

## РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: СТРАТЕГИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

*Н.И. Санжарова*, дир. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ВНИИРАЭ), чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, проф., *natsan2004@mail.ru*

*Г.В. Козьмин*, вед. научн. сотр. ВНИИРАЭ, канд. биол. наук, доц., *kozmin@obninsk.ru*

*В.С. Бондаренко*, вед. научн. сотр. ВНИИРАЭ, канд. биол. наук, *bvs79@mail.ru*

*В статье представлены основные положения стратегии научно-технологического развития экологически безопасных прорывных радиационных технологий с компетенциями в сфере агропромышленного производства.*

**Ключевые слова:** радиационные технологии, сельское хозяйство и пищевая промышленность, стратегия научно-технологического развития, фундаментальные и прикладные исследования, дорожная карта внедрения.

## NUCLEAR TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE: SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY

*N.I. Sanzharova*, Director of Russian Institute of Radiology and AgroEcology (RIRAE), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Ph.D. of Biology, Professor, *natsan2004@mail.ru*

*G.V. Koz'min*, Leading Researcher, RIRAE, Doctor of Biology, Associate Professor, *kozmin@obninsk.ru*

*V.S. Bondarenko*, Leading Researcher, RIRAE, Doctor of Biology, *bvs79@mail.ru*

*The basic framework of Science and Technology Development Strategy of environmentally safe and sound emerging nuclear technologies in regard to agro-industry is described.*

**Keywords:** nuclear technologies, food irradiation, agriculture and food industry, Science and Technology Development Strategy, basic and applied research, roadmap implementation.

### Введение

Ядерные технологии вносят большой вклад в достижение целей в области развития, поставленных в Декларации тысячелетия ООН (Резолюция 55/2 Генеральной Ассамблеи от 8 сентября 2000 г.). Многие государства – члены ООН убеждены в том, что ядерная энергетика поможет решить проблемы изменения климата за счет сокращения выбросов диоксида углерода. Важную роль играют и неэнергетические технологии – благодаря программам по производству радиоизотопов и совершенствованию радиационной техники в области здравоохранения, продовольственной безопасности и экологии. Методы ядерной медицины и лучевой терапии эффективно используются для борьбы с растущей мировой эпидемией рака, которая в предстоящие годы затронет в первую очередь развивающиеся страны. Искоренению бедности и голода способствуют исследования в области сельского хозяйства, где ядерные технологии применяются для выведения таких сортов сельскохозяйственных культур, которые могут выращиваться на малопродуктивных или засоленных землях и в суровых климатических условиях [1]. Наиболее широко радиационные технологии используются для борьбы с насекомыми-вредителями, уничтожающими посевы и распространяющими болезни животных и человека, а так же для облучения пищевых продуктов в целях защиты населения от болезней пищевого происхождения и уменьшения порчи продуктов [1, 2].

По данным международной Продовольственной и сельскохозяйственной организации ФАО ООН ежегодно в мире пропадает, в основном, вследствие порчи, примерно треть всех произведенных продуктов питания (1,3 млрд тонн) [3]. Для решения этой проблемы на настоящем этапе развития мировой экономики усиливается интерес к использованию радиационных технологий (РТ). В частности, в 69 странах действует разрешение на облучение более чем 80 видов продукции, около 40 стран проводят облучение пищевой продукции на постоянной основе [2]. В течение длительного времени реализуется совместная программа ФАО/МАГАТЭ «Применение ядерных технологий в продовольственной и сельскохозяйственной областях» [1].

В качестве основных компетенций РТ рассматриваются следующие направления их применения [4–6]:

- облучение пищевых продуктов для обеспечения микробиологической безопасности, снижения потерь при хранении и гарантированного обеспечения сроков хранения;
- облучение картофеля, лука, корне- и клубнеплодов для задержки процессов прорастания при длительном хранении, а также свежих фруктов и овощей в целях ингибирования их созревания в течение срока после уборки урожая до коммерческой реализации;
- развитие радиационных технологий для борьбы с насекомыми-вредителями после сбора урожая (карантинная мера);
- радиационная обработка посевного материала в целях стимуляции роста и развития растений и повышения урожая сельскохозяйственных культур.

По сравнению с обычными методами радиационные технологии требуют меньших затрат энергии, позволяют заменить или резко снизить применение пищевых консервантов, fumигантов и других химических препаратов [4–6].

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 разработке отечественной нормативной базы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. В рамках Евразийского союза принят основополагающий нормативный документ — Государственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» со сроком начала действия с 1 января 2016 г.

Разработка агробiotехнологий с использованием ионизирующих излучений и радиационных технологических комплексов находится в поле зрения международных организаций и ряда научных центров России и многих стран мира. Среди зарубежных научных организаций, выполняющих исследования в области РТ следует выделить такие 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 Джахангира Баба (Индия), Институт пищевой промышленности и радиобиологии (Бангладеш), ГНУ «ОИЭИЯИ – Сосны» НАН Беларуси и др. [6]. 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 радиационных технологий. Анализ и обобщение результатов собственных исследований, зарубежных и отечественных источников информации, а также международных и отечественных нормативных документов позволили разработать научные основы применения ионизирующих излучений в сельском хозяйстве для основных компетенций РТ[6]. ФАО ООН, ВОЗ и МАГАТЭ подго-

товлены многочисленные регламентирующие документы, обеспечивающие внедрение РТ различными странами мира [6, 7].

С точки зрения восприятия в общественном сознании одной из важных задач при обосновании целесообразности применения РТ является доказательство их безопасности и отсутствие отрицательного влияния на качество облученной продукции. Необходимо отметить, что, как ни в одной другой отрасли, эти вопросы решались не только на национальном уровне отдельных странах, но и в рамках международных договоренностей. На основании соглашения между 19 странами в 1970 г. была подписана Международная программа в области облучения пищевых продуктов. Под эгидой ФАО ООН, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и МАГАТЭ создана Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов [6]. К сожалению, одним из факторов, сдерживающим внедрение РТ в сельское хозяйство и пищевую промышленность, является многократно усилившаяся после аварий на Чернобыльской АЭС (Украина) и на АЭС Фукусима-1 (Япония) радиофобия. В дискуссиях по вопросам безопасности облученных продуктов питания часто забывают о том, что в природе повсеместно распределены естественные радионуклиды и мы постоянно подвергаемся воздействию ионизирующих излучений. Естественные радионуклиды ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  и др.) присутствуют в наших телах, в пище, которую мы едим, в местах, где мы работаем и живем, в почвах и в продуктах питания, которые мы потребляем. Эти радионуклиды обуславливают фон природного излучения и каждодневное его воздействие. При облучении сельскохозяйственной и пищевой продукции в результате фотоядерных реакций в пренебрежимо малых количествах образуются радионуклиды наведенной активности, уровень воздействия которых меньше более чем в 10 тысяч раз естественного природного фона [8]. В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) подтвердила радиологическую и токсическую безопасность облученной продукции и эффективность применения РТ в сельском хозяйстве и пищевой промышленности [7].

На современном этапе можно утверждать, что наступил период коммерциализации во внедрении РТ в реальную экономику в разных регионах мира. Создано более 220 специализированных центров по облучению сельскохозяйственной и пищевой продукции. Годовой объем облученной продукции в мире к настоящему времени оценивается в 700–800 тыс. т, а рынок услуг по облучению составляет около 2 млрд \$ и имеет устойчивую тенденцию роста. Ожидается, что к 2020 г. он составит 4.8, а к 2030 г. – 10.9 млрд \$ [9, 10]. В КНР, занимающей лидирующее положение в области применения РТ, уже к 1994 г. были приняты 18 национальных стандартов по облучению 17 групп продукции [11]. Бурно развиваются рынки РТ в странах Юго-Восточной Азии и Южной Америки [6, 11]. Значительную часть облученной продукции в этих странах представляют фрукты, радиационную обработку которых проводят в целях задержки созревания и дезинсекции, что особенно важно при экспорте. В Индонезии действует разрешительная система на облучение 12, в Южной Корее – на 26, а в Бангладеш – на 18 видов сельскохозяйственных и пищевых продуктов [11]. За период с 2011 по 2015 гг. радиационная обработка получила разрешение в Монголии, Малайзии, Непале, Мьянме и в странах Евразийского Союза [6].

Следует отметить, что Советский Союз являлся одной из первых стран, где еще в 1958 г. было разрешено радиационное облучение отдельных видов сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов [6]. Проведенные в нашей стране в 50–70-е гг. прошлого века исследования [6] заложили научные основы применения РТ. К настоящему времени в РФ имеются многочисленные современные научные разработки по применению РТ с использованием гамма-установок и ускорителей электронов. Так, во ВНИИРАЭ проводятся исследования по радиационной обработке продукции растительного и животного происхождения с использованием модернизированной гамма-установки ГУР-120 и ускорителей электронов.

В результате проведенных исследований ВНИИРАЭ разработаны унифицированные методические подходы к формированию полей поглощенных доз  $\gamma$ -излучения и режимов облучения, обеспечивающих радиационную стерилизацию сельскохозяйственного растительного сырья с учетом исходных и пострадиационных контролируемых микробиологических показателей продукции [6]. Получены новые результаты, показывающие, что эффективность радиационной обработки определяется дозиметрическими величинами (мощность дозы, поглощенная доза), исходным уровнем обсемененности продукта, таксономическим составом микроорганизмов, входящих в группы БГКП, мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов, грибов и дрожжей, а также бактерицидными и антиоксидантными свойствами среды продуктов [6, 13].

За все время проведения данной работы было отобрано ~1170 образцов различных видов сельскохозяйственной продукции, поставляемой на продовольственный рынок РФ из Китая, Индии, Египта и Румынии [13]. При этом ~95% исследованных проб показали превышения принятых в странах Таможенного союза нормативов качества по микробиологическим показателям. Отработаны режимы облучения для основных видов пряностей (черный перец, тмин, кардамон, корица, кориандр и т. д.), сушеных трав (укроп, петрушка и др.), какао-порошка, а также сушеных и свежих овощей. Полученные результаты рекомендуются для практического внедрения в коммерциализацию гамма-установок небольшой мощности при проведении облучения с поглощенными дозами до 10 кГр. Технология была апробирована в экспериментально-производственном процессе радиационной обработки пряностей, сушеных трав и овощей с производительностью более чем 700 т в год. Следует отметить, что основной объем облученных растительных продуктов в мире приходится на специи, сухие овощи и фрукты (52%) [14]. Пряности, специи, сушеные овощи и травы являются наиболее обсемененными продуктами и содержат микроорганизмы, свойственные почве и среде, где они были выращены и выдержали процесс сушки. Практически единственным, наиболее экологически безопасным и дешевым методом обеззараживания этой группы растительных продуктов является их радиационная обработка. К настоящему времени портфель заказов на радиационную обработку специй от различных коммерческих фирм существенно превышает производственную мощность гамма-установки ВНИИРАЭ. Расширение производственного процесса возможно с созданием формирующегося при поддержке администрации Калужской области Обнинского радиационного кластера [15], включающего гамма-установки и ускорители электронов. Совместно с Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера РАН и Научно-исследовательским институтом технической физики и автоматизации Госкорпорации Росатом ВНИИРАЭ проводится апробация экспериментально-производственных процессов облучения растительной и рыбной продукции на ускорителях электронов, производительность которых примерно в 15–20 раз выше по сравнению с гамма-установками [6].

Анализ работ ВНИИРАЭ [2, 6, 10, 13, 15, 16], а также современных публикаций ВНИИТеК, ИЯФ им. Г.И. Будкера и других отечественных [6, 17–19] и зарубежных [5–8, 11, 14, 20, 21] научных организаций позволяет сделать заключение о том, что развитие радиационных технологий в агропромышленном производстве Российской Федерации будет способствовать технологическому прорыву в целях продовольственной безопасности РФ и решению ряда задач в области импортозамещения. Объемы производства в РФ сельскохозяйственной продукции, для обеспечения микробиологической безопасности которой могут быть применены радиационные технологии, в абсолютном выражении составляют: по мясным продуктам — около 10 млн. тонн в год, по основным овощным культурам — более 12 млн тонн в год, по пищевым ингредиентам, специям и кормам — около 200 тыс. тонн в год [6]. Представленные данные свидетельствуют о значительных перспективах коммерциализации РТ агропромышленного профиля.

К сожалению, в Российской Федерации пока отсутствует государственная стратегия научно-технологического развития РТ и их внедрения в сельском хозяйстве и пищевой про-

мышленности. Наметилось заметное отставание Российской Федерации в данном направлении. При этом наша страна является признанным мировым лидером по разработке и производству ускорителей и изотопных источников для различных отраслей промышленности [18].

Необходимые исследования для разработки радиационных технологий не включены ни в одну из федеральных целевых программ; нет целенаправленного запроса на проведение фундаментальных и поисковых работ в программах Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований; нет федеральных программ прикладных исследований и профессиональной подготовки специалистов. Выполняемые в нашей стране работы в области создания и внедрения радиационных технологий базируются на работах, проводимых отдельными институтами, центрами и лабораториями в различных регионах страны, которые имеют многолетний опыт данных разработок и зачастую опираются на личную инициативу разработчиков.

Между тем, внедрение агробiotехнологий с использованием ионизирующих излучений на государственном уровне может стать одним из ключевых моментов сохранения сельскохозяйственной продукции и сыграть тем самым важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России.

Практическое применение радиационных технологий базируется на фундаментальных исследованиях по действию ионизирующего излучения на микроорганизмы, насекомых-вредителей, на компоненты биологической среды продуктов растительного и животного происхождения. С другой стороны необходимы прикладные экспериментально-производственные исследования и испытания технологических процессов, чтобы обеспечить высокое качество продукции, учесть особенности технологических процессов хранения и переработки сельскохозяйственного сырья, производства пищевой продукции; обеспечить экологическую безопасность производства и экономическую эффективность.

В связи с этим, стратегия научно-технологического развития радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности страны должна включать разработку фундаментальных основ компетенций РТ, прикладных вопросов их применения, а так же дорожную карту внедрения РТ в отечественное агропромышленное производство.

Фундаментальными задачами в области создания и научного обоснования компетенций РТ являются исследования механизмов и закономерностей действия ионизирующих излучений, вызывающих стимуляцию и ингибирование биологических процессов на разных иерархических уровнях организации биологических систем. Результаты этого анализа являются основой интерпретации позитивных для агропромышленного производства эффектов (компетенций), которые могут быть достигнуты с использованием радиационных технологий.

К настоящему времени недостаточно изучено воздействие ионизирующих излучений на ДНК, репарационные и антиоксидантные системы, влияющие на эффекты радиационного гормезиса и угнетения биологических процессов. Не в полной мере исследованы вопросы в области генетики, биохимии и физиологии процессов прорастания и задержки развития семян и корнеплодов основных сельскохозяйственных культур. В частности, нет ясного понимания того, как разворачивается во времени транскрипционная активность генов и меняется соотношение основных групп фитогормонов в ходе начальных этапов онтогенеза и при длительном хранении интактных и подвергшихся радиационному воздействию семян и корнеплодов [6].

При проведении облучения продукции растительного происхождения, особенно специй, не учитывается то обстоятельство, что все растительные субстраты сами по себе обладают разной биологической, антимикробной и антиоксидантной активностью, что может являться причиной модификации зависимостей «доза–эффект», определенных *in vitro*. Показано, что антиоксидантные свойства специй оказывают радиопротекторное действие на микроорганизмы при инактивации бактерий *E. coli*  $\gamma$ -излучением [22].

Не выявлены закономерности воздействия ионизирующего излучения на систему «сельскохозяйственная продукция – паразитарные и патогенные организмы». Нет данных о динамике численности популяций различных видов паразитарных и патогенных организмов в процессе хранения сельскохозяйственного сырья и готовой продукции, показателей пищевой ценности и качества облученных продуктов питания, токсичности вторичных продуктов радиолиты в зависимости от дозиметрических характеристик облучения и от исходных физико-химических свойств биологической среды облучаемых продуктов [6].

Недостаточно информации для оценки возможностей облучения пищевых продуктов, наиболее чувствительных к воздействию ионизирующего излучения, в частности, свежих плодов и овощей. Увеличение сроков хранения и сохранение качества свежих плодов и овощей с использованием РТ является одной из вполне решаемых задач импортозамещения.

Для обеспечения радиационных технологий фундаментальной научной базой необходимо провести следующие фундаментальные исследования:

1. Изучение таксономической принадлежности микроорганизмов в продукции растительного и животного происхождения с использованием современных молекулярно-генетических методов инструментального анализа (MALDI-TOF масс-спектрометрии, сопоставления спектров рибосомальных белков с международной базой данных белковых спектров микроорганизмов, секвенирования генов 16S рРНК, филогенетического анализа, ПЦР и др.).

2. Изучение радиочувствительности микроорганизмов разной таксономической принадлежности, закономерностей репарации нарушенных метаболических процессов в микробных клетках и активности антиоксидантных систем *in vitro* и с использованием моделей биологической среды различных облученных продуктов.

3. Разработка методов экспресс-оценки пострадиационной микробной активности и устойчивости микроорганизмов к последующим физическим и химическим воздействиям (температурные условия, повторное радиационное воздействие, эффективность веществ-консервантов).

4. Исследование действия ионизирующих излучений на возбудителей болезней растений, насекомых-вредителей и другие виды паразитарных и патогенных организмов в продукции растительного происхождения.

5. Изучение показателей пищевой ценности и качества облученных продуктов питания, токсичности вторичных продуктов радиолиты в зависимости от дозиметрических характеристик облучения и от исходных физико-химических свойств облучаемых продуктов.

6. Создание современной методической базы для оценки качества облученной продукции с использованием экспресс-методов биологического тестирования токсичности облученной продукции.

7. Исследование механизмов эффектов гормезиса и ингибирования процессов роста при облучении семян и корнеплодов сельскохозяйственных культур, включая воздействие излучений на ДНК и репарационные системы; биохимические и физиологические процессы прорастания и задержки развития; развертывание во времени транскрипционной активности генов и изменение соотношения основных групп фитогормонов на начальных этапах онтогенеза и при длительном хранении.

Прикладные направления работ по созданию радиационных технологий включают следующие задачи:

1. Анализ мирового и отечественного рынка радиационных технологий, экономическое обоснование и выбор приоритетных для отечественного агропромышленного производства компетенций технологических процессов с оценкой полноты научно-методического обеспечения и нормативного регулирования.

2. Модернизация и разработка стационарных и мобильных  $\gamma$ -установок и ускорителей электронов для облучения сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции в составе

специализированных и многофункциональных радиационно-технологических комплексов или облучателей, встроенных в технологии по производству, переработке и хранению продукции.

3. Отработка регламентов облучения продукции и их производственная апробация в целях достижения основных компетенций РТ агропромышленного профиля (микробиологическая безопасность, продление сроков хранения, дезинсекция, детоксикация, стимуляция прорастания семенного материала).

4. Исследования микробиологических, молекулярно-генетических, биохимических, физико-химических, морфологических и токсических показателей свежих плодов и овощей после радиационной обработки как наиболее чувствительных к воздействию ионизирующего излучения объектов хранения и переработки с целью научного обоснования выбора параметров радиационного воздействия при применении РТ.

5. 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.

Реализация представленных фундаментальных и прикладных направлений позволит реализовать основные этапы «дорожной карты» внедрения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности Российской Федерации. Дорожная карта внедрения РТ в отечественное агропромышленное производство предполагает [10]:

1. Анализ логистики размещения (географии) радиационных центров Росатома и РАН, которые могут быть вовлечены в рынок РТ и крупных агропромышленных объединений по производству и переработке сельскохозяйственной продукции.

2. Разработку отечественной нормативно-правовой базы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

3. Выделение приоритетных регионов, обладающих мощным агропромышленным потенциалом, где необходимо создание новых радиационных центров, максимально приближенных к производственным предприятиям.

4. Оценку возможностей встраивания процессов облучения в технологические системы, анализ рисков и критических контрольных точек, предусматривающих систематическую идентификацию, оценку и управление опасными факторами (ХАССП) при производстве продуктов питания.

5. Создание сети специализированных и многофункциональных радиационно-технологических центров на территории Российской Федерации. Развитие рынка РТ в сфере малого и среднего бизнеса с использованием стационарных и передвижных радиационных установок.

6. Коммерциализацию РТ на отечественном и международном рынках.

В настоящее время сложилась диспропорция в соотношении фундаментальных и прикладных исследований в пользу последних, обусловленная необходимостью скорейшего внедрения уже имеющихся результатов научно-технического прогресса в практику предприятий по переработке сельскохозяйственного сырья и пищевой промышленности. Наблюдается тенденция интеграции коммерческих и научно-исследовательских организаций исключительно в целях бизнеса. При этом разработки фундаментальных основ и инновационных компетенций РТ агропромышленного профиля, свойственные зарубежным научным лабораториям, в РФ практически не финансируются. Одно из таких перспективных инновационных направлений использования ионизирующих излучений может заключаться в разработке РТ по утилизации вышедших из употребления пестицидов. В настоящее время представители стран – членов Международной сети по ликвидации стойких органических загрязнителей (IPEN – International POPs Elimination Network) выступили с «Обращением к правительствам, ответственным министерствам, ведомствам и парламентариям стран региона ВЕКЦА (Восточная Европа, Кавказ, Центральная Азия) о необходимости принятия сроч-

ных мер по прекращению производства, импорта и использования особо опасных пестицидов». За последнее десятилетие были получены обнадеживающие результаты, показывающие возможность утилизации ряда пестицидов путем радиолитического разложения под действием электронного и  $\gamma$ -излучения [6, 12]. Эффект радиационного разложения опасных пестицидов уже получил практическое применение в Бразилии, где проводят радиационную обработку оставшейся после хранения пестицидов упаковки перед ее утилизацией [12]. В то же время имеющаяся информация не дает полного представления о токсичности вторичных продуктов радиолитического разложения для человека и природной среды и эти вопросы требуют проведения дальнейших исследований [6].

### **Заключение**

Тенденции развития мировой экономики демонстрируют динамичное развитие рынка радиационных технологий, направленных на обеспечение микробиологической безопасности пищевых продуктов и снижение потерь сельскохозяйственного сырья и готовой продукции при хранении. В Российской Федерации пока отсутствует государственная стратегия научно-технологического развития РТ и их внедрения в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Намечилось заметное отставание Российской Федерации в данном направлении. При этом наша страна является признанным мировым лидером по разработке и производству ускорителей и изотопных источников для различных отраслей промышленности.

Необходимые исследования для разработки инновационных компетенций радиационных технологий не включены ни в одну из федеральных целевых программ. Нет целенаправленного запроса на проведение фундаментальных и поисковых работ в программах Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований. Нет федеральных программ прикладных исследований и профессиональной подготовки специалистов. Выполняемые в нашей стране работы в области создания и внедрения радиационных технологий базируются на работах, проводимых отдельными институтами, центрами и лабораториями в различных регионах страны, которые имеют многолетний опыт данных разработок и зачастую опираются на личную инициативу разработчиков.

Развитие радиационных технологий по обработке продукции агропромышленного производства в Российской Федерации сдерживается недостаточной поддержкой федеральными программами научно-методических разработок, несовершенством отечественной нормативно-правовой базы и недостатком специализированных центров по облучению продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности. В то же время внедрение РТ может стать одним из ключевых моментов сохранения сельскохозяйственной продукции и сыграть тем самым важную роль в импортозамещении и обеспечении продовольственной безопасности России.

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

### **Список литературы**

1. Обзор ядерных технологий. Доклад Генерального директора МАГАТЭ Ю. Аmano. Вена: МАГАТЭ. 2014, 88 с.
2. Санжарова Н.И., Молин А.А., Козьмин Г.В., Кобялко В.О. Радиационные технологии: приоритетные направления развития и коммерциализации // Аграрная наука. 2016. № 1, с. 2–5.
3. Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. FAO. 2014, 8 p.
4. Неменушная Л.А. Методы лазерной, радиационной и других видов обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции. М.: Росинформагротех. 2015, 56 с.



5. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / ed. Ioannis S. Arvanitoyannis. Amsterdam: Academic Press is an imprint of Elsevier. 2010, 710 p.
6. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н.И. Санжаровой. Москва—Обнинск: ИНФОРМПОЛИГРАФ. 2015. 400 с.
7. 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.
8. Natural and induced radioactivity in food. IAEA-TECDOC-1287. Vienna: IAEA, 2002. 136 p.
9. Концепция стратегической программы исследований технологической платформы «Радиационные технологии». Москва—Сколково. 2012.
10. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н. Перспективы развития рынка радиационных технологий в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2015. № 8, с. 30–34.
11. Ihsanullah J.M. Current Activities of Food Irradiation as Sanitary and Phytosanitary Treatment in Asia and the Pacific Region and its comparison with advanced countries / Intern. Symp. on Food Safety and Quality. Vienna: IAEA. 2014. Presentation. 49 p.
12. Duarte C.L., Mori M.N., Kodama Y., Oikawa H., Sampa M.H.O. Decontamination of pesticide packing using ionizing radiation // Radiat. Phys. Chem. 2007. V. 76, pp. 1885–1889.
13. Пименов Е.П., Павлов А.Н., Козьмин Г.В., Спиринов 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.
14. Kume T., Furuta M., Todorikis S., Uenoyama N., Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world // Radiation Physics and Chemistry. 2009. V. 73, pp. 222–226.
15. Pavlov A.N., Morozova A.I. Death of spice microorganisms at different doses of gamma-radiation // Intern. Symp. on Food Safety and Quality. Book of Abstracts. Vienna: IAEA. 2014. P. 84.
16. Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Лыков И.Н. Использование  $\gamma$ -излучения для холодной стерилизации многокомпонентных продуктов, готовых к употреблению // Радиация и риск. 2015. Т. 24. № 4. с. 43–49.
17. Петров А.Н., Гельфанд С.Ю., Завьялов М.А., Филиппович В.П. Перспективы радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции // Научно-инновационные аспекты при создании продуктов здорового питания. Перспективы радиационной обработки с.-х. и пищевой продукции. РАСХН. 2012. с. 194–196.
18. Ершов Б.Г. Радиационные технологии: Возможности, состояние и перспективы применения // Вестник РАН. 2013. Т. 83. № 10. С. 885–895.
19. Шатров Г.Н., Багрянцева О.В. О регламентации применения радиационной обработки пищевых продуктов в международном законодательстве // Вопросы питания. 2012. № 1. С. 49–56.
20. Food irradiation research and technology / Edited by Christopher H. Sommers and Xuetong Fan. Oxford: Blackwell Publishing Professional. 2006, 317 p.
21. Manual of good practice in food irradiation. Sanitary, phytosanitary and other application. Technical report № 481. Vienna: IAEA. 2015. 83 p.
22. Sharma A., Gautam S., Jadhav S.S. Spice extracts as dose-modifying factors in radiation inactivation of bacteria // J. Agric. Food Chem. 2000. 48(4), pp. 1340–1344.

### References

1. *Obzor jadernyh tehnologij. Doklad General'nogo direktora MAGATJe Ju. Amano* [The nuclear technology review. The report of the IAEA Director General Yukiya Amano]. Vena. MAGATJe [Vienna. IAEA]. 2014, 88 p.
2. Sanjarova N.I., Molin A.A., Koz'min G.V., Kobyal'ko V.O. (2016) *Radiacionnye tehnologii: prioritnye napravlenija razvitija i kommercializacii* [Radiation technologies: priorities of development and commercialization]. *Agrarnaja nauka* [Agricultural science], no. 1, pp. 2–5.
3. Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. FAO. 2014. 8 p.

4. Nemenuschaya L.A. (2015) *Metody lazernoj, radiacionnoj i drugih vidov obrabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja i gotovoj produkcii* [Methods of laser radiation and other types of processing of agricultural raw materials and finished products]. *Rosinformagroteh* [Rosinformagrotekh]. Moscow, 56 p.
5. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion. ed. Ioannis S. Arvanityannis. Amsterdam: Academic Press is an imprint of Elsevier. 2010, 710 p.
6. *Radiacionnye tehnologii v sel'skom hozjajstve i pishhevoj promyshlennosti. Pod obshh. red. G.V. Koz'mina, S.A. Geras'kina, N.I. Sanzharovoj* [Radiation technology in agriculture and food industry. Under the General editorship of G.V. Kozmin, S.A. Geras'kina, N.I. Sanjarova] *INFORMPOLIGRAF* [INFORMPOLIGPAPH], Moscow-Obninsk, 2015, 400 p.
7. 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.
8. Natural and induced radioactivity in food. IAEA-TECDOC-1287. Vienna: IAEA, 2002, 136 p.
9. *Koncepcija strategicheskoj programmy issledovanij tehnologicheskoy platformy «Radiacionnye tehnologii»* [The concept of strategic research program of the technological platform «Radiation technologies»]. *Moskva–Skolkovo* [Moscow-SKOLKOVO]. 2012.
10. Kozmin G.V., Sanjarova N.I., Kibina I.I., Pavlov A.N. (2015) *Perspektivy razvitija rynka radiacionnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve i pererabatyvajushhej promyshlennosti* [Prospects of development of the market of radiation technologies in agriculture and processing industry]. *Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij* [Economics of agricultural and processing enterprises], no. 8, pp. 30–34.
11. Ihsanullah J.M. (2014) Current Activities of Food Irradiation as Sanitary and Phytosanitary Treatment in Asia and the Pacific Region and its comparison with advanced countries. Intern. Symp. on Food Safety and Quality. Vienna: IAEA. Presentation, 49 p.
12. Duarte C.L., Mori M.N., Kodama Y., Oikawa H., Sampa M.H.O. (2007) Decontamination of pesticide packing using ionizing radiation. *Radiat. Phys. Chem.* V. 76, pp. 1885–1889.
13. Pimenov E.P., Pavlov A.N., Kozmin G.V., Spirin E.V., Sanzharova N.I. (2013) *Issledovanie jeffektivnosti radiacionnoj sterilizacii rastitel'nogo syr'ja s ispol'zovaniem ustanovki GUR-120* [Study of the effectiveness of radiation sterilization of plant materials using the ГУР-120]. *Radiacija i risk* [Radiation and risk]. Vol. 22, no. 4, pp. 37–42.
14. Kume T., Furuta M., Todorikis S., Uenoyama N., Kobayashi Y. (2009) Status of food irradiation in the world. *Radiation Physics and Chemistry.* V. 73, pp. 222–226.
15. Pavlov A.N., Morozova A.I. (2014) Death of spice microorganisms at different doses of gamma-radiation. Intern. Symp. on Food Safety and Quality. Book of Abstracts. Vienna. IAEA, p. 84.
16. Polyakova I.V., Kobyalko V.O., Sarukhanov V.Y., Kozmin, G.V., Sanjarova N.I., Lykov I.N. (2015) *Ispol'zovanie  $\gamma$ -izluchenija dlja holodnoj sterilizacii mnogokomponentnyh produktov, gotovyh k upotrebleniju* [The use of  $\gamma$ -radiation for the cold sterilization of multi-component products, ready to eat.] *Radiacija i risk* [Radiation and risk]. Vol. 24, no. 4, pp. 43–49.
17. Petrov A.N., Gelfand S.Y., Zavalov M.A., Filippovich V.P. (2012) *Perspektivy radiacionnoj obrabotki sel'skohozjajstvennoj i pishhevoj produkcii. Nauchno-innovacionnye aspekty pri sozdanii produktov zdorovogo pitaniya. Perspektivy radiacionnoj obrabotki s.-h. i pishhevoj produkcii* [Prospects of radiation processing of agricultural and food products. Research and innovation aspects in the creation of healthy food products. Prospects of radiation processing of agricultural and food products]. *RASHN* [RAAS], pp. 194–196.
18. Yershov B.G. (2013) *Radiacionnye tehnologii: Vozmozhnosti, sostojanie i perspektivy primenenija.* [Radiation technologies: Opportunities, status and application prospects]. *Vestnik RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], vol. 83, no. 10, pp. 885–895.
19. Shatrov G.N., Bagryantseva O.V. (2012) *O reglamentacii primenenija radiacionnoj obrabotki pishhevyh produktov v mezhdunarodnom zakonodatel'stve* [On the regulation of the use of radiation processing of food in international law]. *Voprosy pitaniya* [The issues of nutrition], no. 1, pp. 49–56.
20. Food irradiation research and technology. Edited by Christopher H. Sommers and Xuetong Fan. Oxford: Blackwell Publishing Professional, 2006, 317 p.
21. Manual of good practice in food irradiation. Sanitary, phytosanitary and other application. Technical report no. 481. Vienna: IAEA. 2015, 83 p.
22. Sharma A., Gautam S., Jadhav S.S. (2000) Spice extracts as dose-modifying factors in radiation inactivation of bacteria. *J. Agric. Food Chem.* 48(4), pp. 1340–1344.