

**БАКТЕРИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В
ВОДНЫХ СРЕДАХ**

А. А. Курилова, А. В. Полосков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г. Е. Ремнёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kaa-3132@mail.ru

BACTERICIDAL ACTIVITY OF PULSED ELECTRON BEAMS IN AQUEOUS MEDIUMS

A. A. Kurilova, A.V. Poloskov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G. E. Remnev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: kaa-3132@mail.ru

***Abstract.** The objective of the study is to consider the possibility of applying the pulsed electron beam for neutralize of various groups of microorganisms. The advantages of this method have been shown. The microbial suspension has been irradiated by a pulsed electron beam, and then the effectiveness of the electron beam as a disinfecting agent has been assessed. On the example of some microorganisms, it has been illustrated that the nanosecond electron beam is an effective disinfecting agent for the wastewater treatment.*

Введение. На сегодняшний день все более остро встает проблема обеззараживания сточных вод. Наиболее распространенный метод решения этой проблемы – химическая дезинфекция, которая заключается в хлорировании или в озонировании. Однако вследствие хлорирования в обработанной воде образуются токсичные хлорорганические соединения, а озонирования – биоразлагаемая органика и сложные органические соединения [1]. Таким образом, одной из самых актуальных задач является совершенствование методик обеззараживания сточных вод. Наиболее перспективны безреагентные методы очистки, в частности, обеззараживание воды с использованием непрерывных и импульсных электронных пучков.

Ионизирующее излучение было рекомендовано ФАО / МАГАТЭ / ВОЗ [2, 3] для микробной деконтаминации пищевых продуктов и многих фармацевтических препаратов [4-6], а также для дезинфекции сточных вод [7]. Однако в случае обеззараживания вод воздействием непрерывного ионизирующего излучения, облучение всего объема очищаемой воды приводит к увеличению мощности и габаритов источника излучения. Кроме того, на сегодняшний день результаты исследований свидетельствуют о том, что при использовании сильноточных электронных пучков (СЭП) импульсного характера эффективная стерилизующая доза снижается по отношению к стандартной дозе непрерывного излучения [8]. На основании этого мы можем сделать вывод о перспективности использования импульсного электронного пучка в качестве стерилизующего агента для дезинфекции сточных вод.

Целью данной работы являлось определение эффективности использования импульсного электронного пучка для обезвреживания микроорганизмов.

Материалы и методы исследования. Эксперименты проводились на примере культур *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. Эти культуры были выбраны в качестве представителей различных групп бактерий, обитающих в сточных водах. *E. coli* относится к грамотрицательным, неспорообразующим факультативным анаэробам. Некоторые штаммы могут вызывать пищевые отравления. Кроме желудочно-кишечного тракта млекопитающих, также обитают в почве, воде, продуктах питания. *B. subtilis*, напротив, относится к грамположительным, спорообразующим микроорганизмам, высоко устойчивым ко многим неблагоприятным факторам; обитают в почве и в воде [9].

Для исследований использовались культуры в стационарной фазе роста. По литературным данным, в этой фазе микроорганизмы наиболее устойчивы к воздействию ионизирующего излучения [10]. Чистые культуры микроорганизмов культивировались на ГРМ-агаре в течении 18 – 20 часов при температуре 37°C, после чего готовились микробные взвеси определенной концентрации в соответствии со стандартом мутности бактериальных взвесей (СОП № 1-98, 5 ед.). Концентрация для *E. coli* составила 3×10^8 клеток/мл, а для *B. subtilis* $0,1 \times 10^8$ клеток/мл. Затем бактериальные суспензии в объеме 60 мкл помещались в кюветы и подвергались облучению на импульсном электронном ускорителе (ТЭУ-500). Величина поглощенной дозы варьировалась от 0,45 до 4,5 МРад. После облучения осуществлялся контроль результатов, для чего стерильным шприцом производился забор микробной суспензии из кюветы и посев на плотную питательную среду. Параллельно проводился контрольный посев микробной культуры, необлученной пробы и контроль стерильности питательной среды. Материалы помещались в термостат при 37°C на 48 часов.

Результаты. Анализ результатов (Табл. 1) показал, что при поглощенной дозе 4,5 МРад проходит полное обезвреживание обеих культур. Рост не проявляется в течение двух суток, в то время как рост на контроле культуры проявляется уже через 24 часа.

Обезвреживание культуры *E. coli* проходит при дозе 1,75 МРад. Более высокой радиационной устойчивостью обладает *B. subtilis*. Разница в величине эффективной стерилизующей дозы обусловлена, по-видимому, совокупностью свойств бациллы. *B. subtilis* относится к спорообразующим бактериям, соответственно существует вероятность образования спор, чем, возможно, и объясняется более высокая устойчивость к облучению. Кроме того, *B. subtilis* относится к грамположительным микроорганизмам. Грамположительные бактерии отличаются меньшей радиационной чувствительностью [10].

Таблица 1

Результаты воздействия СЭП на культуры микроорганизмов

Микро- организм	Поглощенные дозы, МРад						Контр. культуры
	0,45	0,9	1,35	1,75	2	4,5	
<i>E. coli</i> (КОЕ/мл)	$>138 \times 10^2$	$(60 - 83) \times 10^2$	$(5 - 8) \times 10^2$	0	0	0	Сплошной рост
<i>B. subtilis</i> (КОЕ/мл)	Сплошной рост	Сплошной рост	$\geq 22 \times 10^2$	$\geq 15 \times 10^2$	$(0 - 8) \times 10^2$	0	Сплошной рост

При проведении количественной оценки была обнаружена устойчивая зависимость между величиной поглощенной дозы и бактерицидным эффектом излучения: с увеличением поглощенной дозы

концентрация выживших микроорганизмов снижалась. Данный факт говорит о наличии универсального поражающего действия импульсного электронного пучка на исследуемые микроорганизмы и перспективности его использования в качестве дезинфицирующего агента.

Заключение. Таким образом, на примере культур *E. coli* и *B. subtilis* доказано, что импульсный электронный пучок обладает бактерицидными и бактериостатическими свойствами. На основании проведенного исследования, можно утверждать, что СЭП эффективен для обезвреживания различных видов микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соковнин С. Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2005 – 247 с.
2. WHO Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA WHO Expert Committee, Technical Report Series No. 659, (World Health Organization, Geneva, 1981).
3. M. Abboudi, M. AL-Bachir, Y. Koulsi, H. Jouhara. Combined Effects of Gamma Irradiation and Blanching Process on Acrylamide Content in Fried Potato Strips // International Journal of Food Properties, 19, 1447 (2016).
4. C.K. Waje, S.Y. Jun, Y.K. Lee, B.N. Kim, D.H. Han, C. Jo, J.H. Kwon. Microbial quality assessment and pathogen inactivation by electron beam and gamma irradiation of commercial seed sprouts // Food Control, 20, 200 (2009).
5. R. Bhat, K.R. Sridhar, A. A. Karim. Microbial quality evaluation and effective decontamination of nutraceutically valued lotus seeds by electron beams and gamma irradiation // Radiation Physics and Chemistry, 79, 976 (2010).
6. M. Al-Bachir. Some microbial, chemical and sensorial properties of gamma irradiated sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds // Food Chemistry, 197, 191 (2016).
7. A. T. Fintzoua, M. G. Kontominasa, A. V. Badekaa, M. R. Stahlb, K. A. Riganakos, Radiat. Phys. Chem. 76, 1147 (2007).
8. Ростов В.В., Алексеенко П.И., Выходцев П.В., Штейнле А.В. и др. Сильноточный импульсно-периодический ускоритель электронов прямого действия как средство стерилизации медицинских изделий однократного применения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №2. – С. 48-54.
9. Определитель бактерий Берджи в 2 т: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. – М.: Мир, 1997. – 800 с.
10. Туманян М.А., Каушанский Д.А. Радиационная стерилизация. – М.: Медицина, 1974. – 304 с.