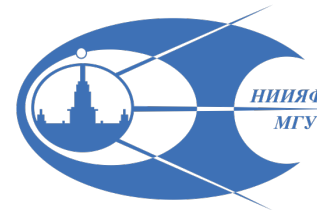




Физический факультет
МГУ им. М.В. Ломоносова



Химический факультет
МГУ им. М.В. Ломоносова



НИИЯФ МГУ
им. Д.В. Скобельцына

Результаты исследований в области радиационной обработки биологических объектов и материалов, полученные в 2023 году

Докладчик: к.ф.-м.н. Близнюк Ульяна Александровна

Заведующая лабораторией радиационной обработки
биообъектов и материалов НИИЯФ МГУ

Москва, 2024

Комплексный подход к физическим проблемам радиационной обработки



ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА



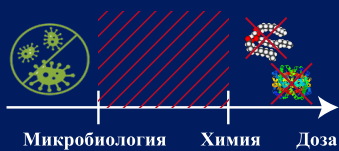
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ИМЕНИ Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА



ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

Исследования поддержаны Грантом РНФ №22-63-00075
Поиск биохимических маркеров идентификации радиационной
обработки объектов органического происхождения (2022 – 2025 гг.)

Повышение эффективности радиационной обработки биообъектов



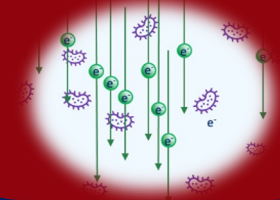
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЛЕКАРСТВЕННЫХ И
АРОМАТИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
БИОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ
А.И. БУРНАЗЯНА



Поиск маркеров воздействия ионизирующего излучения



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ РАН



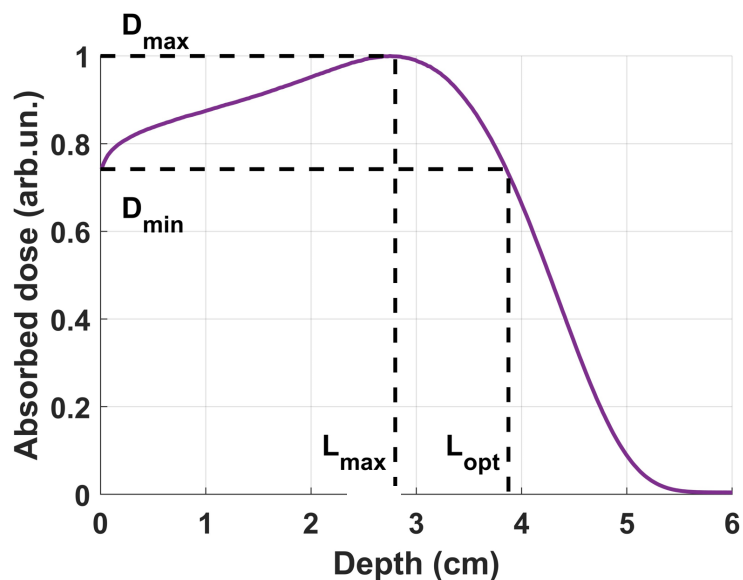
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В
СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И
БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА

Эффективность радиационной обработки

$$K = F(K_1, K_2, K_3)$$

$$K_1 = \frac{D_{min}}{D_{max}}$$

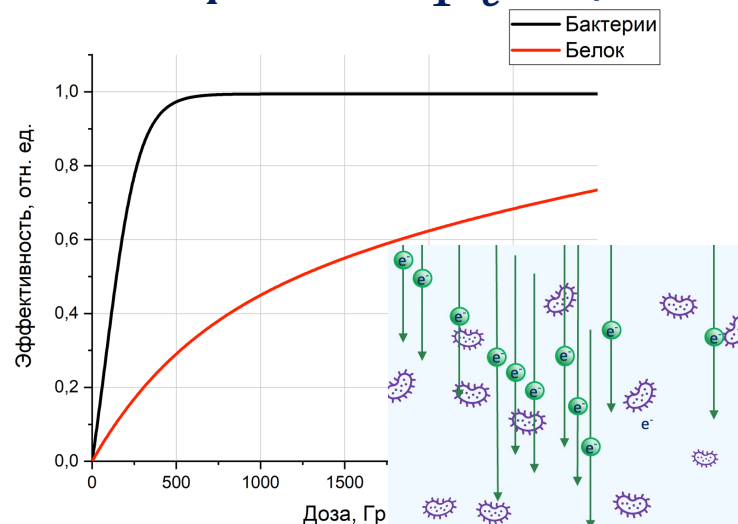
Физическая однородность
распределения поглощенной дозы



$$K_2 = 1 - e^{-\alpha D}$$

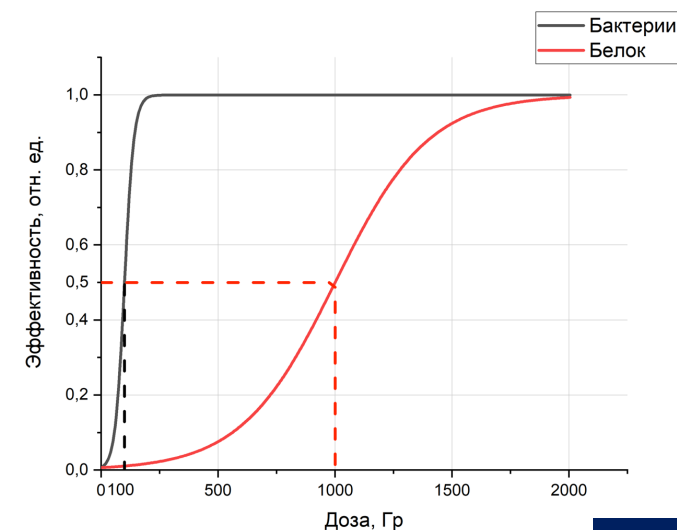
Вероятность взаимодействия
излучения и мишени в объекте

$$\alpha = \frac{10^8 V \rho}{F}, \quad F = \frac{16 \bar{L} \rho}{1 - e^{-16 \bar{L} \rho}}$$



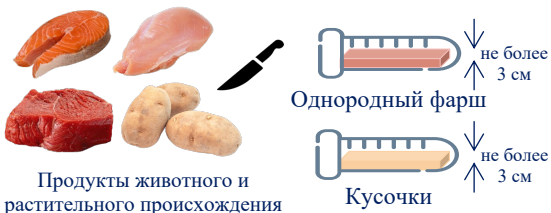
$$K_3 = \frac{1}{1 + e^{-\frac{D - \bar{D}}{\sigma}}}$$

Неоднородность чувствительности
объектов к воздействию излучения

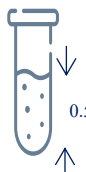


Материалы и методы

Пробоподготовка образцов

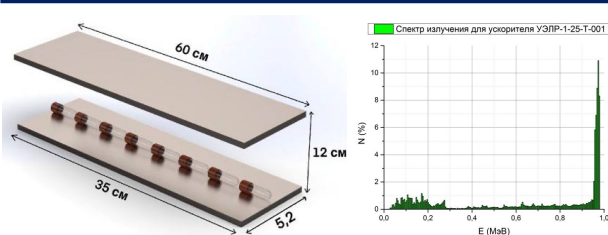


Продукты животного и растительного происхождения



- Стандартные образцы ЛОС: гексаналь, гексанол-1 и др.
- Бычий сывороточный альбумин (БСА)
- Дозиметрический раствор Фрикке

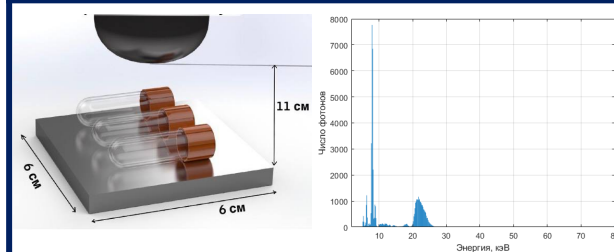
Облучение ускоренными электронами



УЗЛР-1-25-T-001 НИИЯФ МГУ Энергетический спектр

$E_{\max} = 1 \text{ МэВ}$
Ток пучка: 0.1 мкА-3 мкА
Мощность дозы: 1-10 Гр/с
Дозы облучения: 100-10 000 Гр

Облучение тормозными фотонами



ГНЦ им. А.И. Бурназяна Энергетический спектр

$E_{\max} = 60 \text{ кэВ}$
Мощность дозы: 1-2 Гр/с
Дозы облучения: 100-5 000 Гр

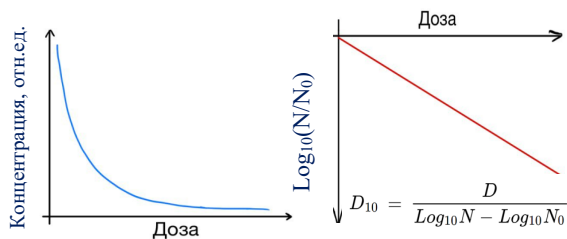
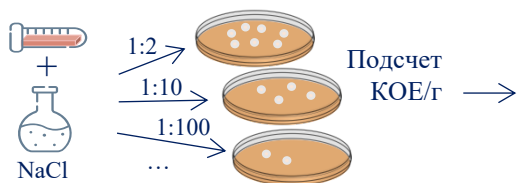
Дозиметрия

Ферросульфатный раствор (дозиметр Фрикке);

Радиохромные пленки
СО ПД(Э) – 1/10,
СО ПД(Ф)Р – 5/50;

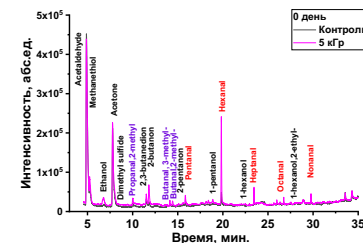
Моделирование GEANT4

Микробиологический анализ



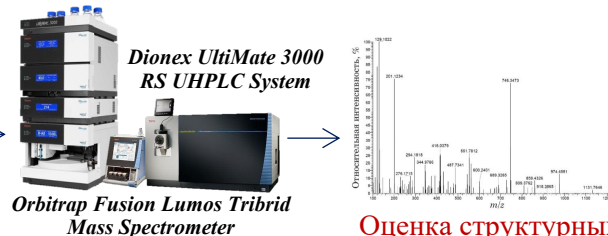
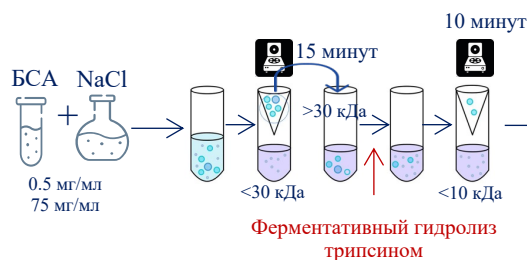
Оценка выживаемости и радиочувствительности микроорганизмов

Химический анализ: ГХ-МС анализ



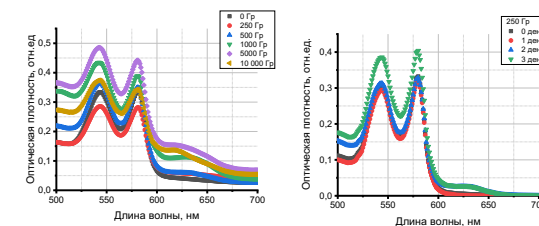
Обнаружение летучих органических соединений

Химический анализ: ВЭЖХ-МС/МС анализ



Оценка структурных повреждений белков

Спектрофотометрический анализ



Отслеживание производных форм гемоглобина

Физическая проблема неоднородности распределения поглощенной дозы по объему биологических объектов

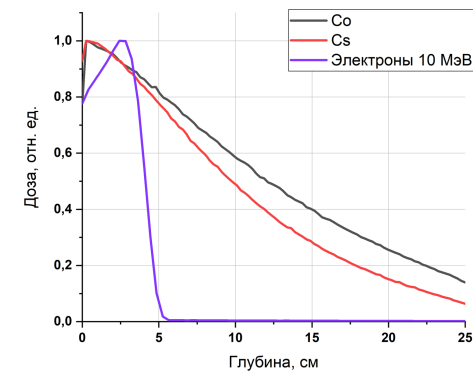
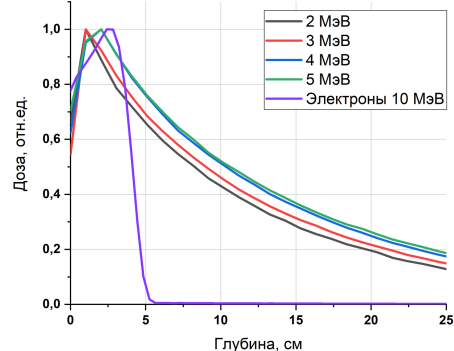
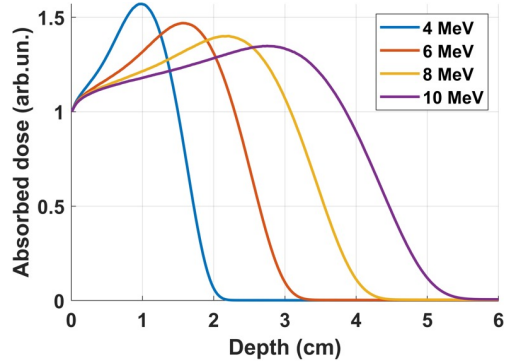
Фактор

Ускоренные электроны

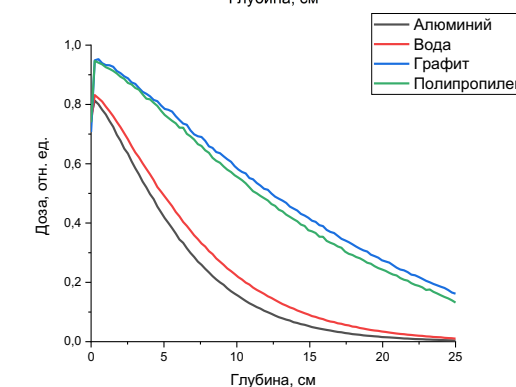
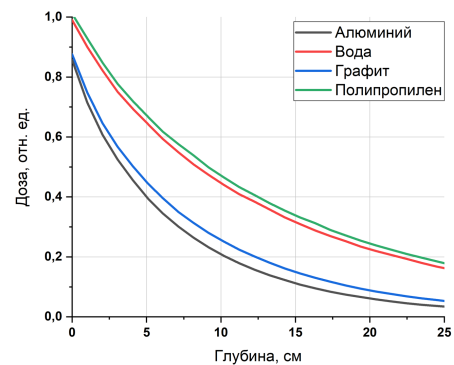
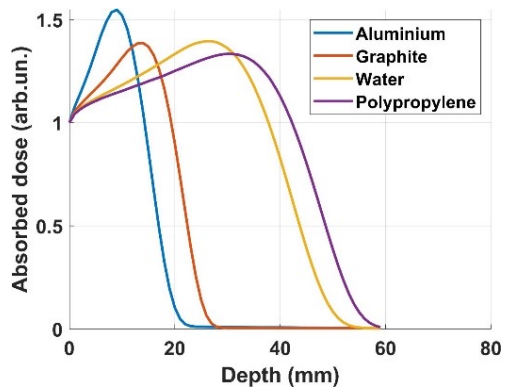
Тормозное излучение

Гамма-излучение

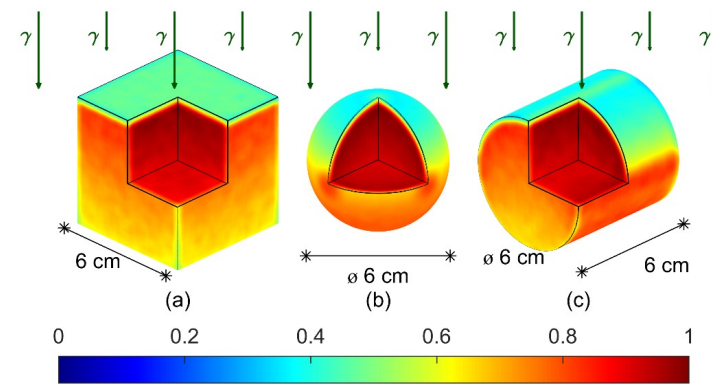
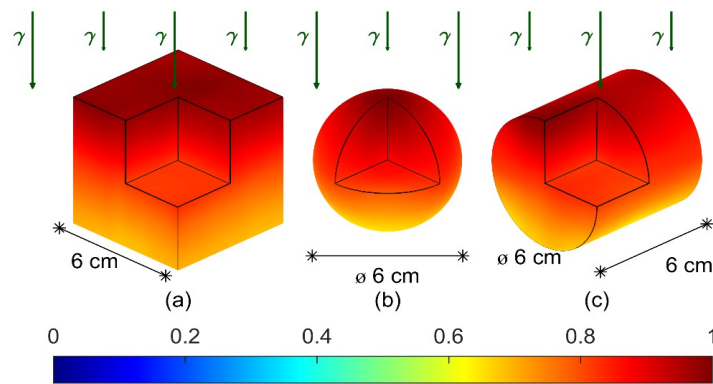
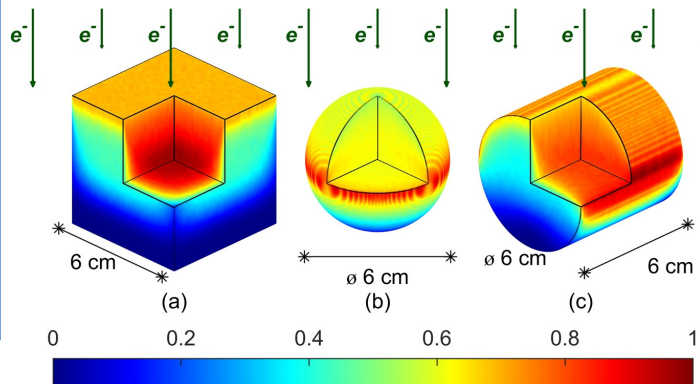
Спектр $F(E)$



Материал
 $\rho * Z_{eff}$



Геометрия и линейные размеры объекта



Система планирования промышленной радиационной обработки Demetra by IRT

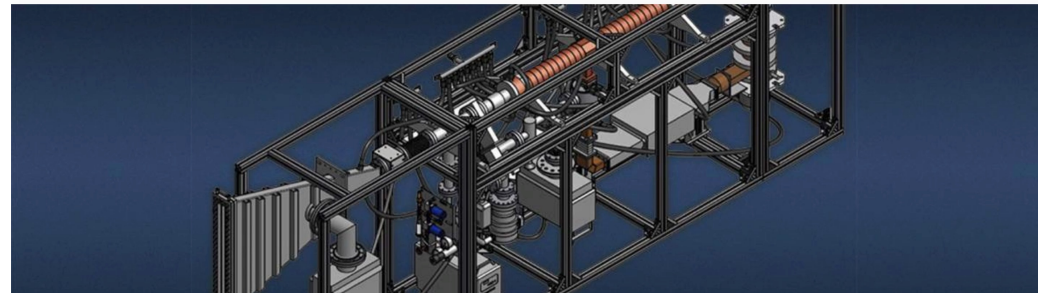
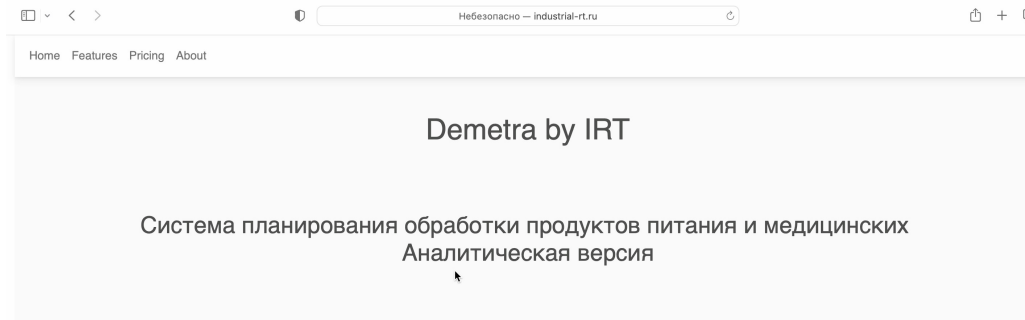
Расчёт параметров работы ускорителя для доставки заданной дозы обрабатываемому объекту

Входные параметры

- Масса (M , кг) и линейные размеры объекта (X , Y , см)
- Доза (D , Гр)

Выходные параметры

- Энергия (E , МэВ)
- Ток пучка (I , мА)
- Ширина развертки (w , см)
- Частота сканирования (F_{sc} , Гц)
- Частота следования импульсов (F_{rp} , МГц)
- Скорость конвейера (V , см/с)



Система разработана совместно с ЛЭУ МГУ



Система доступна в сети интернет: <https://industrial-rt.ru/Demetra/v3>

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023669628

Dose Preview by IRT

Правообладатель: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" (RU)**

Авторы: **Черняев Александр Петрович (RU), Ханкин Вадим Валерьевич (RU), Близнюк Ульяна Александровна (RU), Золотов Сергей Александрович (RU), Студеникин Феликс Рикардович (RU)**

Заявка № 2023669003

Дата поступления 15 сентября 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 сентября 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 4296406738318640a796183b7384aa7
Владелец: **Зубов Юлиан Сергеевич**
Действителен с: 2023.09.18 09:28:024

Ю.С. Зубов

Система быстрого расчёта глубинных дозовых распределений

Dosepreview by IRT

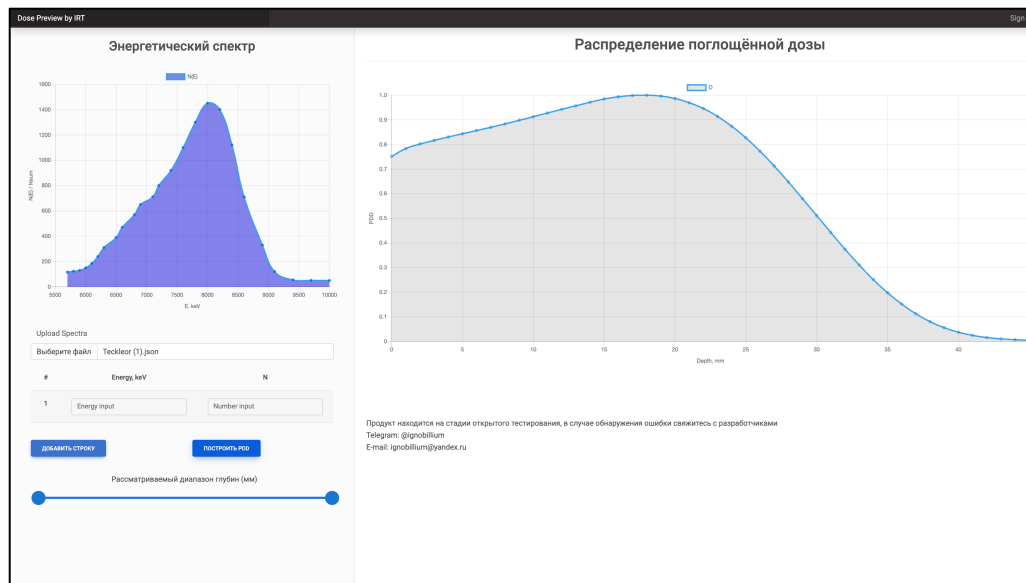
Расчёт распределения поглощенной дозы в воде, создаваемого пучком электронов с заданным энергетическим спектром

Входные параметры

- Глубина объекта (L, см)
- Энергетический спектра пучка N(E)

Выходные параметры

- Распределение поглощенной дозы по глубине объекта



В основе системы – база данных глубинных дозовых распределений, рассчитанная с использованием **Geant4**.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023669628

Dose Preview by IRT

Правообладатель: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" (RU)**

Авторы: **Черняев Александр Петрович (RU), Ханкин Вадим Валерьевич (RU), Близнюк Ульяна Александровна (RU), Золотов Сергей Александрович (RU), Студеникин Феликс Рикардович (RU)**

Заявка № 2023669003

Дата поступления 15 сентября 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 сентября 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



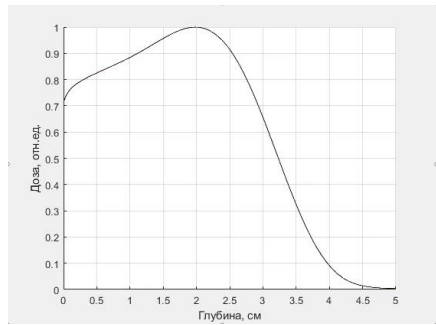
Документ подписан электронной подписью
Сертификат 42796409 3801364649693b73baa7
Инициалы: Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 18.09.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



Задача восстановления спектра пучка по распределению дозы по глубине, измеренному в известном веществе

Задача

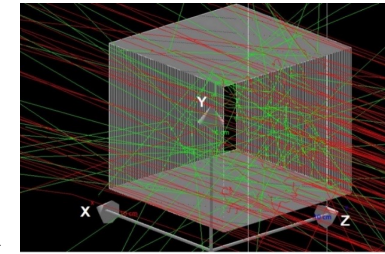
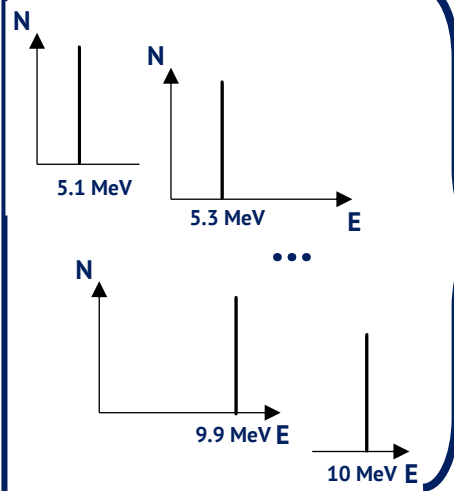


Дозовое распределение

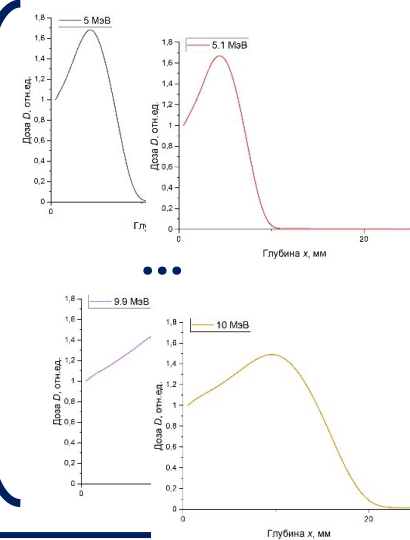
?

Энергетический спектр

Решение:

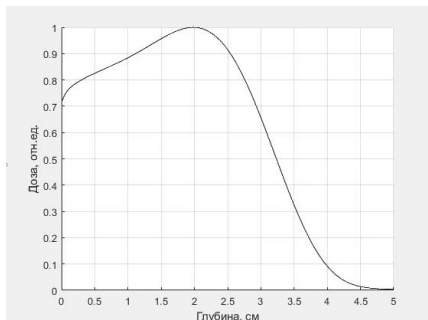


$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{f(E)} (\theta[f(E)]) \\ \theta[f(E)] = \int_0^L (D(x) - \int_0^{E_{max}} f(E) d(x, E) dE)^2 \end{array} \right.$$

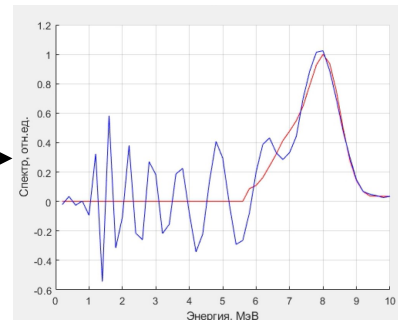


Проблема

- Решение $f(E)$ может быть **не единственным**
- Решение $f(E)$ может **сильно меняться при малых изменениях $D(x)$**
- Решение $f(E)$ может иметь **не физический вид** (осцилляции, отрицательность и т.д.)

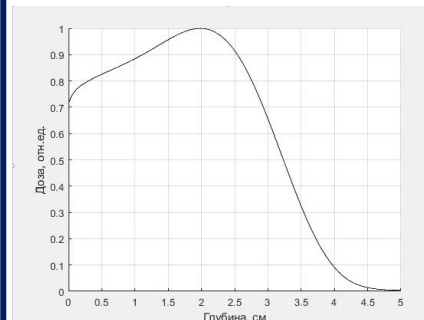


Дозовое распределение

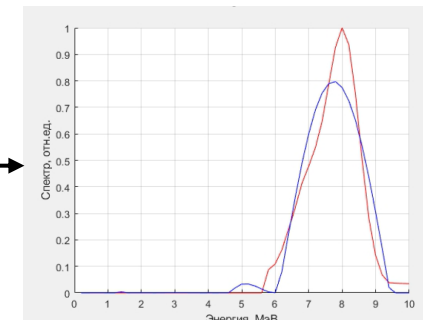


Энергетический спектр

Решение проблемы – регуляризация



Дозовое распределение



Энергетический спектр

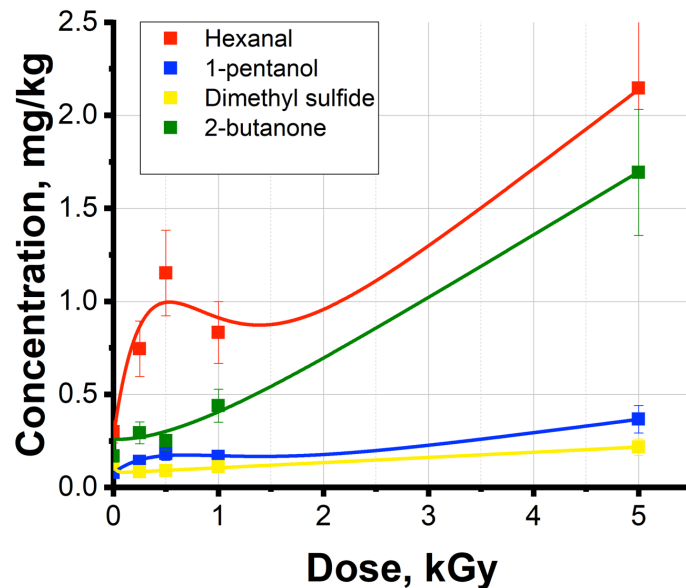
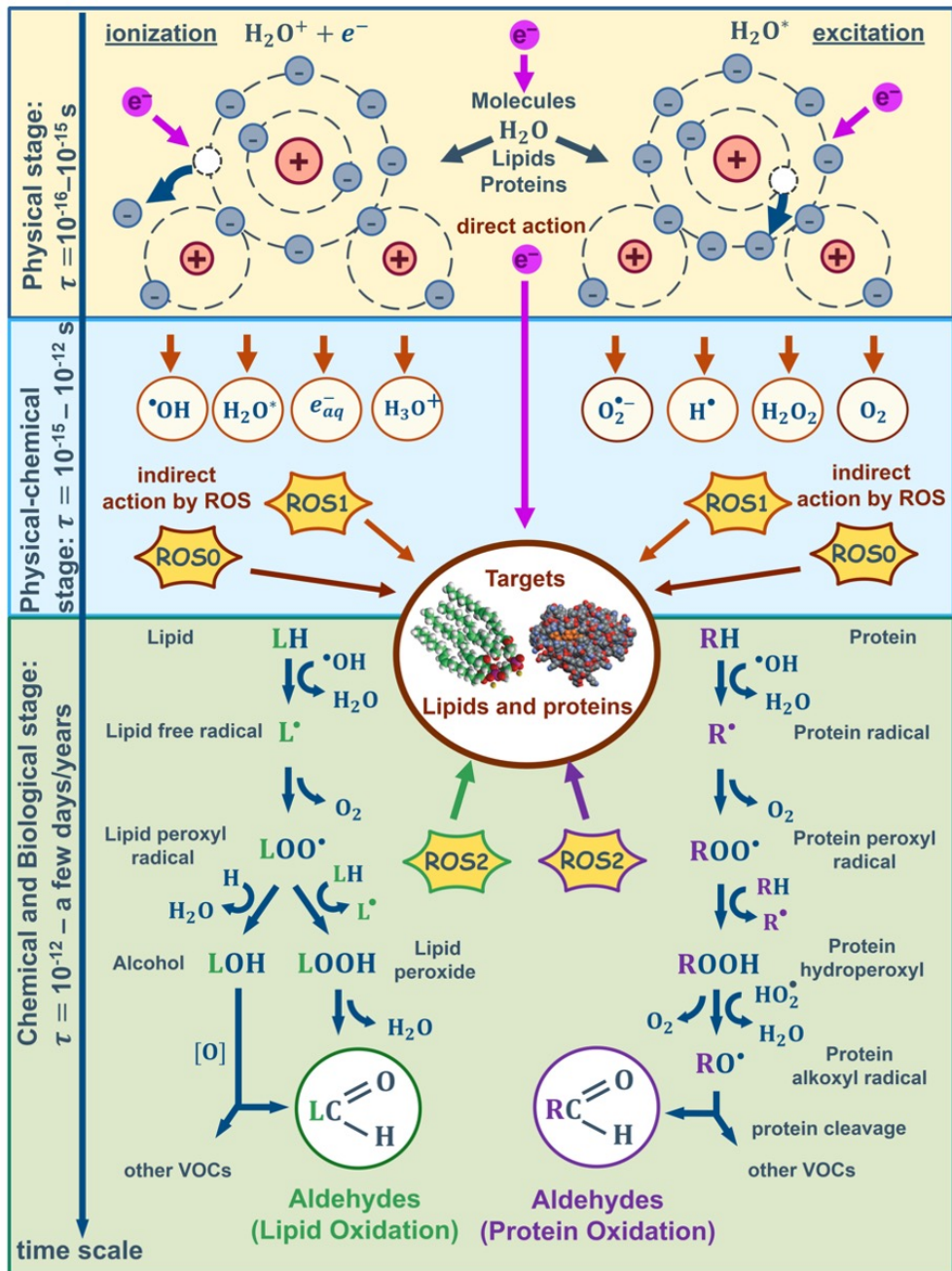
Основные выводы и результаты

1. Разработанная система планирования промышленной радиационной обработки позволяет рассчитать параметры работы ускорителя электронов для доставки заданной поглощенной дозы обрабатываемому объекту.
2. Разработанная система позволяет быстро рассчитать глубинное распределение поглощенной дозы в биологическом объекте, создаваемое пучком ускоренных электронов с заданным энергетическим спектром.
3. Разработанный алгоритм позволяет восстанавливать глубинное распределение поглощенной дозы в целевом материале по экспериментально измеренным распределениям в эталонных материалах с точностью не менее 95%.

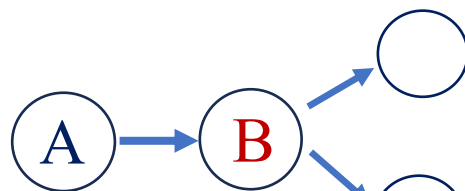
Опубликованные статьи

- Bliznyuk Ulyana, Chernyaev Aleksandr, Ipatova Victoria, Nikitchenko Aleksandr, Studenikin Felix, Zolotov Sergei. Electron Beam Processing of Biological Objects and Materials. UK: IntechOpen. 24 с.
- Studenikin F.R., Bliznyuk U.A., Chernyaev A.P. et al. Electron beam modification for improving dose uniformity in irradiated objects // European Physical Journal: Special Topics. 2023. Vol. 232, p. 1631–1635. **(Q2, IF 2.8)**
- Bliznyuk U.A., Borshchegovskaya P.Yu, Zolotov S.A. et al. Reconstruction of Depth Dose Distributions in Materials Created by Electron Beam // Physics of Particles and Nuclei. 2023. Vol 54, № 4, p. 575-580. **(Q3, IF 0.4)**
- Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю., Золотов С.А. и др. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЛУБИННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". 2023. Т. 54, № 4, с. 728-737
- Золотов С.А., Близнюк У.А., Студеникин Ф.Р. и др. КОМБИНАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПЛАСТИН РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". 2023. Т. 20, № 4 (249), с. 1069-1075

Определение верхнего предела эффективного диапазона доз



Рассчитанные зависимости концентраций спирта, альдегида, кетона и серосодержащего соединения в образцах говядины от дозы облучения



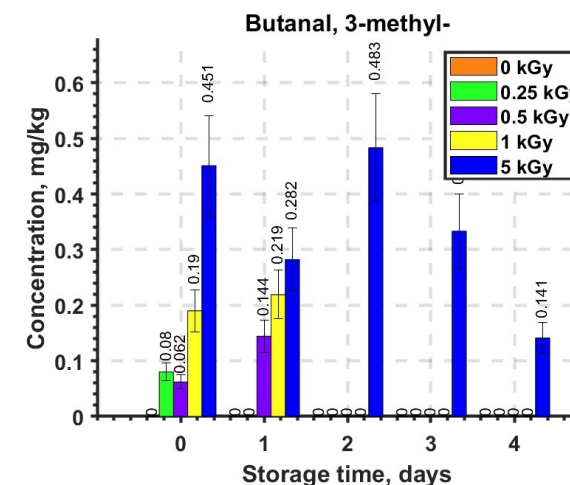
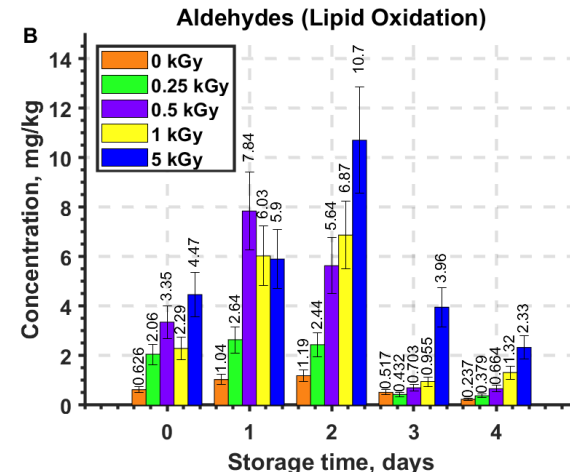
**1000 Гр
верхний
предел!**

$$\frac{dC^A}{dD} = -k_A C^A,$$

$$\frac{dC^B}{dD} = -\frac{dC^A}{dD} - k_B C^B D,$$

$$C^A(D=0) = C_0^A \text{ and } C^B(D=0) = C_0^B$$

$$C^B(D) = C_0^B e^{-k_B D} - \frac{q k_A C_0^A}{k_B - k_A} (e^{-k_A D} - e^{-k_B D}) + f(D)$$



Зависимости альдегидов от времени хранения образцов говядины, облученных в различных дозах

$$\frac{dl}{dt} = -\alpha m (R_0 + \beta D) l$$

$$\frac{dx}{dt} = q \frac{dl^{ox}}{dt}$$

$$x(t) = \frac{q l_0 \alpha m (R_0 + \beta D)}{\alpha m - \gamma n} (e^{-\gamma n t} - e^{-\alpha m (R_0 + \beta D) t})$$

Основные выводы и результаты

1. Воздействие ионизирующего излучения запускает последовательность химических превращений органических молекул в биообъектах, взаимно порождающих и влияющих друг на друга, которые, в конечном счете, влияют на состояние и их качество после радиационной обработки.

2. Физические параметры излучения, такие, как доза, мощность дозы, тип излучения влияют на интенсивность этого каскада химических превращений в биообъектах.

3. В то время, как интенсивность окисления липидов проявляется в биологических объектах при облучении в дозе 250 Гр и увеличивается с увеличением дозы облучения, интенсивность окисления белка становится соизмеримой с окислением липидов при облучении в дозе 5000 Гр.

4. Предложенная математическая модель, описывающая зависимость концентрации летучих органических соединений, идентифицируемых в биологических объектах сразу после облучения, от дозы, позволяет оценить скорость радиационно-химических превращений летучих соединений под действием излучения.

5. Предложенная математическая модель, описывающая кинетику концентрации альдегидов как продуктов окисления липидов в облученном биологическом объекте, основанная на одновременно протекающих процессах окисления липидов и альдегидов с течением времени за счет прямого и косвенного действия излучения, за счет активных форм кислорода, присутствующих в объекте при его хранении, позволяет определить верхнюю границу оптимального диапазона доз радиационной обработки биообъекта. Так, для говядины доза 1000 Гр является верхней границей эффективного диапазона доз обработки мяса.

Статья опубликована в 2024 в
журнале **Molecules** (Q1, IF 4.6)



Article

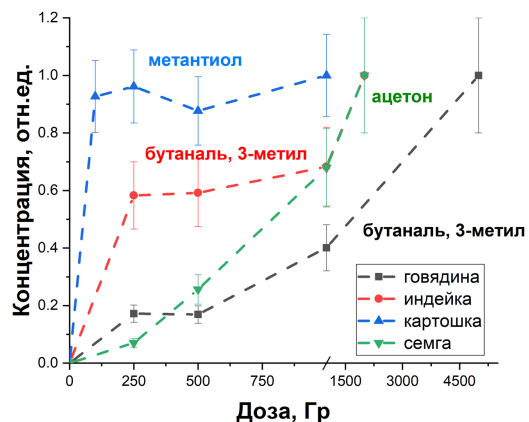
Volatile Compound Markers in Beef Irradiated with Accelerated Electrons

Ulyana Bliznyuk ^{1,2,*}, Polina Borshchegovskaya ^{1,2}, Timofey Bolotnik ³, Victoria Ipatova ², Aleksandr Kozlov ⁴, Alexander Nikitchenko ¹, Irina Mezhetova ¹, Alexander Chernyaev ^{1,2}, Igor Rodin ^{3,5} and Elena Kozlova ⁴

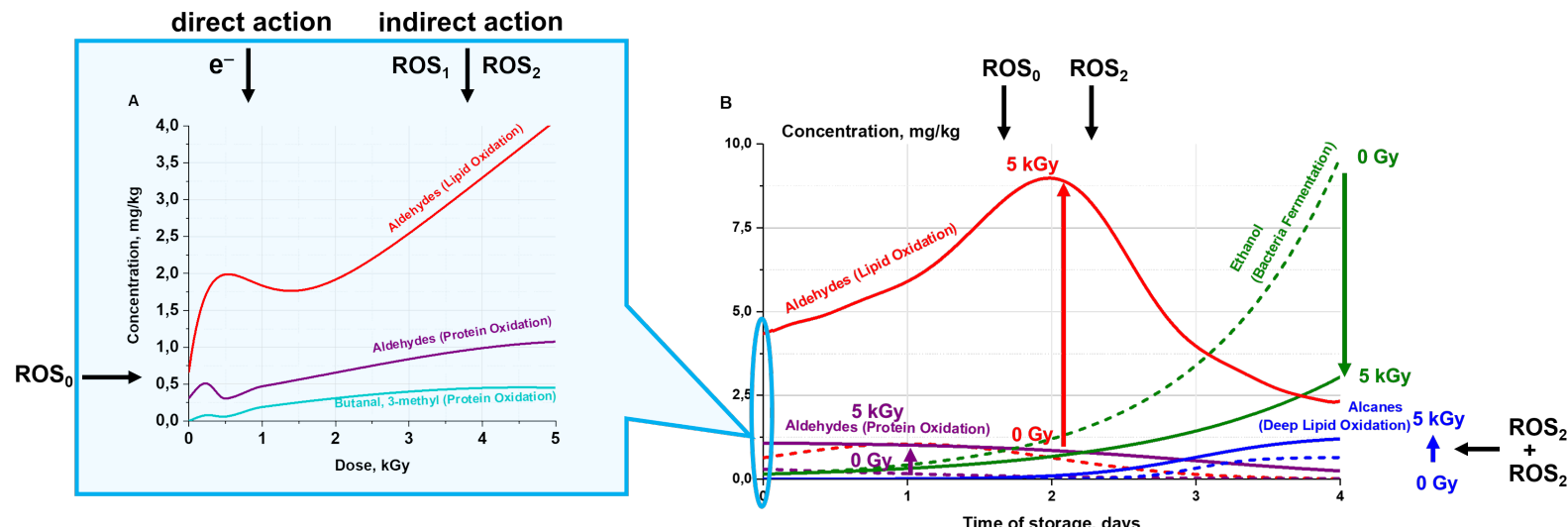
Поиск маркеров радиационной обработки биообъектов

Летучие соединения как потенциальные маркеры химических изменений в биологических объектах, вызванных воздействием ионизирующего излучения

Критерий выбора границ эффективного диапазона – концентрация летучих соединений



Зависимость относительных концентраций летучих соединений от дозы облучения в различных биообъектах

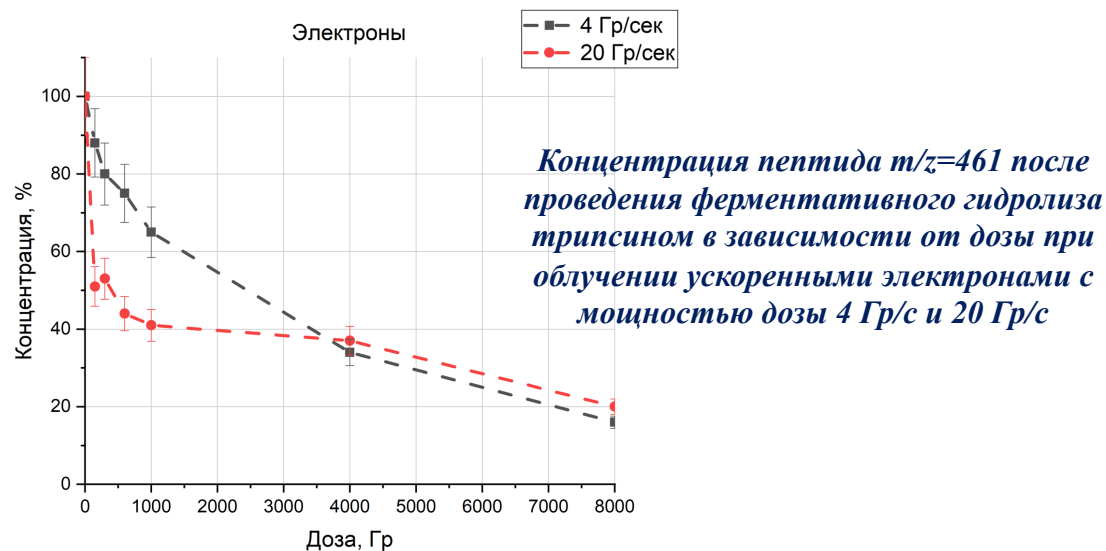


Эффективный диапазон для обработки говядины ускоренными электронами 250-1000 Гр

1. Идентифицирован ряд летучих органических соединений в образцах продукции сразу после облучения, которые не были обнаружены в необлученных образцах. Установлены дозовые зависимости для этих соединений.
2. Альдегиды пентаналь, гексаналь, гептаналь, октаналь и нонаналь, 3-метил бутаналь, алканы и спирт этанол, обнаруженные в образцах говядины после радиационной обработки ускоренными электронами, после могут служить маркерами воздействия излучения, поскольку их концентрация определяется дозой, поглощенной образцами, концентрацией АФК и содержанием микроорганизмов.

Поиск маркеров радиационной обработки биообъектов

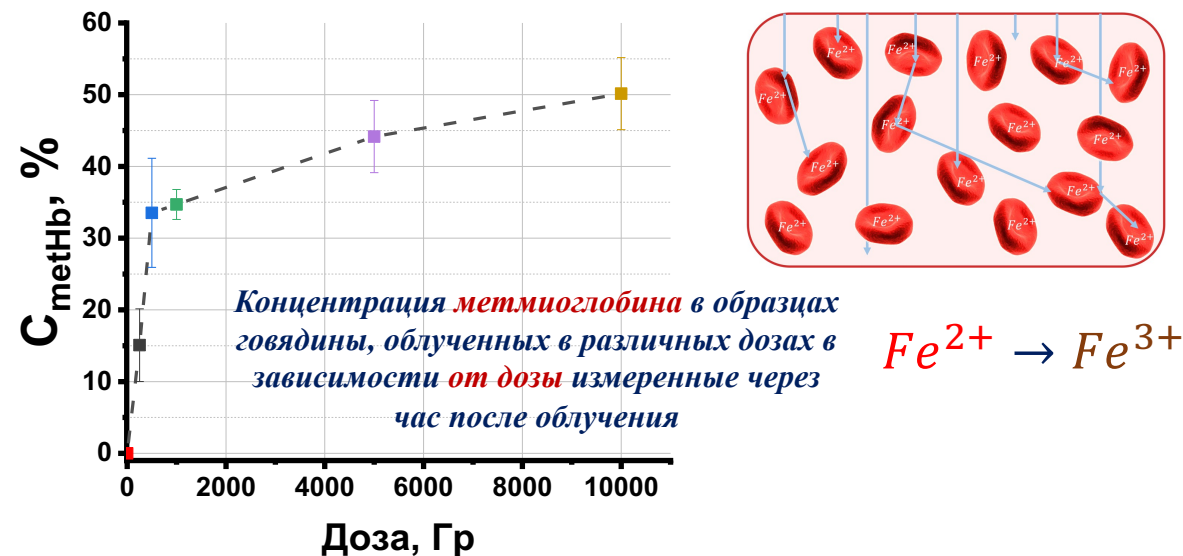
Количество повреждений в нативной структуре белка как количественный маркер воздействия ионизирующего излучения



- ✓ Разработанный метод ферментативного гидролиза трипсином нативной структуры белка БСА позволяет количественно оценить степень воздействия излучения в зависимости от его физических параметров.
- Браун А.В., Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю. и др. Исследование влияния ускоренных электронов на структурные характеристики бычьего сывороточного альбумина с использованием жидкостной хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89, № 3, с. 14-24

(Переводная версия в *Inorganic Materials* (Q3, IF 0.907) будет опубликована в 2024 г.)

Уровень метмиоглобина – количественный маркер окисления биообъектов после обработки ионизирующим излучением



- ✓ Разработанный спектрофотометрический метод оценки концентрации метгемоглобина в биологических объектах позволяет количественно оценить интенсивность окислительных процессов, вызванных физико-химическими и биохимическими процессами, протекающими в биологических объектах после воздействия излучения.



Article

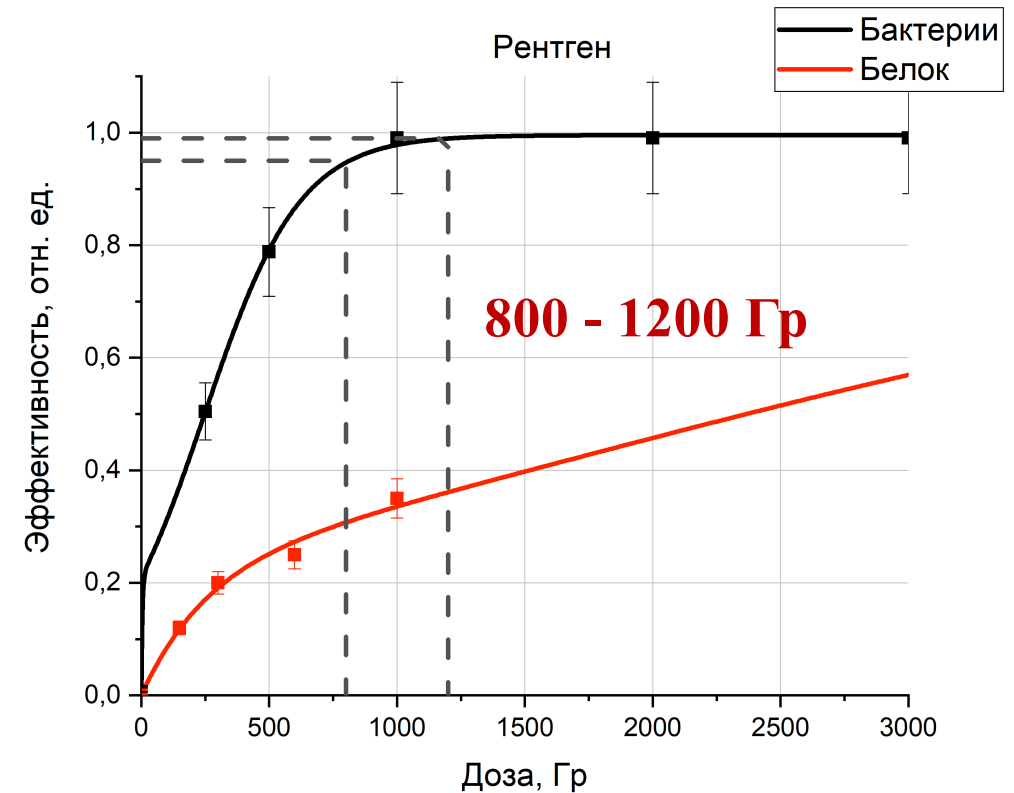
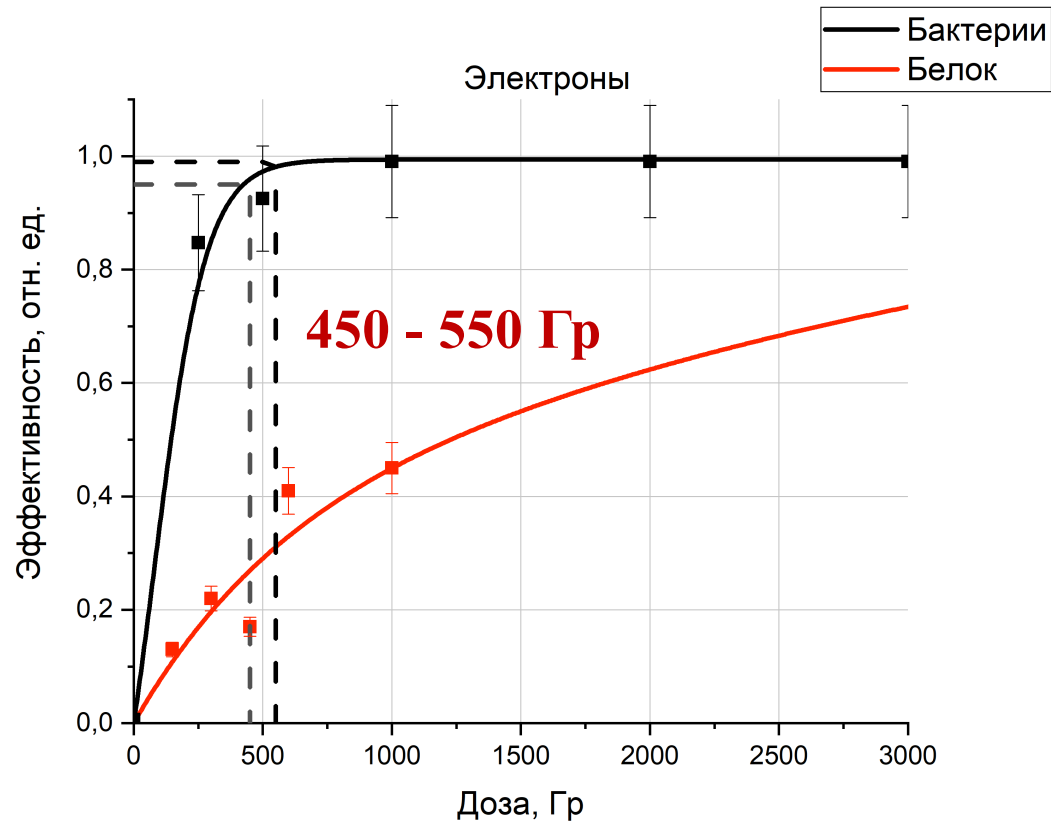
Hemoglobin Derivatives in Beef Irradiated with Accelerated Electrons

Ulyana Bliznyuk ^{1,2,*}, Polina Borshchegovskaya ^{1,2}, Alexander Chernyaev ^{1,2}, Victoria Ipatova ², Aleksandr Kozlov ³, Oleg Khmelevskiy ¹, Irina Mezhetova ¹, Alexander Nikitchenko ¹, Igor Rodin and Elena Kozlova ^{1,3}

(Q1, IF 4.6)

Эффективный диапазон доз радиационной обработки биообъектов

$$K = K_1 \cdot (1 - e^{-\alpha D}) \cdot \frac{1}{1 + e^{-\frac{D-\bar{D}}{\sigma}}}$$



Эффективность снижения микробиологических показателей при облучении бактерий и эффективность повреждения нативной структуры белка БСА в зависимости от дозы облучения ускоренными электронами и рентгеновским излучением при мощности дозы 2 Гр/с

Повышение эффективности радиационной обработки сельскохозяйственной продукции

Воздействие ионизирующего излучения на прорастание и хранение сельскохозяйственных культур и на активность фитопатогенов

Параметры воздействия

Тип излучения (электроны/рентген)
 Время обработки (спустя 2, 3, 4 и 5 месяцев после сбора урожая)



Хранение картофеля

Параметры биообъекта

- Биометрические показатели
- Концентрация восстанавливающих сахаров



Параметры воздействия

Тип излучения (электроны/рентген)



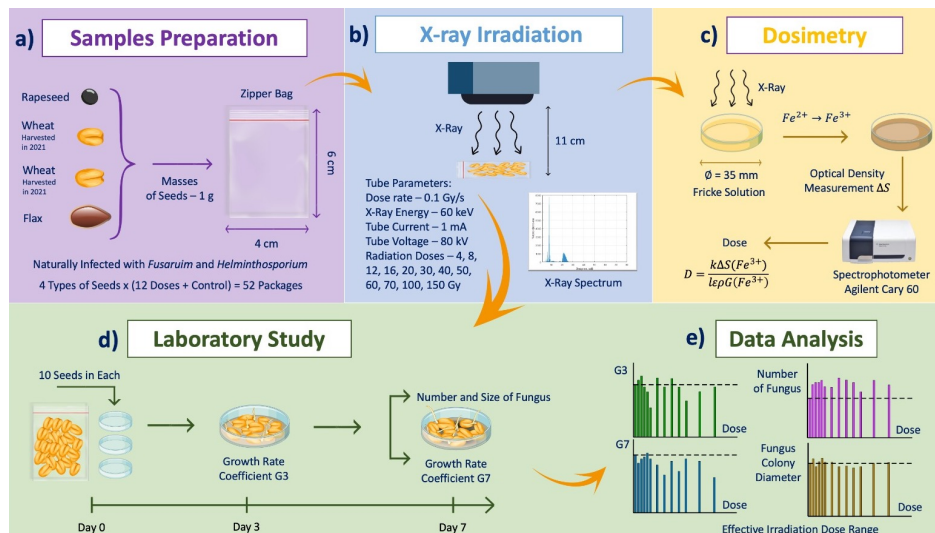
Обработка семенного материала

Параметры биообъекта

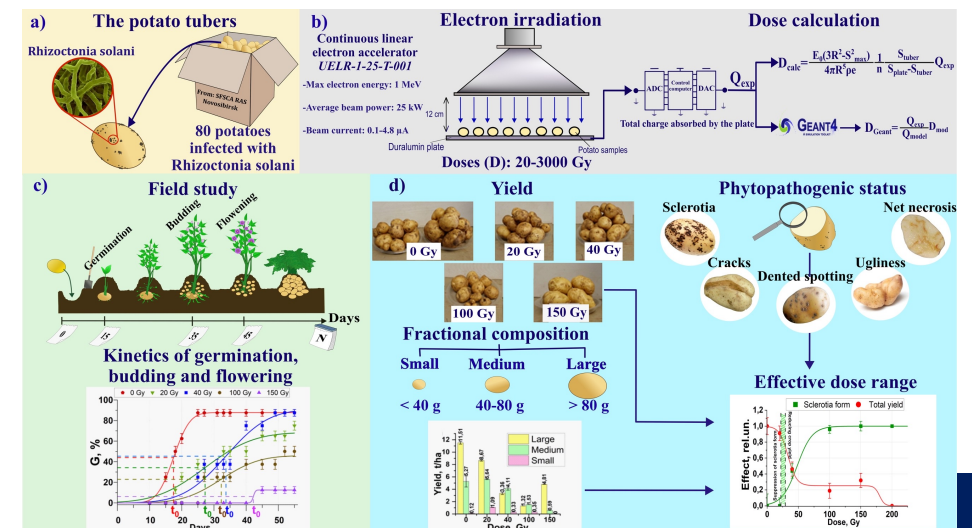
- Биометрические показатели
- Фенологические показатели
- Продуктивность культур
- Фитосанитарное состояние



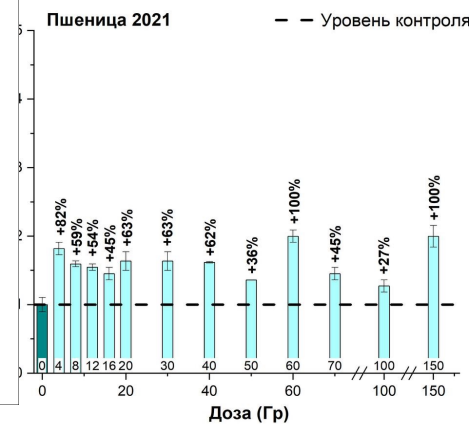
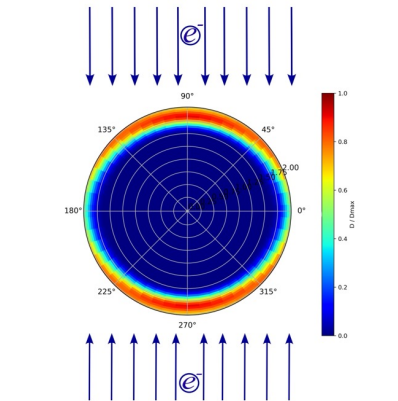
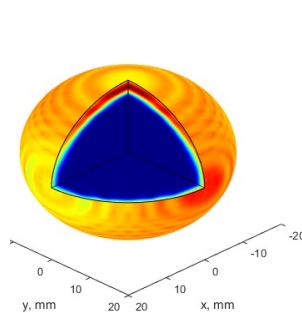
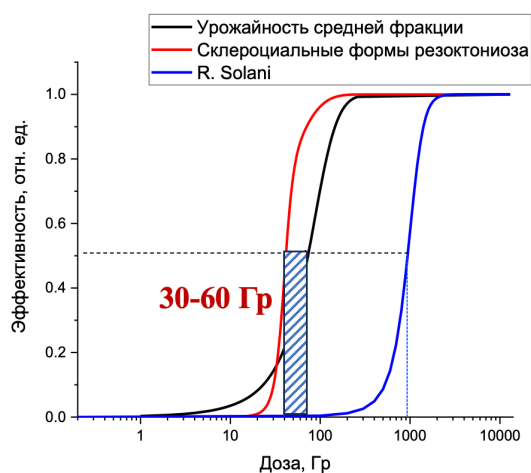
Лабораторные исследования



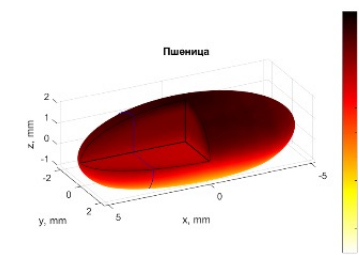
Полевые исследования



Повышение эффективности радиационной обработки сельскохозяйственной продукции

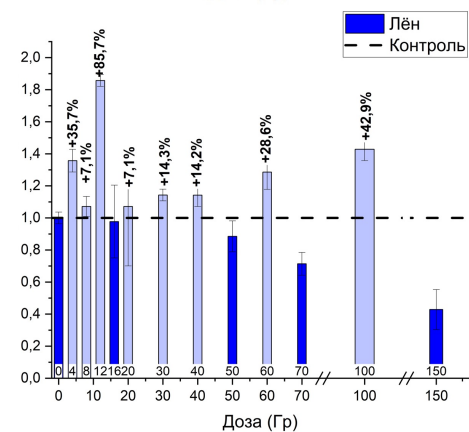


**Эффективный диапазон
4-60 Гр**

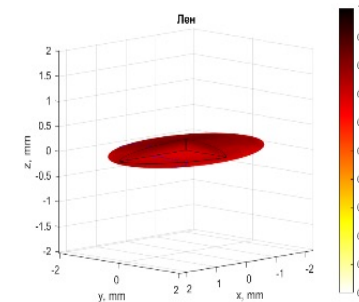


Эффективность обработки семенного картофеля, зараженного ризоктониозом, ускоренными электронами

Для предпосевной радиационной обработки семенного материала сельскохозяйственных культур с целью повышения качества урожая оптимальным излучением являются ускоренные электроны, характерная глубина проникновения L_d которых соответствует глубине залегания фитопатогенов L_{phyt} вблизи поверхности семенного материала, т.е. $L_d \approx L_{phyt}$.



**Эффективный диапазон
4-12 Гр**



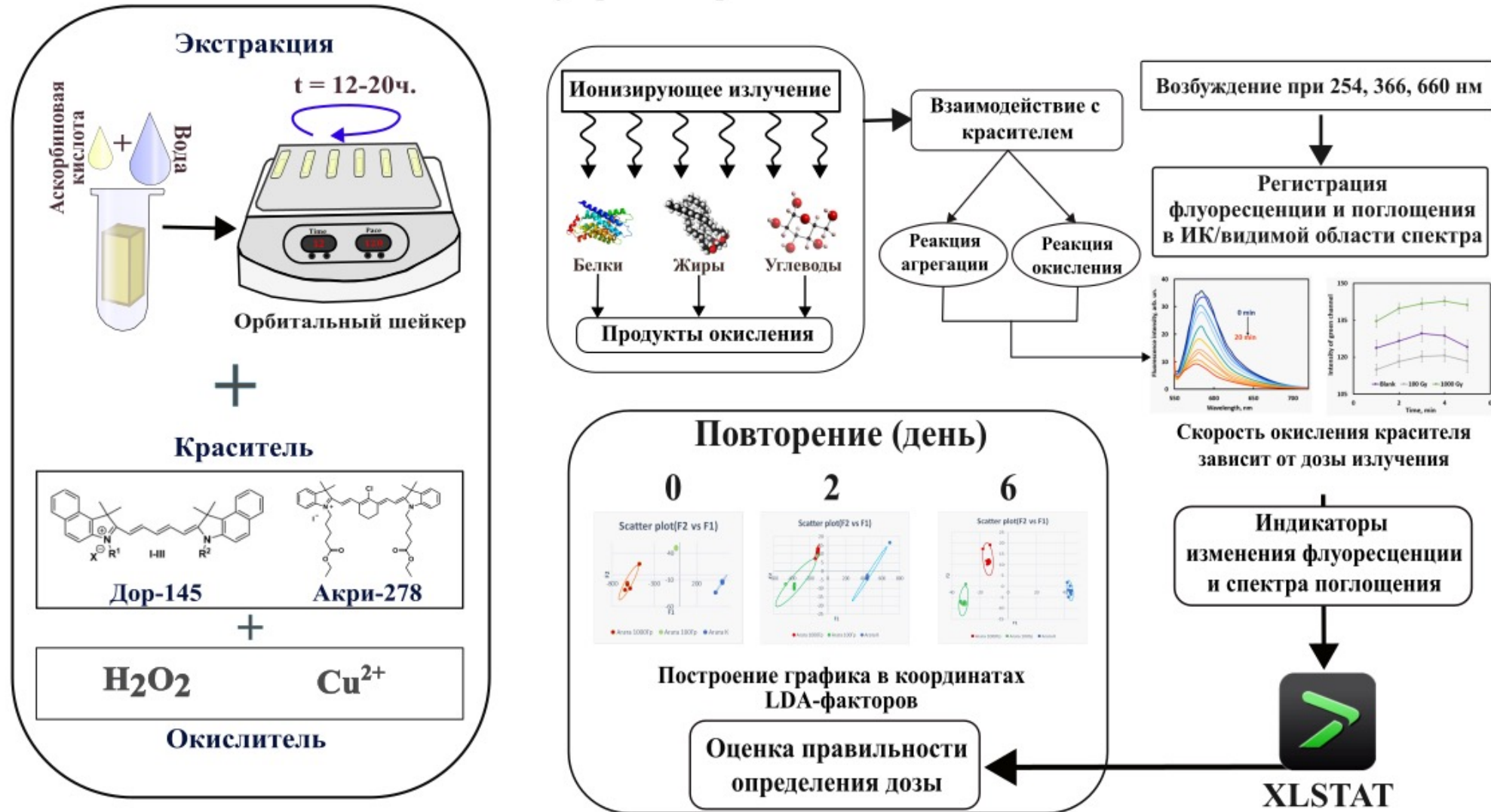
Зависимость отношения количества взошедших растений к общему количеству посаженных семян, облученных в различных дозах

- Chulikova N. et al. Electron Beam Irradiation to Control Rhizoctonia solani in Potato // Agriculture. 2023. Т. 13. №. 6. p. 1221. (Q1, IF 3.6)
- Bliznyuk U. et al. Effects of X-Ray irradiation on germination and phytosanitary condition of cereal and oilseed crops // E3S Web of Conferences. 2023. Т. 420. p. 01013. (Q4, IF 0.38)
- Bliznyuk U. A. et al. Germination and phytosanitary state of flax and wheat seeds after electron beam irradiation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Т. 1229. №. 1. p. 012033. (Q4, IF 0.42)
- Chulikova N. S. et al. Radiation Processing of Seed Potatoes as a Method for Suppressing Various Forms of Rhizoctonia in New Harvest Tubers // Agrohimia. 2023. №. 2. с. 69-78.
- У. А. Близнюк, П. Ю. Борщеговская, Я. В. Зубрицкая и др. Влияние ионизирующего излучения на всхожесть и биометрические показатели масличных культур // Технологии живых систем. 2023. Т. 20, № 1. с. 5–17.
- N. S. Chulikova, A. A. Malyuga, U. A. Bliznyuk et al. Radiation processing of seed potatoes as a method for suppressing various forms of rhizoctonia in new crop tubers // Russian agricultural sciences. 2023. Vol. 49, № 1. p. S113–S121.

Выявление факта идентификации радиационной обработки биообъектов

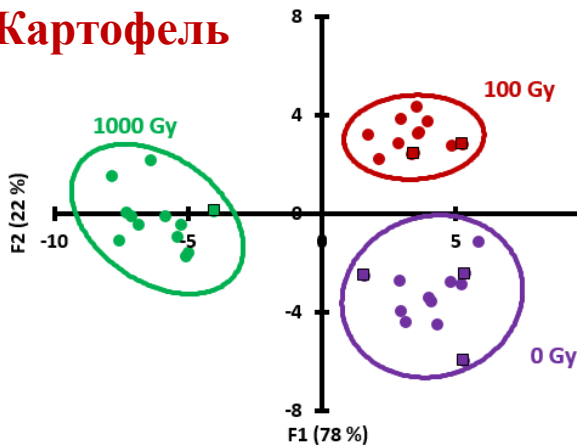
Метод отпечатков пальцев для различения образцов радиационной обработки биообъектов

Флуориметрический анализ

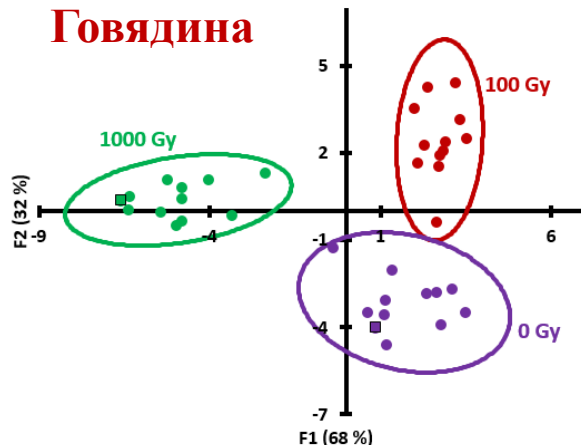


Метод отпечатков для различения облученных и необлученных образцов биообъектов

Картофель



Говядина



Графическое представление результатов линейного дискриминантного анализа для образцов картофеля при добавлении красителя IR-783 при температуре 23 °C и времени экстракции 24 часа, для образцов говядины при добавлении красителя metamilzol 4 h при температуре 70°C и времени экстракции 1 час



Journal of Food Composition and Analysis

Volume 127, March 2024, 105946

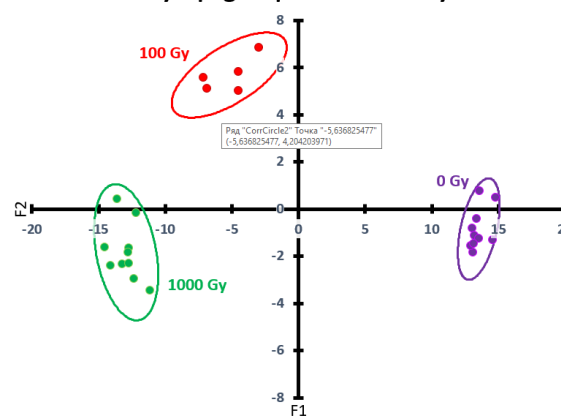


Rapid testing of irradiation dose in beef and potatoes by reaction-based optical sensing technique

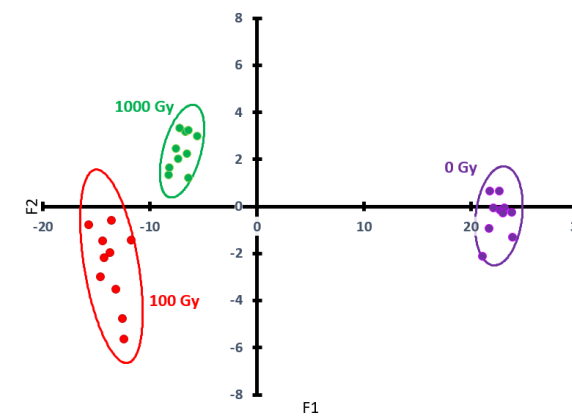
(Q1, IF 4.3)

Anna V. Shik^a, Pavel V. Sobolev^a, Yana V. Zubritskaya^b, Maksim O. Baytler^a,
Irina A. Stepanova^a, Alexander P. Chernyaev^{b c}, Polina Yu. Borschegovskaya^{b c},
Sergey A. Zolotov^{b c}, Irina A. Doroshenko^a, Tatyana A. Podrugina^a, Ulyana A. Bliznyuk^{b c},
Igor A. Rodin^a, Mikhail K. Beklemishev^a

Day 0 | Agata | 100% accuracy



Day 6 | Agata | 100% accuracy



Графическое представление результатов LDA мониторинга на 0 и 6 день образцов картофеля сорта Агата при добавлении красителя ДОР-145 при температуре 23 °C и времени экстракции 24 часа



ELSEVIER

Food Chemistry

Volume 414, 15 July 2023, 135668



Estimation of doses absorbed by potato tubers under electron beam or X-ray irradiation using an optical fingerprinting strategy

(Q1, IF 9.231)

Anna V. Shik^a, Evgenii V. Skorobogatov^a, Ulyana A. Bliznyuk^{b c},
Alexander P. Chernyaev^{b c}, Valentina M. Avdyukhina^b,
Polina Yu. Borschegovskaya^{b c}, Sergey A. Zolotov^{b c}, Maksim O. Baytler^a,
Irina A. Doroshenko^a, Tatyana A. Podrugina^a,
Mikhail K. Beklemishev^a

Участие в конференциях 2023 г

- Ломоносов (Москва, Россия) – 6 докладов;
- Ломоносовские чтения (Москва, Россия) – 3 доклада;
- Радиобиология и экологическая безопасность-2023 (Гомель, Беларусь) – 1 доклад;
- Форум «Россия-Африка: ядерное образование для устойчивого развития» (Москва, Россия) – 2 доклада;
- RAD 2023 (Черногория) – 1 доклад;
- RAP 2023 (Греция) – 2 доклада;
- Биотехнология: наука и практика (Краснодар, Россия) – 1 доклад (**награда за лучший доклад**);
- Аналитическая спектроскопия (Краснодар, Россия) – 3 доклада;
- Ядро-2023 (Саров, Россия) – 3 доклада;
- Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве (Обнинск, Россия) – 9 докладов (**2 награды за лучшие доклады**);
- Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине (Москва, Россия) – 5 докладов;
- Food Chemistry & Technology (Париж, Франция) – 3 доклада (**награда за лучший постер**)

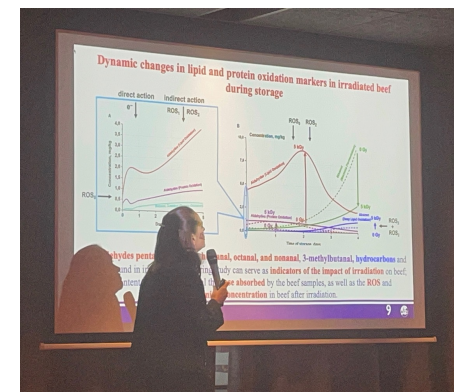
Планируется сделать 6 докладов



#Atoms4Food



International Symposium on Food Safety and Control
27–31 May 2024, Vienna, Austria





Черняев А.П.
зав. отделом ЯФММП
профессор



Близнюк У.А.
зав. лабораторией РОБМ
к. ф.-м. наук



Борщеговская П.Ю.
м.н.с РОБМ
к. ф.-м. наук

Спасибо за внимание



Ипатов В.С.
М.Н.С.

- Обладатель стипендии им. М.И. Панасюка (2022 г.)
- Обладатель стипендии МГУ (2023 г. и 2024 г.)
- Планируется защита кандидатской диссертации (2024 г.)



Золотов С.А.
М.Н.С.

- Победитель конкурса СТАРТ (2022 г.)
- Финалист конкурса УМНИК (2022 г.)
- Планируется защита кандидатской диссертации (2024 г.)



- Студенты 3 – 6 курсов