., Павлов А.Н.** Радиационная обработка свежих овощей и фруктов – развитие технологии и применение // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – С. 242-246.

54. **Мальцев С.В.** Влияние химических и физических методов воздействия на клубни картофеля различного назначения при хранении / Мальцев С.В., Пшеченков К.А., Зейрук В.Н. // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 285-289.

55. **Петров А.Н., Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Ключева О.А., Левшенко М.Т.** Применение ионизирующих излучений для оптимизации технологии хранения плодоовощной продукции // Холодильная техника. – 2015. – №11. – С. 51-55.

56. **Кондратенко В.В., Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И., Коровкина Н.В., Степанищева Н.М., Левшенко М.Т., Тарасюк В.Т.** Эффективность обработки листовых овощей ионизирующими излучениями // Холодильная техника. – 2017. – № 12. – С. 38-44.

57. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И., Тарасюк В.Т., Степанищева Н.М., Коровкина Н.В.** Влияние физических методов обработки и полимерных упаковок на сохранность качества перца и шпината в предреализационный период // Холодильная техника. – 2018. – № 9. – С. 48-53.

58. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Федянина Н.И.** Влияние гамма-излучения на качество фруктов и увеличение выхода соков // Холодильная техника. – 2018. – № 11. – С. 28-33.

59. **Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И.** Применение ионизирующих излучений для увеличения выхода фруктовых соков // Актуальные вопросы индустрии напитков: сб. науч. тр. – М., 2018. – С. 192-197.

60. **Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю., Прокопенко А.В., Филиппович В.П.** Закономерности ингибирования условно-патогенной микрофлоры под воздействием ионизационного облучения // *Международ. с.-х. жур.* – 2018. – № 5 (365). – С. 70-72.

61. **Санжарова Н.И.** Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: история, современное состояние и перспективы // *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы* : матер. Международ. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 32-36.

62. **Петров А.Н., Гельфанд С.Ю., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Прокопенко А.В.** Перспективы радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции // *Научно-инновационные аспекты при создании продуктов здорового питания.* – М.: РАСХН, 2012. – С. 194-196.

63. **Санжарова Н.И., Гераськин С.А., Исамов Н.Н., Козьмин Г.В., Лой Н.Н., Павлов А.Н., Пименов Е.П., Цыгвинцев П.Н.** Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2013. – 133 с.

64. **Бондаренко В.С., Татарова М.Ю.** Полиморфизм IRAP-маркеров в зародышах семян ячменя при радиационном воздействии // *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы* : матер. Международ. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 54-58.

65. **Гераськин С.А., Волкова П.Ю., Чурюкин Р.С., Битаршвили С.В., Бондаренко В.С., Казакова Е.А.** Механизмы формирования адаптивных реакций при облучении семян сельскохозяйственных культур низкими дозами ионизирующего излучения. – Там же. – С. 69-72.

66. **Перькова А.В., Волкова П.Ю.** Анализ изменений пролиферативной активности клеток корневой меристемы проростков ячменя, выросших из гамма-облученных семян. – Там же. – С. 98-100.

67. **Конюхов Г.В., Низамов Р.Н., Тарасова Н.Б., Вагин К.Н., Шашкаров В.П.** Биологическая полноценность и безвредность зер-

на, полученного с использованием радиационных технологий. – Там же. – С. 199-202.

68. **Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Полякова И.В.** Перспективы использования радиационной обработки для решения проблемы микотоксинов в сельскохозяйственном сырье и пищевой продукции. – Там же. – С. 187-191.

69. **Усенко Н.И., Отмахова Ю.С., Брызгин А.А.** Возможности и условия применения технологии ионизирующего облучения зерна пшеницы и муки. – Там же. – С. 234-237.

70. **Кобялко В.О., Полякова И.В., Саруханов В.Я., Фролова Н.А., Дыдыкин А.С., Лауринавичюс К.С., Дороничев Ф.В.** Радиационная обработка пищевых продуктов животного происхождения в целях обеспечения продовольственной безопасности военнослужащих // Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти В.М. Горбатова. – 2018. – № 1. – С. 106-110.

71. **Неменушая Л.А.** Методы лазерной, радиационной и других видов обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 56 с.

72. **Полякова И.В., Дороничев Ф.В., Морозова А.С., Кобялко В.О., Лауринавичюс К.С.** Изменение качественного и количественного состава микроорганизмов в рыбных пресервах после холодной пастеризации электронным излучением // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 104-107.

73. **Васильева Н.А., Морозова А.И., Кобялко В.О., Пименов Е.П.** Вклад специй в обсемененность рыбных пресервов дрожжами и их инактивация с помощью ионизирующего излучения – Там же. – С. 181-184.

74. **Кобялко В.О., Полякова И.В., Саруханов В.Я., Васильева Н.А., Морозова А.И., Лауринавичюс К.С., Дороничев Ф.В., Фролова Н.А., Губина О.А.** Холодная пастеризация рыбных пресервов с использованием электронного излучения // Междунар. науч.-исслед. жур. – № 10 (76). – Ч. 1. – С. 74-80.

75. **Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Полякова И.В., Лауринавичюс К.С., Дороничев Ф.В., Дыдыкин А.С.** Радиационная обра-

ботка рыбной и мясной продукции // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С.192-195.

76. Материалы сайта: доступ свободный http://rosatom.ru/journalist/smi-about-industry/minzdrav-podderzhal-izuchenie-obrabotki-produktov-ioniziruyushchim-oblucheniem/?sphrase_id=731585 (дата обращения: 15.07.2019).

77. **Денисова Э.Н., Снегирев А.С., Козьмин Г.В., Павлов А.Н., Кураченко Ю.А.** Программное обеспечение для облучательской установки ГУР-120 // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 155-157.

78. Материалы сайта: доступ свободный http://rosatom.ru/journalist/news/v-ramkakh-foruma-ndexpo-2017-proshel-kruglyy-stol-zabota-ozhizni-innovatsionnye-tekhnologii-obrabot/?sphrase_id=731585 (дата обращения: 15.07.2019).

79. **Пименов Е.П., Павлов А.Н., Козьмин Г.В., Спирин Е.В., Санжарова Н.И.** Исследование эффективности радиационной стерилизации растительного сырья с использованием установки гамма-излучения ГУР-120 // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22. – № 4. – С. 37-42.

80. Материалы сайта Продукция и услуги [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vniitfa.ru> (дата обращения: 08.04.2015).

81. **Грачева А.Ю., Илюхина Н.В., Калинина Ж.А., Курбанова М.Н., Селютина Т.А.** Обработка ионизирующим излучением как способ повышения микробиологической безопасности пищевых продуктов // Качество продукции, технологий и образования : матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 47-50.

82. **Гельфанд С.Ю., Петров А.Н., Филиппович В.П.** и др. Современные аспекты радиационной обработки пищевых продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 2. – С. 25-31.

83. **Брызгин А.А., Безуглов В.В., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Максимов С.А., Нехаев В.Е., Радченко В.М., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л.** Промышленные уско-

рители ИЛУ для облучения пищевых продуктов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 128-130.

84. **Пономарев А.В., Ершов Б.Г.** Интегрированные технологии на основе электронно-лучевой переработки целлюлозосодержащих сельскохозяйственных отходов. – Там же. – С. 141-144.

85. **Ершов Б.Г., Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Илюхина Н.В., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Филиппович В.П.** Радиационно-биологические технологии, реализованные в центре радиационных технологий ИФХЭ РАН // Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробiotехнологиях : круглый стол XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – М.: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016. – С. 59-64.

86. **Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Казякин А.А., Шинкарев В.М.** Центр радиационных технологий ИФХЭ РАН: возможности и перспективы. – Там же. – С. 88-94.

87. **Павлов Ю.С., Ревина А.А., Кузнецов М.А., Суворова О.В., Сурма А.М., Лагов П.Б., Быковченко Т.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Доброхотов В.В., Павлов В.А., Непомнящий О.Н.** Промышленные электронно-лучевые технологии, реализованные на ускорителе УЭЛВ-10-20-С-70-2 // Актуальные проблемы химии высоких энергий : сб. VI Всерос. конф. (с приглашением специалистов стран СНГ), (Москва, 20-22 октября 2015 г.). – М.: Граница, 2015. – С. 268-273.

88. **Gracheova A.Yu., Zaviyalov M.A., Kondratenko V.V., Filipovich V.P., Pavlov Yu.S., Prokopenko A.V.** Accelerators application for radiation processing of foodstuffs // Proceedings 24-th Russian Particle Accelerator Conference RuPAC-2014, Obninsk, Russia, Joint Accelerator Conferences Website Publishing (Geneva, Switzerland), 2014. – С. 470-472.

89. **Павлов Ю.С.** Российские промышленные электронно-лучевые технологии в 2014 году // Радиационная физика твёрдого тела : сб. трудов XXIV Междунар. конф. (Севастополь, 7-12 июля 2014 г.) / Под ред.

заслуженного деятеля науки РФ, д-ра ф.-м. наук, проф. Бондаренко Г.Г. – М.: ФГБНУ НИИПМТ, 2014. – С. 22-33.

90. **Bystrov Peter A., Pavlov Yuri S., Souvorova Olga V., Yakupov Igor Yu** Formation of irradiation beams on accelerator UELV-10-10-C-70 for research of the radiation resistance of polymers // Radiation Physics and Chemistry, Elsevier (United States), 2019. – Т. 161. – С. 83-86.

91. **Pavlov Y.S., Revina A.A., Souvorova O.V., Voropaeva N.L., Chekmar D.V., Abkhalimov E.V., Zavyalov M.A., Filippovich V.P.** Electron beam agrobionanotechnologies for agriculture and food industry enabled by electron accelerators // Conference Series. – Institute of Physics (United Kingdom), 2018. – Т. 941. – С. 1012-1098.

92. **Bystrov P.A., Gordeev A.V., Kolokolova A.Yu, Zavyalov M.A., Pyukhina N.V., Molin A.A., Pavlov Y.S., Polyakova S.P., Prokopenko A.V., Filippovich V.P.** Prospects of Electron Beam Irradiation to Ensure Microbiological Safety of Food Products // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing, Ltd (Road Town, United Kingdom), 2018. – Т. 81. – № 10. – С. 1526-1530.

93. **Gracheva A.Yu, Zavyalov M.A., Pyukhina N.V., Kukhto V.A., Tarasyuk V.T., Filippovich V.P., Egorkin A.V., Chasovskikh A.V., Pavlov Yu.S., Prokopenko A.V., Strokovina N.E., Artemyev S.A., Polyakova S.P.** Enhancement of Efficiency of Storage and Processing of Food Raw Materials Using Radiation Technologies // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing, Ltd (Road Town, United Kingdom), 2016. – Т. 79. – № 14. – С. 1682-1687.

94. **Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В.** Радиационное воздействие электронов на суспензии микроорганизмов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техническая физика и автоматизация. – М.: АО «НИИ технической физики и автоматизации», 2015. – Т. 71. – С. 73-79.

95. **Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Кухто В.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В.** Радиационное воздействие электронов на чистые культуры микроорганизмов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 12. – С. 45-49.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПОНЯТИЕ, ВИДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	7
2. НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ...	16
3. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	27
4. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	37
4.1. Радиационная обработка специй, пряностей, сушеных овощей и трав.....	37
4.2. Радиационная обработка свежей продукции растениеводства (фруктов, овощей, картофеля, грибов, зерна, хлеба).....	40
4.3. Радиационная обработка консервированной продукции.....	52
5. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АПК.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
ЛИТЕРАТУРА	65

**Павлов Юрий Сергеевич,
Петров Андрей Николаевич,
Тришканева Марина Валерьевна,
Федянина Наталья Игоревна,
Мишуров Николай Петрович,
Неменушая Людмила Алексеевна**

**РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Научный аналитический обзор

Редакторы: *И.С. Горячева, М. Н. Жукова*
Обложка художника *П. В. Жукова*
Компьютерная верстка *Г. А. Прокопенковой*
Корректоры: *С.И. Ермакова, М.А. Обознова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 12.09.2019 Формат 60x84/16
Бумага офсетная Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная
Печ. л. 5 Тираж 500 экз. Изд. заказ 71 Тип. заказ 553

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-1521-3



9 785736 715213

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

Информационный бюллетень Минсельхоза России выпускается ежемесячно тиражом более 4000 экземпляров и распространяется во всех регионах страны, поступает в органы управления АПК субъектов Российской Федерации. В журнале публикуются материалы информационно-аналитического характера о деятельности Министерства по реализации государственной аграрной политики, отражаются приоритеты, цели и направления развития сельского хозяйства и сельских территорий, материалы о мероприятиях, проводимых с участием первых лиц государства по вопросам развития отрасли, освещается ход реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы.

Вы прочтете проблемные статьи и интервью с руководителями регионов, ведущими учеными-аграрниками, руководителями сельхозпредприятий и фермерами. Широко представлены новости АПК регионов.

В приложении к Информационному бюллетеню публикуются официальные документы – постановления Правительства России, законодательные и нормативные акты по вопросам АПК, приказы Минсельхоза России.

**Подписку можно оформить через Роспечать (индекс 37138)
и редакцию с любого месяца и на любой период,
перечислив деньги на наш расчетный счет.**

**Стоимость подписки на второе полугодие 2019 г. с учетом доставки
по Российской Федерации – 2256 руб. с учетом НДС (10%);
376 руб. с учетом НДС (10%) за один номер.**

Банковские реквизиты: УФК по Московской области
(Отдел №28 Управления Федерального казначейства по МО)
ИНН 5038001475 / КПП 503801001 ФГБНУ «Росинформагротех»,
л/с 20486Х71280, р/с 40501810545252000104 в ГУ Банка России
по ЦФО БИК 044525000 в назначении платежа указать

**Журнал уже получают тысячи сельхозтоваро-
производителей России и стран СНГ**

В Информационном бюллетене Минсельхоза России
Вы можете разместить свои аналитические
и рекламные материалы, соответствующие целям
и профилю журнала. Размещение рекламы
можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех»,
перечислив деньги на наш расчетный счет.

Телефоны для справок: 8 (496) 531-19-92,
(495) 993-55-83,
(495) 993-44-04.

Факс 8 (496) 531-64-90

e-mail: market-fgnu@mail.ru, ivanova-fgnu@mail.ru



