

Оригинальная статья / Original article

УДК 623.039.8, 664.8.039

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-666-677>



Изучение изменений физико-химических и микробиологических показателей полуфабриката из картофеля после электронной стерилизации

© А.А. Дриль, А.Н. Сапожников

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Резюме: Одним из методов электронной стерилизации плодоовощных культур и сельскохозяйственной продукции является ионизирующее излучение, которое также называется бета-излучение. Оно способствует сохранению качества и безопасности многих видов сельскохозяйственных культур после их уборки и может быть использовано для обработки производимых из него полуфабрикатов. Целью работы явилось исследование влияния различных доз ионизирующего излучения (1, 3, 6 и 9 кГр) на вакуумированный очищенный и нарезанный картофель сорта Беллароза, обработанный аскорбиновой кислотой в концентрации 3, 6 и 9% с целью сохранения в нем после обработки нативного содержания витамина С и исходных структурно-механических свойств. Используемые для вакуумирования ПЭТ-пакеты не выделяют опасных и вредных примесей в агрессивной среде (9%-ом растворе аскорбиновой кислоты) и дозе облучения 9 кГр. Исследования органолептических, физико-химических и микробиологических показателей образцов полуфабриката из картофеля осуществлялось по стандартным методикам. Результаты исследований показали, что доза облучения 1 кГр не оказывает значительного влияния на показатели полуфабриката, но при этом и не способствует снижению числа микроорганизмов в нем. Доза 3 кГр также не оказывает значительного влияния на показатели полуфабриката, однако, снижение количества микроорганизмов уже более значительно. Доза облучения 6 кГр оказывает значительное воздействие на микробиологические показатели полуфабриката, в то же время при малых концентрациях аскорбиновой кислоты (3 и 6%) начинают ухудшаться органолептические показатели полуфабриката. При дозе облучения 9 кГр погибают практически все микроорганизмы и ухудшаются показатели полуфабриката вне зависимости от концентрации аскорбиновой кислоты. На основании проведенных исследований определены оптимальные дозы облучения полуфабриката из картофеля – 3 и 6 кГр, и оптимальная концентрация аскорбиновой кислоты – 9%, при которых показатели качества и безопасности полуфабриката сохраняются на протяжении 7 суток хранения.

Ключевые слова: картофель, овощной полуфабрикат, электронная стерилизация, ионизирующее излучение, сроки хранения, показатели качества

Для цитирования: Дриль А.А., Сапожников А.Н. Изучение изменений физико-химических и микробиологических показателей полуфабриката из картофеля после электронной стерилизации. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 4. С. 666–677. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-666-677>

Study of physicochemical changes and microbiological parameters of semi-finished potato products after electron-beam sterilization

Anastasiia A. Dril, Aleksandr N. Sapozhnikov

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract: A popular method for electron-beam sterilization of agricultural products consists in their exposure to ionizing radiation, also called beta-radiation. Beta-radiation contributes to the preservation of the quality and safety of freshly harvested crops and can be used to disinfect semi-finished products. In this work, we aimed to study the effect of various doses of ionizing radiation (1, 3, 6 and 9 kGy) on vacuumized peeled and cut potatoes of the Bellarosa variety. Potato samples were treated with ascorbic acid at concentrations of 3, 6 and 9% in order to preserve the native content of vitamin C and the initial structural and mechanical prop-

erties. PET packages were used for evacuation, since this material emits no hazardous or harmful impurities in such aggressive environments as 9% ascorbic acid solution and 9 kGy radiation. Studies of organoleptic, physicochemical and microbiological parameters of semi-finished potato products were carried out using conventional methods. According to the obtained results, an irradiation dose of 1 kGy neither affects significantly the quality of a semi-finished potato product, nor contributes to a decrease in the number of pathogens. An irradiation dose of 3 kGy has no significant effect on the controlled parameters, although a decrease in the number of pathogens is observed. An irradiation dose of 6 kGy has a significant effect on the microbiological indicators; however, at low concentrations of ascorbic acid (3 and 6%), the organoleptic indicators of the studied semi-finished products begin to deteriorate. At a dose of 9 kGy, almost all microorganisms die, and the controlled parameters deteriorate regardless of the ascorbic acid concentration. It is concluded that the optimal irradiation doses for semi-finished potato products comprise 3 and 6 kGy. The optimal concentration of ascorbic acid was found to be 9%, at which the quality and safety indicators of semi-finished potato products are preserved for 7 days of storage.

Keywords: potato, semi-finished vegetable product, electron-beam sterilization, ionizing radiation, shelf life, quality indicators

For citation: Dril AA, Sapozhnikov AN. Study of physicochemical changes and microbiological parameters of semi-finished potato products after electron-beam sterilization. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(4):666–677. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-666-677>

ВВЕДЕНИЕ

Картофель является важной сельскохозяйственной культурой, возделываемой в целях получения подземных клубней, которые служат пищевым и кормовым продуктом и промышленным сырьем. В России и других странах мира его производство осуществляется в достаточно больших объемах, в связи с чем возникает проблема сохранения его качества и безопасности при хранении. Стоит отметить, что данной проблеме уделяется недостаточно внимания. Так, если при выращивании картофеля решаются задачи, направленные на повышение его урожайности, то при хранении – прежде всего на его защиту от фитопатогенов и в меньшей степени – на сохранение качества и потребительских свойств [1].

Перспективным методом сохранения качества картофеля и производимых из него полуфабрикатов является применение ионизирующего излучения в виде электронного или фотонного излучений, также соответственно называемых «бета-излучение» и «гамма-излучение». Известны способы применения ионизирующего излучения в диапазоне от 0,15 до 1 кГр для ингибирования прорастания картофеля во время его хранения при различных режимах [2–11] или в дозе от 1 кГр и выше – для стерилизации с целью снижения содержания в нем патогенных микроорганизмов [5, 12] и насекомых-вредителей [13]. При электронной стерилизации, применяемой для обработки сушеного картофеля, было отмечено, что доза 6 кГр снижает микробиологическую обсемененность продукции, не оказывая при этом отрицательного влияния на его органолептические показатели [14].

Эффект стерилизации наступает за счет ионизации и возбуждения атомов веществ, входящих в состав микроорганизмов, при поглоще-

нии ими энергии ионизирующих излучений, вследствие чего у микроорганизмов снижаются их рост и размножение [15].

Вместе с тем стерилизация сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением не оказывает значительного воздействия на количественное содержание витаминов в них. В свою очередь радиостойкость разных витаминов различается и зависит от химического состава растительного сырья, в котором они содержатся [16–18]. Известно, что из химически чистых водорастворимых витаминов наименьшей стойкостью отличается аскорбиновая кислота (витамин С), в то время как, находясь в биологических объектах в связанном состоянии, витамин С более стоек к различным видам внешних воздействий. Кроме того, отмечены различия во влиянии облучения на сохраняемость витаминов в сельскохозяйственной продукции по сравнению с другими методами тепловой стерилизации, консервации и пастеризации [19]. В качестве примера можно привести данные исследований, которые показали, что при радиационной стерилизации картофеля, хранившегося в течение 5 месяцев, сохранность витамина С была на том же уровне, что и у необработанного картофеля [20].

При обработке ионизирующим излучением с целью предотвращения действия патогенных грибов и микроорганизмов у сельскохозяйственной продукции с высоким содержанием воды (мясо, плоды и овощи) обработка ионизирующим излучением воздействует лишь на их поверхность, тогда как в продукции с низким содержанием влаги (пряности, чай и др.) ионизирующее излучение проникает через насыпной слой продукта примерно на 15–20 см, т.е. полностью пронизывает упаковку, либо обработка уже упакованного продукта производится с двух сторон [1].

В большинстве случаев исследованы возможности использования ионизирующих излучений для ингибирования патогенных микроорганизмов, сельскохозяйственных вредителей и контроля прорастания. Некоторые исследования проводились в отношении радиочувствительных инфекционных возбудителей. При этом изучался характер изменений в обрабатываемых ионизирующим излучением продуктах и различных веществах. В данном направлении шли широко-масштабные исследования в США, и аналогичные – в странах Западной Европы и ряде стран бывшего СССР [20–22].

Таким образом, подбор оптимальных параметров процесса обработки ионизирующим излучением сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственной продукции (на примере картофеля и полуфабрикатов из него) является актуальным. Подобные исследования важны для выяснения влияния облучения на сохранность биологически активных веществ и жизнедеятельность микроорганизмов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основной задачей экспериментальных исследований являлось исследование влияния ионизирующего излучения на полуфабрикаты из картофеля сорта Беллароза. Основные исследования проводились на кафедре технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) и Биотехнопарке «Кольцово» и включали предварительный и основной этапы.

Известно, что непосредственное воздействие ионизирующего излучения приводит к измене-

нию структуры клеток растительного сырья, поэтому на предварительном этапе исследовалось влияние дозы ионизирующего излучения на структуру картофеля. Для этого картофель подвергли механической очистке. Затем очищенный, промытый и дочищенный картофель нарезался кубиком, упаковывался в ПЭТ-пакеты, вакуумировался на аппарате JEJU JDZ-260/PD и обрабатывался ионизирующим излучением в дозах 1, 3, 6 и 9 кГр на радиационной установке конвейерного типа ИЛУ-14 на основе линейного ускорителя электронов с энергией 10 МэВ в Биотехнопарке «Кольцово», после чего исследовались структурно-механические свойства образцов.

Ранее в лабораториях кафедры химии и химической технологии НГТУ было проведено исследование совместного воздействия ионизирующего излучения и аскорбиновой кислоты на ПЭТ-упаковку на приборе синхронного термического анализа NETZSH Jupiter STA 449 C в сопряжении с масс-спектрометром Aeolos II. Данная измерительная система позволяет синхронно проводить исследования термогравиметрическим методом (ТГ) и методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

На рис. 1 представлены кривые ТГ и ионных токов выделяющихся газов при нагреве исследуемого образца ПЭТ-пленки, подверженной воздействию ионизирующего излучения при дозе 9 кГр с последующим погружением в раствор аскорбиновой кислоты (это является максимальными показателями для проведения дальнейших опытов).

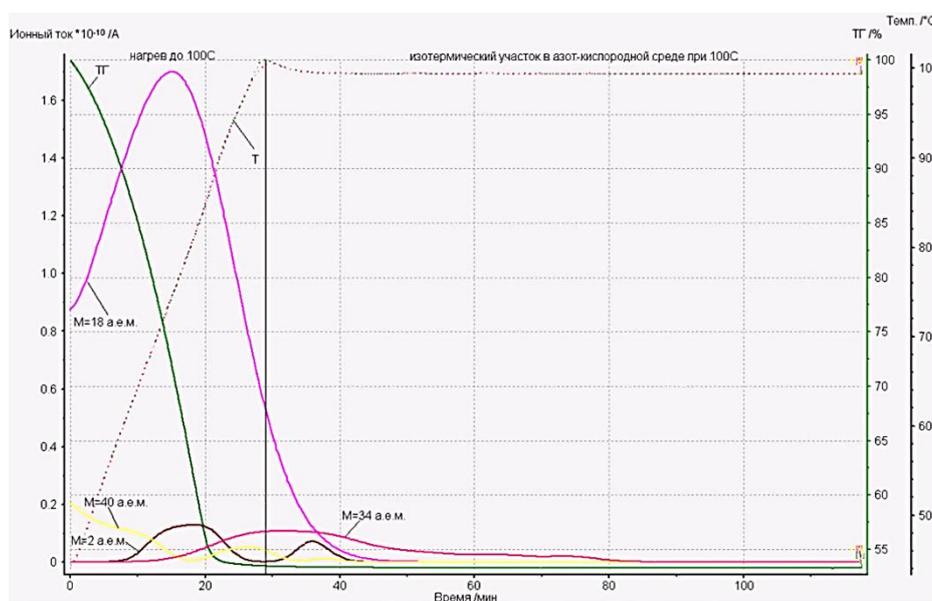


Рис. 1. Термогравиметрические кривые и кривые ионного тока выделяющихся газов при анализе образцов ПЭТ-пленки, обработанных 9%-м раствором аскорбиновой кислоты (с массой 18 а.е.м.)

Fig. 1. Curves of thermogravimetric analysis and ion current of evolved gases in the analysis of PET film samples treated with 9% acetic acid solution (with a mass of 18 atomic mass units)

Выявлено, что летучие вещества выделяются в количестве, соответствующем величине атомных единиц массы. Следует отметить, что в период разогрева образца до требуемой температуры происходит испарение раствора аскорбиновой кислоты, о чем можно судить по кривой ТГ (кривая изменения массы образца от времени/температуры). На протяжении изотермического участка происходит выделение газообразных веществ вплоть до 85-й минуты. Следовательно, общая масса выделившихся летучих веществ, образующихся при воздействии агрессивной среды (аскорбиновой кислоты) и ионизирующего излучения, не превышает допустимых значений [23].

На рис. 2 представлены характерные структурные изменения образцов картофеля при различных дозах облучения. Структурно-механические свойства образцов рассмотрены путем микроскопирования на лабораторном микроскопе Микмед-5 при увеличении в 10^3 крат. При увеличении дозы облучения от образца **b** до образца **e** прослеживается изменение структуры межклеточного пространства (примеры областей разрушений выделены красным контуром).

В контрольном (не облученном) образце картофеля (образец **a**) нарушений структуры не наблюдалось, межклеточные стенки не повреждены. При воздействии дозы 1 кГр (образец **b**) наблюдалось уменьшение толщины клеточных стенок. При воздействии дозы 3 кГр (образец **c**) часть стенок разрушилась. В образце **d**, обработанном при 6 кГр, стенки подверглись большому разрушению по сравнению с образцом **c**. При воздействии дозы 9 кГр (образец **e**) характерно выражены области полного разрушения межклеточных стенок. В то же время при органолептической оценке у образцов **c** и **d** наблюдалось выделение влаги, а у образца **e** – размягченная консистенция, чего не было у остальных образцов. Таким образом, обработка картофеля ионизирующим излучением при увеличении дозы вызывает его органолептические и структурные изменения, отрицательным образом влияющие на его качество.

Предварительный этап включал проведение исследований по воздействию обработки поверхности картофеля различными пищевыми органическими кислотами (уксусная, лимонная, аскорбиновая) в концентрации от 1 до 9% при дозах излучения от 1 до 9 кГр на органолептические и структурные свойства картофеля. Общеизвестно, что органические кислоты предотвращают размягчение картофеля под воздействием ряда факторов вследствие разрушения связей между клеточными стенками в нем за счет деструкции протопектина, гемицеллюлоз и структурного белка экстенсина [24]. Кроме того, органические кислоты предотвращают потемнение картофеля и снижение в нем количественного содержания витамина С [25]. Постановка эксперимента осуществлялась аналогично вышеуказанной методике, при этом после механической очистки поверхность картофеля обрабатывалась (промывалась) растворами вышеуказанных органических кислот концентрацией 3, 6 и 9%. Расход растворов кислот различной концентрации составлял 3 л на 1 кг картофеля.

Результаты исследований показали, что наиболее эффективным является использование аскорбиновой кислоты (витамина С). Это подтвердилось тем, что в образцах до и после облучения значительного уменьшения концентрации аскорбиновой кислоты не наблюдалось и по органолептическим исследованиям образцы картофеля не изменили своего цвета и нативных структурно-механических свойств.

Основной этап исследований осуществлялся в соответствии с вышеуказанными методиками с использованием аскорбиновой кислоты.

На всех этапах исследования оборудование, инвентарь и спецодежда, используемые для механической обработки и упаковки картофеля, были обработаны дезинфицирующим раствором. Все эксперименты проводились не менее чем в трех повторностях.

Перечень исследуемых образцов картофеля представлен в табл. 1.

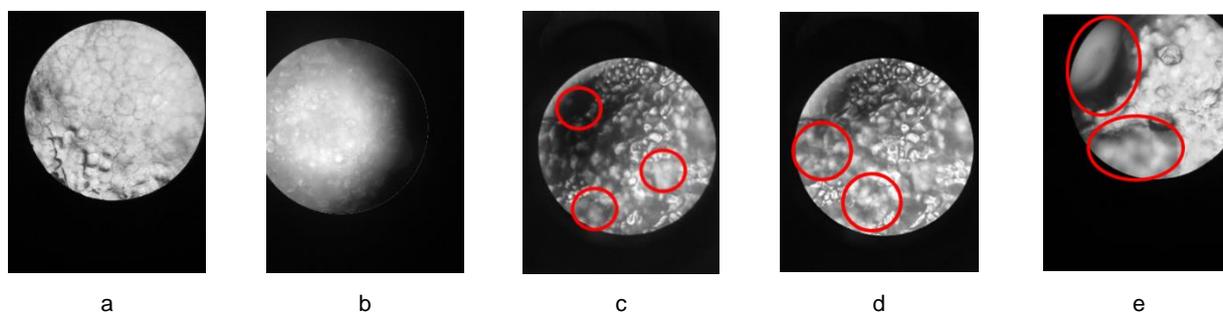


Рис. 2. Характерные структурные изменения образцов картофеля при различных дозах облучения под микроскопом при увеличении в 10^3 крат:
a – не облученный образец; b – 1 кГр; c – 3 кГр; d – 6 кГр; e – 9 кГр

Fig. 2. Specific structural changes of potato samples after different irradiation doses under microscope with 10^3 times magnification:
a – unirradiated sample; b – 1 kGy; c – 3 kGy; d – 6 kGy; e – 9 kGy

Таблица 1. Перечень исследуемых образцов вакуумированного полуфабриката из очищенного и нарезанного картофеля

Table 1. Specification of vacuumized semi-finished product from peeled and diced potatoes

Шифр образца	Концентрация аскорбиновой кислоты, %	Доза облучения, кГр
ОКО (общий контрольный образец)	–	–
1КО	–	1
3КО	–	3
6КО	–	6
9КО	–	9
0А3 (контрольный образец)	3	–
0А6 (контрольный образец)	6	–
0А9 (контрольный образец)	9	–
1А3	3	1
1А6	6	1
1А9	9	1
3А3	3	3
3А6	6	3
3А9	9	3
6А3	3	6
6А6	6	6
6А9	9	6
9А3	3	9
9А6	6	9
9А9	9	9

Все образцы полуфабрикатов оценивались по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. Оценивали внешний вид, цвет, запах, консистенцию картофеля (табл. 2) [26], а также признаки потемнения образцов, наличие запахов озона и продуктов пиролиза.

Определение физико-химических и микробиологических показателей осуществлялось на базе Центра коллективного пользования Института неорганической химии СО РАН и Испытательного лабораторного центра Управления Роспотребнадзора по Новосибирской области соответственно.

Таблица 2. Требования к органолептическим показателям полуфабриката из картофеля

Table 2. Requirements for sensory characteristics of semi-finished product from potatoes

Показатель	Характеристика
Внешний вид	Форма нарезки – кубиком; срез ровный, гладкий, без надломов; окраска – ровная
Цвет	Соответствующий сорту картофеля: белый или светло-желтый
Запах	Свойственный сырому картофелю, крахмалистый
Консистенция	Плотная, твердая, однородная

Для витаминов и микроэлементов исследовалось их количественное содержание. Содержание витамина С определялось стандартным

титриметрическим методом [27]. Содержание витамина РР определялось с помощью ПД-сенсоров на основе перфторированных мембран [28]. Содержание кальция определялось стандартным титриметрическим методом, содержание натрия и калия – пламенно-фотометрическим методом с помощью фотометра Экотест-2020-4 (RS-232), содержание фосфора и марганца – атомно-абсорбционным методом на спектрометре С-302 [29]. Содержание железа и меди определялось колориметрическим методом с помощью колориметра FRU WR18-40 [30].

Испытания на микробиологическую чистоту исследуемых образцов проводились согласно методикам, представленным в работе [31], на базе Испытательного лабораторного центра Управления Роспотребнадзора по Новосибирской области.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Органолептическая оценка. Результаты органолептической оценки образцов полуфабрикатов из картофеля в течение суток после обработки и после семи суток хранения представлены в табл. 3 и 4 соответственно.

По внешнему виду в образцах изменений не наблюдалось. По цвету с увеличением дозы облучения с 3 до 9 кГр в не обработанных аскорбиновой кислотой и образцах с концентрациями кислоты 3 и 6% интенсивность цвета увеличивалась. В отдельных образцах отмечалось появление запаха озона или продуктов реакции пиролиза. Консистенция образцов менялась от плотной твердой до не твердой или мягкой. В образцах с концентрацией аскорбиновой кислоты 9% при дозе облучения до 6 кГр включительно изменений не наблюдалось, что свидетельствовало о сохранности протопектина в образцах согласно исследованиям авторов работ [24, 32, 33]. Следовательно, концентрация аскорбиновой кислоты является сдерживающим фактором влияния ионизирующего излучения на изменение органолептических показателей полуфабрикатов из картофеля.

В процессе хранения образцов неизменными оставались их цвет и консистенция. По внешнему виду отмечено незначительное выделение влаги. Запах озона, присутствующий в образцах после облучения, после 7 суток хранения отсутствовал, запах остальных образцов остался неизменным. При хранении образцов в вакуумной упаковке в охлажденном виде процессы окисления фенолов и пектинообразования проходят медленно. Они незначительны для органолептических показателей, поскольку не влияют на внешний вид образцов полуфабриката.

Определение содержания витаминов, макро- и микроэлементов. Результаты определения содержания витаминов, макро- и микроэлементов в образцах представлены в табл. 5.

Таблица 3. Результаты органолептической оценки образцов полуфабрикатов из картофеля в течение суток после обработки

Table 3. Sensory evaluation of semi-finished products from potato samples within 24 hours after processing

Номер образца	Органолептические характеристики образцов			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Консистенция
ОКО	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
1КО	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	появление запаха озона	стандартная
3КО	стандартный	незначительное изменение интенсивности окраски	появление запаха озона	плотная, однородная, не твердая
6КО	стандартный	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9КО	стандартный	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
0А3	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
0А6	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
0А9	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
1А3	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
1А6	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
1А9	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
3А3	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	появление запаха озона	стандартная
3А6	стандартный	стандартный	появление запаха озона	стандартная
3А9	стандартный	стандартный	стандартный	стандартная
6А3	стандартный	незначительное изменение интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая
6А6	стандартный	усиление интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая
6А9	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	слабый запах продуктов реакции пиролиза	стандартная
9А3	стандартный	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9А6	стандартный	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9А9	стандартный	выраженное увеличение интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая

Таблица 4. Результаты органолептической оценки образцов полуфабрикатов из картофеля после семи суток хранения при температуре от 0 до +6 °С

Table 4. Sensory evaluation of semi-finished products from potato samples after 7 days storage at 0...+6 °С

Номер образца	Органолептические характеристики образцов			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Консистенция
ОКО	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
1КО	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
3КО	стандартный с незначительным выделением влаги	незначительное изменение интенсивности окраски	стандартный	плотная, однородная, не твердая
6КО	стандартный с незначительным выделением влаги	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9КО	стандартный с незначительным	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции	плотная, однородная,

	выделением влаги		пиролиза	размягченная
0A3	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
0A6	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
0A9	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
1A3	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
1A6	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
1A9	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
3A3	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
3A6	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
3A9	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	стандартный	стандартная
6A3	стандартный с незначительным выделением влаги	незначительное изменение интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая
6A6	стандартный с незначительным выделением влаги	усиление интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая
6A9	стандартный с незначительным выделением влаги	стандартный	слабый запах продуктов реакции пиролиза	стандартная
9A3	стандартный с незначительным выделением влаги	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9A6	стандартный с незначительным выделением влаги	выраженное увеличение интенсивности окраски	выраженный запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, размягченная
9A9	стандартный с незначительным выделением влаги	выраженное увеличение интенсивности окраски	слабый запах продуктов реакции пиролиза	плотная, однородная, не твердая

Таблица 5. Результаты определения содержания витаминов, макро- и микроэлементов в образцах полуфабриката из картофеля

Table 5. Content of vitamins, macro- and microelements in samples of semi-finished product from potato

Номер образца	Содержание витаминов, макро- и микроэлементов, мг%									
	C	PP	Ca	Na	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn
ОКО	20,0±0,02	1,31±0,02	10,0±0,03	5,1±0,02	568,2±0,09	58,2±0,03	0,91±0,02	0,36±0,02	139,7±0,03	0,17±0,01
1КО	20,0±0,02	1,32±0,02	10,2±0,03	4,9±0,03	564,3±0,08	58,1±0,03	0,88±0,02	0,35±0,03	138,7±0,02	0,16±0,01
3КО	18,2±0,02	1,28±0,02	9,9±0,03	5,2±0,03	562,9±0,07	57,9±0,03	0,91±0,02	0,34±0,02	136,8±0,03	0,16±0,01
6КО	17,5±0,02	1,21±0,02	9,6±0,03	4,7±0,02	558,0±0,06	57,1±0,03	0,87±0,03	0,29±0,02	137,2±0,02	0,14±0,01
9КО	15,8±0,02	1,17±0,02	9,6±0,03	4,6±0,02	554,0±0,08	56,9±0,03	0,83±0,02	0,25±0,02	136,1±0,03	0,15±0,01
0A3	20,7±0,02	1,32±0,02	10,1±0,03	5,2±0,02	568,1±0,08	57,9±0,02	0,91±0,02	0,35±0,03	139,8 ±0,03	0,16±0,01
0A6	21,3±0,02	1,28±0,02	10,2±0,03	4,9±0,02	568,2±0,07	57,9±0,02	0,88±0,02	0,34±0,03	139,8±0,03	0,16±0,01
0A9	21,9±0,02	1,29±0,03	10,2±0,02	4,9±0,02	568,3±0,09	57,8±0,02	0,89±0,02	0,35±0,03	137,2±0,03	0,16±0,01
1A3	20,6±0,02	1,29±0,02	10,2±0,03	5,0±0,02	568,4±0,07	58,1±0,02	0,89±0,02	0,33±0,03	138,2±0,03	0,16±0,02
1A6	21,2±0,03	1,3±0,02	10,1±0,02	5,1±0,02	568,1±0,07	57,8±0,03	0,88±0,03	0,34±0,02	137,8±0,03	0,17±0,01
1A9	21,8±0,02	1,31±0,02	10,1±0,03	4,9±0,02	567,9±0,09	57,9±0,02	0,89±0,02	0,35±0,02	139,8±0,02	0,16±0,01
3A3	20,6±0,02	1,29±0,02	10,4±0,02	5,1±0,02	567,9±0,06	58,1±0,03	0,91±0,02	0,37±0,02	137,8±0,02	0,16±0,02
3A6	21,2±0,03	1,3±0,02	10,3±0,02	5,1±0,02	566,8±0,07	57,8±0,02	0,9±0,02	0,36±0,02	138,2±0,03	0,15±0,02
3A9	19,6±0,02	1,31±0,02	10,1±0,02	5,1±0,02	566,2±0,08	57,9±0,03	0,91±0,02	0,36±0,02	137,9±0,03	0,16±0,01
6A3	16,4±0,02	1,26±0,02	8,4±0,02	4,3±0,02	562,7±0,05	56,9±0,03	0,81±0,02	0,31±0,02	131,1±0,03	0,15±0,01
6A6	16,8±0,03	1,25±0,02	8,6±0,02	4,2±0,03	561,6±0,09	56,8±0,02	0,82±0,03	0,32±0,02	131,2±0,02	0,15±0,02
6A9	17,4±0,02	1,27±0,02	9,7±0,02	4,2±0,02	560,8±0,07	56,9±0,03	0,81±0,02	0,33±0,02	131,1±0,02	0,14±0,01
9A3	14,6±0,02	1,25±0,02	8,1±0,02	3,8±0,02	551,2±0,08	55,4 ±0,03	0,8±0,02	0,27±0,02	128,9±0,03	0,13±0,01
9A6	15,2±0,03	1,24±0,02	8,2±0,03	3,7±0,02	549,8±0,07	55,2±0,03	0,81±0,03	0,28±0,02	129,1±0,03	0,14±0,01
9A9	15,7±0,02	1,21±0,02	8,1±0,03	3,7±0,02	548,2±0,07	55,3±0,03	0,82±0,03	0,26±0,02	128,8±0,02	0,14±0,01

С увеличением дозы ионизирующего облучения от 1 до 9 кГр в образцах без добавления аскорбиновой кислоты или с аскорбиновой кислотой концентрацией 3 и 6% наблюдается снижение содержания витамина С от 0,1 до 4,5 мг%. В образцах с аскорбиновой кислотой концентрацией 9% с увеличением дозы облучения от 1 до 9 кГр она снижается от 0,1 до 6,1 мг%. Использование аскорбиновой кислоты является сохраняющим фактором для нативного витамина С, однако при дозе облучения 9 кГр его потери более значительны. Изменение содержания витамина РР, других макро- и микроэлементов незначительны, их можно соотнести с выделением влаги после облучения образцов и при их хранении. В целом аскорбиновая кислота в сочетании с вакуумированием сохраняет содержащиеся в картофеле витамины С и РР, макро- и микроэлементы в большей степени при его обработке ионизирующим излучением.

Определение микробиологических показате-

телей. Результаты определения микробиологических показателей образцов полуфабрикатов в течение суток после обработки и после семи суток хранения представлены в табл. 6 и 7.

При дозе облучения 1 кГр наблюдалось незначительное снижение всех исследуемых групп микроорганизмов, при дозе облучения 3 кГр содержание микроорганизмов снижается в 2–4 раза. При дозе облучения 6 и 9 кГр все микроорганизмы уничтожаются полностью.

В образцах, не обработанных ионизирующим излучением, количество микроорганизмов не менялось или увеличивалось. В образцах, обработанных излучением дозой 1, 3 и 6 кГр, количество исследуемых микроорганизмов менялось в незначительных пределах или не обнаруживалось. В образцах, обработанных излучением дозой 9 кГр, ни один вид исследуемых микроорганизмов обнаружен не был. Стерилизующий эффект ионизирующего излучения в образцах сохранялся в течение семи суток.

Таблица 6. Микробиологические показатели полуфабрикатов из картофеля в течение суток после обработки
Table 6. Microbiological characteristics of semi-finished products from potato samples within 24 hours after processing

Номер образца	Микробиологические показатели образцов			
	КМАФАнМ, КОЕ/г	Плесени, дрожжи, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 1,0 г	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. Salmonella, в 25,0 г
Нормативное значение	$2,8 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^2$	не допускаются	не допускаются
ОКО	$2,8 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1КО	$2,1 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
ЗКО	$0,5 \cdot 10^2$	менее 4	обнаружены	не обнаружены
6КО	не обнаружены	менее 2	не обнаружены	не обнаружены
9КО	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
0А3	$2,9 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
0А6	$2,8 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
0А9	$2,9 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1А3	$2,0 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1А6	$2,0 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1А9	$2,1 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
3А3	$0,5 \cdot 10^2$	менее 8	обнаружены	не обнаружены
3А6	$0,6 \cdot 10^2$	менее 7	обнаружены	не обнаружены
3А9	$0,4 \cdot 10^2$	менее 7	обнаружены	не обнаружены
6А3	не обнаружены	менее 6	не обнаружены	не обнаружены
6А6	не обнаружены	менее 6	не обнаружены	не обнаружены
6А9	не обнаружены	менее 5	не обнаружены	не обнаружены
9А3	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
9А6	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
9А9	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены

Таблица 7. Микробиологические показатели полуфабрикатов из картофеля после семи суток хранения при температуре от 0 до +6 °С

Table 7. Microbiological characteristics of semi-finished products from potato samples after 7 days of storage at 0...+6 °С

Номер образца	Микробиологические показатели образцов			
	Плесени, дрожжи, КОЕ/г	Плесени, дрожжи, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 1,0 г	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. Salmonella, в 25,0 г
Нормативное значение	$2,8 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^2$	не допускаются	не допускаются
ОКО	$3,4 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1КО	$2,3 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
ЗКО	$0,6 \cdot 10^2$	менее 4	обнаружены	не обнаружены
6КО	не обнаружены	менее 2	не обнаружены	не обнаружены
9КО	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
0А3	$3,6 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
0А6	$3,5 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены
0А9	$3,6 \cdot 10^2$	менее 10	обнаружены	не обнаружены

1А3	2,2·10 ²	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1А6	2,3·10 ²	менее 10	обнаружены	не обнаружены
1А9	2,4·10 ²	менее 10	обнаружены	не обнаружены
3А3	0,6·10 ²	менее 8	обнаружены	не обнаружены
3А6	0,7·10 ²	менее 7	обнаружены	не обнаружены
3А9	0,6·10 ²	менее 7	обнаружены	не обнаружены
6А3	не обнаружены	менее 6	не обнаружены	не обнаружены
6А6	не обнаружены	менее 6	не обнаружены	не обнаружены
6А9	не обнаружены	менее 5	не обнаружены	не обнаружены
9А3	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
9А6	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
9А9	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что при воздействии ионизирующего излучения на образцы очищенного вакуумированного картофеля с увеличением дозы излучения от 1 до 9 кГр наблюдалось изменение консистенции от плотной до размягченной, увеличение интенсивности окраски поверхности и запаха продуктов пиролиза. Сочетание ТГ и ДСК методов исследования образцов ПЭТ-пакетов при облучении дозой 9 кГр, где суммарная масса атомных единиц ПЭТ-материала указывает на следы присутствия летучих веществ, позволяет

сказать об отсутствии воздействия ионизирующего излучения на полимер. Применение аскорбиновой кислоты в виде раствора концентрацией 9% для обработки поверхности очищенного картофеля обусловлено необходимостью предотвратить размягчение его консистенции и изменение окраски поверхности при облучении дозой до 6 кГр. При этом достигается микробиологическая чистота полуфабриката и сохраняемость витаминов С и РР при воздействии от 1 до 6 кГр, колеблющееся в пределах 3%. При дозе от 6 до 9 кГр потери исследуемых витаминов варьируются в пределах 25%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санжарова Н.И., Молина А.А., Козьмин Г.В., Кобялко В.О. Радиационные агробιοтехнологии: приоритетные направления развития и коммерциализации // Аграрная наука. 2016. N 1. С. 2–4.
2. Алимов А.С., Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю., Еланский С.Н., Черняев А.П., Юров Д.С. Ингибирование прорастания клубней картофеля при воздействии электронного пучка с энергией 1 МэВ // Защита картофеля. 2015. N 1. С. 26–29.
3. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В., Гулина С.М. Применение радиационных технологий при хранении картофеля // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 20. С. 66–71. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-66-71>
4. Цыгвинцев П.Н. Торможение физиологических процессов в клубнях картофеля после облучения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. N 11-2. С. 341–346.
5. Ян ван Козей. Лучевая обработка пищевых продуктов // Бюллетень МАГАТЭ. 1981. Т. 23. N 3. С. 37–41.
6. Kumar S., Petwal V.C., Kaul A., Behere A., Promod R., Varma S.C., et al. Sprout inhibition in potato (*Solanum tuberosum* L.) with low energy electrons // Journal of Food Science and Technology – Mysore. 2009. Vol. 46. Issue 1. P. 50–53.
7. Mahto R., Das M. Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.), cv. “Kufri Sindhuri”, in non-refrigerated storage conditions // Postharvest Biology and Technology. 2014. Vol. 92. P. 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.011>
8. Mahto R., Das M. Effect of γ irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L), cv. “Kufri Chandramukhi” and “Kufri Jyoti”, during storage at 12 °C // Radiation Physics and Chemistry. 2015. Vol. 107. P. 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.08.021>
9. Peivaste I., Alahyarizadeh G. Comparative study on absorbed dose distribution of potato and onion in X-ray and electron beam system by MCNPX2.6 code // MAPAN – Journal of Metrology Society of India. 2019. Vol. 34. Issue 1. P. 19–29. <https://doi.org/10.1007/s12647-018-0287-z>
10. Soares G.M.I., da Silva E.B., Amaral A.J., Machado E.C.L., Silva J.M. Physico-chemical and sensory evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) after irradiation // Anais da Academia Brasileira de Ciências (Annals of the Brazilian Academy of Science). 2016. Vol. 88. Issue 2. P. 941–950. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140617>
11. Tripathi J., Variyar P.S., Singhal R.S., Sharma A. Radiation processing for sprout inhibition of stored potatoes and mitigation of acrylamide in fries and chips. In: Processing and Impact on Active Components in Food. 2015. Chapter 11. P. 89–96. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00011-1>
12. Тихонов А.В., Деревягина М.К., Васильева С.В., Зейрук В.Н. Радиационные методы обработки клубней картофеля // Защита картофеля. 2015. N 1. С. 22–25.
13. Seth R.K., Zarin M., Khan Z., Seth R. Ionizing radiation as a phytosanitary treatment against *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) // Florida Entomologist. 2016. Vol. 99. Special issue 2. P. 76–87.

14. Kim H.-J., Song H.-J., Song K.-B. Microbial growth and sensory quality of dried potato slices irradiated by electrons // *Radiation Physics and Chemistry*. 2011. Vol. 80. Issue 6. P. 776–777. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.02.016>

15. Докучаева И.С., Гумерова Г.Х., Хакимова Е.Г. Проблемы технологии лучевой стерилизации пищевых продуктов // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19. N 17. С. 169–171.

16. Al-juhaimi F., Ghaafoor K., Özcan M.M., Jahurul M.H.A., Babiker E.E., Jinap S., et al. Effect of various food processing and handling methods on preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables // *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 55. Issue 10. P. 3872–3880. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3370-0>

17. Mulinacci N., Valletta A., Pasqualetti V., Innocenti M., Giuliani C., Bellumori M., et al. Effects of ionizing radiation on bio-active plant extracts useful for preventing oxidative damages // *Natural Product Research*. 2019. Vol. 33. Issue 8. P. 1106–1114. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1457663>

18. Klaassen M.T., Trindade L.M. RG-I galactan side-chains are involved in the regulation of the water-binding capacity of potato cell walls // *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 227. Article 115353. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115353>

19. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности; под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина и Н.И. Санжаровой. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.

20. Graham W.D., Stevenson M.H. Effect of irradiation, storage and cooking on vitamin C in strawberries and potatoes // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. Vol. 75. Issue 3. P. 317–377. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199711\)75:3<371::AID-JSFA890>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199711)75:3<371::AID-JSFA890>3.0.CO;2-P)

21. Алёшин В.Н., Ачмиз А.Д., Першакова Т.В., Купин Г.А., Павлова В.Е. Применение радиационных агробiotехнологий при хранении и переработке растительного сырья // *Научный журнал КубГАУ*. 2018. N 136. С. 22–35. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-136-003>

22. Pikaev A.K. Contribution of radiation technology to environmental protection // *High Energy Chemistry*. 2002. Vol. 36. Issue 3. P. 135–146. <http://doi.org/10.1023/A:1015384631830>

23. Китиева Л.И., Саламов А.Х., Арчакова Р.Д., Ужахова Л.Я., Ялхороева М.А. Исследование свойств ПЭТ-упаковки в процессе эксплуатации // *Вестник современной науки*. 2016. N 4–1 (16). С. 28–32.

24. Куткина М.Н., Котова Н.П., Елисеева С.А. Совершенствование технологии универсальных

овощных полуфабрикатов для предприятий индустрии питания // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2016. N 2 (68). С. 153–157. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-153-157>

25. Sapers G.M., Cooke P.H., Heidel A.E., Martin S.T., Miller R.L. Structural changes related to texture of pre-peeled potatoes // *Journal of Food Science*. 1997. Vol. 62. Issue 4. P. 797–803. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15458.x>

26. Чугунова О.В. Научный обзор: сенсорный анализ и его значение в оценке качества и безопасности пищевых продуктов // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. N 3. С. 118–129.

27. Голубкина Н.А., Кошелева О.В. Определение витамина С в пищевых продуктах // *Журнал аналитической химии*. 1989. Т. 44. N 8. С. 1349–1360.

28. Parshina A.V., Bobreshova O.V. PD-sensors based on perfluorinated membranes for simultaneous determination of vitamins B₁, B₆, and PP in aqueous solutions // *Petroleum Chemistry*. 2014. Vol. 54. Issue 8. P. 631–636. <https://doi.org/10.1134/S096554411408012X>

29. Luis G., Rubio C., Gutierrez A.J., Gonzalez-Weller D., Revert C., Hardisson A. Evaluation of metals in several varieties of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.): comparative study // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014. Vol. 186. Issue 1. P. 433–440. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3388-8>

30. Xia X., Zhang D., Fan C., Pu S. Naked-eye detection of Cu (II) and Fe (III) based on a Schiff Base Ruthenium complex with nicotinohydrazide // *Applied Organometallic Chemistry*. 2020. Vol. 34. Issue 10. Article e5841. <https://doi.org/10.1002/aoc.5841>

31. Шевелева С.А., Ефимочкина Н.Р., Быкова И.Б., Батищева С.Ю. Обоснование микробиологических показателей безопасности для новых видов пищевой продукции // *Вопросы питания*. 2014. Т. 83. N S3. С. 162–163.

32. Hrabovska O., Pastukh H., Demenyuk O., Miroshnyk V., Halatenko T., Babii A., et al. Kinetics of hydrolysis-extraction of pectin substances from the potato raw materials // *Ukrainian Food Journal*. 2015. Vol. 4. Issue 4. P. 596–604.

33. Pavlyuk R., Pogarska V., Kotuyk T., Pogarskiy A., Loseva S. The influence of mechanical analysis on the activation of nanocomplexes of heteropolysaccharides and proteins of plant biosystems in developing of nanotechnologies // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3. Issue 11 (81). P. 33–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.70996>

REFERENCES

1. Sanzharova NI, Molina AA, Koz'min GV, Kobyalko VO. Radiation agricultural biotechnologies: priority areas for the development and commercialization. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*.

2016;1:2–4. (in Russian)

2. Alimov AS, Bliznuk UA, Borschegovskaya PY, Elansky SN, Chernyaev AP, Yurov DS. Germination inhibition of potato tubers under the influence of the

electron beam with energy of 1 MeV. *Zashchita kartofelya*. 2015;1:26–29. (In Russian)

3. Loy NN, Sanzharova NI, Gubareva OS, Chizh TV, Gulina SN. Application of radiation technologies in potato storage. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*. 2018;20:66–71. (in Russian) <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-66-7>

4. Tsygvintsev PN. Inhibition of physiological processes in potato clubs after irradiation. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018;11-2;341–346. (in Russian)

5. Yan van Koei. Radiation processing of food products. *Byulleten' MAGATE*. 1981;23(3):37–41. (In Russian)

6. Kumar S, Petwal VC, Kaul A, Behere A, Pro-mod R, Bapna SC, et al. Sprout inhibition in potato (*Solanum tuberosum* L.) with low energy electrons. *Journal of Food Science and Technology – Mysore*. 2009;46(1):50–53.

7. Mahto R, Das M. Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.), cv. “Kufri Sindhuri”, in non-refrigerated storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 2014;92:37–45. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.011>

8. Mahto R, Das M. Effect of γ irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L), cv. “Kufri Chandramukhi” and “Kufri Jyoti”, during storage at 12 °C. *Radiation Physics and Chemistry*. 2015;107:12–18. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.08.021>

9. Peivaste I, Alahyarizadeh G. Comparative study on absorbed dose distribution of potato and onion in X-ray and electron beam system by MCNPX2.6 code. *MAPAN – Journal of Metrology Society of India*. 2019;34(1):19–29. <https://doi.org/10.1007/s12647-018-0287-z>

10. Soares GMI, da Silva EB, Amaral AJ, Machado ECL, Silva JM. Physico-chemical and sensory evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) after irradiation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências = Annals of the Brazilian Academy of Science*. 2016;88(2):941–950. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140617>

11. Tripathi J, Variyar PS, Singhal RS, Sharma A. Radiation processing for sprout inhibition of stored potatoes and mitigation of acrylamide in fries and chips. In: *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015. Chapter 11. p. 89–96. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00011-1>

12. Tikhonov AV, Derevyagina MK, Vasileva SV, Zeiruk VN. Radiological methods for treatment of potato tubers in storage. *Zashchita kartofelya*. 2015;1:22–25. (In Russian)

13. Seth RK, Zarin M, Khan Z, Seth R. Ionizing radiation as a phytosanitary treatment against *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Florida Entomologist*. 2016;99(2):76–87.

14. Kim H-J, Song H-J, Song K-B. Microbial growth and sensory quality of dried potato slices irradiated by electrons. *Radiation Physics and Chemistry*. 2011;80(6):776–777. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.02.016>

15. Dokuchaeva IS, Gumerova GK, Khakimova EG. Problems of food irradiation sterilization technology. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2016;9(17):169–171. (In Russian)

16. Al-juhaimi F, Ghaafoor K, Özcan MM, Jahurul MHA, Babiker EE, Jinap S, et al. Effect of various food processing and handling methods on preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55(10):3872–3880. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3370-0>

17. Mulinacci N, Valletta A, Pasqualetti V, Innocenti M, Giuliani C, Bellumori M, et al. Effects of ionizing radiation on bio-active plant extracts useful for preventing oxidative damages. *Natural Product Research*. 2019;33(8):1106–1114. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1457663>

18. Klaassen MT, Trindade LM. RG-I galactan side-chains are involved in the regulation of the water-binding capacity of potato cell walls. *Carbohydrate Polymers*. 2020;227. Article 115353. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115353>

19. Koz'min GV, Geras'kin SA, Sanzharova NI. (ed.). *Radiation technologies in agriculture and food industry*. Obninsk: VNIIRAE; 2015. 400 p. (In Russian)

20. Graham WD, Stevenson MH. Effect of irradiation, storage and cooking on vitamin C in strawberries and potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997;75(3):371–377. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199711\)75:3<371:AID-JSFA890>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199711)75:3<371:AID-JSFA890>3.0.CO;2-P)

21. Aleshin VN, Achmiz AD, Pershakova TV, Kupin GA, Pavlova VE. Use of radioactive agrobiotechnologies in storing and processing of plant materials. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2018;136:22–35. (In Russian) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-136-003>

22. Pikaev AK. Contribution of radiation technology to environmental protection. *High Energy Chemistry*. 2002;36(3):135–146. <http://doi.org/10.1023/A:1015384631830>

23. Kitieva LI, Salamov AH, Archakova RDzh, Uzhahova LJa, Jalhoroeva MA. Investigation of pet-packaging in operation. *Vestnik sovremennoi nauki*. 2016;4-1:28–32. (In Russian)

24. Kutkina MN, Kotova NP, Eliseeva SA. Improving technology universal vegetable semi-finished products for the enterprises of food industry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016;2:153–157. (In Russian) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-153-157>

25. Sapers GM, Cooke PH, Heidel AE, Martin ST, Miller RL. Structural changes related to texture

of pre-peeled potatoes. *Journal of Food Science*. 1997;62(4):797–803. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15458.x>

26. Chugunova OV. Scientific review: analysis of touch and its significance in the evaluation of quality and food safety. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskije nauki*. 2016;3:118–129. (In Russian)

27. Golubkina NA, Kosheleva OV. Methods of vitamin C determination in food. *Zhurnal analiticheskoi khimii = The Journal of Analytical Chemistry*. 1989;44(8):1349–1360. (In Russian)

28. Parshina AV, Bobreshova OV. PD-sensors based on perfluorinated membranes for simultaneous determination of vitamins B₁, B₆, and PP in aqueous solutions. *Petroleum Chemistry*. 2014;54(8):631–636. <https://doi.org/10.1134/S096554411408012X>

29. Luis G, Rubio C, Gutierrez AJ, Gonzalez-Weller D, Revert C, Hardisson A. Evaluation of metals in several varieties of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.): comparative study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014;186(1):433–440. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3388-8>

30. Xia X, Zhang D, Fan C, Pu S. Naked-eye detection of Cu (II) and Fe (III) based on a Schiff Base Ruthenium complex with nicotinohydrazide. *Applied Organometallic Chemistry*. 2020;34(10):e5841. <https://doi.org/10.1002/aoc.5841>

31. Sheveleva SA, Efimochkina NR, Bykova IB, Batishcheva SYu. Justification of microbiological safety indicators for new types of food products. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2014;83(S3):162–163. (In Russian)

32. Hrabovska O, Pastukh H, Demenyuk O, Miroshnyk V, Halatenko T, Babii A, et al. Kinetics of hydrolysis-extraction of pectin substances from the potato raw materials. *Ukrainian Food Journal*. 2015;4(4):596–604.

33. Pavlyuk R, Pogarska V, Kotuyk T, Pogarskiy A, Loseva S. The influence of mechanolysis on the activation of nanocomplexes of heteropolysaccharides and proteins of plant biosystems in developing of nanotechnologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016;3(11):33–40. (In Russian) <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.70996>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дриль Анастасия Александровна,
старший преподаватель кафедры технологии
и организации пищевых производств,
Новосибирский государственный технический
университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20,
Российская Федерация,
✉ e-mail: drilnaska@gmail.com

Сапожников Александр Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры технологии
и организации пищевых производств
Новосибирский государственный технический
университет
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20,
Российская Федерация,
e-mail: alexnsk@ya.ru

Заявленный вклад авторов

Оба автора сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Статья поступила в редакцию 22.08.2020;
одобрена после рецензирования 01.11.2020;
принята к публикации 30.11.2020.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiia A. Dril,
Senior Lecturer,
Technology and Organization
of Food Industries Department,
Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marks Ave., Novosibirsk, 630073,
Russian Federation
✉ e-mail: drilnaska@gmail.com

Aleksandr N. Sapozhnikov
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Technology and Organization
of Food Industries Department,
Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marks Ave., Novosibirsk, 630073,
Russian Federation
e-mail: alexnsk@ya.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

*The article was submitted 22.08.2020;
approved after reviewing 01.11.2020;
accepted for publication 30.11.2020.*