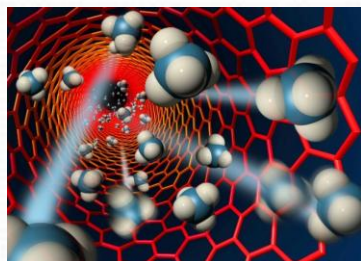


ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)



*Перспективы применения радиационных
технологий в агропромышленном комплексе
Российской Федерации*

Н.И. Санжарова



Форум «Города и ядерные технологии», Обнинск, 14-15 июля 2016 года

Исторические этапы

- 1904 г. - Самуэль Прескотт впервые описал бактерицидные эффекты ионизирующего излучения.
- 1906 г. - Дж. Аплеби и А. Бэнкс зарегистрировали во Великобритании первый патент на радиационную обработку пищевых продуктов
- 1943 г. - Радиационная технологии принята для обработки продукции в армии США; с 1953 г. замена замораживания и консервирования на радиационную стерилизацию.
- 1951 г. - Национальной комиссии по атомной энергии США разворачивает широкомасштабные научные исследования РТ.
- В 50-70-е гг. – исследования РТ в западной Европы и в СССР.
- В 1958 г. Минздрав СССР разрешил облучение картофеля и зерна;
- С 1958 по 1983 гг. было разрешено облучение ряда продуктов питания (овощи, фрукты, мясо и мясные изделия, рыба, консервы, крупы, мука, специи).



М.Н. Мейсель



А.М. Кузин

50-60-е годы

Институт микробиологии АН СССР

Институт биофизики АН СССР

ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности

(Вестник АН СССР, №11, 1956)

70-80-е годы

ВНИИ сельскохозяйственной радиологии

Базовые требования

В 1970 г. 19 стран подписали Международную программу в области облучения пищевых продуктов. Создана Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов.

В 1981 г. объединенный комитет экспертов ФАО, МАГАТЭ и ВОЗ пришел к выводу о том, что облучение любого пищевого продукта с дозами, не превышающими **10 кГр**, не вызывает токсического действия и не требуются дальнейшие токсикологические исследования обработанной продукции.

Для радиационной обработки пищевых продуктов разрешено применять (Кодекс Алиментариус, 2007):

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

В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) подтвердила эффективность радиационной обработки для обеспечения микробиологической безопасности продуктов питания и перспективность использования ионизирующих излучений в агробiotехнологиях.

По данным ФАО ООН ежегодно в мире пропадает примерно треть всех произведенных продуктов питания (1,3 млрд. тонн). Основные причины потерь (до 40%) связаны с поражением насекомыми-вредителями, бактериальной порчей мяса, рыбы и других продуктов питания, преждевременным прорастанием корнеплодов при хранении и т.п.

Основные направления применения РТ

- *обработка пищевых продуктов для обеспечения микробиологической безопасности;*
- *продление сроков хранения: облучение картофеля, клубне- и корнеплодов для задержки прорастания при хранении, а свежих фруктов и овощей - в целях ингибирования созревания;*
- *борьбы с насекомыми-вредителями (дезинсекция);*
- *обработка посевного материала для борьбы болезнями (замещение химического протравливания);*
- *предпосевная обработка для повышения урожайности культур;*
- *селекция новых сортов (радиационный мутагенез);*
- *обработка кормов и обеззараживание отходов.*



Применение радиационных технологий в мире

Глобальная ситуация с применением лучевой обработки продуктов питания и использованием РТ в сельском хозяйстве



Пищевая промышленность и сельское хозяйство – третий сегмент радиационных технологий по объему мирового рынка РТ

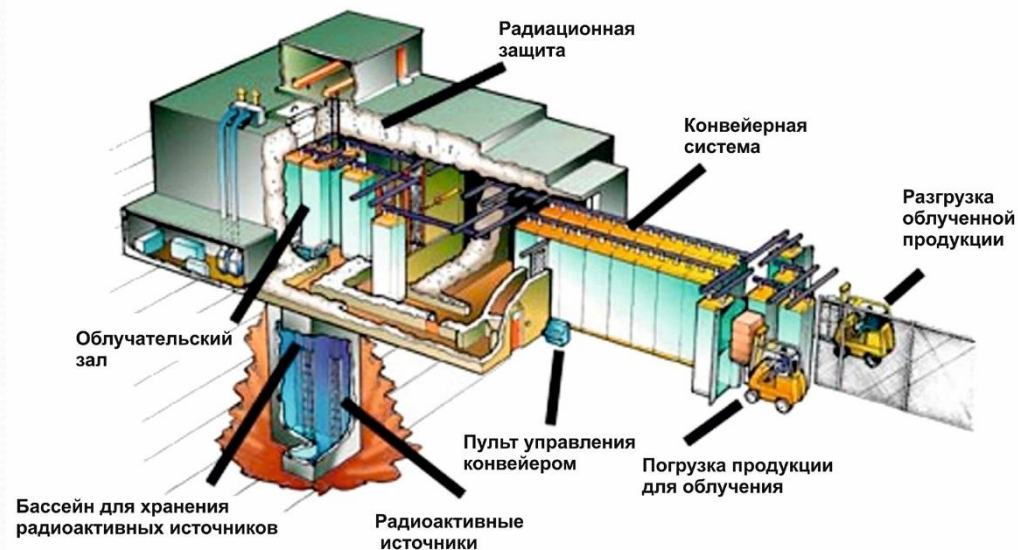


- Ежегодно в мире облучается более 700 тысяч тонн пищевой продукции: Китай (146 тыс. т), США (92 тыс. т), страны Карибского бассейна (300 тыс. т).
- Обработка более 80 видов пищевых продуктов ионизирующим излучением разрешена в 69 странах мира.
- Мировой рынок услуг по облучению продуктов питания и с/х продукции составляет ~ 2,3 млрд. долл.
- По прогнозу рынок облучения может составить к 2020 г. 4,8 млрд. долл., а к 2030 г. 10,9 млрд. долл.

Технические средства



Гамма- установки:
ГУР-120, с источниками ГИК-7-4,
общей активностью ^{60}Co $13,8 \cdot 10^{14}$ Бк.
мощность дозы – до 1 кГр/час



Радационный стационарный комплекс для облучения продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности с использованием мощной гамма-установки

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера (Новосибирск)



Общий вид радиационной установки конвейерного типа на основе линейного ускорителя электронов с энергией 10 МэВ, мощность дозы – 1,5 кГр/с

Радиационный стационарный комплекс для облучения продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности с использованием ускорителя электронов



Электронный ускоритель с энергией электронов 0.55MeV (Франция)

Дозы облучения

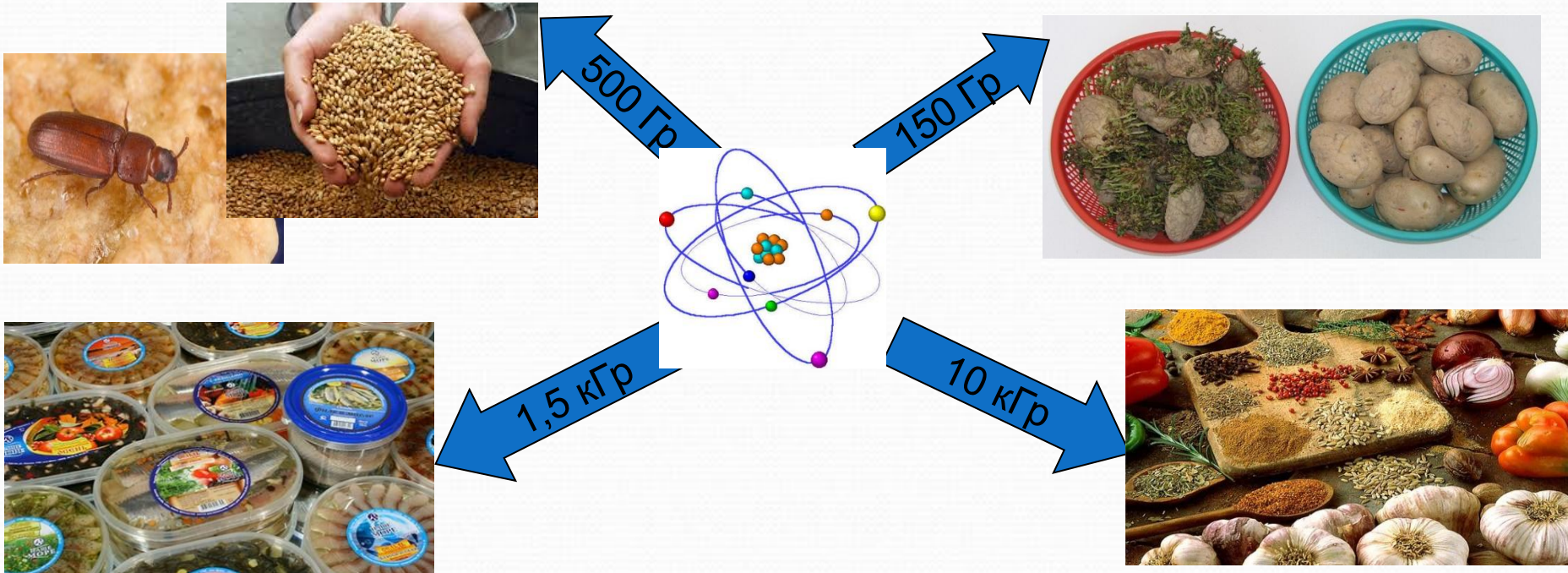
Функция	Доза (кГр)	Облученные продукты
Низкая доза (до 1 кГр)		
Стимуляция семян	0,003-0,04	Семена сельскохозяйственных культур
Задержка прорастания	0,05 – 0,15	Картофель, лук, морковь и т.п.
Дезинсекция	0,15 – 1,0	Зерно, крупы, мука, сухофрукты
Задержка созревания	0,2 – 1,0	Свежие фрукты
Средняя доза (1 – 10 кГр) (Радисидация, радуризация)		
Увеличение срока годности	0,5 – 3,0	Фрукты, овощи, мясо
Стерилизация	0,3 – 6,0	Пищевая продукция
Стерилизация	5 – 10,0	Специи, пряности, сухофрукты и др.
Высокая доза (10 – 50 кГр) (Радаппертизация)		
Глубокая стерилизация	30 – 50	Пищевая продукция

Эффективность радиационной обработки

- Института ядерной физики им. Г.И. Будкера (Новосибирск)
- АО «НИИТФА» ГК «Росатом» (Москва)
- Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина (Пушино)
- Институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха (Московская область)

Радиационная дезинсекция зерна достигается при дозе 500 Гр

Прорастание клубней картофеля останавливается при дозе 150 Гр



Обработка рыбных консервов в дозе 1,5 кГр снижает микробную обсемененность и увеличивает сроки хранения

Обработка в дозах от 2 до 10 кГр обеспечивает микробиологическую безопасность специй и пряностей

Микробиологическая безопасность (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*, *V. cereus* и сульфитредуцирующие клостридии, *Vibrio parahaemolyticus*);
- патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы и *Listeria monocytogenes*, бактерии рода *Yersinia*;
- микроорганизмы порчи (дрожжи и плесневые грибы, молочнокислые микроорганизмы).

Микроорганизмы	Доза, кГр	Микроорганизмы	Доза, кГр
<i>Salm. Typhimurium</i>	3	<i>Sarcina lutea</i> <i>Bac. Pumilus</i> (споры)	15-17
<i>E. Coli</i> , <i>Str. Faecalis</i>	6	<i>Bac. Sabtilis</i> (споры), <i>Clostr. Sporogenes</i> (споры), <i>Aspergillus niveus</i>	20
<i>Micobac tuberculosis</i>	10	<i>Clostr. botulinum</i>	90

Дозы облучения для пряностей, специй и сушеных трав

Продукт	Диапазоны доз, кГр
Бasilik	6 - 8
Петрушка	4 - 10
Укроп	4 - 10
Тмин	3 - 8
Кардамон	4 - 8
Корица	3 - 8
Имбирь	4 - 8
Мускатный орех	4 - 8
Паприка	3 - 8
Черный перец	6 - 12
Красный перец	3 - 8

Радиационная обработка

Эффективность радиационной обработки сушеных специй и трав при облучении дозой 4 кГр достигает 100% при уничтожении плесневелых грибов и дрожжей

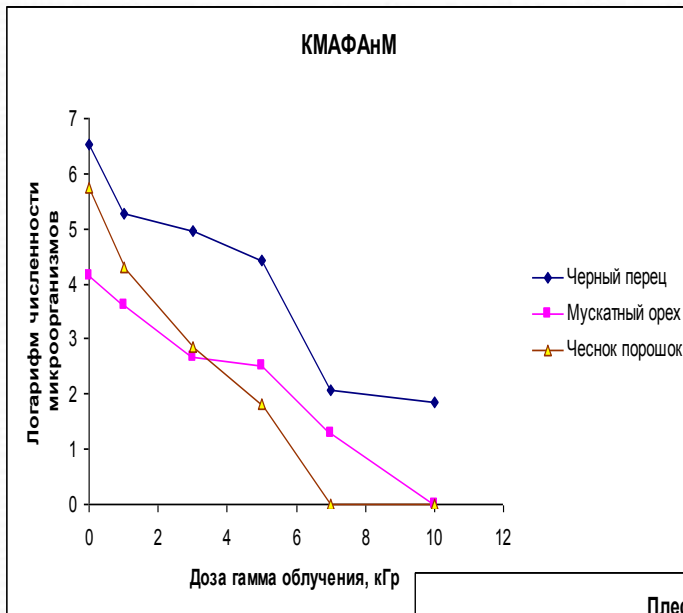
Радиационная обработка предварительно упакованных пряностей и специй позволяет увеличить срок их хранения в 2-3 раза



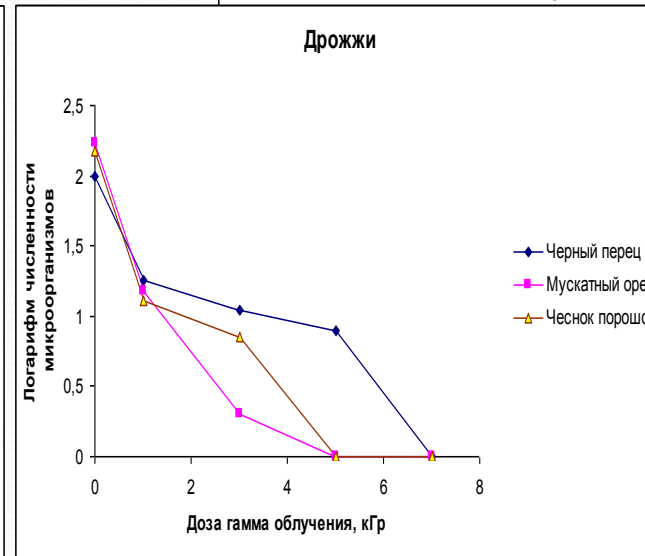
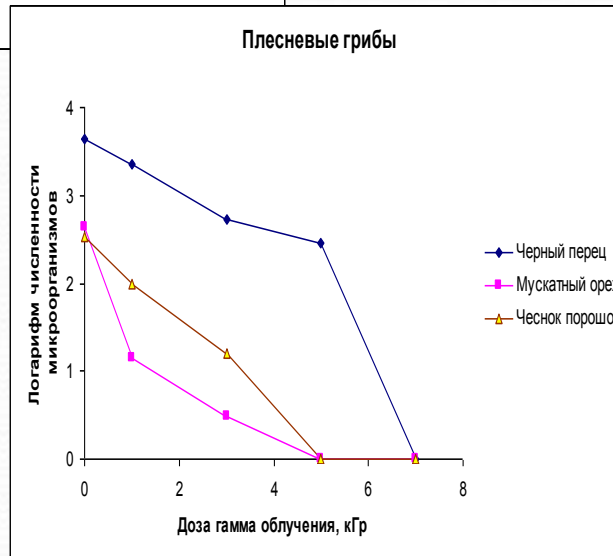
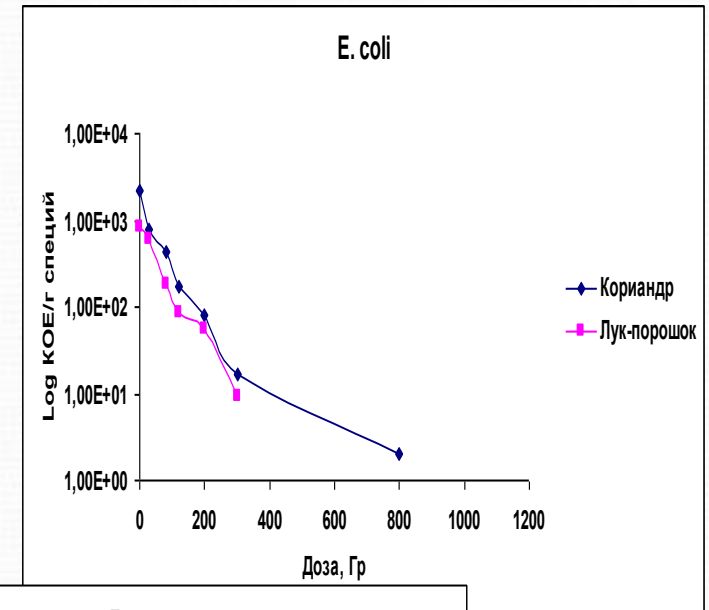
Проблема при хранении специй

Пряности и сушеные травы и овощи содержат условно патогенные микроорганизмы, свойственные почве и среде, где они были выращены (бактерии, грибки и плесень). Фумигационная обработка пряностей и приправ ведет к ухудшению вкусовых качеств продуктов.

Влияние доз облучения на снижение содержания микроорганизмов в специях и пряностях



Основная часть патогенных бактерий инактивируется дозами до 3 кГр, а микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов, - до 6 кГр



Продление сроков хранения и сохранение качества



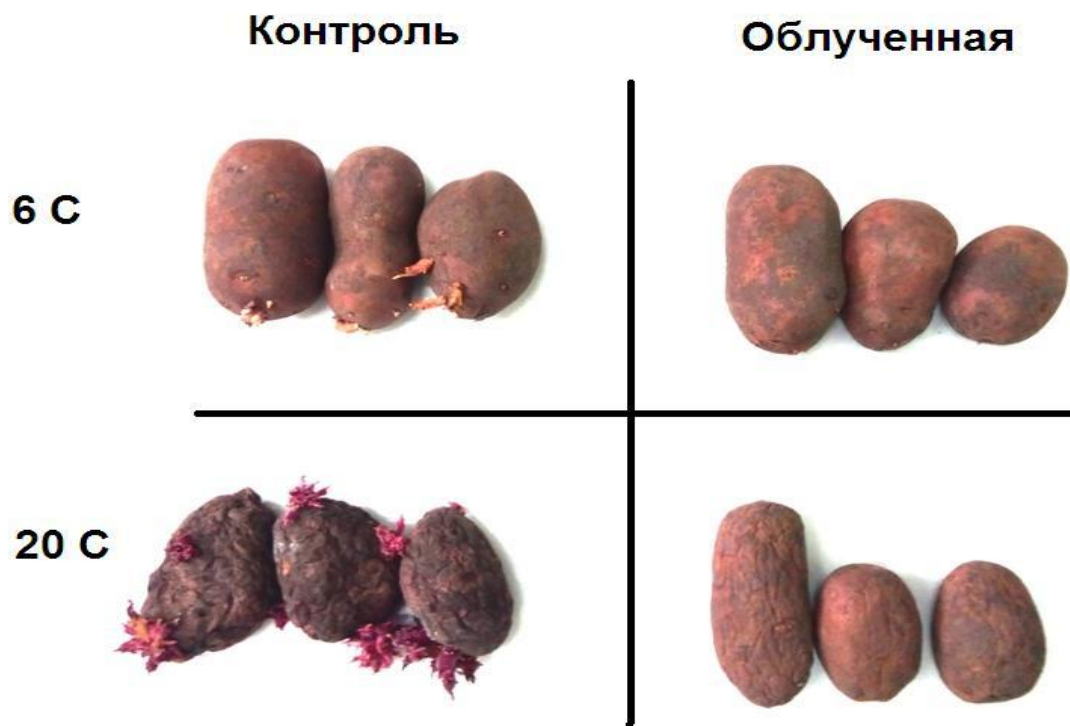
Доза облучения клубней картофеля должна быть дифференцирована в зависимости от сроков радиационной обработки:

- 50-70 Гр — при облучении в октябре-ноябре,*
- 100–150 Гр — при облучении в более поздние сроки.*

Облучение проводилось на гамма-установке ГУР-120, ВНИИРАЭ

Продления сроков хранения и сохранение качества

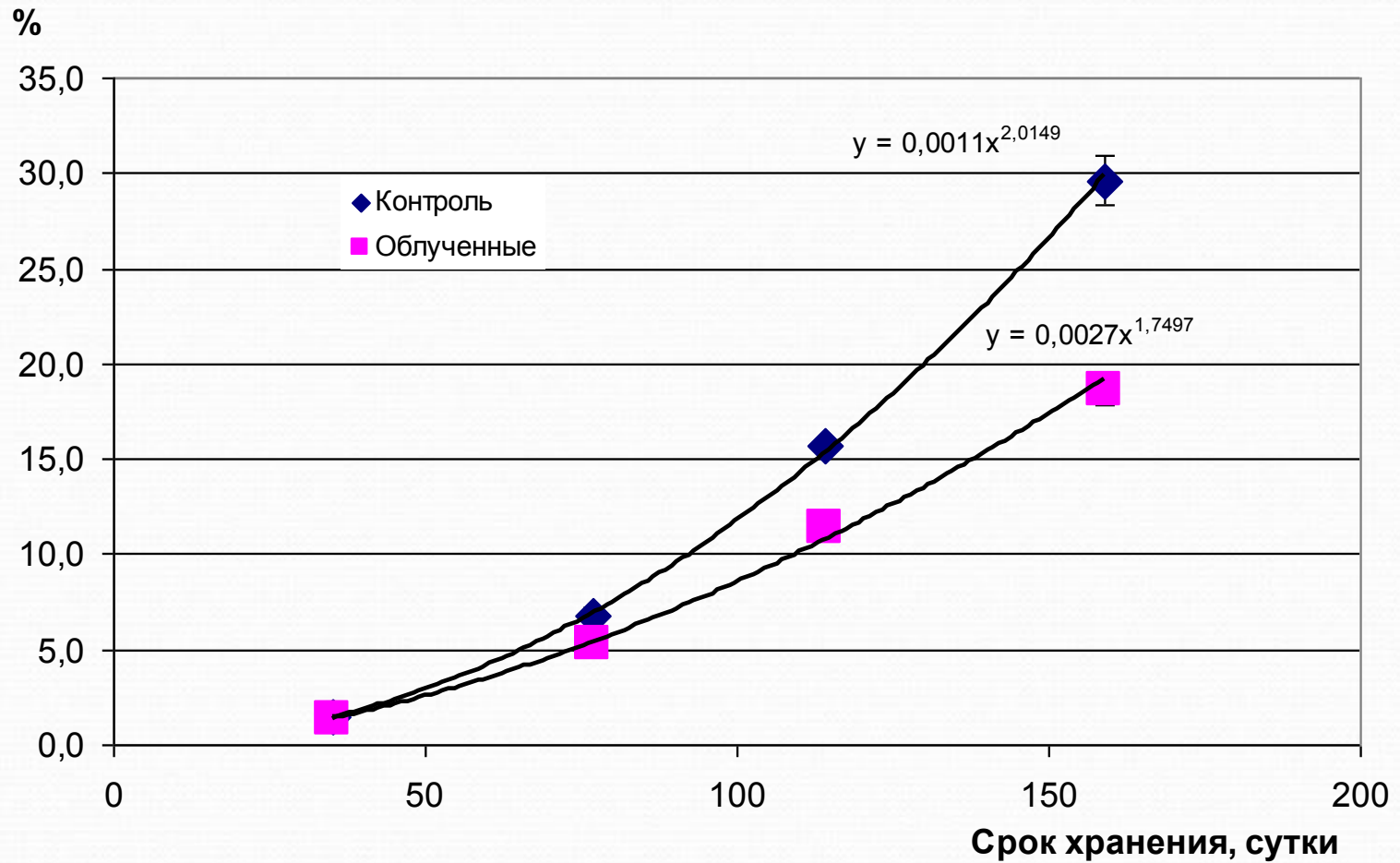
Внешний вид клубней после хранения при различных температурах в течение 5 месяцев



Облучение картофеля проводилось на ускорителе электронов ИЛУ-6 в режиме тормозного гамма-излучения при мощности дозы 120 Гр, Института ядерной физики им. Г.И. Будкера (Новосибирск)

Сохранение качества клубней картофеля

Потеря веса клубня, хранение при 20 С



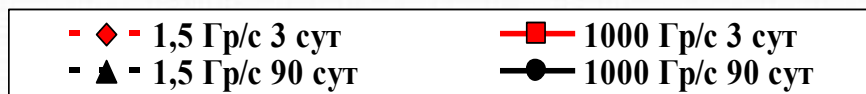
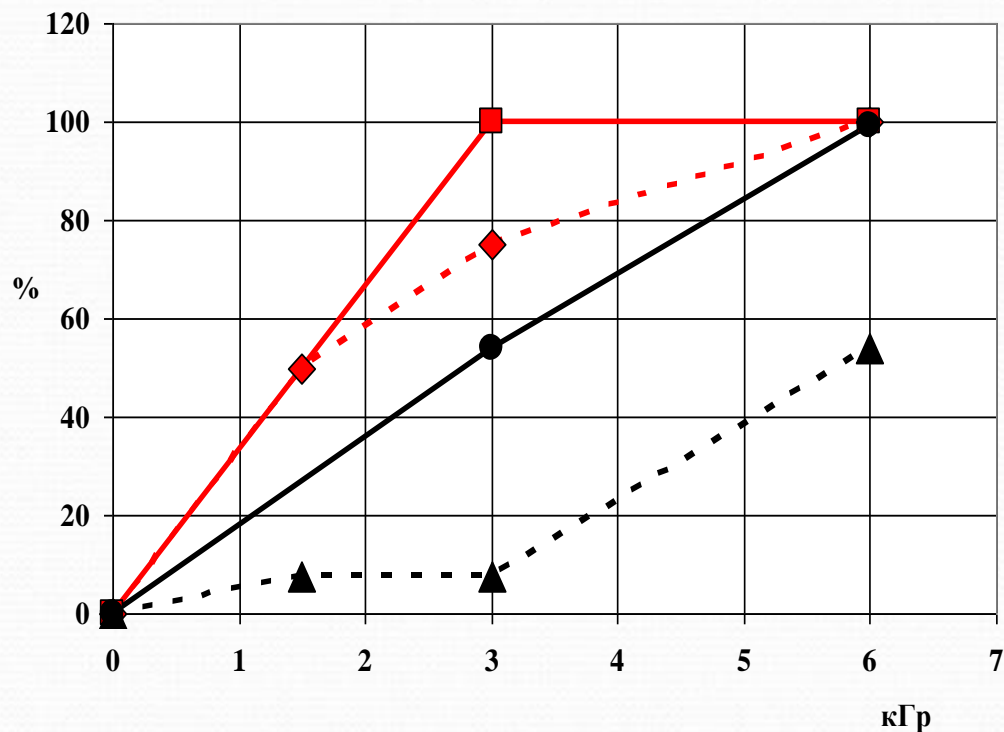
Многокомпонентная пищевая продукция



НОМЕР	ГРУППА	ДЕЙСТВИЕ	ОПАСНЫ	ЗАПРЕЩЕНЫ
Е 100–182	Красители	Усиливают или восстанавливают цвет.	Е 102, 104, 110, 120, 122, 124, 128, 129, 131–133, 142, 151, 150, 153–155, 160, 171, 173–175, 180	Е 103, 105, 111, 121, 123, 125–127, 130, 152
Е 200–299	Консерванты	Удлиняют срок хранения, защищая от порчи, вызванной микроорганизмами.	Е 201, 210, 212–215, 219, 220, 222–224, 226, 227, 228, 230–233, 236–239, 239, 241, 242, 249–252, 270, 280–283	Е 211, 216, 217, 240
Е 300–399	Антиокислители	Действуют аналогично консервантам: защищают продукты от порчи, вызванной окислением (например, жиры – от прогоркания), и сохраняют цвет.	Е 310–312, 320, 321, 338–341, 343	
Е 400–499	Стабилизаторы Загустители	Сохраняют заданную консистенцию продукта. Повышают вязкость.	Е 400–405, 450–454, 461–463, 465–466, 477	
Е 500–599	Эмульгаторы	Действуют подобно стабилизаторам – поддерживают однородную смесь при применении несмешиваемых веществ (например, масла и воды).	Е 501–503, 510, 513, 527	
Е 600–689	Усилители вкуса и запаха	Усиливают природный вкус или запах продукта.	Е 620, 621, 626–637	
Е 700–899	Резервные номера	Эти добавки пока не применяются		
Е 900–999	Пеногасители Заменители сахара	Предупреждают или снижают образование пены. Вещества несахарной природы, придающие продуктам сладкий вкус.	Е 907, 926, 951, 952, 954, 957	Е 924а, 924б, 952

Эффективность обработки рыбных пресервов

Относительная эффективность воздействия ионизирующего излучения с разной мощностью дозы на общую микробную обсемененность



- - - γ-установка

— электронный ускоритель

Морфология и состояние метаболизма выжившей микробиоты при росте на органических компонентах рыбных пресервов после облучения в разных дозах (мощность дозы 1,5 Гр/с) через 6 месяцев хранения

контроль

облученные



Доза, кГр	Продукция CO ₂ , ммоль	Потребление O ₂ , ммоль
0	1.700	5.11
1.5	1.632	4.25
3.0	0.819	1.64
6.0	0.157	0.26

Радиационная дезинсекция

- Радиационная дезинсекция применяется для уничтожения насекомых-вредителей и их личинок
- Преимущества
 - Исключение и сокращение применения химических средств и ограничение их вредного действия.
 - Сокращение сроков обработки до 1 дня (фумигация и дегазация – 7 дней, полный цикл - 45 дней);
 - Высокая эффективность обработки – 100% гибель насекомых-вредителей зерна (фумигация не убивает жучков и клещей);
 - Снижение риска отравления и смерти работников (при фумигации фиксируются смертельные случаи).

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

Радиационная дезинсекция



Влияние облучения на снижение зараженности муки ржаной долгоносиком

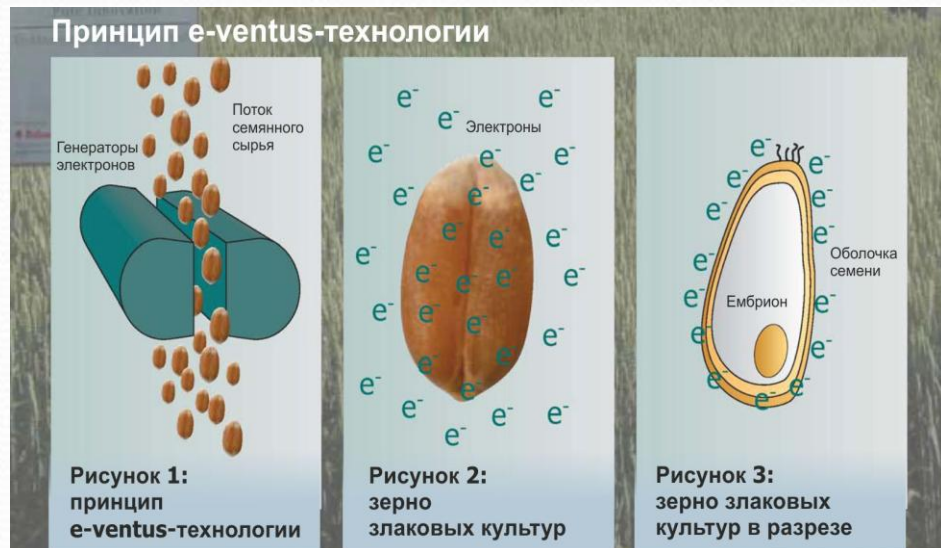
Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Стадия развития	Средняя плотность заражения до облучения, экз/кг	Средняя плотность зараженности муки после облучения, экз./кг	
				через 15 сут.	через 30 сут
0 (Контроль)	долгоносик	жук	360	480	440
		личинка	40	0	0
200		жук	600	20	20
300		жук	660	0	0
		личинка	20	20	0
400		жук	380	20	0
500		жук	680	0	0

При облучении в дозе 250 Гр (мощность дозы 60 Гр/мин) при тормозном, 500 Гр (мощность дозы 70-100 Гр/с) – при электронном облучении и 300-500 Гр – при гамма-облучении (мощность дозы 40 Гр/мин) наступает полная гибель насекомых через 15-30 суток после облучения.

Стационарные и передвижные установки для предпосевной обработки на основе использования ускорителя электронов с энергиями от 105 до 145 кэВ



Эффективность e-ventus-протравливания семян с использованием ускорителя низкоэнергетических электронов



Злаковая культура	Возбудитель болезней	Эффективность действия, %
Озимая пшеница	<i>Tilletia caries</i> (каменная головня) <i>Septoria nodorum</i> <i>Fusarium spp.</i> <i>Microdochium nivale</i>	99,5 70-80 70-80 70-80
Озимая рожь	<i>Urocystis occulta</i> (стержневая головня) <i>Fusarium spp.</i>	96,5 96,5
Озимый ячмень	<i>Drechslera graminea</i>	60-70
Яровой ячмень	<i>Drechslera graminea</i>	60-70

Сравнение технологий

Технология	Особенности	Обработка в упаковке
СВЧ	Нагревание продукции. Ухудшение органолептических свойств, потеря вкусовых соединений.	Да
Ультрафиолет	Ухудшение органолептических свойств, возможно изменение цвета.	Нет
Паровая обработка	Нагревание продукции. Ухудшение потребительских качеств вследствие потери термолабильных ароматических соединений, повышения влажности, термического разложения, возникновения термически индуцированных радикалов.	Нет
Химическая обработка	Возможно негативное влияние на здоровье потребителей в силу наличия остаточных химических соединений в продукте. Технология запрещена в ЕС с 1991г.	Да
Обработка ИИ	Холодный процесс. Не влияет на органолептику и другие потребительские свойства продукта. Наиболее высокая эффективность обеззараживания. Отсутствие остаточных химических соединений, безопасность работников и населения.	Да

Перспективы отечественного рынка

Объемы производства в РФ сельскохозяйственной продукции, для обеспечения микробиологической безопасности которой могут быть применены радиационные технологии, 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.

Проблемы:

- *Радиофобия;*
- *Отсутствие государственной программы развития и внедрения радиационных технологий неэнергетического профиля*
- *Несовершенство нормативной базы*
- *Отсутствие мобильных установок*
- *РТ не встроены в технологические процессы производства, переработки и хранения продукции*
- *Отсутствие логистики*

Нормативное регулирование:

- *Радиационная обработка пищевых продуктов (ISO 14470:2014, утвержден Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации. 2014);*
- *ГОСТ 33271-2015. Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами. М.: Стандарт-информ. 2015.*
- *Инструкция по борьбе с вредителями хлебных запасов. Радиационная дезинсекция. П. 4.5. М., 2011;*

Создание центров облучения в РФ

Облучательский центр в технопарке «Кольцово» (г. Новосибирск)

ООО «Объединенная Инновационная Корпорация» Госкорпорация «Росатом»

Проект реализуется на двух площадках ГК «Росатом»:

- ФГУП «НИИП» - Московская обл., г. Лыткарино
- ОАО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» - Калужская обл., г. Обнинск

Производственная мощность – **5 625 тонн в год** облучаемой продукции на каждой площадке.

Группа Теклеор

Радиационно-технологический комплекс на базе ускорителя электронов УЭЛВ-10-10.

Проект реализуется в технопарке Ворсино, Калужская область



Центр обеззараживания в ЦФО



Акселланс Групп реализует проект по созданию в ЦФО первого специализированного контрактного центра стерилизации ионизирующим излучением, удовлетворяющего международным стандартам качества.

Одна из специализаций центра

обработка специй, приправ и других пищевых ингредиентов.

Оборудование:

для обработки ионизирующим излучением будет использоваться ускоритель электронов 10 МэВ, 10 кВт.

Планируемый срок запуска:

2016-2017



«Дорожная карта» внедрения РТ в АПК РФ

- 1. Анализ логистики размещения радиационных центров ГК «Росатом» и Российской академии наук (РАН), которые могут быть вовлечены в рынок РТ и крупных агропромышленных объединений по производству и переработки сельскохозяйственной продукции.*
- 2. Выделение приоритетных регионов, обладающих высоким агропромышленным потенциалом, где целесообразно создание новых радиационных центров, приближенных к производственным предприятиям.*
- 3. Оценка возможностей встраивания РТ в технологические процессы, анализ рисков и критических контрольных точек, предусматривающих систематическую идентификацию, оценку и управление опасными факторами (ХАССП) при производстве продуктов питания.*
- 4. Развитие «линейки» облучательской техники с учетом технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции. Разработка мобильных установок.*
- 5. Развитие сети радиационных центров на территории Российской Федерации. Привлечение бизнеса.*

Благодарю за внимание!