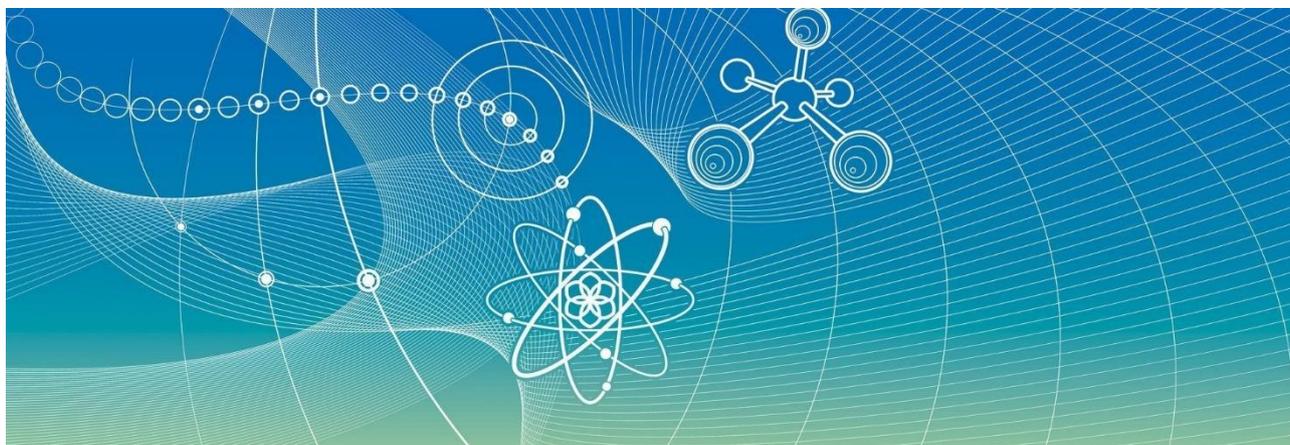


**Секция**

**РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ**

---

**RADIATION BIOLOGY RESEARCH IN AGRICULTURE**



volume, was estimated by ferrosulfate dosimetry. It was shown that at higher dose rates the number of protein molecules with damage of native structure increases. A different character of curves of BSA peptide concentration reduction in dependence on the dose when exposed to accelerated electrons and X-rays was noted.

**Keywords:** *bovine serum albumin, accelerated electrons, X-rays, liquid chromatography, dose rate*

The obtained dependences of changes in the concentration of unique peptides on the absorbed dose showed that as the radiation dose increased, the concentration of peptides in the aqueous solution became lower regardless of the type of radiation, and, consequently, the concentration of the native BSA protein became lower. At the same dose, the amount of damage to the native form of the protein was greater at higher radiation powers compared to lower radiation powers. Thus, under radiation exposure with an average power of 3.7 Gy/s, with increasing dose there was a 20-30 % decrease in the content of the native form of BSA in the aqueous solution each time compared to the

previous values for doses of 0.15 kGy, 0.3 kGy, 0.45 kGy, 0.6 kGy, and 1.0 kGy. At a dose of 4 kGy, the concentration of peptides decreased 4-5 times compared to the control values. At a dose of 8 kGy, peptides were not detected or their concentrations were not sufficient for determination by HPLC-MS/MS. At an average rate of 18.5 Gy/s, the concentration of the native form of BSA decreased by a factor of two from the control value at a dose of 0.15 kGy. In the dose range from 0.15 kGy to 1.0 kGy, the concentration changed by no more than 10 %. At a dose of 4 kGy the concentration was 10-20 % of the control value.

УДК 539.1.047

## **ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРТОФЕЛЯ, ЗАРАЖЕННОГО *RHIZOCTONIA SOLANI***

**Зубрицкая Я.В.<sup>1,а</sup>, Близнюк У.А.<sup>1,2</sup>, Борщеговская П.Ю.<sup>1,2</sup>, Золотов С.А.<sup>1</sup>, Ипатова В.С.<sup>2</sup>,  
Чуликова Н.С.<sup>3</sup>, Черняев А.П.<sup>1,2</sup>, Малюга А.А.<sup>3</sup>, Юров Д.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Физический факультет), 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-он, р.п. Краснообск, ул. Центральная, д. 2Б, Российская Федерация

e-mail: <sup>а</sup>zubritckaia.iv18@physics.msu.ru

Данная работа посвящена исследованию влияния ускоренных электронов с энергией 1 МэВ на биометрические параметры растений и фитосанитарное состояние клубней нового урожая картофеля сорта «Лина». Двухгодичное исследование показало снижение скорости роста и урожайности культуры при облучении дозами 20 Гр и более. Дозы выше 150 Гр в первый год и 200 Гр во второй полностью подавили прорастание картофеля. Тем не менее, радиационная обработка в дозах от 20 Гр до 150 Гр привела к снижению поражения нового урожая грибом *Rhizoctonia solani* на 9-100 % по сравнению с контрольными образцами в оба года наблюдений, тем самым повысив качество полученных клубней. С учетом суммарного влияния ионизирующего излучения на биометрические показатели культуры картофеля и степень подавления фитопатогенного гриба выработан эффективный диапазон доз обработки: от 22 Гр до 28 Гр в первый год исследования и не выработан во второй.

**Ключевые слова:** *картофель, Rhizoctonia solani, ионизирующее излучение, ускоренные электроны, урожайность, биометрические параметры, фитосанитарное состояние*

Картофель является не только одной из основных продовольственных сельскохозяйственных культур, но и служит ключевым сырьем для производства крахмала, глюкозы и спирта [1]. Необходимость

качественного посевного материала данной культуры подчеркивается проблемами, связанными с изменением климата. Глобальный рост температуры и повышение влажности неизбежно повлияют как на

запросы к семенному материалу, так и на распространенность различных бактериальных, вирусных и грибковых инфекций [2, 3]. Часто встречающиеся заболевания, вызываемые фитопатогенным грибом *Rhizoctonia solani*, широко распространены в мире и, в частности, в России. Мировые потери урожая картофеля от болезней ежегодно составляют до 11,6 % валового сбора [4, 5].

В промышленности для борьбы с инфекциями растений используются химически активные вещества и удобрения, применение которых может негативно повлиять на микрофлору почв и состояние окружающей среды, а также привести к росту устойчивости патогенов к действию химических реагентов. На сегодняшний день в связи с тенденциями перехода к экологически чистым технологиям в сельском хозяйстве учеными проводятся исследования по внедрению радиационной предпосевной обработки для микробиологической защиты растений и увеличения урожайности и скорости роста культуры [6, 7].

В данной работе исследовалось влияние предпосадочной обработки клубней картофеля с естественным заражением грибом *Rhizoctonia solani*, низкоэнергетическими ускоренными электронами на рост, урожайность и фитосанитарное состояние клубней картофеля нового урожая.

В двухлетнем исследовании клубни картофеля сорта «Лина» с естественным заражением грибом *Rhizoctonia solani* (*R. solani*), предоставленные СФНЦА РАН, подвергались облучению ускоренными электронами в дозах от 20 Гр до 3000 Гр в первый год исследования, и в дозах от 20 до 200 Гр – во второй. В качестве источника ионизирующего излучения был использован ускоритель электронов УЭЛР-1-25-Т-001 с максимальной энергией пучка 1 МэВ и средней мощностью пучка 25 кВт (НИИЯФ МГУ, Россия). В целях повышения равномерности облучения во время каждого сеанса обработки клубни картофеля подвергались облучению с двух противоположных сторон.

Контроль равномерности облучения проводился посредством компьютерного моделирования с использованием программного обеспечения Geant4 (CERN, Швейцария), базирующегося на методе Монте-Карло. В результате моделирования было получено, что вся доза поглощалась в поверхностных слоях водной сферы, представляющей собой клубень картофеля, находящихся не глубже 4 мм. Таким образом, внутренние слои картофеля не подвергались воздействию излучения.

Полевые исследования, направленные на изучение фенологии и урожайности культуры, проводились на сельскохозяйственной опытной станции Элитная, расположенной в лесостепном Приобском районе в окрестностях г. Новосибирска. Полученный урожай проходил фракционный анализ и анализ

фитосанитарного состояния на предмет склероциальных и несклероциальных форм заболеваний, вызываемых *R. solani*.

По результатам полевых исследований для двух годов наблюдения выявлено отставание всех фаз роста растений, а именно всходов, бутонизации и цветения, а также снижение урожайности культуры для всех клубней, подвергшихся обработке ускоренными электронами. В первый год исследования обработка в дозах свыше 150 Гр ингибировала рост культуры, во второй год доза 200 Гр привела к полному подавлению нового урожая.

Фракционный анализ нового урожая показал рост средней фракции весом от 40 г до 80 г клубней при радиационной обработке в оба года исследования. Исключение составляет доза 150 Гр, облучение которой в первый год исследования увеличило численность картофеля крупной фракции весом более 80 г на 13,2 %, сведя малую фракцию весом менее 40 г клубней к нулю.

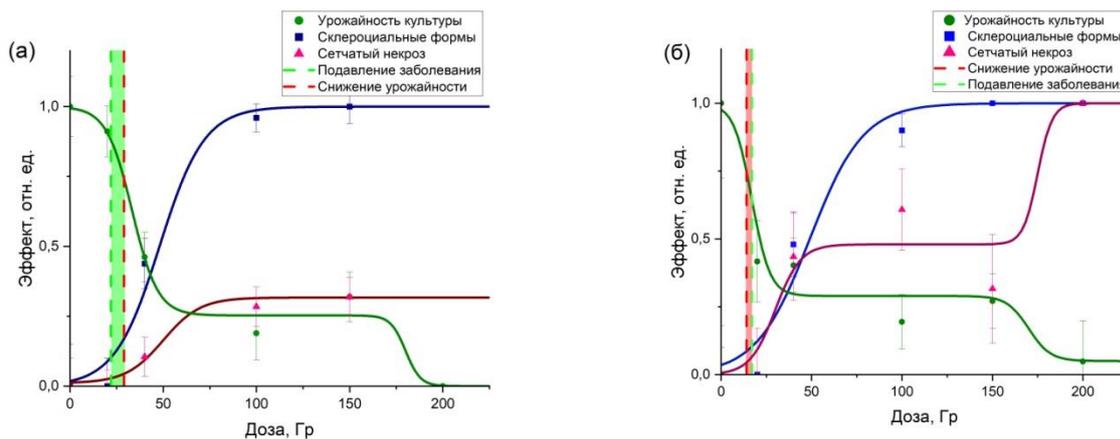
В оба года исследования удалось добиться полного ингибирования склероциальной формы ризоктониоза посредством облучения картофеля в дозе 150 Гр. Для доз менее 150 Гр также наблюдалось существенное подавление *R. Solani* на 9-96 % по сравнению с контрольными клубнями. В силу поверхностного характера обработки ускоренными электронами того же успеха в борьбе с несклероциальными формами заболеваний, залегающими в более глубоких слоях клубней, достичь не удалось.

На основании полученных данных об урожайности и фитосанитарном состоянии клубней нового урожая были построены кривые зависимостей эффекта ионизирующего излучения на культуру и поражающий ее фитопатоген в зависимости от поглощенной при обработке дозы (рис. 1). Общий вид зависимостей выражается формулой:

$$U(D) = \frac{u_1}{1 + \exp\{a_1(D - \bar{D}_1)\}} + \frac{u_2}{1 + \exp\{a_2(D - \bar{D}_2)\}} \quad (1)$$

где  $u_1 + u_2 = 1$  – максимальное значение функции;  $\bar{D}_i$  – дозы, при обработке в которых значение функции уменьшается вдвое,  $a_i$  – параметр скорости для функций статистических ансамблей, представляемых клубнями картофеля или фитопатогеном.

Эффективный дозовый диапазон обработки подбирался с учетом баланса между подавлением фитопатогенного гриба *R. Solani* на культуре и снижением ее урожайности. В первый год исследования было получено, что предпосевное облучение в диапазоне доз от (22±2) Гр до (28±2) Гр позволяет подавить склероциальные формы заболевания не менее чем на 10 % от контрольных значений при снижении урожайности культуры менее чем на 25 %.



**Рисунок 1.** Зависимости показателей урожайности культуры и подавления грибкового заболевания на культуре от дозы облучения для: а) первого года; б) второго года исследования

Второй год исследования отличался более резким спадом показателей урожайности с увеличением дозы облучения, поэтому эффективного диапазона доз для него выработано не было.

Таким образом, эффективный дозовый диапазон радиационной предпосевной обработки клубней картофеля низкоэнергетическими ускоренными электронами составил от 22 Гр до 28 Гр в первый год исследования и не был выработан во второй год. Причиной различий дозового диапазона могли послужить как отличия в погодных условиях в разные годы полевых исследований, так и другие особенности условий высадки и состояние семенного материала, разнящиеся год от года.

### Список литературы

1. Регулирование качества картофеля при выращивании. АГРОМАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://agro-mart.kz/regulirovanie-kachestva-kartofelya-pri-vyirashhivanii/> (дата обращения: 29.06.2023).

2. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward / B.K. Singh [et al.] //

Nature Reviews Microbiology. 2023. PP. 1-17. doi: 10.1038/s41579-023-00900-7.

3. The Potatoworld magazine Newsletter [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.potatoworld.eu/what-effect-does-climate-change-have-on-fungal-potato-diseases> (дата обращения 28.06.2023).

4. Роль предшественников в борьбе с ризоктониозом картофеля / А.А. Мalyuga [и др.] // Защита и карантин растений. 2011. № 1. С. 28-30.

5. Неменуца Л.А. Современные технологии защиты клубней картофеля в технологиях семеноводства // Защита картофеля. 2020. № 1. С. 15-16.

6. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации / Р.М. Алексахин [и др.] // Вестник РАЕН. 2014. Т. 14. № 1. С. 78-85.

7. Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Бондаренко В.С. Радиационные технологии в сельском хозяйстве: стратегия научно-технологического развития // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2016. № 1. С. 197-206.

## EFFECT OF ELECTRON IRRADIATION ON THE BIOMETRIC INDICATORS OF POTATO TUBERS INJECTED WITH *RHIZOCTONIA SOLANI*

Zubritskaya Ya.V.<sup>1,a</sup>, Bliznyuk U.A.<sup>1,2</sup>, Borshchegovskaya P.Yu.<sup>1,2</sup>, Zolotov S.A.<sup>1</sup>, Ipatova V.S.<sup>2</sup>, Chulikova N.S.<sup>3</sup>, Chernyaev A.P.<sup>1,2</sup>, Malyuga A.A.<sup>3</sup>, Yurov D.C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Lomonosov Moscow State University (Faculty of Physics), Leninskie Gory 1, bld. 2, Moscow, Russian Federation, 119991

<sup>2</sup> Skobel'syn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, bld. 2, Moscow, Russian Federation, 119991

<sup>3</sup> Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Central st. 2B, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Novosibirsk district, Russian Federation, 630501  
e-mail: <sup>a</sup> zubritckaia.iv18@physics.msu.ru

This work investigates the impact of 1 MeV accelerated electrons on the biometric parameters and phytosanitary status of a new Lina variety potato crop tubers. A two-year study showed a decrease in the growth rate and crop yield when it was irradiated with doses of 20 Gy and more. Doses above 150 Gy in the first year and 200 Gy in the second year completely suppressed potato germination. However, irradiation at doses ranging from 20 Gy to 150 Gy resulted in a 9-100 % reduction in *Rhizoctonia solani* infection of the new crops compared to control samples in both years of investigation, thereby increasing the quality of the resulting tubers. Taking into account the total effect of ionizing radiation on the biometric indicators of the potato culture and the degree of suppression of the phytopathogenic fungus, an effective dose range has been developed: from 22 Gy to 28 Gy in the first year of the study and not developed in the second year.

**Keywords:** potatoes, *Rhizoctonia solani*, ionizing radiation, accelerated electrons, crop yield, biometric parameters, phytosanitary state

---

УДК 539.1.047

## ВЛИЯНИЕ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 МЭВ НА РОСТ И ВЫЖИВАЕМОСТЬ БАКТЕРИЙ *ESCHERICHIA COLI* И ГРИБОВ *ASPERGILLUS FUMIGATUS*

Иванцова В.С.<sup>1,a</sup>, Близнюк У.А.<sup>1,2</sup>, Борщеговская П.Ю.<sup>1,2</sup>, Ипатов В.С.<sup>2</sup>, Насибов Э.М.<sup>3</sup>, Никитина З.К.<sup>3</sup>, Черняев А.П.<sup>1,2</sup>, Юров Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Физический факультет), 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 117216, г. Москва, ул. Грина, д. 7, Российская Федерация  
e-mail: <sup>a</sup> ivantcova.vs@physics.msu.ru

Проведено исследование по влиянию ускоренных электронов с энергией 1 МэВ на выживаемость суспензий бактерий *Escherichia coli* в физиологическом растворе и суспензий грибов *Aspergillus fumigatus* при различных начальных концентрациях и с последующим после облучения высеванием на различные питательные среды. Облучение образцов проводилось в диапазоне доз от 0,15 кГр до 4 кГр. Установлено нелинейное снижение концентраций жизнеспособных клеток бактерий и грибов от дозы облучения. Дозы, необходимые для сокращения популяций в 10 раз составили от 0,20 кГр до 0,56 кГр для *Escherichia coli* при начальных концентрациях от 10<sup>3</sup> КОЕ/г до 10<sup>5</sup> КОЕ/г при высевании на агаризованную тиогликолевую среду; 1,14 кГр и 1,09 кГр для *Aspergillus fumigatus* в начальной концентрации 10<sup>6</sup> КОЕ/г при высевании на среды Сабуро и Чапека-Докса соответственно.

**Ключевые слова:** радиационная обработка, электронное излучение, доза облучения, доза D10, бактерии *Escherichia coli*, грибы *Aspergillus fumigatus*

Продукты питания являются благоприятной средой для размножения широкого спектра микроорганизмов, включая условно-патогенные и патогенные бактерии, плесневые грибы, а также различные вирусы и паразиты, опасные для жизнедеятельности человека. По данным Всемирной Организации Здравоохранения, ежегодная смертность от заболеваний пищевого происхождения достигает 420 тысяч человек, и в мире остро стоит вопрос обеспечения безопасности продуктов питания на всех этапах их производства и транспортировки [1].

Во всем мире наблюдается возрастающий интерес к использованию методов радиационной обработки в пищевой и сельскохозяйственной отрасли для сохранения качества продуктов питания и достижения их микробиологической безопасности. Использование источников ионизирующего излучения, таких как ускоренные электроны с энергией до 10 МэВ, тормозное и рентгеновское излучения с энергией до 5 МэВ и гамма-излучение от источников <sup>60</sup>Со и <sup>137</sup>Cs, позволяет обеспечить высокую