

# **«РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ»**

**АНДРЕЕВ МИХАИЛ  
ПАВЛОВИЧ**

**Заместитель директора ФГБНУ  
«АтлантНИРО»,  
доктор технических наук,  
заслуженный работник рыбного  
хозяйства Российской Федерации**

Обеспечение продовольственной безопасности России невозможно без внедрения технологий, обеспечивающих рост производства продукции, снижение потерь при ее хранении и переработки.

В современных технологических процессах, как правило, применяют химическую обработку пищевой продукции, использование которой сопряжено с негативными побочными явлениями. Это вызывает необходимость внедрения более эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых наиболее перспективными являются радиационные технологии (РТ).

В пищевой промышленности применение радиационных технологий позволяет сократить потери при транспортировке и хранении плодов и овощей; увеличить сроки хранения мяса, рыбы и ряда мясных продуктов.

По сравнению с обычными методами РТ требуют меньших затрат энергии, позволяют заменить или резко снизить использование пищевых консервантов и других химических препаратов. При этом обработанные продукты не загрязняются остаточными количествами вредных химических соединений, не происходит термического разрушения органических соединений.

К настоящему времени в радиационных технологиях по обработке пищевых продуктов наиболее широкое применение нашли источники ионизирующего излучения. Применительно к радиационной обработке в целях стерилизации в зависимости от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения МАГАТЭ предложены специальные термины: **радисидация** (4-6 кГр), **радуризация** (6-10 кГр) и **радаппертизация** (10-50 кГр).

КилоГрэй - это доза облучения определенного объема вещества, равная полной энергии, переданной веществу в этом объеме, деленной на массу этого вещества. Единицей поглощенной дозы в системе СИ является грей (Гр). Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия, равная 1 Дж.  $1 \text{ кГр} = 10^3 \text{ Гр}$ .

**Радисидация** — радиационная обработка с целью выборочного уничтожения паразитов и подавления микроорганизмов конкретного типа (например, сальмонелл, трихинелл и др.).

**Радуризация** — радиационная обработка пищевых продуктов с целью увеличения продолжительности хранения в дозах, приводящих к ограниченному подавлению патогенных для человека микроорганизмов и бактерий, вызывающих порчу продукции.

**Радаппертизация** осуществляется для промышленной стерилизации пищевых продуктов в условиях, исключающих повторение инфицирования микроорганизмами.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) одобрили использование ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов с целью стерилизации и консервирования.

Исследования качества пищевых продуктов после радиационной стерилизации показали их безопасность и сохранение основных показателей пищевой ценности. В настоящее время лидерами в области применения радиационных технологий являются Китай и США, где расположено более 50% центров облучения продуктов питания.

# Определены следующие компетенции радиационных технологий в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений:

Компетенция	Доза (кГр)	Облученные продукты
<b>Низкая доза облучения – ниже 1 кГр</b>		
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 бобовых, свежие и сушеные фрукты и овощи, <b>вяленая рыба</b> 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) (Радаппертгизация)**

Получение микробиологически безопасной пищевой продукции с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации после замораживания

25-60

Мясо, птица, фарш, морепродукты, готовая пища, стерилизованные больничные диеты

При разработке технологических регламентов радиационной обработки продукции агропромышленного производства используются общие международные регламентирующие документы ВОЗ и ФАО ООН, основными из которых являются: «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.

При внедрении РТ в отечественное агропромышленное производство технологические регламенты радиационной обработки должны обеспечить микробиологическую безопасность и качество облученной продукции в соответствии с требованиями следующих стандартов:

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», Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016), «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».

В соответствии с «Решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию» от 11 декабря 2014 г. была поставлена задача по разработке отечественной нормативной базы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

В 2015 г. утвержден 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». Настоящий нормативный документ одобрен Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации и принят к действию.

## **Каковы перспективы развития мирового и отечественного рынка РТ?**

Общий годовой объем облученной продукции в мире к настоящему времени оценивается в 700-800 тыс. т, а рынок облучения — на сумму более 2 млрд. \$ и имеет устойчивую тенденцию роста. С использованием показателей роста мирового рынка РТ агропромышленного профиля дан следующий прогноз развития рынка облучения по различным номенклатурам сельскохозяйственной продукции в России на 2020 и 2030 г.г.:

Направление использования РТ	Возможные объемы, т.т. на 2020 г.	Рынок на 2020 г., млрд. \$	Возможные объемы, т.т. на 2030 г.	Рынок на 2030 г., млрд. \$
Стерилизация специй, сухих овощей и фруктов	470	2,2	1060	5,0
Стерилизация мяса и морепродуктов	82	0,38	185	0,9
Облучение других видов продукции (диетические, мед и др.)	41	0,19	93	0,4

Радиационную стерилизацию больших промышленных объемов пищевой продукции целесообразно проводить на базе крупных радиационных центров с высокой производительностью облученной продукции.

Радиационную обработку небольших объемов сельскохозяйственного сырья и готовой продукции малых предприятий предпочтительно осуществлять с применением гамма-установок небольшой мощности, а также мобильных или стационарных малогабаритных установок УФ- и СВЧ-излучения или с помощью других физических факторов.

Радиационные технологии окажутся конкурентоспособными, если они будут экономически эффективны, легко встраиваемыми в традиционные технологии хранения и переработки продукции и стандартизированы.

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

Количество стационарных и передвижных промышленных установок растет во всех странах мира.

Во многих странах накоплен многолетний опыт безопасной и надежной эксплуатации гамма-установок по радиационной обработке и последующей торговле облученными пищевыми продуктами, современный общий годовой объем которых оценивается в 700-800 тыс. т и имеет устойчивую тенденцию роста.



Радиационную обработку сельскохозяйственной и пищевой продукции в соответствии с Кодексом Алиментариус «Облученные продукты питания» проводят с использованием трех принципиально разных источников ионизирующего излучения:

1. гамма-излучения радиоактивных изотопов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с энергиями 1,25 МэВ и 0,661 МэВ, соответственно.

2. Излучения электронов с энергией, не превышающей 10 МэВ, генерируемых ускорителями электронов.

3. Тормозного излучения, часто называемого тормозным рентгеновским излучением, с энергией фотонов, не превышающей 5 МэВ, генерируемого ускорителями электронов при взаимодействии отрицательно заряженных электронов.

В плане радиационной и экологической безопасности особого внимания требует сфера обращения изотопных источников ионизирующего излучения, предназначенных для зарядки гамма-установок.

Применение изотопных источников ионизирующих излучений сопряжено с риском их разгерметизации, например, в случае транспортной аварии при их перевозке, и радиоактивного загрязнения окружающей среды.

В отличие от гамма-установок ускорители генерируют электронное излучение только тогда, когда включены в электрическую сеть. Размах современного внедрения электронно-лучевых установок наглядно иллюстрирует факт, что ежегодный прирост новых радиационных центров с использованием ускорителей электронов составляет несколько десятков, в том числе в Китае в строй вводится более 50 ускорителей в год.

В Российской Федерации Государственной корпорацией «Росатом» завершается создание двух центров радиационной стерилизации в России, один из которых представлен Обнинским радиационным кластером на базе Обнинского филиала ОАО ГНЦ «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова» (НИФХИ) и ВНИИРАЭ.

Международной консультативной группой по облучению пищевых продуктов дана оценка верхних пределов поглощенных доз, которые рекомендуются для облучения продукции.

Максимальные пределы доз устанавливались с точки зрения приемлемой практики облучения, направленной на достижение максимального результата, то есть радиуризацию как можно более широкого комплекса вредных микроорганизмов и паразитов.

Ингибирование ряда микроорганизмов и паразитов (радисидация) достижимо с использованием гораздо меньших поглощенных доз. Другой причиной необходимости снижения поглощенной дозы является потеря коммерческих свойств у отдельных продуктов.

# Технологически рекомендуемые пределы максимальных поглощенных доз

Классы пищевых продуктов	Цель облучения	Максимальная доза, кГр
Класс 4: Рыба, морепродукты (свежие или замороженные) и продукты их переработки	Снижение количества определенных патогенных микроорганизмов	5,0
	Увеличение срока хранения	3,0
	Контроль за заражением паразитами	2,0
Класс 5: Сырое мясо птицы, говядина, свинина (свежее или замороженное) и продукты переработки	Сокращение количества патогенных микроорганизмов	7,0
	Увеличение срока хранения	3,0
	Контроль за заражением паразитами	2,0
	Увеличение срока хранения	3,0

Основные направления использования в пищевой промышленности стационарного радиационного комплекса на базе ускорителя электронов и эффективность радиационной обработки следующие:

Основные области применения	Эффект применения
Уменьшение микробной обсемененности пищевых продуктов, ингредиентов специй и добавок	Ингибирование патогенной микрофлоры, доведение некондиционной продукции до уровня микробной обсемененности, удовлетворяющего требованиям нормативных документов. Увеличение сроков хранения и реализации продукции без применения консервантов, существенное уменьшение потерь и высокий экономический эффект

Большое научное и практическое значение имеют исследования, направленные на радиационную стерилизацию продукции пищевой промышленности. Проведенные в 50-х годах прошлого века исследования позволили получить информацию о радиочувствительности микроорганизмов, о дозах ионизирующих излучений, вызывающих бактерицидный эффект и инактивацию разных видов и штаммов бактерий.

В Институте микробиологии АН СССР было показано, что соотношение между дозами облучения и количеством выживающих микробов зависит от особенностей взаимодействия между ионизирующими излучениями и жизненно важными структурами клетки, от рекомбинации поврежденных молекул клеточного протопласта, способности микроорганизма к восстановлению и регенерации поврежденных структур и функций.

На устойчивость микроорганизмов к ионизирующим излучениям существенное влияние оказывают наличие кислорода в среде, степень ее влажности, присутствие органических веществ, часть из которых оказывает защитное действие. Дрожжи и плесневые грибы более устойчивы к излучениям, чем неспоровые бактерии, грамотрицательные бактерии менее устойчивы, чем грамположительные. Наиболее устойчивы споры бактерий.

В настоящее время радиационная обработка пищевой продукции рассматривается как эффективная мера обеспечения микробиологической безопасности.



**Облучение продукции** - это уникальный метод решения проблем продовольственной безопасности и международной торговли, который позволяет обеспечивать требования по следующим санитарно-микробиологическим показателям пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01):

- санитарно-показательные (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерии группы кишечных палочек — БГКП(колиформы), бактерии семейства *Enterobacteriaceae*, энтерококки);
- условно-патогенные микроорганизмы (*E. coli*, *S. aureus*, бактерии рода *Proteus*, и сульфитредуцирующие клостридии. патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы и *Listeria monocytogene* и др.
- микроорганизмы порчи (дрожжи и плесневые грибы, молочнокислые микроорганизмы);
- микроорганизмы заквасочной микрофлоры и пробиотические микроорганизмы (молочнокислые, пропионовокислые, бифидобактерии, ацидофильные бактерии и др.).

# Основные процессы микробиологической порчи и их возбудители:

**Брожение** — анаэробный ферментативный процесс окисления органических соединений.

При хранении пищевых продуктов могут возникать следующие виды брожения: молочнокислое, уксуснокислое, маслянокислое, пропионовокислое, спиртовое и др. Молочнокислое брожение вызывается факультативными анаэробными гомоферментативными и гетероферментативными бактериями.

Оно может являться причиной порчи молока, вызывает прокисание и ослизнение вина и пива.

**Плесневение** - обусловлено развитием различных видов плесневых грибов, образующих, как правило, на поверхности продуктов пушистые налеты и пленки разного цвета и строения.

Развитию плесневых грибов способствует высокая относительная влажность воздуха. Плесневые грибы расщепляют белки, жиры и углеводы пищевых продуктов.

Они придают продуктам специфические вкус и запах. Некоторые виды плесневых грибов в процессе своей жизнедеятельности могут синтезировать такие вторичные метаболиты, как токсичные для человека афлатоксины.

**Гниение** - глубокий распад белков и продуктов их гидролиза.

Этот процесс возбуждается преимущественно гнилостными бактериями.

Гниение возникает в продуктах, богатых белками — в мясе, рыбе, яйцах, молоке и др. Распад белков начинается с гидролиза и образования полипептидов и аминокислот. В дальнейшем распад этих соединений зависит от вида микроорганизмов, аминокислотного состава и условий, при которых протекает процесс.

Радиочувствительность различных микроорганизмов варьирует в широких пределах. Основная часть микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов, инактивируется дозами до 7 кГр.

Экспериментальные исследования по облучению ускоренными электронами ампул с модельными суспензиями чистых культур микроорганизмов на ускорителе электронов с энергией  $\sim 10$  Мэв позволили получить летальные дозы для дрожжей (7,5 кГр), молочнокислых (7 кГр) и спорообразующих бактерий (3 кГр). Доза инаktivации 90% молочнокислых бактерий составила 0,8 кГр, для дрожжей - 1 кГр.

На радиочувствительность микроорганизмов влияет **множество факторов** - температура в момент облучения, физиологическое состояние микроорганизмов, размеры генома и эффективность репарации радиационных повреждений. Значительно более высокой устойчивостью к ионизирующему излучению обладают споры бактерий.

Рекомендуемые для облучения дозы ионизирующего излучения (обычно ниже 10 кГр) уменьшают количество, но не убивают споры патогенных бактерий, таких как *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* и *Bacillus cereus*.

Бактерицидный эффект радиации на споры в подавляющем большинстве случаев проявляется при дозах облучения не ниже 10-20 кГр. Для полной инактивации спор требуются дозы порядка 15-25 кГр. Споры *B. subtilis* инактивируются гамма-излучением в дозах от 15 до 20 кГр.

Такие же большие дозы нужны для инактивации *Clostridium sporogenes*, *Candida albicans*, *Aspergillus niveus* и других видов микроорганизмов. Споры *Clostridium botulinum* оказались особенно радиорезистентными.

Облучение образцов почв в дозе 10 кГр приводило к отмиранию клеток азотобактера, к снижению количества актиномицетов, но не влияло на выживаемость спор *Clostridium*.

Радиочувствительность спор бактерий варьирует в значительно меньшей степени, чем радиочувствительность видов бактерий, не образующих спор. Прорастающие споры более чувствительны к действию рентгеновского или гамма-излучения по сравнению с покоящимися спорами. Так, прорастающие споры *B. licheniformis* в 3 раза более чувствительны к действию излучений, чем покоящиеся споры. Большую чувствительность прорастающих спор связывают с дерепрессией генома и биохимическими изменениями, происходящими во время прорастания.



Вегетативные клетки спорообразующих бактерий более чувствительны к действию радиации, чем споры. По радиочувствительности они мало отличаются от видов бактерий, не образующих споры. Изучение микрофлоры подвергавшихся лучевой обработке мясных продуктов показало, что полная инактивация живых клеток достигается для стафилококка и вегетативных клеток *B. cereus* дозами 1.50 кГр, для инактивации кишечной палочки необходима доза 2 кГр, для *Salm. typhimurium* и *Str. faecalis* - 3 кГр, в то время как для спор *B. cereus* и *C. bitermentaus* инактивирующая доза повышалась до 20 кГр.

Таким образом, радиочувствительность вегетативных форм *B. cereus* больше или не отличается от радиочувствительности неспорообразующих видов микроорганизмов и более чем в 10 раз выше радиочувствительности спор этих же бактерий .

Существующие традиционные технологии переработки мяса предусматривают использование специального оборудования для холодильной обработки, требующей больших затрат энергии, а также применение химических консервантов. Радиационно-биологическая технология сохранения и консервирования мяса и мясопродуктов имеет следующие преимущества:

- при облучении мясопродуктов в дозах от 0,1 до 1 кГр на 90% снижается микробное число возбудителей кишечных инфекций, обусловленных *Salmonella*; *E. coli* 0157:H7; *Clostridium perfringens*; *Staphylococcus aureus*; *Listeria monocytogenes*; *Campylobacter jejuni*; а также *Toxoplasma gondi* - возбудителя паразитарного заболевания человека и животных; полная инактивация патогенной микрофлоры происходит при дозе 7 кГр;

- радиационная обработка трихинеллезных свиных туш дозой 0,3 кГр инактивирует личинки трихинелл.

Облучение мяса, зараженного личинками свиного цепня, более низкими дозами снижает риск заражения человека ленточными гельминтами и токсоплазмозом. Заболевания, вызванные недоваренной говядиной, содержащей цисты бычьего солитера, наблюдаются во всем мире и их можно предупредить облучением с дозой 0,4 кГр.

В целом, большое количество паразитических простейших и гельминтов может быть убито дозами менее 1 кГр без изменения вкуса пищи.

- в зависимости от дозы (1.5-4.0 кГр) облучения увеличиваются от 2 до 5 раз сроки хранения продуктов за счет подавления различных групп микроорганизмов вызывающих порчу мяса и влияющих на пищевую безопасность мясопродуктов;

- для обработки продукта можно использовать современные упаковочные материалы (например, полимеры), устойчивые к воздействию ионизирующего излучения в дозах до 10 кГр;

- снижаются потери (например, при замораживании мяса теряется 40 кг с каждой тонны);

- в течение длительного времени практически не изменяются свойства продукта;

- дозы 4-6 кГр позволяют увеличить срок хранения куриных тушек при температуре 10 °С от 10 до 34 суток, а упаковка под вакуумом в полимерную пленку с последующей радиационной обработкой дозой 6 кГр обеспечивает хранение при 3 °С в течение 30 суток;

- отсутствуют остатки химических веществ (по сравнению с консервированием химическим способом);

Большинство сортов мяса устойчиво к высоким дозам ионизирующего излучения. Дозы облучения в диапазоне от 25 до 45 кГр способны полностью инактивировать бактерии, дрожжи, плесени, то есть осуществить стерилизацию.

Перед облучением автолитические ферменты должны быть инактивированы нагреванием, содержание кислорода должно быть максимально снижено за счет вакуумной упаковки в консервные банки или путем закатывания в полимерные пленки.

Разработаны основы технологии радиуризации рыбы и рыбных продуктов, которая заключается в том, что радиационная обработка свежей рыбы дозой 2 кГр увеличивает срок ее хранения до 30 суток, а дозой 4 кГр — до 60 суток при температуре 2°C. Технологический процесс следующий: свежую рыбу разделывали, упаковывали в герметичную упаковку, затем подвергали радиационной обработке и отправляли на хранение.

Радиуризация рыбы горячего копчения при дозе 2 кГр увеличивает срок ее хранения в 3-4 раза при температуре 5°C. Радиационная обработка рыбы и рыбных продуктов, упакованных под вакуумом в полимерную пленку, позволяет продлить сроки хранения при температуре 0-5°C;

Анализ многочисленных экспериментальных исследований позволил установить оптимальные дозы радиационной стерилизации не вызывающие токсичность облученной продукции.

В 1981 г. объединенный комитет экспертов ФАО, МАГАТЭ и ВОЗ пришел к выводу, что облучение пищевой продукции дозами до 10 кГр не оказывает влияния на питательную ценность продукта, а по отношению к патогенным и условно патогенным организмам, а также паразитам такое облучение способно оказывать следующие ингибирующие эффекты:



- поглощенные дозы от 10 кГр и ниже могут уничтожать вегетативные клетки патогенных спорообразующих и неспорообразующих микроорганизмов, таких, как клостридии (*Clostridium*), вибрионы (*Vibrio* spp.), сальмонелла (*Salmonella*), листерия моноцитогенес (*Listeria monocytogenes*), стафилококк золотистый (*Staphylococcus aureus*), которые могут присутствовать в свежем или замороженном продукте.

- поглощенные дозы от 10 кГр и ниже могут сокращать количество некоторых спор, но недостаточны для снижения потенциального риска для здоровья, вызванного микробиальными спорами и токсинами).

- поглощенные дозы от 10 кГр и ниже могут сокращать или уничтожать вегетативные клетки спорообразующих и неспорообразующих микроорганизмов, таких, как бациллы или виды синегнойной палочки, вызывающих порчу свежего продукта, таким образом продлевая срок хранения продукта в холодильнике во многих случаях.

- поглощенные дозы ниже 1 кГр способны подавить активность многих паразитов, например, таких, как широкий лентец.

Тщательному контролю должны подвергаться пищевые продукты с низкой кислотностью, которые потенциально могут содержать споры бактерий *Clostridium botulinum*, особенно в тех случаях, когда продукт находится в анаэробной среде.

Поглощенная доза, рекомендуемая для облучения с целью обеззараживания пищевых продуктов, эффективно снижает число микроорганизмов, вызывающих их порчу, однако она может быть недостаточной для уничтожения спор *Clostridium botulinum* до безопасного уровня.

Необходимы значительно более высокие дозы, чтобы был получен стерильный, пригодный для длительного хранения продукт, равноценный получаемому в результате термической стерилизации в автоклаве. Споры *C. botulinum* инактивируются на 90% при облучении дозами 3.45-3.85 кГр в зависимости от их серотипа и температуры, при которой их облучают.

Поглощенная доза 10 кГр позволяет ингибировать от 2,5 до 3  $10^9$  колониеобразующих единиц (КОЕ) спор *C. botulinum*.

Таким образом, на современном этапе можно утверждать, что наступил период коммерциализации во внедрении радиационных технологий в реальную экономику в разных регионах мира.

Дальнейшее продвижение радиационных технологий в практической деятельности человека будет определяться их экономической целесообразностью, возможностью включения в производственные технологические процессы, конкурентной способностью, экологической состоятельностью и радиационной безопасностью.

**СПАСИБО**