

УДК 631.147+338.43

# РАЗВИТИЕ РЫНКА РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Г. В. КОЗЬМИН<sup>1</sup>,  
Н. И. САНЖАРОВА<sup>1</sup>,  
И. И. КИБИНА<sup>2</sup>, А. Н. ПАВЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВА-  
ТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ И  
АГРОЭКОЛОГИИ,

<sup>2</sup> ЗАО «РУСАТОМ ОВЕРЗИС»  
ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Обоснованы перспективы разработок и коммерциализации экологически безопасных радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Дана краткая характеристика состояния и развития мирового рынка РТ, предложена логистика дорожной карты внедрения РТ в отечественное агропромышленное производство.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиационные технологии, компетенции, нормативное регулирование, факторы развития отечественного и мирового рынка.

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации невозможно без внедрения в агропромышленную сферу эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых перспективными являются радиационные технологии (РТ). В соответствии с «Решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию» от 11 декабря 2014 г. поставлена задача по внедрению радиационной обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции в агропромышленное производство. Радиационные технологии могут быть использованы для повышения урожайности и улучшения качества продукции, увеличения сроков ее хранения и снижения потерь при хранении, уничтожения патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей, селекции новых сортов и обеззараживания отходов животноводства [1–4]. Эти технологии опираются на междисциплинарные знания фундаментальных за-

## THE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN MARKET OF RADIATION TECHNOLOGY IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

G.V. KOZMIN, N.I. SANZCHAROVA,  
I.I. KIBINA, A.N. PAVLOV

Perceptivity of development and commercialization of ecologically safe radiation technologies in agriculture and food-processing industry is proved. The present paper provides a brief summary of development of world market and roadmap of adoption of new technology in agro-industrial complex.

**KEYWORDS:** radiation technologies, technological competence, normative regulation, development factors of the domestic business.

конов ядерной и радиационной физики, дозиметрии ионизирующих излучений и радиобиологии, требуют разработки специфических технологических процессов и создания специальной радиационной техники. По сравнению с обычными методами РТ позволяют заменить или резко снизить использование пищевых консервантов, фумигантов и других химических препаратов.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ И МИРОВОЙ РЫНОК РТ

Компетенции радиационных технологий в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений представлены в табл. 1.

По данным МАГАТЭ, во всем мире усиливается интерес к использованию радиационных технологий агропромышленного профиля. В частности, в 69 странах действует разрешение на облучение более чем 80 видов продукции, около 40 стран проводят облучение пищевой продукции на постоянной основе [4, 5]. В

ТАБЛИЦА 1.

Компетенции радиационных технологий в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений [3, 4]

Компетенция	Доза (кГр)	Облученные продукты
Низкая доза (до 1 кГр)		
Стимуляция семян сельскохозяйственных культур	0,003–0,05	Семена сельскохозяйственных культур
Задержка прорастания корнеклубнеплодов и луковиц, заложенных на хранение	0,03–0,15	Картофель, лук, чеснок, корнеплоды, имбирь и т.п.
Уничтожение насекомых-вредителей	0,15–1,0	Зерно, крупы, мука, орехи, семена масличных культур и бобовых, свежие и сушеные фрукты и овощи, вяленая рыба и т.п.
Задержка созревания фруктов	0,2–1,0	Свежие фрукты
Средняя доза (1–10 кГр) (Радисидация, радуризация)		
Инактивация отдельных патогенов и /или уничтожение различных паразитарных организмов	0,1–3,0	Пищевая продукция животного и растительного происхождения
Увеличение срока годности за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов	0,5–3,0	Фрукты, овощи, мясо, мясной фарш, полуфабрикаты и готовые блюда
Инактивация неспорообразующих бактерий ( <i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Listeria</i> ) в свежей и замороженной пище	3–10	Свежие и замороженные продукты животного и растительного происхождения
Стерилизация и улучшение технологических свойств пищи, сокращение времени сушки и кулинарной обработки	3–10	Ягоды (повышение выхода сока), сушеные овощи (сокращение времени кулинарной обработки)
Снижение численности микроорганизмов в специях и других сушеных ингредиентах	3–10	Специи, сушеные пищевые ингредиенты
Высокая доза (10–50 кГр) (Радаппертизация)		
Производство микробиологически безопасной пищевой продукции с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации после замораживания	25–60	Мясо, птица, фарш, морепродукты, готовая пища, стерилизованные больничные диеты

настоящее время в мире создано около 220 специализированных центров по облучению сельскохозяйственной продукции и продуктов питания (рис. 1).

Лидерами в области применения радиационных технологий являются Китай и США.

Общий годовой объем облученной продукции в мире к настоящему времени оценивается в 700–800 тыс. т, а рынок облучения – на сумму более 2 млрд долл. и имеет устойчивую тенденцию роста [6, 7].

### РАДИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА

Для промышленной реализации процессов радиационно-биологической технологии используют как  $\gamma$ -установки, так и ускорители электронов. В настоящее время для радиационной обработки пищевых продуктов разрешено применять установки со следующими видами ионизирующего излучения [8]:

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

Для промышленной реализации процессов радиационно-биологической технологии используют как  $\gamma$ -установки, так и ускорители электронов. В США разрешено облучать продукты тормозным излучением с максимальной энергией 7,5 МэВ. В остальных странах, где законодательно возможно облучение пищевых продуктов, верхняя граница энергии фотонов тормозного излучения ограничена 5 МэВ.

Кодекс Алиментариус «Облученные продукты питания», а также нормативные документы по вопросам применения РТ ограничивают максимальную энергию электронов и энергию тормозного рентгеновского излучения с тем, чтобы практически исключить образование в продуктах радионуклидов наведенной активности в результате электронно-ядерных и фотоядерных реакций [9]. Поэтому при обработке пищевых продуктов применяют рентгеновские лучи с энергией не ниже 5 МэВ, а пучки электронов – на уровне или ниже 10 МэВ.

Для обработки пищевых продуктов из-за их высокой плотности ( $\sim 1$  г/см<sup>3</sup>) и большого размера упаковок в основном применяются ускорители в режиме тормозного излучения и радиоизотопные источники  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Для крупных аграрных объединений целесообразно создание промышленных радиацион-



Рис. 1. Глобальная сеть радиационных центров с компетенциями агропромышленного профиля и тенденции роста рынка РТ [5] с изменениями)

ных центров с применением мощных  $\gamma$ -установок. В качестве примера на рис. 2 показана технологическая схема промышленного радиационного центра по облучению медицинской, сельскохозяйственной и промышленной продукции на мощной  $\gamma$ -установке.

В отличие от  $\gamma$ -установок ускорители генерируют электронное излучение только тогда, когда включены в электрическую сеть. Размах современного внедрения электронно-лучевых установок наглядно иллюстрирует такой факт, что ежегодный прирост новых радиационных с использованием ускорителей электронов составляет несколько десятков, в том числе в Китае в строй вводится более 50 ускорителей в год [10]. В Российской Федерации Государственной корпорацией «Росатом» завершается создание двух центров ра-

диационной стерилизации в России, один из которых будет представлен Обнинским радиационным кластером на базе Обнинского филиала ОАО ГНЦ «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова» (НИФХИ) и ВНИИРАЭ.

Основой промышленного радиационного стационарного комплекса является линейный импульсный ускоритель электронов УЭЛР совместного производства НИИЭФА им. Д.В. Ефремова и НПП «Корад». Радиационная установка включает ускоритель электронов с энергией 10 МэВ и конвейер, размещённые внутри помещения с бетонной радиационной защитой площадью  $16,5 \times 15,3 \text{ м}^2$  и высотой 7,7 м (рис. 3). Установка обеспечивает производительность до 5 т/ч при облучении продуктов питания с дозой 5 кГр [11].

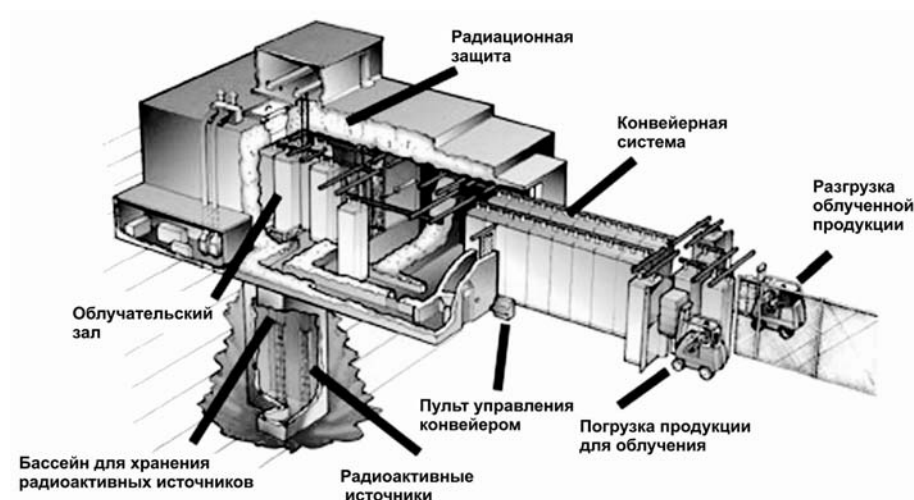


Рис. 2. Радиационный стационарный комплекс для облучения продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности с использованием мощной  $\gamma$ -установки [3]

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РТ

Разработка фундаментальных основ управления микробиологическими, биохимическими и технологическими процессами с использованием ионизирующих излучений при производстве и хранении продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности в настоящее время находится в поле зрения многочисленных лабораторий, работающих во многих странах мира. Достаточно привести пример таких ведущих научных организаций, как: 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 Джехангира Баба (Индия), Институт пищевой промышленности и радиобиологии (Бангладеш), ГНУ «ОИЭиЯИ – Сосны» НАН Беларуси и др. Как видно из представленного списка, география расположения научных лабораторий охватывает весь мир. Это свидетельствует о пристальном внимании мировой науки к вопросам научно-методического обеспечения прорывных технологий, какими являются РТ.

К настоящему времени мировым научным сообществом подготовлена обширная информационная база по фундаментальным основам РТ и прикладным вопросам, которая после необходимой экспериментальной апробации может быть с успехом использована

для создания предпосылок внедрения инновационных экологически безопасных РТ в отечественное агропромышленное производство. В частности, ранее полученные результаты [12] и разработанные международные стандарты [13, 14] позволили провести во ВНИИРАЭ экспериментальную апробацию радиационной стерилизации свежих и сушеных овощей, специй и сушеных трав на  $\gamma$ -установке ГУР-120 (рис. 3) в целях ингибирования патогенных и условно патогенных микроорганизмов (*E. coli*, *Salmonella enteritidis*, *Aspergillus fischeri*), а также микроорганизмов родов *Bacillus*, *Clostridia*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, вызывающих порчу продукции.

Установлены оптимальные режимы облучения для специй (перец черный, перец красный, кориандр), сушеных трав (петрушка, укроп, базилик), сушеных овощей (капуста сушеная дробленая, лук сушеный дробленый). Отработанные режимы  $\gamma$ -облучения положены в основу технологического регламента применения  $\gamma$ -установок с мощностью поглощенной дозы в диапазоне 0,7–1,0 кГр для коммерциализации процесса стерилизации данной продукции растительного происхождения.

Анализ и обобщение результатов собственных исследований, опубликованных зарубежных и отечественных источников информации, а также международных и отечественных нормативных документов позволили разработать научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве для всех компетенций, представленных в табл. 1 [4].

## НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РТ

В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в научном



РИС. 3.

Общий вид радиационной установки конвейерного типа на основе линейного ускорителя электронов с энергией 10 МэВ [11]

заключении по вопросам эффективности радиационной обработки и микробиологической безопасности облученной пищи подтвердила перспективность использования ионизирующих излучений в агробiotехнологиях [14].

При разработке всех технологических регламентов радиационной обработки продукции агропромышленного производства используются «Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением» (2003), нормы и правила, изложенные в Кодексе Алиментариус «Облученные продукты питания» (2007), а также нормативные документы, регламентирующие порядок радиационной обработки различных видов сельскохозяйственной и пищевой продукции и методы дозиметрических измерений.

Технологические регламенты РТ должны обеспечить микробиологическую безопасность и качество облученной продукции в соответствии с требованиями стандартов по организации практики производства и контроля качества продукции: Международного свода правил, определяющих общие принципы гигиены пищевых продуктов, Государственного стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 51705.1 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП», Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011, санитарных правил СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» и СанПиН 2.3.2.1324-03 «Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов».

Следует отметить, что отечественное нормативное регулирование применения радиационных технологий в области пищевой промышленности и сельского хозяйства несовершенно, требует модификации и разработки национальных стандартов по облучению конкретных видов сельскохозяйственной и пищевой продукции.

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА РТ

Как уже отмечалось, мировой рынок услуг по облучению продуктов питания и сельскохозяйственной продукции оценивается на сумму более 2 млрд долл. Ожидается, что рынок к 2020 г. составит 4,8, а к 2030 г. – 10,9 млрд долл. (рис. 4) [6].

С использованием показателей роста мирового рынка РТ агропромышленного профиля [6, 7] проведена оценка развития рынка облучения по различным номенклатурам сельскохозяйственной продукции на 2020 и 2030 гг. (табл. 2).

Перспективы развития и коммерциализации РТ агропромышленного профиля в основном зависят от возможностей внедрения в производство специализированной радиационной техники и строительства крупных радиационных центров. В настоящее время Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» позиционирует усиление направления неэнергетического использования достижений атомной науки и техники в различных сферах человеческой деятельности, включая сельское хозяйство. Предполагается, что доля Госкорпорации «Росатом» на мировом рынке РТ должна резко возрасти (в настоящее время она равна 3%).

В 2011 г. Госкорпорацией «Росатом» была образована дочерняя компания АО «Русатом Оверсиз» с целью продвижения российских атомных технологий на мировом рынке. «Русатом Оверсиз» выступает в роли интегратора комплексного решения Госкорпорации «Росатом» в сфере атомной энергетики, руководит продвижением интегрированного предложения и развитием российского атомного бизнеса за рубежом. Кроме того «Русатом Оверсиз» выступает в роли девелопера зарубежных проектов Госкорпорации «Росатом», реализуемых по схеме build–own–operate (BOO). Подписано соглашение с индийской компанией «Gamma Tech» о строительстве 10 радиационных центров в Индии. Центры будут осуществлять обеззараживание продовольственных товаров и обработку продукции медицинского назначения ионизи-

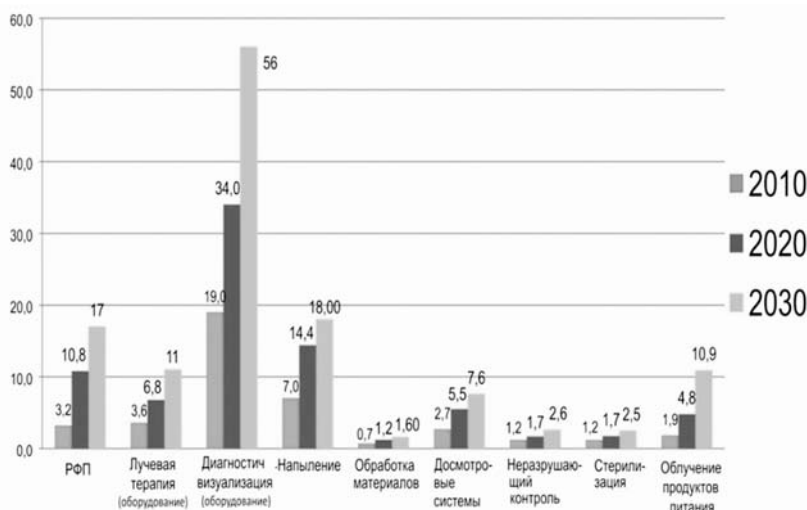


Рис. 4.

Тенденции роста мирового рынка РТ (млрд долл.) согласно прогнозу Центра стратегических разработок «Северо-Запад»

ТАБЛИЦА 2.

Прогноз развития мирового рынка облучения по различным номенклатурам сельскохозяйственной продукции на 2020 и 2030 гг.

Направление использования РТ	Рынок на 2020 г., млрд. долл.	Рынок на 2030 г., млрд. долл.
Стерилизация специй, сухих овощей и фруктов	2,2	5,0
Дезинсекция и стерилизация цельного зерна и фруктов	0,93	2,2
Стерилизация мяса и морепродуктов	0,38	0,9
Торможение роста корнеплодов	1,1	2,4
Облучение других видов продукции (диетические продукты, мед и др.)	0,19	0,4
Все направления РТ	4,8	10,9

рующим излучением в целях стерилизации. Планируется построить центры в штатах Тамил-Наду, Керала, Карнатака, Андхра-Прадеш и Махараштра. Первые два пилотных центра облучения предполагается открыть в штате Тамил-Наду. В настоящее время «Русатом Оверсиз» уже завершает строительство двух центров радиационной стерилизации в России.

#### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Представленные материалы, характеризующие позитивные экономические тенденции развития мирового рынка РТ, научно-технические достижения и технологические направления экологически безопасных радиационных агротехнологий дают основание предложить следующую логику дорожной карты внедрения РТ в агропромышленное производство России:

– Анализ мирового и отечественного рынка радиационных технологий агропромышленного назначения, экономическое обоснование и выбор приоритетных компетенций технологических процессов, оценка полноты научно-методического обеспечения и нормативного регулирования.

– Разработка национальных стандартов и технологических регламентов радиационной обработки тех видов продукции, для которых в достаточной мере апробированы и внедрены в зарубежную и отечественную практику режимы облучения, обеспечивающие достижение искомого результата.

– Экспериментальная апробация методов радиационной обработки ионизирующими излучениями сельскохозяйственной и пищевой продукции с оценкой качества и безопасности облученных продуктов.

– Создание сети радиационных центров на территории Российской Федерации для радиационной обработки продукции агропромышленного производства с учетом географии размещения радиационных центров и крупных производственных объединений МСХ РФ по хранению и переработке продукции агропромышленного производства.

– Профессиональная подготовка кадров по вопросам технического, научно-методического, нормативного и технологического обеспечения радиационных агротехнологий.

– Коммерциализация РТ агропромышленного профиля.

Внедрение РТ с использованием ионизирующих излучений может стать ключевым методом сохранения сельскохозяйственной продукции и сыграть тем самым важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России.

Работа поддержана грантом регионального конкурса РФФИ «ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ», проект №14-44-03095 «Изучение радиационно-химических и биологических эффектов, определяющих компетенции радиационных агротехнологий и разработка научно-методической базы их внедрения в АПК РФ».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **КАУШАНСКИЙ Д.А., КУЗИН А.М.** Радиационно-биологическая технология. М.: Энергоатомиздат, 1984. 151 с.
2. Food irradiation research and technology / Edited by Christopher H. Sommers and Xuetong Fan. Oxford: Blackwell Publishing Professional. 2006. 317 p.
3. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / ed. Ioannis S. Arvanitoyannis. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo. Academic Press is an imprint of Elsevier. 2010. 710 p.
4. **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. 133с. ISBN 978-5-903386-31-4.
5. **МОЛИН А.А.** Развитие нормативного регулирования и популяризация применений радиационных

- технологий в области пищевой промышленности. ООО «Объединенная инновационная корпорация». Предприятие Госкорпорации «Росатом». 2012.
6. Концепция стратегической программы исследований технологической платформы «Радиационные технологии». Москва-Сколково. 2012.
  7. **КУМЕ Т., FURUTA M., TODORIKIS S., UENOYAMA N., KOVAYASHI Y.** Status of food irradiation in the world // Radiation Physics and Chemistry. 2009. V. 73. P. 222–226.
  8. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. М.: Весь Мир, 2007. 21 с.
  9. Natural and induced radioactivity in food. IAEA-TEC-DOC-1287. Vienna: IAEA. 2002. 136 p.
  10. **ЕРШОВ Б.Г.** Радиационные технологии: Возможности, состояние и перспективы применения // Вестник РАН. 2013. Т. 83. № 10. С. 885–895.
  11. **ДЕМСКИЙ М.И., ЗЕНЦОВ А.В., КРОТОВ В.В., ТРИФОНОВ Д.Е.** Установка для стерилизации медицинских изделий и облучения продуктов питания на основе линейного ускорителя // ВАНТ. 2013. В. 67 (1). С. 148–153.
  12. **ПИМЕНОВ Е.П., ПАВЛОВ А.Н., КОЗЬМИН Г.В., СПИРИН Е.В., САНЖАРОВА Н.И.** Исследование эффективности радиационной стерилизации растительного сырья с использованием установки ГУР-120 // Радиация и риск. 2013. Т. 22, № 4. С. 37–42.
  13. Standard Guide for Irradiation of Dried Spices, Herbs, and Vegetable Seasonings to Control Pathogens and Other Microorganisms. ASTM F1885–2004.
  14. Statement Summarizing the Conclusions and Recommendations from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food adopted by the BIOHAZ and CEF Panels. European Food Safety Authority. EFSA Journal 2011. 9(4): 2107. 57 p.

**Г.В. КОЗЬМИН, Н.И. САНЖАРОВА, И.И. КИБИНА, А.Н. ПАВЛОВ**  
РАЗВИТИЕ РЫНКА РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

**Козьмин Геннадий Васильевич**,  
к.б.н., доцент, в.н.с. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ВНИИРАЭ)

**Санжарова Наталья Ивановна**,  
д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, зам. директора ВНИИРАЭ

**Кибина Ирина Ивановна**,  
вице-президент ЗАО «Русатом Оверзис» Госкорпорации «Росатом»

**Павлов Александр Николаевич**,  
главный специалист ВНИИРАЭ

☎ 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское ш.,  
109 км, тел.: +7 (910) 604-24-26,  
e-mail: kozmin@obninsk.ru