

УДК537.523/527; 533.9.004.14

## Воздействие низкотемпературной аргоновой плазмы слаботочных высоковольтных разрядов на микроорганизмы

*А.П. Семенов, Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров, Ч.Н. Норбоев,  
Б.Б. Намсараев, В.Б. Дамбаев, С.В. Гомбоева, Л.Р. Абидуева*

*Показана высокая эффективность бактерицидного действия холодной аргоновой плазмы генерируемой слаботочными высоковольтными разрядами при атмосферном давлении. Показано, что увеличение времени обработки плазменными струями слаботочной искры позволяет проводить эффективную инактивацию микроорганизмов на значительно большей площади, чем площадь сопла генератора плазмы.*

PACS: 52.77. -j;82.80.Dx

*Ключевые слова:* аргоновая плазма, микроорганизмы, слаботочная искра, плазменные струи, плазменная инактивация, тлеющий разряд атмосферного давления.

### Введение

В настоящее время все большую актуальность приобретают работы направленные на исследование свойств газоразрядных процессов, определяющих возможности их применения для стерилизационной и обеззараживающей обработки в области защиты промышленных материалов, оборудования, электроники от биоповреждений и микробиологически индуцированной коррозии [1]. Обработка живых тканей в плазме оказывает желаемый терапевтический эффект при стерилизации и заживлении ран, остановке кровотечения, а также при лечении ряда кожных заболеваний [2, 3]. Это направление приобретает особое значение в последние годы, что связано с возрастающей потребностью человечества в новых, не требующих высоких температур технологиях стерилизации и обеззараживания с высокой

производительностью, простотой эксплуатации, эффективностью и надежностью.

Особое место среди плазменных методов занимают исследования разрядов, генерирующих низкотемпературную (холодную) неравновесную плазму при атмосферном давлении (см., например, [4–6]).

Несмотря на широкий круг работ, 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 не получила широкого применения. Это связано, во-первых, с тем, что источники холодной плазмы в настоящее время представляют собой технически сложное оборудование с низкой экономической эффективностью. Во-вторых, для обработки биологических объектов, живых тканей животных и человека используются разряды атмосферного давления при высоком напряжении (10–40 кВ), что требует обеспечения высокого уровня безопасности. Поэтому выбор параметров разряда, при которых осуществляется безопасное и неразрушающее воздействие, является одной из основных физических задач плазменной медицины.

Целью данной работы является изучение воздействия низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы, генерируемой слаботочными высоковольтными разрядами, на инактивацию микроорганизмов.

### Экспериментальная техника и методика

Для генерации низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы разработаны два типа генераторов неравновесной плазмы на основе слаботочных высоковольтных разрядов. Первый способ предназначен для обработки поверхностей и базируется на использовании специального разряда, а именно, тлеющего разряда атмосферного давления (ТРАД), состоящего из большого количества потоков низкой интенсивности,

---

**Семенов Александр Петрович**, профессор.

**Балданов Баир Батоевич**, ст. научный сотрудник.

**Ранжуров Цыремпил Валерьевич**, мл. научн. сотр.

**Норбоев Чингис Норбоевич**, вед. инженер.

Институт физического материалоустройства СО РАН

Россия, 670047, Бурятия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8

Тел.: (3012) 43-31-84. E-mail: baibat@mail.ru;

semenov@ipms.bscnet.ru

**Намсараев Баир Бадмабазарович**, профессор.

**Дамбаев Вячеслав Борисович**, ст. научн. сотр.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Россия, 670047, Бурятия, г. Улан-Удэ.

Тел.: (3012) 43-49-02. E-mail: baир\_n@mail.ru

**Гомбоева Саяна Владимировна**, доцент.

Восточно-Сибирский государственный университет

технологий и управления.

Россия, 670013, Бурятия, г. Улан-Удэ.

Тел.: (3012) 41-71-46. E-mail: sv2@rambler.ru

**Абидуева Лыгжима Ранжуровна**, доцент.

Бурятский государственный университет.

Россия, 670013, Бурятия, г. Улан-Удэ.

Тел.: (3012) 44-55-03. E-mail: abidueva75@mail.ru

---

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2014 г.

© Семенов А.П., Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В.,

Норбоев Ч.Н., Намсараев Б.Б., Дамбаев В.Б.,

Гомбоева С.В., Абидуева Л.Р., 2014

широко охватывающих поверхность обрабатываемого объекта. Разряд создается в специальной электродной конструкции с многоострийным секционированным катодом и плоским металлическим анодом [7]. Устойчивость разряда относительно перехода отрицательной короны в искровой пробой разрядного промежутка достигается слабой прокачкой газа через разрядный промежуток. Газ продувался перпендикулярно направлению электрического тока. Скорость прокачки газа  $v$  на входе в разрядную камеру варьировалась в пределах  $0,45 \div 2,24$  м/с.

Второй способ базируется на использовании плазменных струй слаботоочного искрового разряда атмосферного давления, формируемых в потоке аргона [8, 9].

В исследовании использовали штаммы природной ассоциации микроорганизмов и вегетативной формы *Escherichia coli* M 17. Эффективность обработки микроорганизмов в газоразрядной камере ТРАД оценивали с использованием тест-полосок, полноту деконтаминации определяли, помещая тест-полоски в индикаторную среду. Для оценки чувствительности микроорганизмов к холодной аргоновой плазме, генерируемой плазменными струями слаботоочного 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 РПА и тщательно растирали шпателем. Чашки с засеянным газоном помещали в газоразрядную камеру под плазменные струи. Обработанные плазмой чашки инкубировали в термостате в течение суток при температуре  $37^\circ\text{C}$ , после чего измеряли диаметр образовавшихся зон поражения.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Бактерицидная эффективность воздействия диффузной аргоновой плазмы, генерируемой в импульсно-периодическом режиме отрицательной короны и в режиме тлеющего разряда атмосферного давления, исследовалась на бактериях природной ассоциации микроорганизмов. Тест-полоски с микроорганизмами помещались на плоский анод, время обработки пластин в плазме варьировалось от 2 до 5 мин. Изучение выживаемости бактерий в плазме импульсно-периодического режима отрицательной короны показало, что после обработки пластин в течение 2 и 5 минут (ток разряда  $I = 250$  мкА) бактерии погибают полностью. В режиме тлеющего разряда атмосферного давления (ток разряда  $I = 700$  мкА, время обработки  $t = 2$  и 5 мин), где разряд представляет однородные, самостоятельные разряды, перекрывающие все межэлектродное расстояние, бактерии также погибают полностью. Рост микроорганизмов после обработки в холодной аргоновой плазме отсутствует на протяжении семи суток культивирования тест-полосок в жидкой питательной среде.

Бактерицидные свойства плазменных струй слаботоочного искрового разряда исследовались по воздействию на вегетативную форму штаммов *Escherichia coli*. На рис. 1 представлена фотография генератора холодной аргоновой плазмы на основе плазменных струй слаботоочного искрового разряда. Культура *Escherichia coli*

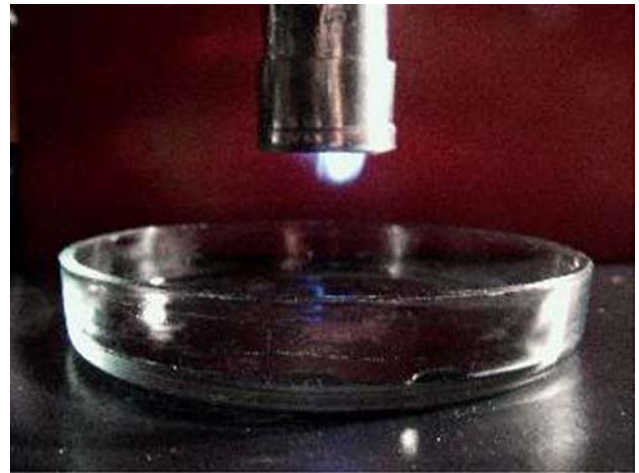


Рис. 1. Генератор холодной аргоновой плазмы на основе плазменных струй слаботоочного искрового разряда. Инактивация микроорганизмов в чашке Петри.



Рис. 2. Зона инактивации бактериального роста *E. Coli*. Расстояние от сопла генератора  $h = 0,5$  см, время экспозиции  $t = 30$  с.

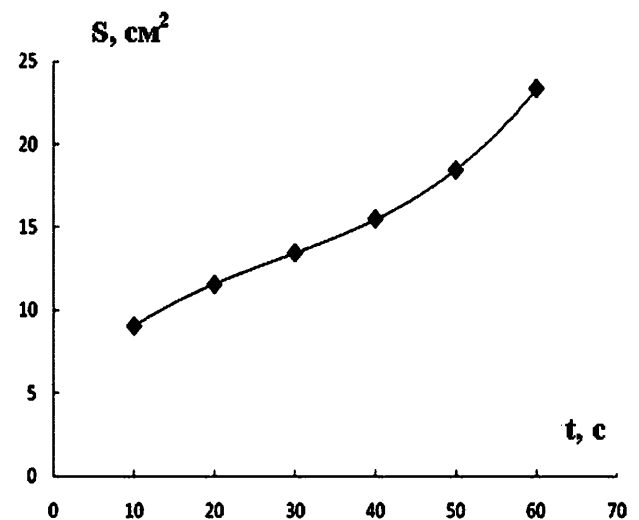


Рис. 3. Зависимость площади зоны инактивации от времени воздействия. Расстояние от сопла генератора  $h = 0,5$  см.

была выращена на агаризованной богатой среде в виде газона. Опытные купоны с *E. coli* подвергали воздействию плазменных струй, варьируя продолжительность экспозиции от 5 до 60 с. Воздействие плазменных струй слаботоочной искры на микроорганизмы регистрируется

в виде круглых прозрачных областей, которые являются зонами инактивации роста микроорганизмов.

Полная гибель клеток *E. coli* зарегистрирована через 5 с обработки на расстоянии 0,5 см от сопла (рис. 2), при увеличении расстояния от сопла до 3 см число выживших макроколоний микроорганизмов значительно возрастает. Отметим, что зона инактивации не ограничивается диаметром сопла источника, в пределах которого формируются плазменные струи слаботочной искры. Установлено, что увеличение времени обработки чашек плазменными струями слаботочной искры позволяет проводить эффективную инактивацию на значительно большей площади (рис. 3).

### Заключение

Показана высокая эффективность бактерицидного действия источников холодной аргоновой плазмы на основе слаботочных высоковольтных разрядов. Изучение выживаемости бактерий в диффузной плазме импульсно-периодического режима отрицательной короны и тлеющего разряда атмосферного давления показало, что полная инактивация микроорганизмов наблюдается после обработки пластин после 2 минут в каждом режиме.

Установлено, что увеличение времени обработки плазменными струями слаботочной искры позволяет проводить эффективную инактивацию микроорганизмов на значительно большей площади, чем площадь сопла генератора плазмы.

### Литература

1. Heinli J., Isbar G., Stolz W., et al. // Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology. 2011. V. 25. P. 1.
2. Fridman G., Vasilets V., Gutsol A., et al. // Plasma Processes and Polymers. 2008. V. 5. P. 503.
3. Kalghatgi S.U., Fridman G., Cooper M., et al. // IEEE Transactions on Plasma Science. 2007. V. 35. P. 1559.
4. Lu X., Laroussi M., Puech V. // Plasma Sources Sci. and Technol. 2012. V. 21. No. 3. P. 034005.
5. Кириллов А.А., Павлова А.В., Сафронов Е.А., и др. // Прикладная физика, 2013. № 5. С. 52.
6. 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, p. 479.
7. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. // ЖТФ. 2014. Т. 84. Вып. 4. С. 152.
8. Балданов Б.Б. // Физика плазмы, 2009. Т. 35. № 7. С. 603.
9. Балданов Б.Б. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 4. С. 135.

## Influence of the low-temperature argon plasma of low-current high-voltage discharges on microorganisms

*A. P. Semenov<sup>1</sup>, B. B. Baldanov<sup>1</sup>, Ts. V. Ranzhurov<sup>1</sup>, Ch. N. Norboev<sup>1</sup>,  
B. B. Namsaraev<sup>2</sup>, V. B. Dambaev<sup>2</sup>, S. V. Gomboeva<sup>3</sup>, and L. R. Abidueva<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS  
8 Sakh'yanova str., Ulan-Ude, 670047, Russia  
E-mail: baibat@mail.ru; semenov@ipms.bscnet.ru

<sup>2</sup>Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the RAS  
Ulan-Ude, 670047, Russia  
E-mail: bair\_n@mail.ru

<sup>3</sup>East Siberia State University of Technology and Management  
Ulan-Ude, 670013, Russia  
E-mail: sv2@rambler.ru

<sup>4</sup>Buryat State University  
Ulan-Ude, 670013, Russia  
E-mail: abidueva75@mail.ru

*Received April 25, 2014*

***High efficiency of the bactericidal action of the cold argon plasma generated by low-current high-voltage discharges at atmospheric pressure is shown. It is shown, that the increase of the time treatment by plasma jets of a low-current spark allows to spend an effective inactivation of microorganisms on much more the areas, than the area of the nozzle of the plasma generator.***

PACS: 52.77.-j; 82.80.Dx

**Keywords:** argon plasma, microorganisms, low-current spark, plasma jet, plasma inactivation, glow discharge at atmospheric pressure.

### References

1. J. Heinlin, G. Isbar, W. Stolz, et al., *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* **25**, 1 (2011).
2. G. Fridman, V. Vasilets, A. Gutsol, et al., *Plasma Processes and Polymers* **5**, 503 (2008).
3. S. U. Kalghatgi, G. Fridman, M. Cooper, et al., *IEEE Transactions on Plasma Science* **35**, 1559 (2007).
4. X. Lu, M. Laroussi, and V. Puech, *Plasma Sources Sci. and Technol.* **21**, 034005 (2012).
5. A. A. Kirillov, A. V. Pavlova, E. A. Safronau, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 52 (2013).  
/ *InTech*, 2011. p. 374.
6. Z. Machala, K. Hensel, and Yu. Akishev, *NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*. **XVII**, 479 (2012).
7. B. B. Baldanov and Ts. V. Ranzhurov, *Tech. Phys.* **84**, 152 (2014).
8. B. B. Baldanov, *Plasma Phys. Rep.* **35**, 603 (2009).
9. B. B. Baldanov, *Tech. Phys.* **81**, 135 (2011).