

УДК 66.088: 579.678

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-103-107

Д.И. Петрухина, ✉  
В.А. Харламов,  
С.А. Горбатов,  
И.М. Меджидов,  
В.И. Шишко,  
О.В. Тхорик

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

✉ [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com)

Поступила в редакцию: 13.02.2023

Одобрена после рецензирования: 30.03.2023

Принята к публикации: 19.04.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-103-107

Daria I. Petrukhina, ✉  
Vladimir A. Kharlamov,  
Sergey A. Gorbатов,  
Ibragim M. Medzhidov,  
Valentin I. Shishko,  
Oksana V. Tkhorik

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

✉ [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com)

Received by the editorial office: 13.02.2023

Accepted in revised: 30.03.2023

Accepted for publication: 19.04.2023

## Оценка антимикробного воздействия нетермальной СВЧ-плазмы в модельном эксперименте

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Плазменная обработка готовых к употреблению продуктов питания может быть применена для увеличения срока хранения и безопасности пищевых продуктов. На начальном этапе представляется важным провести оценку бактерицидного действия нетермальной (неравновесной) плазмы на природную ассоциацию бактерий, выделенную из продуктов питания.

**Методы.** Применялся источник аргоновой нетермальной плазмы при атмосферном давлении на основе микроволнового (стримерного) разряда. Обрабатывали культуру *Lactobacillus* с грецкого ореха в естественной ассоциации и вегетативной форме. Посев — на чашки Петри с агаром Эндо. Время экспозиции — 60 с, 180 с и 360 с. Расстояние от сопла источника плазменной струи до поверхности агара — 30 мм. Определяли диаметр зоны ингибирования роста *Lactobacillus* на плотной питательной среде.

**Результаты.** Зафиксированы округлые области прозрачного агара Эндо — зоны инактивации роста колониеобразующих единиц в сплошном газоне культуры *Lactobacillus* после воздействия аргоновой плазменной струей. После подсчета колониеобразующих единиц обнаружено снижение количества выросших колоний *Lactobacillus* после 360-секундной экспозиции. При 60-секундной экспозиции достоверного снижения количества выросших колониеобразующих единиц не наблюдали. Бактерицидный эффект заметен уже после 180-секундного воздействия плазменной струи. С увеличением времени экспозиции до 360 с увеличивалась площадь стерилизации на поверхности агара в чашке Петри. Максимальный диаметр зоны инактивации роста *Lactobacillus* не превышал диаметра сопла источника плазменной струи (36 мм). Под воздействием плазмы происходило изменение цвета агара Эндо в зоне прямого воздействия плазменной струи.

**Ключевые слова:** аргоновая плазма, неравновесная плазма, плазменная струя, микроорганизмы, лактобациллы, стерилизация, плазменная обработка

**Для цитирования:** Петрухина Д.И., Харламов В.А., Горбатов С.А., Меджидов И.М., Шишко В.И., Тхорик О.В. Оценка антимикробного воздействия нетермальной СВЧ-плазмы в модельном эксперименте. *Аграрная наука*. 2023; 370(5): 103–107, <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-103-107>

© Петрухина Д.И., Харламов В.А., Горбатов С.А., Меджидов И.М., Шишко В.И., Тхорик О.В.

## Estimation of antimicrobial effect of non-thermal microwave plasma jet in model experiment

### ABSTRACT

**Relevance.** The plasma treatment of ready-to-eat foods the potential use to increase a storage time and a food safety. On the first step seems important to evaluate the bactericidal effect of a non-thermal (non-equilibrium) plasma on a natural association bacteria isolated from the food.

**Methods.** The non-thermal plasma source based on an argon plasma jet in a microwave (streamer) discharge at atmospheric pressure was used. *Lactobacillus* culture isolated from a walnut in the natural association and the vegetative form was treated. Sowing was carried on Petri dishes with Endo's agar. The exposure time is 60 s, 180 s and 360 s. The distance from the plasma jet source's nozzle to the Endo's agar surface was 30 mm. The diameter of the growth inhibition zone of *Lactobacillus* on the dense nutrient medium was determined.

**Results.** The round transparent Endo's agar area — the zone of growth inactivation of colony-forming units in bacterial lawn of *Lactobacillus* after exposure to argon plasma jet was registered. After counting colony-forming units, a decrease in the number of *Lactobacillus* colonies grown after a 360-second exposure was found. At a 60-second exposure, no significant decrease in the number of grown colony-forming units was observed. The bactericidal effect is noticeable after a 180-second exposure to the plasma jet. With an increase in the exposure time to 360 s, the sterilization area on the surface of the agar in the Petri dish increased. The maximum diameter of the *Lactobacillus* growth inactivation zone did not exceed the diameter of the nozzle of the plasma jet source (36 mm). Under the influence of plasma, the color of the Endo agar changed in the zone of direct exposure to the plasma jet.

**Key words:** argon plasma, non-equilibrium plasma, plasma jet, microorganisms, lactobacillus, sterilization, plasma treatment

**For citation:** Petrukhina D.I., Kharlamov V.A., Gorbатов S.A., Medzhidov I.M., Shishko V.I., Tkhorik O.V. Estimation of antimicrobial effect of non-thermal microwave plasma jet in model experiment. *Agrarian science*. 2023; 370(5): 103–107, <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-103-107> (In Russian).

© Petrukhina D.I., Kharlamov V.A., Gorbатов S.A., Medzhidov I.M., Shishko V.I., Tkhorik O.V.

## Введение / Introduction

Ключевая задача всей пищевой промышленности — это производство не только качественных, но и безопасных для потребителей продуктов питания. Для достижения поставленной задачи необходимо обеспечить полное отсутствие патогенной микрофлоры, а также низкое содержание количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в пищевых продуктах. Для повышения биологической безопасности продуктов питания предпринимаются значительные усилия, тем не менее в продукты все еще могут попадать микроорганизмы на разных этапах производства и приспособляться к различным условиям окружающей среды [1]. Например, большинство употребляемых в пищу фруктов и орехов как выращиваются, так и производятся чаще всего с нарушением санитарно-гигиенических норм в развивающихся странах. В связи с этим данные продукты имеют высокий уровень естественного загрязнения микроорганизмами, вызывающими порчу, а также патогенными бактериями и грибами. Кроме того, при производстве сухофруктов и орехов сушка осуществляется на открытом воздухе, усиливая риски контаминации почвенными бактериями и плесневыми грибами [2]. Поскольку орехи и сухофрукты — это те виды пищевой продукции, которые могут быть использованы в пищу без предварительной термической обработки, очень актуально обеспечение микробиологической безопасности, что особенно актуально для людей с иммунодефицитами [3].

Представляется перспективным внедрение газоразрядного метода на основе нетермальной плазмы при близком к атмосферному давлении для стерилизации такой продукции, как сухофрукты, орехи и готовые к употреблению свежие фрукты и овощи. Данный метод обладает рядом значительных преимуществ: позволяет стерилизовать термочувствительные материалы, а длительность воздействия на микроорганизмы может быть очень мала (до нескольких минут). При этом стерилизационные установки на основе нетермальной плазмы не являются источником ионизирующего излучения [4, 5]. Интерес к использованию плазменных струй атмосферного давления с целью инактивации бактерий обуславливает существование многочисленных источников для генерации. Однако принцип работы у всех этих источников один и тот же: плазма воспламеняется внутри сопла, имеющего несколько электродов, расширяется за пределы сопла с помощью газового потока и формирует поток активных частиц [6]. Плазменные струи являются наиболее приспособленными для практического применения, могут быть использованы как для обработки небольших объектов, так и для обширных поверхностей [7].

Широкое применение нетермальной плазмы с целью инактивации микроорганизмов в сельском хозяйстве и пищевой промышленности пока не было достигнуто, что может быть связано со сложным механизмом плазменной стерилизации. В процесс стерилизации вносят свой вклад УФ-излучение, химически активные частицы, энергия заряженных частиц [8]. Сложность представляет также сопоставление результатов инактивации микроорганизмов под воздействием плазмы. Это связано с тем, что при генерации нетермальной плазмы могут использоваться различные разряды. Однако даже при использовании одного и того же типа разряда могут быть различны экспериментальные условия [9]. Бактериальная клетка подвергается

воздействию нетермальной плазмы на различных клеточных уровнях, что в результате приводит к ее гибели [10]. Например, для бактерий *E. coli* сообщается, что механизм инактивации бактерий в неравновесной аргоновой плазме связан с бомбардировкой ионами и электронами, что вызывает эффект травления на поверхности клетки, приводящий к разрушению материала клетки [11, 12]. Вместе с тем данный механизм действует только на грамотрицательные бактерии, которые обладают тонкими внешней мембраной и муреиновым слоем. Грамположительные бактерии лишены внешней мембраны, однако обладают намного более толстым муреиновым слоем, обеспечивающим прочность и жесткость бактериальной клетке. При использовании такого же разряда для инактивации грамположительных бактерий *B. subtilis* исследователями фиксировались неповрежденные клеточные стенки после плазменной стерилизации [13].

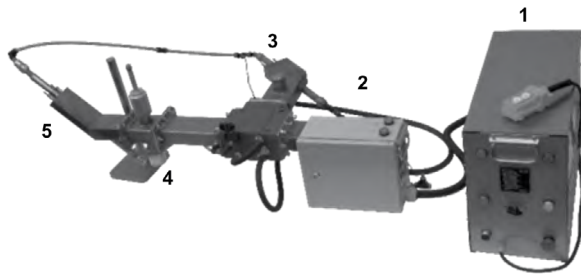
Лактобациллы представляют собой грамположительные неспорообразующие палочки правильной формы размером 0,5–1,2 мкм и 1,0–10,0 мкм [14], некоторые их виды содержатся на растениях в большом количестве [15]. Такие пищевые продукты, как орехи, в период роста, сбора урожая, сушки, хранения поражают многочисленные бактерии [16], в том числе лактобациллы (*Lactobacillus spp.*) [15]. Безусловно, бактерии рода *Lactobacillus* являются частью нормальной микрофлоры человека и животных. Однако они способны приводить к рискам возникновения инвазивных, в том числе оппортунистических, инфекций, особенно у людей с сильно ослабленным иммунитетом, у тяжело больных людей в палатах интенсивной терапии [17, 18]. Также эти бактерии устойчивы к действию ванкомицина и других антибиотиков, в то время как в продуктах, которые употребляются в пищу без обработки, присутствие бактерий группы кишечной палочки не допускается [16]. Присутствие бактерий рода *Lactobacillus* может стать причиной ложноположительной пробы на среде Кесслера. Кроме того, бактерии рода *Lactobacillus* могут вызывать порчу пищевых продуктов как на этапе производства, так и на этапе хранения [14]. *Lactobacillus*, находясь в продуктах питания, изменяют их запах, консистенцию и цвет, вызывая помутнение и ослизнение, образуя биогенные амины. Большинство случаев бактериальной порчи пива и вина связаны с деятельностью *Lactobacillus* [18].

Цель исследования — в оценке эффекта воздействия плазменной струи аргоновой нетермальной плазмы при атмосферном давлении, генерируемой микроволновым источником, на природную популяцию *Lactobacillus* в модельном эксперименте.

## Объекты и методы исследований / Objects and methods of research

Источником аргоновой нетермальной (неравновесной) плазменной струи служил СВЧ-генератор, который создает плазму в атмосфере плазмообразующего газа, индуцированную микроволнами (стримерный разряд), обеспечивая микроволновое излучение на частоте 2,45 ГГц. Данное устройство — источник плазменной струи при атмосферном давлении — создано во ВНИИРАЭ (г. Обнинск) [19, 20] и представлено схематично на рисунке 1.

Объект исследования — природная популяция *Lactobacillus*, выделенная (со смыслов) с очищенных грецких орехов. Посев на среду Кесслера проводили



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 — блок питания; 2 — СВЧ генератор; 3 — циркулятор с водяной нагрузкой; 4 — отрезок волновода с коаксиальным искровым промежутком; 5 — подвижный поршень короткого замыкания

**Fig. 1.** The scheme of the experimental installation: 1 — high-voltage power supply; 2 — microwave magnetron generator; 3 — waveguide circulator with a water load; 4 — a segment of a waveguide with a coaxial spark gap; 5 — movable short-circuit piston

по ГОСТ 31747-2012. Положительные пробы пересекали на поверхность агаризованной среды Эндо для дальнейшего подтверждения по биохимическим и культуральным признакам роста принадлежности выделенных колоний [18]. Идентификация бактерий была проведена методом времяпролетной масс-спектрометрии с матрично ассоциированной лазерной десорбцией (ионизацией) (MALDI-TOF MS) на приборе Autoflex speed (Bruker Daltonics, Германия) в Институте биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина (г. Пушчино, Россия). Анализировали колонии, снятые с агара, смешанные с 1 мкл матрицы HCCA (Bruker Daltonics ref: 0,1 г суспендировали в 250 мкл растворителя, состоящего из 2,5% трифторуксусной кислоты в 50% ацетонитрила), нанесенные на мишень из полированной нержавеющей стали (МТР 384) и высушенные на воздухе при комнатной температуре (как требуется в методических указаниях к прибору) [21]. В выделенной природной популяции обнаружены *L. plantarum* и *L. mali*. Виды не были разделены, в экспериментах использовалась смешанная культура *Lactobacillus*.

Ход эксперимента: природную популяцию *Lactobacillus* выращивали 18 ч на чашке Петри при 37 °С. Затем из выросших *Lactobacillus* стерильным физиологическим раствором готовили суспензию с титром 107–108 КОЕ/мл. После чего 100 мкл инокулята полученной суспензии засеивали сплошным газоном на поверхность агара Эндо. Далее открытые чашки Петри размещали перпендикулярно плазменной струи на 30 мм от выходного отверстия горелки. Длительность экспозиции составила 60 с, 180 с и 360 с при комнатной температуре (23–25 °С). Поток аргона составил 10 л/мин (контролировалось ротаметром для баллонного регулятора расхода газа), температура на поверхности агара Эндо с посевом непрерывно контролировалась с помощью тепловизора SDS HotFind-LT (Hotfind, Китай). Температура на поверхности агара не превышала 40 °С. После экспозиции *Lactobacillus* инкубировали при 37 °С в термостате в течение суток. За это время бактерии выросли, и наблюдался исследуемый эффект, который в дальнейшем не изменялся. Затем измеряли диаметр зон инактивации роста бактерий. Для контроля были подготовлены чашки с культурой *Lactobacillus*, на которые после посева не воздействовали плазменной струей. Незасеянные культурой чашки Петри с питательной средой также обрабатывали плазмой с целью контроля стерильности среды. Проведено два последовательных эксперимента. В каждом по 12 образцов (контроль и три экспериментальных варианта в трех повторностях). Данные обрабатывали

статистически в Excel 2016, сравнивали экспериментальные данные с контролем путем изображения «ящичков с усами».

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

Выделенная с грецких орехов природная популяция молочнокислых бактерий представляла собой грамположительные палочки, которые дают устойчивый рост на агаре Эндо, образуя красные колонии с металлическим зеленоватым блеском размером 1–2 мм, а также ложноположительный результат на среде Кесслера.

Результаты эксперимента с аргоновой неравновесной плазмой показали, что экспозиция длительностью от 60 до 360 с не приводит к быстрому и полному санитизирующему эффекту, но умеренно подавляет рост *Lactobacillus* — так называемое явление контролируемой бактериальной популяции низкой плотности на поверхности плотной питательной среды.

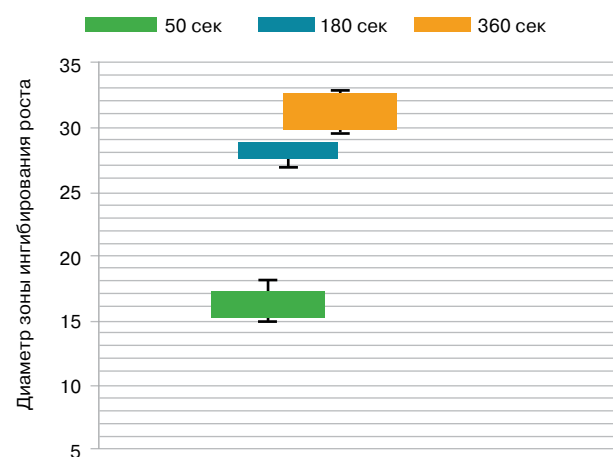
Установлено, что обработка культуры на поверхности питательной среды в течение 60 с не приводила к образованию выраженной зоны подавления роста, хотя наблюдалось небольшое разрежение плотности бактериального газона в области облучения диаметром до 18 мм. Экспозиция в течение 180 с способствовала появлению на поверхности плотной питательной среды зоны подавления роста радиусом 28,6 мм. Дальнейшее увеличение времени плазменной обработки до 360 с приводило к увеличению диаметра зоны подавления роста до 32,7 мм, что соответствовало диаметру видимой плазменной струи, непосредственно взаимодействующей с поверхностью питательной среды. Таким образом, была продемонстрирована прямая зависимость диаметра зоны подавления роста *Lactobacillus* от времени экспозиции.

Зависимость диаметра зон подавления роста от времени плазменной обработки представлена на рисунке 2.

Температура на поверхности питательной среды во время экспозиции нетермальной плазмой была в пределах оптимальной температуры роста *Lactobacillus* (30–40 °С). Таким образом, можно исключить температурный эффект как фактор ингибирования роста, поскольку для гибели бактерий и микроорганизмов требуются более высокие температуры и продолжительность их воздействия.

**Рис. 2.** Зависимость диаметра зоны задержки роста *Lactobacillus* от времени воздействия плазмы

**Fig. 2.** The dependence of the diameter of the zone of growth inhibition of *Lactobacillus* the time of exposure to low temperature plasma







**Рис. 3.** Зоны ингибирования роста культуры *Lactobacillus* в контроле (слева) и после воздействия плазменной струи в течение  $t = 180$  с (в центре) и 360 с (справа). Расстояние до сопла генератора  $h = 30$  мм. Фото авторов

**Fig. 3.** The zone of growth inhibition of *Lactobacillus* culture in control (left) and after plasma treatment for  $t = 180$  s (center) and 360 s (right). Distance from the plasma jet nozzle  $h = 30$  mm. The author's photo

Поверхность плотной питательной среды, засеянной культурой *Lactobacillus*, спустя 24 ч после экспозиции под плазмой представлена на рисунке 3. Результаты исследования продемонстрировали изменение агара Эндо под воздействием нетермальной плазмы длительностью 180 с и 360 с. Непосредственно в месте воздействия аргоновой плазмы наблюдался зеленый металлический блеск на питательной среде. Данный эффект можно объяснить тем, что фуксинсернистая кислота (реактив Шиффа), которая присутствует в агаре Эндо, при взаимодействии с плазмой окисляется до фуксина.

Согласно литературным данным, микроорганизмы разных таксономических групп обладают различной чувствительностью и устойчивостью к воздействию нетермальной плазмы. Например, при воздействии на *E. coli* авторы отмечают, что площадь инактивации не ограничивается диаметром сопла генератора [11], в пределах

которого формируются плазменные струи, а с увеличением времени воздействия плазменных струй на поверхность чашек существенно расширяется площадь инактивации [12, 13]. Однако, в отличие от *E. coli*, для инактивации грамположительных бактерий *B. subtilis* нетермальной плазмой необходимо увеличить время воздействия до 300 с и уменьшить расстояние до источника плазмы до 5 мм, так как *B. subtilis* оказались более устойчивы к аргоновой плазме. Зона стерильности для *B. subtilis* составила 2,8 мм при времени воздействия  $t = 300$  с. Для инактивации роста *E. coli* было достаточно 120 с [4].

По результатам исследований можно сделать вывод, что используемый источник плазменной струи может быть применен для стерилизации поверхности продуктов питания.

### Выводы / Conclusion

Грамположительные микроорганизмы — природная популяция *Lactobacillus* — оказались чувствительными к воздействию аргоновой нетермальной плазмы от СВЧ-генератора плазменной струи. Этот эффект является дозозависимым. Бактерицидный эффект достигался при 180- и 360-секундной экспозиции культивируемых микроорганизмов под плазменной струей. После 180-секундной экспозиции диаметр зоны ингибирования роста бактерий на чашке, то есть зоны, где число бактериальных колоний было ниже, чем в контроле, составил до 28,6 мм. После 360-секундной экспозиции в зоне непосредственного воздействия остаются лишь единичные выросшие колонии, диаметр области ингибирования роста бактерий равен диаметру сопла СВЧ-генератора.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Смирнова Н.А. Управление качеством и безопасностью пищевых продуктов при реализации основных положений ТР ТС 021/2011. *Вестник алтайской науки*. 2015; (3–4): 67–72. <https://elibrary.ru/vkdmcv>
- Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Павлов А.Н., Гераскин С.А. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации. *Вестник РАН*. 2014; 14(1): 78–85. <https://elibrary.ru/siflod>
- Саруханов В.Я., Кобылко В.О., Полякова И.В. Радиационные технологии как способ обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции для потребителей с иммунодефицитами. *Ветеринарный врач*. 2020; (5): 65–76. <https://elibrary.ru/xfpfvq>
- Гомбоева С.В., Бадмаева И.И., Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В., Николаев Э.О. Воздействия низкотемпературной плазмы на продукты растительного происхождения. *Техника и технология пищевых производств*. 2017; 46(3): 129–134. <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-3-129-134>
- Бадмаева И.И., Гомбоева С.В. Увеличение сроков хранения полуфабрикатов животного происхождения путем воздействия низкотемпературной плазмой. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018; (4): 68–74. <https://doi.org/10.36107/sfpf.2018.43>
- Балданов Б.Б., Семенов А.П., Ранжуров Ц.В. Источник объемной плазменной струи на основе слаботочного нестационарного разряда. *Известия Российской академии наук. Серия: физическая*. 2019; 83(11): 1544–1547. <https://doi.org/10.1134/S0367676519110061>
- Шулутко А.М., Османов Э.Г., Чантурия М.О., Мачарадзе А.Д. Плазменные потоки в хирургической практике. *Российский медицинский журнал*. 2018; 24(2): 93–98. <https://doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-2-93-98>
- Маевский Е.И. и др. Установление технических характеристик и выбор режимов работы генератора низкотемпературной аргоновой плазмы (НТАП). Разработка программ микробиологических и биомедицинских испытаний, экспериментальных моделей для оценки санлирующего и ранозаживляющего воздействия НТАП. *Medline.ru. Российский биомедицинский журнал*. 2009; 10: 198–409. <https://elibrary.ru/qajdht>

### REFERENCES

- Smirnova N.A. Quality management and food safety in implement the main provisions TR CU 021/2011. *Vestnik altayskoy nauki*. 2015; (3–4): 67–72. (In Russian) <https://elibrary.ru/vkdmcv>
- Alexakhin R.M., Sanzharova N.I., Kozmin G.V., Pavlov A.N., Geraskin S.A. Future development of radiation technology in agricultural industry of Russian Federation. *Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences*. 2014; 14(1): 78–85. (In Russian) <https://elibrary.ru/siflod>
- Sarukhanov V.Ya., Kobylko V.O., Polyakova I.V. Radiation technologies as a way to ensure microbiological safety of food products for consumers with immune deficiencies. *Veterinary Vrach*. 2020; (5): 65–76. (In Russian) <https://elibrary.ru/xfpfvq>
- Gomboeva S.V., Badmaeva I.I., Baldanov B.B., Ranzhurov T.V., Nikolaev E.O. Effects of low-temperature plasma on plant products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017; 46(3): 129–134. (In Russian) <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-3-129-134>
- Badmaeva I.I., Gomboeva S.V. The Increase in Periods of Storage of Semiproducts of Animal Origin by the Action of Low-Temperature Plasma. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018; (4): 68–74. (In Russian) <https://doi.org/10.36107/sfpf.2018.43>
- Baldanov B.B., Semenov A.P., Ranzhurov T.V. Source of a volume plasma jet based on a low-current nonstationary discharge. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2019; 83(11): 1407–1409. <https://doi.org/10.3103/S1062873819110066>
- Shulutko A.M., Osmanov Elkan G., Chanturiya M.O., Macharadze A.D. The plasma flows in surgical practice. *Medical Journal of the Russian Federation*. 2018; 24(2): 93–98. (In Russian) <https://doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-2-93-98>
- Mayevsky E.I. et al. Definition of the technical characteristics and mode selection for the generator low-temperature argon plasma (LTAP). Development of programs for Microbiological and Biomedical TESTS PILOT models to assess sanitation and wound healing IMPACT of LTAP. *Medline.ru*. 2009; 10: 198–409. (In Russian) <https://elibrary.ru/qajdht>

9. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В., Норбоев Ч.Н., Гомбоева С.В., Абидуева Л.Р. Инактивация микроорганизмов в холодной аргонной плазме атмосферного давления. *Вестник ВСГУТУ*. 2015; 55(4): 56–60. <https://elibrary.ru/uihtbt>
10. Короткий В.Н. Низкотемпературная атмосферная плазма в дерматологии. *Клиническая дерматология и венерология*. 2017; 16(5): 4–11. <https://doi.org/10.17116/klinderma20171654-10>
11. Балданов Б.Б., Семенов А.П., Ранжуров Ц.В., Николаев Э.О., Гомбоева С.В. Воздействие плазменных струй слаботочного искрового разряда на микроорганизмы (на примере *Escherichia coli*). *Журнал технической физики*. 2015; 85(11): 156–158. <https://elibrary.ru/shrdqd>
12. Семенов А.П. и др. Инактивация микроорганизмов в холодной аргонной плазме атмосферного давления. *Успехи прикладной физики*. 2014; 2(3): 229–233. <https://elibrary.ru/shrdqd>
13. Семенов А.П. и др. Воздействие низкотемпературной аргонной плазмы слаботочных высоковольтных разрядов на микроорганизмы. *Прикладная физика*. 2014; (3): 47–50. <https://elibrary.ru/snwqtb>
14. Соловьева И.В., Точилина А.Г., Белова И.В., Новикова Н.А., Иванова Т.П. Биологические свойства лактобацилл. Перспективы использования в лабораториях Роспотребнадзора экспресс-методов амплификации нуклеиновых кислот (МАНК) при контроле качества пищевых продуктов, БАД к пище, лекарственных форм, содержащих лактобациллы. *Журнал МедиАль*. 2014; (2): 29–44. <https://elibrary.ru/sqxcn>
15. Бабич О.О., Просяков А.Ю., Сухих С.А., Милентьева И.С. Идентификация молочнокислых бактерий на поверхности плодов и овощей. *Вопросы науки*. 2015; (1): 22–32. <https://elibrary.ru/thnkvj>
16. Савкина О.А., Локачук М.Н., Павловская Е.Н. Исследование микробной контаминации мюсли и сырья. *Пищевая индустрия*. 2020; (1): 48–50. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2020-10003>
17. Darby T.M., Jones R.M. Beneficial influences of *Lactobacillus plantarum* on human health and disease. Floch M.H., Ringel Y., Walker W.A. (eds.) *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*. Academic Press. 2017; 109–117. ISBN 978-0-12-804024-9 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00010-0>
18. Никифорова А.П., Хазагаева С.Н., Артюхова С.И. Исследование биохимической активности штамма *Lactobacillus sakei* LSK-104. *Вестник ВСГУТУ*. 2019; (4): 62–68. <https://elibrary.ru/arivmh>
19. Антипов С.Н., Саргсян М.А., Юсупов Д.И., Гаджиев М.Х. Эмиссионные спектры аргонного электродного СВЧ-разряда атмосферного давления и холодной плазменной струи на его основе. *Вестник Дагестанского государственного университета*. 2020; 35(1): 71–77. <https://doi.org/10.21779/2542-0321-2020-35-1-71-77>
20. Tikhonov V.N., Aleshin S.N., Ivanov I.A., Tikhonov A.V. The low-cost microwave plasma sources for science and industry applications. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 927: 012067. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/927/1/012067>
21. Полякова И.В., Кобылко В.О., Саруханов В.Я., Фролова Н.А., Губина О.А., Ляуринавичюс К.С. Влияние ионизирующего излучения на количество и видовой состав микроорганизмов в матрице пищевых продуктов животного происхождения. *Актуальные вопросы сельскохозяйственной радиобиологии*. Обнинск: ВНИИРАЭ. 2019; 2: 135–144. <https://elibrary.ru/xaasw>

**ОБ АВТОРАХ:**

**Дарья Игоревна Петрухина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com) <https://orcid.org/0000-0002-5790-9958>

**Владимир Александрович Харламов**, кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [kharlamof@gmail.com](mailto:kharlamof@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0003-3479-1800>

**Сергей Андреевич Горбатов**, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [gorbatovsa004@gmail.com](mailto:gorbatovsa004@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-7373-8183>

**Ибрагим Меджидович Меджидов**, аспирант, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [immedzhidov@mail.ru](mailto:immedzhidov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-5427-7887>

**Валентин Игоревич Шишко**, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [valentine585@yandex.ru](mailto:valentine585@yandex.ru) <https://orcid.org/0000-0002-0526-0579>

**Оксана Владимировна Тхорик**, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Киевское шоссе, 109-й км, Обнинск, 249032, Россия [oxana.tkhorik@gmail.com](mailto:oxana.tkhorik@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-5213-2150>

9. Baldanov B.B., Ranzhurov Ts.V., Norboev Ch.N., Gomboeva S.V., Abidueva L.R. Inactivation of microorganisms in cold argon plasma at atmospheric pressure. *The Bulletin of ESSTUM*. 2015; 55(4): 56–60. (In Russian) <https://elibrary.ru/uihtbt>
10. Korotkii V.N. The use of low-temperature atmospheric plasma in dermatology. *Klinicheskaya Dermatologiya i Venerologiya*. 2017; 16(5): 4–11. (In Russian) <https://doi.org/10.17116/klinderma20171654-10>
11. Baldanov B.B., Semenov A.P., Ranzhurov T.V., Nikolaev E.O., Gomboeva S.V. Action of plasma jets of a low-current spark discharge on microorganisms (*Escherichia coli*). *Technical Physics*. 2015; 60(11): 1729–1731. <https://doi.org/10.1134/S1063784215110043>
12. Semenov A.P. et al. Inactivation of microorganisms in cold argon plasma at the atmospheric pressure. *Advances in Applied Physics*. 2014; 2(3): 229–233. (In Russian) <https://elibrary.ru/shrdqd>
13. Semenov A.P. et al. Influence of the low-temperature argon plasma of low-current high-voltage discharges on microorganisms. *Applied Physics*. 2014; (3): 47–50. (In Russian) <https://elibrary.ru/snwqtb>
14. Solovyeva I.V., Tochilina A.G., Belova I.V., Novikova N.A., Ivanova T.P. Biological properties, prospects of express-methods nucleic acid amplification for the foods, food supplements and drugs on its basis quality control. *Medial'*. 2014; (2): 29–44. (In Russian) <https://elibrary.ru/sqxcn>

15. Babich O.O., Prosekov A.Yu., Sukhoy S.A., Melent'eva I.S. Identification of lactic acid bacteria on the surface of fruits and vegetables. *Voprosy nauki*. 2015; (1): 22–32. (In Russian) <https://elibrary.ru/thnkvj>
16. Savkina O.A., Lokachuk M.N., Pavlovskaya E.N. Investigation of microbial contamination of muesli and raw materials. *Pishcheyaya industriya*. 2020; (1): 48–50. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2020-10003>
17. Darby T.M., Jones R.M. Beneficial influences of *Lactobacillus plantarum* on human health and disease. Floch M.H., Ringel Y., Walker W.A. (eds.) *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*. Academic Press. 2017; 109–117. ISBN 978-0-12-804024-9 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00010-0>
18. Nikiforova A.P., Khazagaeva S.N., Artyukhova S.I. Study of biochemical activity of the *Lactobacillus sakei* LSK-104 strain. *The Bulletin of ESSTUM*. 2019; (4): 62–68. (In Russian) <https://elibrary.ru/arivmh>
19. Antipov S.N., Sargsyan M.A., Yusupov D.I., Gadzhiev M.Kh. Emission Spectra of Atmospheric-Pressure Electrode Microwave Discharge in Argon and of the Cold Plasma Jet Induced by the Discharge. *Herald of Dagestan State University*. 2020; 35(1): 71–77. (In Russian) <https://doi.org/10.21779/2542-0321-2020-35-1-71-77>
20. Tikhonov V.N., Aleshin S.N., Ivanov I.A., Tikhonov A.V. The low-cost microwave plasma sources for science and industry applications. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 927: 012067. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/927/1/012067>
21. Polyakova I.V., Kobylko V.O., Sarukhanov V.Ya., Frolova N.A., Gubina O.A., Laurinavicius K.S. The effect of ionizing radiation on the number and species composition of microorganisms in the matrix of food products of animal origin. *Topical issues of agricultural radiobiology*. Obninsk: Russian Institute of Radiology and Agroecology. 2019; 2: 135–144. (In Russian) <https://elibrary.ru/xaasw>

**ABOUT THE AUTHORS:**

**Daria Igorevna Petrukhina**, candidate of biological sciences, senior researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com) <https://orcid.org/0000-0002-5790-9958>

**Vladimir Aleksandrovich Kharlamov**, candidate of biological sciences, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [kharlamof@gmail.com](mailto:kharlamof@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0003-3479-1800>

**Sergey Andreevich Gorbatov**, Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [gorbatovsa004@gmail.com](mailto:gorbatovsa004@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-7373-8183>

**Ibragim Medzhidovich Medzhidov**, Researcher, graduate student, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [immedzhidov@mail.ru](mailto:immedzhidov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-5427-7887>

**Valentin Igorevich Shishko**, Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [valentine585@yandex.ru](mailto:valentine585@yandex.ru) <https://orcid.org/0000-0002-0526-0579>

**Oksana Vladimirovna Tkhorik**, Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109<sup>th</sup> km Kievskoe Highway, Obninsk, 249032, Russia [oxana.tkhorik@gmail.com](mailto:oxana.tkhorik@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-5213-2150>