

УДК 537.523/ 579.678

ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПРОДУКТЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

С.В. Гомбоева^{1,*}, И.И. Бадмаева¹, Б.Б. Балданов²,
Ц.В. Ранжуров², Э.О. Николаев²

¹ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления»,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

²Институт физического материаловедения СО РАН,
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

*e-mail: s.gomboeva@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 13.07.2017

Дата принятия в печать: 04.09.2017

Аннотация. Цель данной работы заключается в исследовании воздействия низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы на инактивацию микроорганизмов и возможности использования плазменной обработки продуктов растительного происхождения для увеличения сроков хранения. Для генерации низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы разработан источник неравновесной плазмы на основе плазменных струй слаботокового искрового разряда при атмосферном давлении в виде экспериментальной установки. Были проведены серии опытов для подбора оптимальных параметров инактивации микроорганизмов. Результаты исследования показали стерилизующую способность низкотемпературной плазмы для разных видов микроорганизмов. Так уменьшение количества бактерий наблюдается для *E. coli* при экспозиции в пределах 60 с, для *B. Subtilis*, *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* – 300 с. Обработка продуктов растительного происхождения плазмой показала их сохранность при хранении без создания определенного микроклимата (низкие температуры) до 10-и суток у клубне- и корнеплодов и до 2-х суток – у листовой зелени с обеспечением микробиологической безопасности. Данные результаты позволяют сделать вывод об эффективности способа обработки продуктов растительного происхождения низкотемпературной плазмой для увеличения сроков их хранения.

Ключевые слова. Аргоновая плазма, плазменные струи, микроорганизмы, пищевые продукты, сроки хранения

EFFECTS OF LOW-TEMPERATURE PLASMA ON PLANT PRODUCTS

S.V. Gomboeva^{1,*}, I.I. Badmaeva¹, B.B. Baldanov², Ts.V. Ranzhurov², E.O. Nikolaev²

¹East-Siberian State University of Technology and Management,
40V, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, 670013, Russia

²Institute of Physical Material Science
of the Siberian Branch of the RAS
6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia

*e-mail: s.gomboeva@mail.ru

Received: 13.07.2017

Accepted: 04.09.2017

Abstract. The aim of this research is to study the effect of low temperature (cold) argon plasma on inactivation of microorganisms and the potential use of plasma treatment of plant products with the purpose to increase storage time. Non-equilibrium plasma source based on plasma jets in a low-current spark discharge at atmospheric pressure has been developed as an experimental setup to generate low temperature (cold) argon plasma. Series of experiments have been conducted to select optimum parameters for inactivation of microorganisms. The results show a sterilizing ability of low-temperature plasma for different types of microorganisms. The reduction of the number of bacteria is observed for *E. coli* exposed within 60 seconds, and for *B. subtilis*, *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* exposed within 300 sec. Products of plant origin processed with plasma demonstrate their integrity during storage without creating a specific climate (low temperature) up to 10 days for tuber and root crops and up to 2 days for leafy greens ensuring microbiological safety. These results allow us to conclude that the method of plant product processing with low-temperature plasma is effective for storage time increasing.

Keywords. Argon plasma, microorganisms, low-current spark, microorganisms, food products, storage time

Введение

Разработка эффективных методов инактивации патогенов и химических токсикантов в газах, жид-

кости и на поверхностях являются одной из важнейших проблем в медицине, промышленности и сфере защиты окружающей среды. Как правило, для

стерилизации используют сухой и влажной жар, фильтрацию, обработку радиацией и химическими биоцидами. Однако эти методы являются низкопроизводительными и дорогими, а также не всегда экологически безопасны. Другая проблема связана с повреждающим действием биопленок на промышленные материалы. Микроорганизмы, составляющие биопленки, как известно являются очень устойчивыми к обычным агентам стерилизации [1].

Особое место среди плазменных методов занимают исследования разрядов генерирующих низкотемпературную (холодную) неравновесную плазму при атмосферном давлении [2–5]. В качестве источников низкотемпературной неравновесной плазмы атмосферного давления рассматриваются различные типы газовых разрядов, среди которых можно отметить скользящий, коронный, барьерный и импульсные разряды атмосферного давления. Несмотря на широкий круг работ [6, 7], посвященных исследованиям различных характеристик разрядов, и доказанную высокую эффективность использования разрядов в биомедицинских целях в лабораторном масштабе, обработка холодной плазмой при атмосферном давлении с целью уничтожения микроорганизмов в настоящее время еще не получила широкого применения. Это связано, во-первых, с тем, что источники холодной плазмы представляют собой технически сложное оборудование с низкой экономической эффективностью, и во-вторых, для обработки биологических объектов используются разряды атмосферного давления при высоком напряжении (10–40 кВ), что требует обеспечения высокого уровня безопасности.

Цель данной работы: исследование воздействия низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы, генерируемой слаботочными высоковольтными разрядами, на инактивацию микроорганизмов и изучение возможности использования плазменной обработки продуктов растительного происхождения для увеличения сроков хранения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись продукты растительного происхождения – клубнеплоды (картофель), корнеплоды (морковь) и листовые овощи (петрушка).

Для генерации низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы на основе слаботочных высоковольтных разрядов использовался способ, базируемый на получении плазменных струй слаботочного искрового разряда атмосферного давления, формируемых в потоке аргона [8, 9].

Для оценки чувствительности микроорганизмов к холодной аргоновой плазме, генерируемой плазменными струями слаботочного искрового разряда, использовали методику, основанную на измерении диаметров зон поражения засеянного газона. Для этого засеивали газон тест-микроорганизма: 100 мкл рабочей суспензии вносили на чашку Петри с агаризованной средой ГРМ и тщательно растирали шпателем. Чашки с засеянным газоном помещали в газоразрядную камеру под плазменные струи. Плазменной струей подвергали чашки Петри с засеянными

микроорганизмами и затем выращивали в термостате при температуре 37 °С в течение 24 часов для бактериальных культур и 28 °С в течение 48 часов для дрожжей и мицелиальных грибов [10].

Время обработки опытных образцов овощей варьировалось от 1 до 5 минут (образец 1 – 1 мин, образец 2 – 3 мин, образец 3 – 5 минут для каждого пищевого продукта), ток разряда от 200 мкА до 1 мА, расстояние от сопла генератора до поверхности образцов равнялось 5 мм.

Гигиеническая экспертиза микробиологической флоры исследуемых объектов проводилась по показателям содержания мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов и плесневых грибов (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции») по общепринятой методике.

Результаты и их обсуждение

Для генерации низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы разработан источник неравновесной плазмы на основе плазменных струй слаботочного искрового разряда [10–12] при атмосферном давлении в виде экспериментальной установки. На рис. 1 представлена фотография генератора холодной аргоновой плазмы на основе плазменных струй слаботочного искрового разряда.

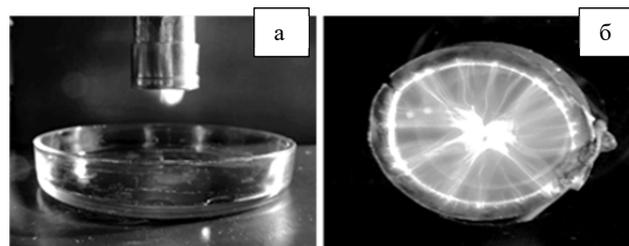


Рис. 1. Генератор холодной аргоновой плазмы на основе плазменных струй:

а – инактивация микроорганизмов в чашке Петри, б – вид разряда с торца

Время обработки чашек плазменными струями слаботочного искрового разряда варьировалось от 5 с до 5 мин. Расстояние от источника плазмы до поверхности, на которой росли микроорганизмы, составляло от 0,5 до 3 см.

Бактерицидные свойства плазменных струй слаботочного искрового разряда исследовались по воздействию на вегетативную форму штаммов *Escherichia coli*. Культура *Escherichia coli* была выращена на агаризованной богатой среде в виде газона. Опытные купоны с *Escherichia coli* подвергали воздействию плазменных струй.

Таблица 1

Режимы плазмы на воздействие *E. coli*.

Сила тока (I), мА	100	100	150	150	200
Поток газа (G_{Ar}), м ³ /ч	200	300	500	600	600
Расстояние объекта от источника плазмы (L), см	1	1	0,5	0,5	0,5
Время воздействия (t), сек	5	10	15	30	60
Зона стерильности	-	-	-	-	+

Для подбора оптимальных параметров инактивации микроорганизмов были проведены серии опытов. В табл. 1 показаны режимы воздействия при разных параметрах для *E. coli*. Полная гибель клеток грамотрицательных бактерий *E. coli* зарегистрирована через 180 с обработки на расстоянии 1 см (сила тока – 200 мкА, поток газа – 600 м³/ч).

На рис. 2 видно, что зона стерильности *Escherichia coli* составляет 3,4 см.

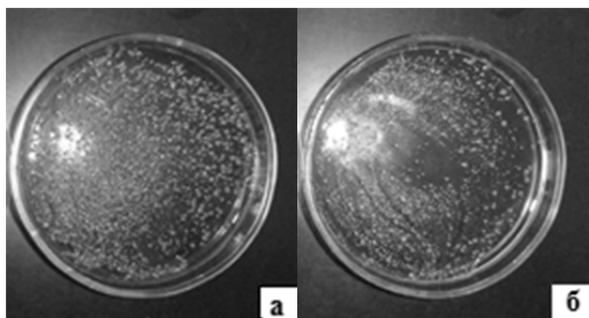


Рис. 2. *Escherichia coli*: а – контроль; б – опыт

Таблица 2

Режимы плазмы на воздействие *B. subtilis*

Сила тока (I), mA	0,5	1	1	1,5	1,5
Поток газа (G _{Ar}), м ³ /ч	600	650	700	750	750
Расстояние объекта от источника плазмы (L), см	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Время воздействия (t), с	30	30	120	120	300
Зона стерильности	-	-	-	-	+

Для грамположительных бактерий *Bacillus subtilis* инактивация низкотемпературной плазмой в отличие от *E. coli* увеличивается во времени – 300 с, уменьшении расстояния воздействия – 0,5 см, так как *B. subtilis* оказались более устойчивы к аргонной плазме (сила тока составляет 1,5 мкА, а поток газа – 750 м³/ч). В табл. 2 также представлены серии опытов для получения оптимальных параметров воздействия для *B. subtilis*.

На рис. 3 представлена зона стерильности *Bacillus subtilis*. – 2,8 мм.

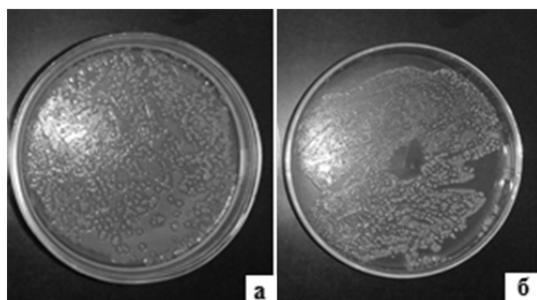


Рис. 3. *Bacillus subtilis*: а – контроль; б – опыт

Для грибов *Aspergillus Oryzae* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* время воздействия составляет 360 с (сила тока – 1,5 мкА, поток газа – 750 м³/ч) на одинаковом расстоянии 1 см. В табл. 3 и 4 представлены серии опытов для получения оп-

тимальных параметров воздействия для *Aspergillus Oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* соответственно.

Таблица 3

Режимы плазмы на воздействие *Saccharomyces cerevisiae*

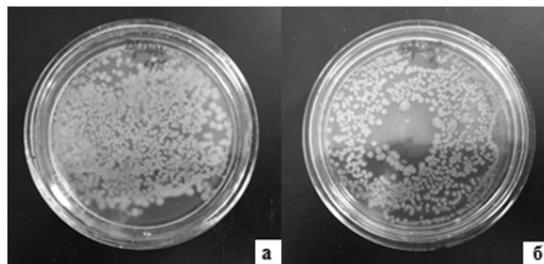
Сила тока (I), mA	0,5	1	1	1,5	1,5
Поток газа (G _{Ar}), м ³ /ч	600	650	700	750	750
Расстояние объекта от источника плазмы (L), см	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Время воздействия (t), с	30	30	120	120	300
Зона стерильности	-	-	-	-	+

Таблица 4

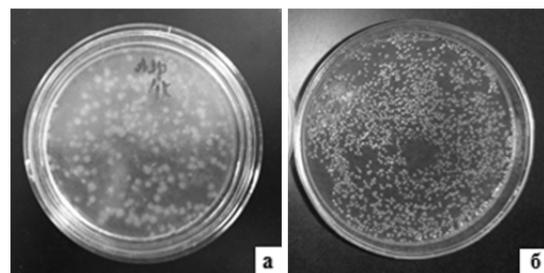
Режимы плазмы на воздействие *Aspergillus Oryzae*

Сила тока (I), mA	0,5	1	1	1,5	1,5
Поток газа (G _{Ar}), м ³ /ч	600	650	700	750	750
Расстояние объекта от источника плазмы (L), см	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Время воздействия (t), с	30	30	120	120	300
Зона стерильности	-	-	-	-	+

На рис. 4 видно, что зона стерильности у *Aspergillus Oryzae* – 4 см, у *Saccharomyces cerevisiae* – 3,1 см.



Saccharomyces cerevisiae: а – контроль; б – опыт



Aspergillus Oryzae: а – контроль; б – опыт

Рис. 4. *Saccharomyces cerevisiae* и *Aspergillus Oryzae*

Исследования показали, что уменьшение количества бактерий наблюдается для *E. coli* при экспозиции в пределах 60 с, для *B. Subtilis*, *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* – 300 с.

В сельскохозяйственной и пищевой промышленности немаловажную роль играет сохранение урожая и пищевых продуктов растительного происхождения, в которых протекают разнообразные процессы, вызывающие изменения качества при хранении.

Овощи, в отличие от других продуктов питания, могут сохранять свои свойства достаточно дли-

тельное время при соблюдении определенных условий. Нормируемые потери в этом случае составляют до 10 %. Однако в действительности возможны отклонения температуры и влажности при хранении, а также закладка овощей с механическими повреждениями. Все это способствует увеличению микрофлоры, и как следствие – сокращение сроков хранения продуктов.

Одним из решений данной проблемы возможна предварительная обработка овощей низкотемпературной плазмой для уменьшения микробной обсемененности, способствующей порче продуктов в процессе хранения.

Обработка плазмой проводилась по площади среза у картофеля и моркови и по полной поверхности листа у петрушки. Признаки порчи фиксировали на протяжении нескольких дней хранения при температуре 20–25 °С в условиях повышенной влажности.

Экспертизу порчи органолептических показателей (внешний вид, цвет, запах) моркови и картофеля проводили визуально.

Контрольный образец картофеля начал проявлять признаки порчи на второй день появлением потемнения поверхности среза. На третьи сутки клубень начал подсыхать вследствие потери влаги. Образцы 1–3, обработанные плазмой, в течение 9 дней сохранили внешний вид без изменений, на 11 день наблюдалось незначительное потемнение и увядание клубня.

Микробиологические исследования проводились по определению общего микробного числа (ОМЧ), значение которого в контрольном образце сохранилось в пределах допустимого только в течение одних суток. К исходу вторых суток срез клубня покрылся пушистым налетом, что свидетельствует о развитии плесневых грибов. ОМЧ на третьи и пятые сутки подтверждает значительный и стабильный рост микроорганизмов, превышающий нормируемые показатели, поэтому дальнейшие исследования контрольного образца не проводили.

Образцы, обработанные плазмой, имели низкое значение ОМЧ в течение 5 суток. Микробиологическая безопасность картофеля образца 2 сохранилась до 7 суток, а образца 3 до 9 суток. На 11-е сутки у всех образцов наблюдается высокое содержание ОМЧ (рис. 5).

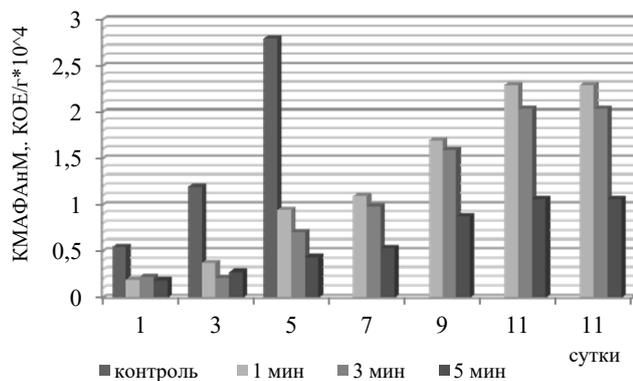


Рис. 5. Влияние режимов обработки низкотемпературной плазмой на количество микроорганизмов картофеля

Особенностями моркови, влияющими на сохранность, являются тонкие покровные ткани, низкая водоудерживающая способность, вследствие чего морковь при хранении легко увядает и поражается микроорганизмами. Наряду с этим тканям корнеплодов моркови присуща высокая воздухопроницаемость.

Результаты наблюдения показали, что контроль моркови начал портиться на 10 день (наблюдалось почернение и высыхание), а на 15 день появилась плесень. Образцы 1 и 2 сохраняли хороший внешний вид и на 15 день, тогда как в образце 3 на 14-е сутки наблюдалось почернение.

Количество микроорганизмов в контрольном и обработанных образцах моркови в течение 3 суток практически не изменялось, увеличение наблюдалось только по истечению трех суток. После 10 дней хранения рост микроорганизмов в контрольном образце превышал допустимых значений, в образце 3 – после 14 суток, тогда как в образцах 1 и 2 ОМЧ на 15-е сутки находилось пределах нормы (рис. 6).

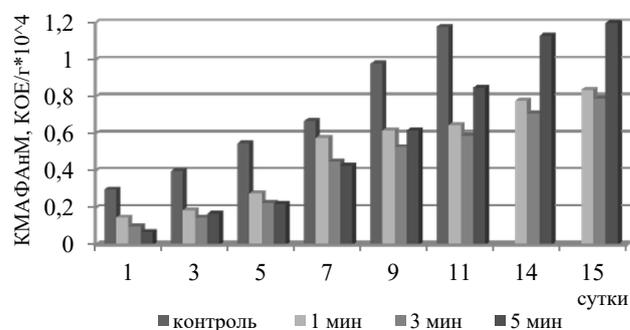


Рис. 6. Влияние режимов обработки низкотемпературной плазмой на количество микроорганизмов моркови

Из полученных результатов можно предложить обработку моркови низкотемпературной плазмой в течение 2 или 3 мин.

Обработка плазмой листьев петрушки позволило сохранить ее в первоначальном виде более длительное время, чем контроль (рис. 7).

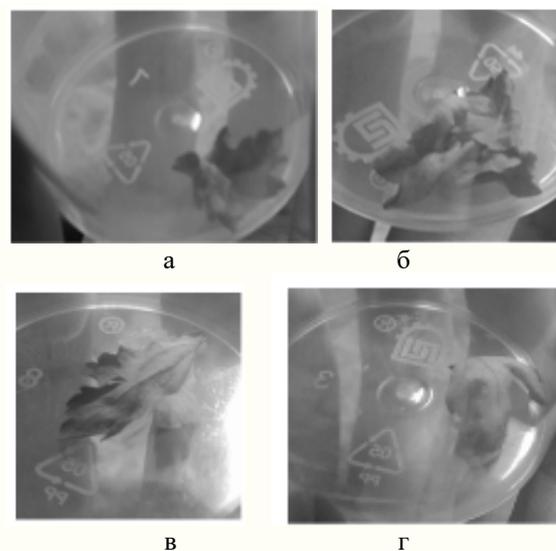


Рис. 7. Обработка листа петрушки низкотемпературной плазмой: а – образец 1; б – образец 2; в – образец 3; г – контроль

Из рис. 7 видно, что лист петрушки, обработанный в течение 5 минут, после 2 суток практически не изменил внешний вид, тогда как другие образцы повяли, а контроль еще и пожелтел, но при этом все образцы сохранили свойственный петрушке аромат.

Количество бактерий в листьях петрушки, обработанных плазмой, на 2 день составило в 3 раза меньше, чем в контроле, и в 1,2 раза меньше нормируемого показателя (ТР ТС 021/2011).

После уборки картофеля и овощей в них не прекращаются процессы жизнедеятельности и биохимические изменения, от направленности и интенсивности прохождения которых зависит лежкость продукции. Ферментативное потемнение является

одним из самых ограничивающих факторов на срок хранения овощей из-за изменения цвета. Естественная убыль массы овощей в большей степени зависит от потери воды, чем от убыли сухих веществ. Потери воды обусловлены интенсивностью прохождения как биохимических (дыхание), так и физических процессов (испарение влаги). При потере растительными клетками влаги резко снижается устойчивость их к различным микроорганизмам.

Результаты исследования показали стерилизующую способность низкотемпературной плазмы для разных видов микроорганизмов и возможность использования ее как эффективного способа обработки продуктов растительного происхождения для увеличения сроков их хранения.

Список литературы

1. Plasma medicine: an introductory review / M.G. Kong, A.V. Kroesen, G. Morfill [et al.] // *New Journal of Physics*. – 2009. – V. 11. – P. 115012.
2. Atmospheric-pressure plasma sources: Prospective tools for plasma medicine / K.D. Weltmann, E. Kindell, T. Woedtke [et al.] // *Pure Appl. Chem*. – 2010. – V. 82. – no. 6. – P. 1223–1237. DOI: 10.1351/PAC-CON-09-10-35.
3. Lu, X. On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets / X. Lu, M. Laroussi, V. Puech // *Plasma Sources Sci. and Technol*. – 2012. – V. 21. – no. 3. – P. 034005.
4. DC atmospheric pressure glow microdischarges in the current range from microamps up to amperes / V.I. Arkhipenko, A.A. Kirillov, Ya.A. Safronau [et al.] // *Eur. Phys. J. D*. – 2010. – V. 60. – 455 p.
5. Применение плазменной струи тлеющего разряда атмосферного давления на постоянном токе для инактивации *Staphylococcus Aureus* / А.А. Кириллов, А.В. Павлова, Е.А. Сафронов [и др.] // *Прикладная физика*, 2013. – № 5. – С. 52–55.
6. Morent R., De Geyter N. *Biomedical Engineering - Frontiers and Challenges*. Chapter 2. Inactivation of Bacteria by Non-Thermal Plasmas / *In Tech*, 2011. 374 p.
7. Machala Z., Hensel K., Akishev Yu. *Plasma for Bio-Decontamination, Medicine and Food Security* / NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology. 2012. XVII, 479 p.
8. Балданов, Б.Б. О повышении предельного тока тлеющего разряда атмосферного давления в потоке аргона / Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров // *ЖТФ*. – 2014. – Т. 84. – Вып. 4. – С. 152–154.
9. Инактивация микроорганизмов в холодной аргоновой плазме атмосферного давления / Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров [и др.] // *Вестник ВСГУТУ*. 2015. Т. 55. № 4. С. 56–60.
10. Балданов, Б.Б. Два типа токовых пульсаций слаботокового искрового разряда в неоднородном электрическом поле / Б.Б. Балданов // *ЖТФ*. – 2011. – Т. 81. – Вып. 4. – С. 135.
11. Нетрусов, А.И. *Практикум по микробиологии* / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук. – М.: Академия, 2005. – 608 с.
12. Воздействие низкотемпературной аргонной плазмы слаботоковых высоковольтных разрядов на микроорганизмы / А.П. Семенов, Б.Б. Балданов [и др.] // *Прикладная физика*. – 2014. – № 3. – С. 47–49.

References

1. Kong M.G., Kroesen G., Morfill G., Nosenko T., Shimizu T., Dijk J. van, Zimmermann J.L. Plasma medicine: an introductory review. *New Journal of Physics*, 2009, vol. 11, p. 115012.
2. Weltmann K.D., Kindel E., Woedtke T., Hähnel M., Stieber M., Brandenburg R. Atmospheric-pressure plasma sources: Prospective tools for plasma medicine. *Pure Appl. Chem*, 2010, vol. 82, no. 6. pp. 1223–1237. DOI: 10.1351/PAC-CON-09-10-35.
3. Lu X., Laroussi M., Puech V. On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets. *Plasma Sources Sci. and Technol*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 034005.
4. Arkhipenko V.I., Kirillov A.A., Safronau Ya.A., Simonchik L.V. DC atmospheric pressure glow microdischarges in the current range from microamps up to amperes. *Eur. Phys. J. D*, 2010, vol. 60, no. 3, pp. 455–463. DOI: 10.1140/epjd/e2010-00266-5.
5. Kirillov A.A., Paulava A.V., Safronau Y.A., Simonchik L.V., Dudchik N.V. Primenenie plazmennoy strui tleyushchego razryada atmosfernogo davleniya na postoyannom toke dlya inaktivatsii staphylococcus aureus [DC atmospheric pressure glow discharge plasma jet application for *Staphylococcus aureus* inactivation]. *Prikladnaya fizika* [Plasma Physics Reports], 2013, no. 5, pp. 52–55.
6. Morent R., De Geyter N. *Inactivation of Bacteria by Non-Thermal Plasmas Chapter 2*. InTech. Publ., 2011. 374 p. DOI: 10.5772/18610.
7. Machala Z., Hensel K., Akishev Yu. *Plasma for Bio-Decontamination, Medicine and Food Security*. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, 2012, 479 p.
8. Baldanov B.B., Ranzhurov T.V. O povyshenii predelnogo toka tleyushchego razryada atmosfernogo davleniya v potoke argona [On the increase in the limiting current of an atmospheric-pressure glow discharge in an argon flow]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [The Russian Journal of Applied Physics], 2014, vol. 84. no. 4, pp. 152–154.

9. Baldanov B.B., Ranzhurov Ts.V., Norboev Ch.N., Gomboeva S.V., Abidueva L.R. Inaktivatsiya mikroorganizmov v kholodnoy argonovoy plazme atmosfernogo davleniya [Inactivation of microorganisms in cold argon plasma at atmospheric pressure]. *Vestnik VSGUTU* [ESSUTM Bulletin], 2015, vol. 55, no. 4, pp. 56–60.

10. Baldanov B.B. Dva tipa tokovykh pul'satsiy slabotochnogo iskrovogo razryada v neodnorodnom elektricheskom pole [Two types of current pulsations of a low-current spark discharge in an inhomogeneous electric field]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal technical physics], 2011, vol. 81, no. 4, pp. 135–137.

11. Netrusov A.I., Egorova M.A., Zakharchuk L.M. *Praktikum po mikrobiologii* [Manual of Microbiology]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» Publ., 2005. 608 p.

12. Semenov A.P., Baldanov B.B., Ranzhurov Ts.V., Norboev Ch.N., Namsaraev B.B., Dambaev V.B., Gomboeva S.V., Abidueva L.R. Vozdeystvie nizkoterperaturnoy argonnoy plazmy slabotochnykh vysokovol'tnykh razryadov na mikroorganizmy [Influence of the low-temperature argon plasma of low-current high-voltage discharges on microorganisms]. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics], 2014, no. 3. pp. 47–49.

Дополнительная информация / Additional Information

Воздействия низкотемпературной плазмы на продукты растительного происхождения / С.В. Гомбоева, И.И. Бадмаева, Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров, Э.О. Николаев // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 46. – № 3. – С. 129–134.

Gomboeva S.V., Badmaeva I.I., Baldanov B.B., Ranzhurov Ts.V., Nikolaev E.O. Effects of low-temperature plasma on plant products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2017, vol. 46, no.3 2, pp. 129–134 (In Russ.).

© Гомбоева Саяна Владимировна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии, ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», 670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, тел.: +7 (3012) 41-71-46, e-mail: s.gomboeva@mail.ru

© Бадмаева Ирина Ильинична

канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов общественного питания, ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», 670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, тел.: +7 (3012) 41-72-10, e-mail: bii75@mail.ru

© Балданов Баир Батович

канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института физического материаловедения СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, тел.: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: baibat@mail.ru

© Ранжуров Цыремпил Валерьевич

младший научный сотрудник Института физического материаловедения СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, тел.: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: baibat@mail.ru

© Николаев Эрдэм Олегович

аспирант Института физического материаловедения СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, тел.: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: frejocker@gmail.com

© Sayana V. Gomboeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology, East-Siberian State University of Technologies and Management, 40V, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, 670013, Russia, phone: +7 (3012) 41-72-46, e-mail: s.gomboeva@mail.ru

© Irina I. Badmaeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology Food Products, East-Siberian State University of Technologies and Management, 40V, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, 670013, Russia, phone: +7 (3012) 41-72-10, e-mail: bii75@mail.ru

© Bair B. Baldanov

Cand.Sci.(Eng.), Senior Researcher of Institute of Physical Material Science of the Siberian Branch of the RAS, 6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia, phone: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: baibat@mail.ru

© Tsyrempil V. Ranzhurov

Junior Researcher of Institute of Physical Material Science of the Siberian Branch of the RAS, 6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia, phone: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: baibat@mail.ru

© Erdem O. Nikolaev

Postgraduate Student of Institute of Physical Material Science of the Siberian Branch of the RAS, 6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia, phone: +7 (3012) 43-32-24, e-mail: frejocker@gmail.com

