

# Биохимический и пищевой инжиниринг

## Biochemical and food engineering

Научная статья

УДК 504.062.2

DOI: 10.14529/food250209

### СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

**Н.Э. Воротынцев**<sup>1</sup>, vorotyntsev93@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2987-599X>

**А.Л. Кузнецов**<sup>2</sup>, a.l.kuznetsov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1447-1589>

**Э.А. Базанкова**<sup>1</sup>, bazankovaelina2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1534-6789>

**О.А. Суворов**<sup>1</sup>, suvorova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

<sup>1</sup> Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «ЭКО-БЛОК № 345», Балашиха, Россия

**Аннотация.** Обеспечение микробиологической безопасности и продление сроков годности в совокупности с сохранением термолабильных веществ, содержащихся в продуктах питания, обуславливают необходимость поиска эффективных нетермических методов обработки пищевых продуктов. В данном исследовании показано сравнение и количественное обоснование эффективности различных методов нетермического воздействия на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, как способа обеспечения микробиологической безопасности. Для имитации заражения в порцию молока объемом 200 мл вносили водный раствор сухого лиофилизата живых бактерий кишечной палочки штамма *E. Coli* М-17 марки «Колибактерин», концентрацией препарата не менее 1 г/л воды. Посевы выполнялись на питательную среду для выделения энтеробактерий «АГАР ЭНДО-ГРМ». Воздействие на образцы молока выполнялось в лабораторных стендах в течение 60 минут. Было установлено, что комбинированное воздействие озона производительностью 400 мг/ч и ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм позволяет добиться тотального подавления развития колоний кишечной палочки *E. Coli* М-17 в молоке при длительности воздействия на протяжении всего 15 минут. Использование воздействия озона или ультрафиолетовых волн отдельно друг от друга на протяжении 60 минут позволяет подавить развитие более 98 % колоний *E. Coli* М-17 в молоке (21 КОЕ и 273 КОЕ соответственно против 18717 КОЕ контрольного образца). Воздействие комбинации озона производительностью 400 мг/ч и ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц на протяжении 30 минут подавляет развитие всех колоний кишечной палочки *E. Coli* М-17 в молоке. Воздействие на исследуемый образец электромагнитным и электростатическим полями в отдельности, а также их комбинации показало низкую эффективность в подавлении развития колоний *E. Coli* М-17 в молоке.

**Ключевые слова:** нетермические методы воздействия, озонирование, ультразвуковые волны, ультрафиолетовые волны, пищевые отходы, пищевые продукты, молоко, срок годности, микробиологическая безопасность, электромагнитное поле, электростатическое поле

**Для цитирования:** Сравнение эффективности нетермических методов обеспечения микробиологической безопасности пищевых отходов / Н.Э. Воротынцев, А.Л. Кузнецов, Э.А. Базанкова, О.А. Суворов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 2. С. 85–94. DOI: 10.14529/food250209

Original article  
DOI: 10.14529/food250209

## COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF NON-THERMAL METHODS FOR ENSURING MICROBIOLOGICAL SAFETY OF FOOD WASTE

**N.E. Vorotyntsev**<sup>1</sup>, vorotyntsev93@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2987-599X>

**A.L. Kuznetsov**<sup>2</sup>, a.l.kuznetsov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1447-1589>

**E.A. Bazankova**<sup>1</sup>, bazankovaelina2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1534-6789>

**O.A. Suvorov**<sup>1</sup>, suvorovoa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

<sup>1</sup> Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> LLC "ECO-BLOK No. 345", Moscow region, Balashikha, Russia

**Abstract.** Ensuring microbiological safety and extending shelf life, combined with the preservation of thermolabile substances contained in food products, necessitate the search for effective non-thermal methods of food processing. This study shows a comparison and quantitative justification of the effectiveness of various methods of non-thermal exposure to milk containing E. Coli M-17 E. coli as a method of ensuring microbiological safety. To simulate contamination, an aqueous solution of dry lyophilizate of live bacteria of E. Coli M-17 strain "Colibacterin" with the concentration of the preparation not less than 1 g/liter of water was introduced into a 200 ml portion of milk. The crops were carried out on a nutrient medium for the isolation of enterobacteria "AGAR ENDO-GRAM". Exposure of milk samples was performed in laboratory stands for 60 minutes. It was found that combined exposure to ozone with a capacity of 400 mg/h and ultraviolet waves with a wavelength of 260 nm allows to achieve total suppression of colony development of E. Coli M-17 in milk with a duration of exposure of only 15 minutes. Using exposure to ozone or UV wavelengths separately from each other for 60 minutes allows to suppress more than 98 % of E. Coli M-17 colonies in milk (21 CFU and 273 CFU respectively against 18717 CFU of control sample). Exposure to a combination of 400 mg/h ozone and 1.7 MHz ultrasonic waves for 30 minutes suppresses the development of all E. Coli M-17 colonies in milk. Exposure of the tested sample to electromagnetic and electrostatic fields separately, as well as their combination, showed low efficiency in suppressing the development of E. Coli M-17 colonies in milk.

**Keywords:** non-thermal exposure methods, ozonization, ultrasonic waves, ultraviolet waves, food waste, food products, milk, shelf life, microbiological safety, electromagnetic field, electrostatic field

**For citation:** Vorotyntsev N.E., Kuznetsov A.L., Bazankova E.A., Suvorov O.A. Comparison of the effectiveness of non-thermal methods for ensuring microbiological safety of food waste. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 85–94. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250209

### Введение

Сохранение показателей качества в пределах допустимых значений способствует снижению заболеваемости пищевыми инфекциями и обеспечивает безопасность продукции. Обеспечение микробиологической безопасности и продление сроков годности являются важнейшими задачами продовольственного обеспечения [1].

Важное место в категории высокого и значительного риска причинения вреда потребителю в результате недостаточных мер по обеспечению микробиологической безопасности занимают рыба и морепродукты, молочная

продукция, кондитерские изделия, овощи, бахчевые культуры, безалкогольные напитки [2]. В то же время именно эти категории пищевых продуктов имеют большой потенциал переработки как промышленной, так и локальной, с извлечением ценных веществ и получением новых продуктов с добавленной стоимостью.

Предприятия пищевой промышленности используют в основном термическую обработку продуктов, пастеризацию, стерилизацию, которая, к сожалению, разрушительно действует на термолабильные вещества, содержащиеся в продуктах питания, такие как пигменты, антиоксиданты, витамины, биоло-

гически активные вещества, и не подходит ко всем видам продуктов [3].

Эффективность некоторых методов нетермического воздействия на пищевые продукты как способа продления срока годности и обеспечения микробиологической безопасности молока, обсемененного дрожжевыми грибами *Saccharomyces Cerevisiae*, была экспериментально доказана [4]. Однако, учитывая противоречивый опыт многих исследователей нетермических методов обработки пищевых продуктов [5–7], было принято решение продолжить работу по исследованию методов нетермического воздействия на молоко применительно к другим штаммам микроорганизмов.

**Целью данного исследования** является сравнение эффективности различных методов нетермического воздействия на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, как способа обеспечения микробиологической безопасности.

**Научная новизна работы** заключается в количественном сравнении и обосновании продолжительности различных видов и комбинаций методов нетермического воздействия на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17.

#### **Объекты и методы исследования**

Данное исследование представляет собой развитие идей и результатов, опубликованных в работе авторов «Сравнение эффективности нетермических методов обработки для предотвращения образования отходов» [4].

Продолжая изучение нетермических методов обработки молока для достижения микробиологической безопасности, в данном исследовании для имитации заражения вместо дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* был использован сухой лиофилизат живых

бактерий кишечной палочки штамма *E. Coli* M-17 концентрацией не менее  $10 \times 10^9$  КОЕ марки «Колибактерин» производства компании «Микроген». Кишечная палочка (*Escherichia coli*) – условно-патогенный микроорганизм, некоторые токсины которого способны вызывать пищевые отравления и провоцировать почечную недостаточность.

Объекты исследования, описание методов и методик исследования, а также внешний вид лабораторных стендов и их подробное описание представлены в работе авторов «Сравнение эффективности нетермических методов обработки для предотвращения образования отходов» в разделе «Материалы, методы и объекты исследования» [4].

#### **Результаты и их обсуждение**

##### Воздействие озона производительностью 400 мг/ч

Несмотря на сильные окислительные свойства, вступая в реакцию с органическими соединениями, озон не образует опасных побочных продуктов, что обуславливает его популярность как метода дезинфекции и продления сроков годности пищевых продуктов [8–11].

Согласно рис. 1 воздействие газообразного озона на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение 60 минут позволило подавить развитие 97 % колоний исследуемого образца. Воздействие меньшей продолжительностью неэффективно, напротив, демонстрировало эффект ингибирования роста.

##### Воздействие ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц

Эффективность ультразвуковой обработки пищевых продуктов обусловлена акустической кавитацией и химическими реакциями, повреждающими клеточную структуру микро-

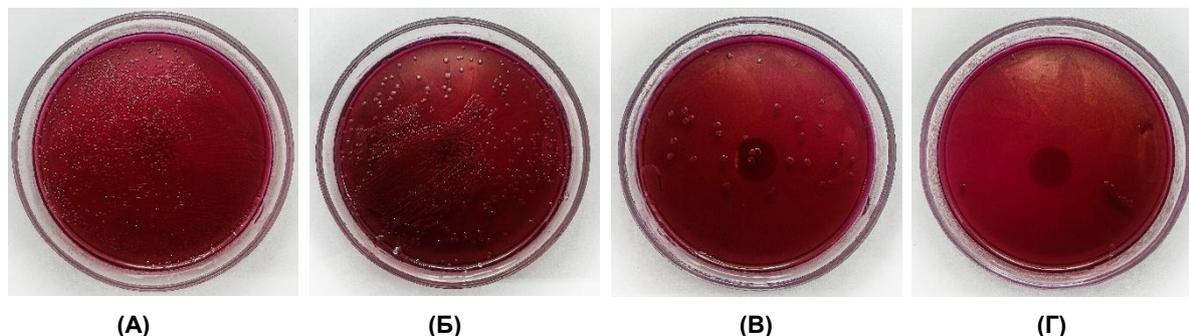


Рис. 1. Результаты воздействия газообразного озона на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

организмов [12]. Согласно рис. 2 воздействие ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение 60 минут характеризовалось эффектом ингибирования роста микроорганизмов на 157 % в сравнении с контрольным образцом.

Воздействие ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм

Установлено, что антибактериальный эффект при обработке пищевых продуктов достигается обработкой длиной волны от 200 до 280 нм [13, 14]. Согласно рис. 3 воздействие

ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение 60 минут позволило подавить развитие 98 % колоний исследуемого образца в сравнении с контрольным образцом. Воздействие меньшей продолжительностью неэффективно.

Воздействие электромагнитного поля с индукцией магнитного поля 2,33 мкТл

Воздействию электростатических и электромагнитных полей на пищевые продукты также уделялось значительное внимание. Однако эффективность метода в вопросе дости-

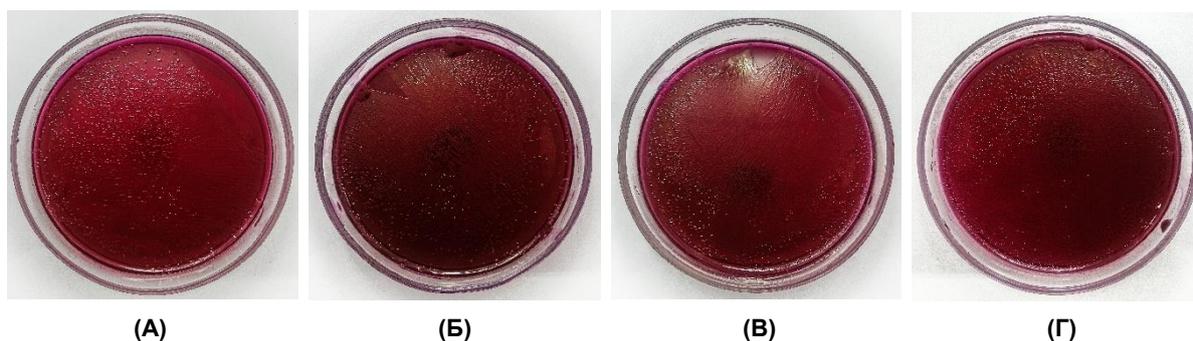


Рис. 2. Результаты воздействия ультразвуковых волн на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

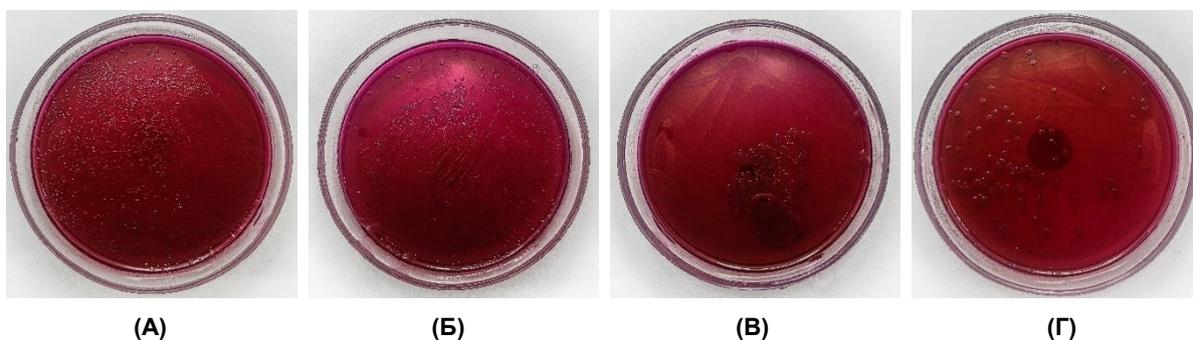


Рис. 3. Результаты воздействия ультрафиолетовых волн на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

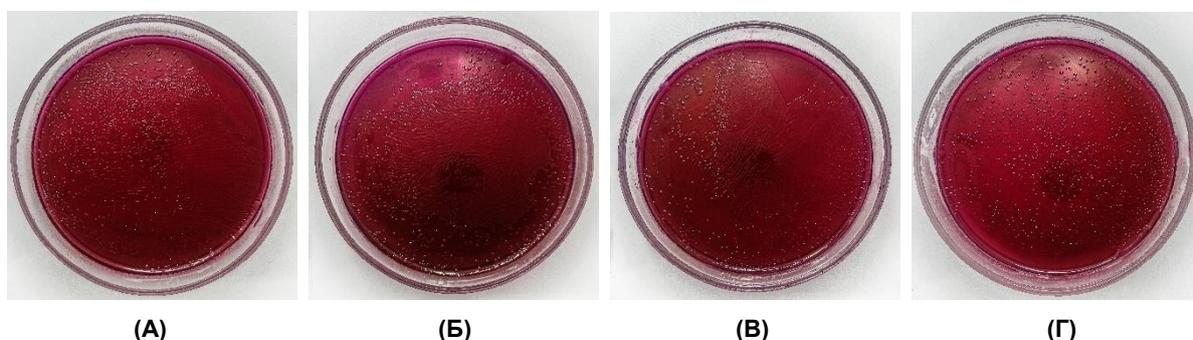


Рис. 4. Результаты воздействия электромагнитного поля на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* M-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

жения микробиологической безопасности сильно зависит от параметров обработки, среды, в которой выполнялась обработка и от конкретного штамма микроорганизма [15]. Согласно рис. 4 воздействие электромагнитного поля с индукцией магнитного поля 2,33 мкТл на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение 60 минут позволило подавить развитие не более 60 % колоний в сравнении с контрольным образцом.

Воздействие электростатического поля напряжением 14,4 кВ

Согласно рис. 5 воздействие электростатического поля напряжением 14,4 кВ на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение 60 минут позволило подавить развитие не более 22 % колоний в сравнении с контрольным образцом.

Методы воздействия, показавшие наилучшие результаты в подавлении роста колоний исследуемых образцов, были совмещены в рамках исследования для оценки их синергической эффективности.

Комбинированное воздействие озона производительностью 400 мг/ч и ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц

Согласно рис. 6 комбинированное воздействие озона производительностью 400 мг/ч и ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение 15 минут продемонстрировало синергический эффект и привело к подавлению развития 99 % колоний в сравнении с контрольным образцом. Дальнейшее увеличение длительности воздействия характеризовалось тотальным подавлением развития микроорганизмов.

Комбинированное воздействие озона производительностью 400 мг/ч и ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм

Согласно рис. 7 комбинированное воздействие озона производительностью 400 мг/ч и ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение 15 минут продемонстрировало синергический эффект и характерно-

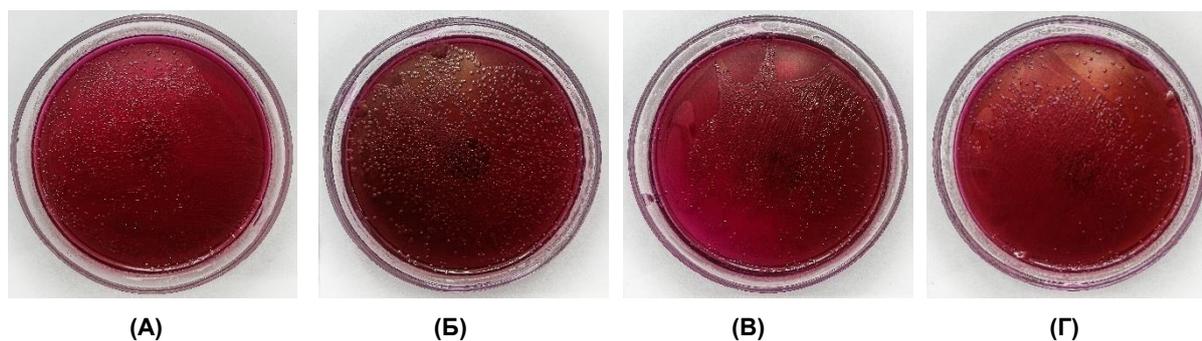


Рис. 5. Результаты воздействия электростатического поля на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (B) 30 мин; (Г) 60 мин

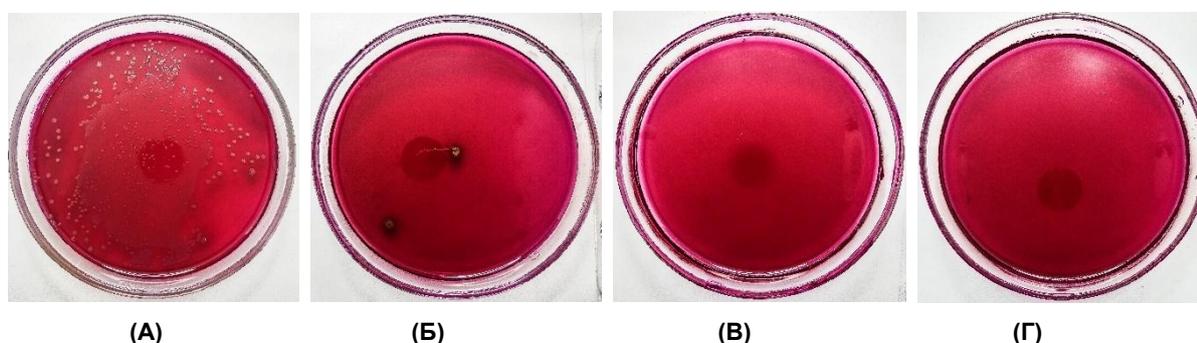


Рис. 6. Результаты совместного воздействия озона и ультразвуковых волн на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (B) 30 мин; (Г) 60 мин

зовалось тотальным подавлением развития колоний в сравнении с контрольным образцом.

Методы воздействия, показавшие худшие результаты в подавлении роста колоний исследуемых образцов, были также совмещены в рамках исследования для оценки возможного синергического эффекта их использования.

Комбинированное воздействие электромагнитного поля с индукцией магнитного поля 2,33 мкТл и электростатического поля на напряжении 14,4 кВ

Согласно рис. 8 комбинированное воздействие электромагнитного поля с индукцией магнитного поля 2,33 мкТл и электростатического поля напряжением 14,4 кВ на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение 60 минут позволило подавить развитие не более 33 % колоний в сравнении с контрольным образцом. Таким образом, потенциальный синергический эффект совмещения двух методов воздействия, показавших худшие результаты в подавлении роста колоний исследуемых образцов, не подтвердился.

Обобщая результаты, представленные в таблице, наибольшую эффективность показала комбинация озона производительностью 400 мг/ч и ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм, позволяющая добиться тотального подавления развития колоний кишечной палочки *E. Coli* М-17 при длительности воздействия на протяжении всего 15 минут. Сравнивая эффективность данных методов воздействия отдельно друг от друга, была также отмечена их высокая эффективность, однако для подавления развития более 98 % колоний *E. Coli* М-17 требовалось воздействие на исследуемый образец на протяжении не менее 60 минут.

Высокой эффективностью также характеризовалась комбинация озона производительностью 400 мг/ч и ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц. Для тотального подавления роста колоний кишечной палочки *E. Coli* М-17 потребовалось воздействие на протяжении 30 минут.

Использование электромагнитных и электростатических полей в качестве метода обра-

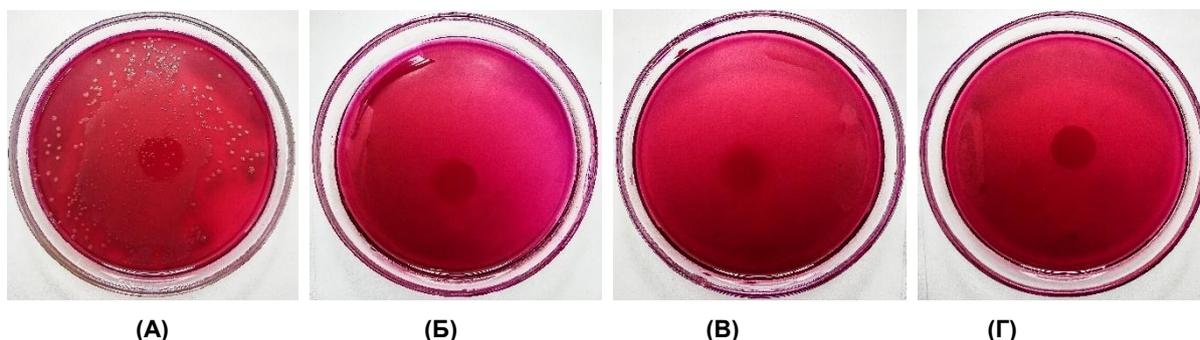


Рис. 7. Результаты совместного воздействия озона и ультрафиолетовых волн на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

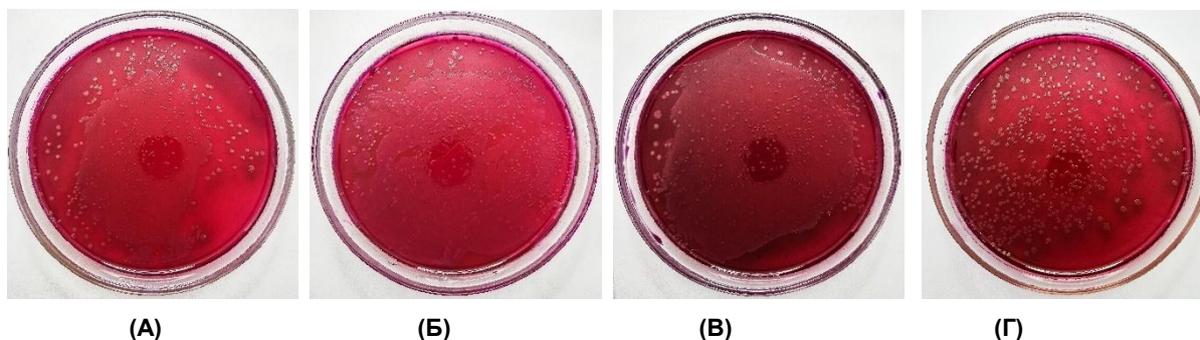


Рис. 8. Результаты совместного воздействия электромагнитного и электростатического полей на молоко, содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, в течение: (А) контрольный образец без воздействия; (Б) 15 мин; (В) 30 мин; (Г) 60 мин

Сравнение эффективности методов нетермического воздействия на молоко,  
содержащее кишечную палочку *E. Coli* М-17

Метод нетермического воздействия	Колонии <i>E. Coli</i> М-17, при различной длительности нетермического воздействия, КОЕ				Количество выживших колоний <i>E. Coli</i> М-17 после нетермиче- ского воздействия в сравнении с контрольным образцом, %		
	Контроль- ный обра- зец без воздейст- вия	Воздей- ствие в течение 15 минут	Воздей- ствие в течение 30 минут	Воздей- ствие в течение 60 минут	Воздей- ствие в течение 15 минут	Воздей- ствие в течение 30 минут	Воздей- ствие в течение 60 минут
Озонирование	18 717	12 299	80	21	66	< 1	< 1
Ультразвуковая обработка	18 717	28 857	31 569	29 415	154	169	157
Ультрафиоле- товая обработ- ка	18 717	15 274	3 906	273	82	21	2
Электромаг- нитная обра- ботка	18 717	16 333	15 996	7 378	87	85	39
Электростати- ческая обра- ботка	18 717	12 287	14 899	14 598	66	80	78
Совмещение озонирования и ультразвуковой обработки	10 663	20	0	0	< 1	0	0
Совмещение озонирования и ультрафиоле- товой обработ- ки	10 663	0	3	0	0	0	0
Совмещение электромаг- нитной и элек- тростатической обработки	10 663	9 863	8 998	7 185	92	84	67

ботки пищевых продуктов для обработки моло-  
ка, содержащего *E. Coli* М-17, неэффективно.

#### Выводы

Сравнение эффективности методов не-  
термического воздействия на молоко, содер-  
жащее кишечную палочку *E. Coli* М-17, по-  
зволило сделать следующие выводы:

– Наибольшей эффективностью характе-  
ризуется комбинированная обработка озоном  
производительностью 400 мг/ч и ультрафиоле-  
товыми волнами длиной волны 260 нм. Дан-  
ная комбинация позволяет добиться то-  
тального подавления развития колоний ки-

шечной палочки *E. Coli* М-17 при длительно-  
сти воздействия на протяжении всего 15 ми-  
нут. Сравнимая эффективность данных мето-  
дов воздействия отдельно друг от друга, была  
также отмечена их высокая эффективность,  
однако для подавления развития более 98 %  
колоний *E. Coli* М-17 потребовалось воздей-  
ствие на исследуемый образец на протяжении  
не менее 60 минут.

– Аналогичные результаты были получе-  
ны при совмещенной обработке озоном про-  
изводительностью 400 мг/ч и ультразвуковы-  
ми волнами частотой 1,7 МГц. Полностью

подавить рост колоний кишечной палочки *E. Coli* M-17 удалось при воздействии на исследуемый образец на протяжении 30 минут.

– Отсутствием эффективности в подавлении развития колоний *E. Coli* M-17 в молоке характеризуется воздействие обработкой электромагнитным и электростатическим полями и их комбинацией.

Результаты исследования показали актуальность дальнейшей работы по изучению эффективности методов нетермического воздействия обработки пищевых продуктов и пищевых отходов и их комбинаций как способа и продления сроков годности и обеспечения микробиологической безопасности.

### Список литературы

1. Бурак Л.Ч. Использование технологии озонирования в пищевой промышленности // *Sciences of Europe*. 2022. № 98. С. 85–100. DOI: 10.5281/zenodo.6973824
2. Отечественный и зарубежный опыт развития фудшеринга, как перспективного направления предотвращения потерь от пищевых отходов для экономики и окружающей среды / М.Г. Кудинова, Н.А. Шевчук, И.И. Шигапов и др. // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 6. С. 78–83.
3. Barba F., Koubaa M., do Prado-Silva L., Orlien V., Sant Ana A. Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 66. P. 20–35. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.05.011.
4. Сравнение эффективности нетермических методов обработки для предотвращения образования отходов / Н.Э. Воротынцев, А.Л. Кузнецов, Э.А. Базанкова, О.А. Суворов // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2024. № 3. С. 45. DOI: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-123-135
5. Jadhav H.B., Annature U.S., Deshmukh R.R. Non-thermal Technologies for Food Processing // *Front Nutr*. 2021. V. 8. 657090. DOI: 10.3389/fnut.2021.657090
6. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields // *Encyclopedia of Food and Health*. 2016. P. 561–565. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00579-1
7. Pech J., Kunz H.C., Martin A. et al. Inactivation kinetics of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus sakei* and *Debaryomyces hansenii* on dry-cured raw ham short-term treated with low-pressure mercury vapor lamp and UV-C LED module // *Food Measure*. 2025. DOI: 10.1007/s11694-024-03076-7
8. Бахчевников О., Брагинец А. Применение озона для обеззараживания кормового сырья (обзор) // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 2(26). С. 41–61. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-41-61
9. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology / L.P.de Souza, L.R.D. Faroni, F.F. Heleno et al. // *Food Chemistry*. 2018. V. 243. P. 435–441. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.134
10. The application of emerging non-thermal technologies for the modification of cereal starches / R. Raghunathan, R. Pandiselvam, A. Kothakota, A.M. Khaneghah // *LWT*. 2021. V. 138. P. 110795. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110795
11. Ozone: An advanced oxidation technology to enhance sustainable food consumption through mycotoxin degradation / O.J. Sujayasree, A.K. Chaitanya, R. Bhoite, Mousavi Khaneghah A. // *Ozone: Science & Engineering*. 2021. V. 44(1). P. 17–37. DOI: 10.1080/01919512.2021.1948388
12. Effects of ultrasonication coupled with plasma-activated water cleaning on the sterilization and preservation of fresh crucian carp fillets / W. Tang, R. Sun, N. Jiang, A. Om // *LWT*. 2025. Vol. 215. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.117246.
13. Gayán E., Condón S. & Álvarez I. Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet Light: a Review // *Food Bioprocess Technol*. 2014. V. 7. P. 1–2. DOI: 10.1007/s11947-013-1168-7
14. Recent advances on the application of UV-LED technology for microbial inactivation: Progress and mechanism / Y. Kebbi, A.I. Muhammad, A. Sant'Ana et al. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020. V. 19. I. 6. P. 3501–3527. DOI: 10.1111/1541-4337.12645
15. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields // *Encyclopedia of Food and Health*. 2016. P. 561–565. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00579-1

### References

1. Burak L. Using ozonizing technology in the food industry. *Sciences of Europe*, 2022, no. 98, pp. 85–100. (In Russ.) DOI: 10.5281/zenodo.6973824
2. Kudinova M., Shevchuk N., Shigapov I., Gorbatko E., Ilmushkin A. Domestic and foreign experience in the development of foodsharing as a promising direction for preventing losses from food waste for the economy and the environment. *Innovation and investment*, 2022, no. 6, pp. 78–83. (In Russ.)
3. Barba F., Koubaa M., do Prado-Silva L., Orlie V., Sant Ana A. Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 66, pp. 20–35. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.05.011.
4. Vorotyntsev N., Kuznetsov A., Bazankova E., Suvorov O. Comparison of the effectiveness of non-thermal treatment methods for waste prevention. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*, 2024, vol. 3, p. 45. (In Russ.) DOI: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-123-135
5. Jadhav H.B., Annapure U.S., Deshmukh R.R. Non-thermal Technologies for Food Processing. *Front Nutr.*, 2021, vol. 8. 657090. DOI: 10.3389/fnut.2021.657090
6. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields. *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, pp. 561–565. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00579-1
7. Pech J., Kunz H.C., Martin A. et al. Inactivation kinetics of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus sakei* and *Debaryomyces hansenii* on dry-cured raw ham short-term treated with low-pressure mercury vapor lamp and UV-C LED module. *Food Measure*, 2025. DOI: 10.1007/s11694-024-03076-7
8. Bachchevnikov O., Braginets A. Application of ozone for disinfection of feed raw materials (review). *Taurida herald of the agrarian sciences*, 2021, vol. 2(26), pp. 41–61. (In Russ.) DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-41-61
9. de Souza L.P., Faroni L.R.D., Heleno F.F., Pinto F.G., de Queiroz M.E.L.R., & Prates L.H.F. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. *Food Chemistry*, 2018, vol. 243, pp. 435–441. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.134
10. Raghunathan R., Pandiselvam R., Kothakota A., & Khaneghah A.M. The application of emerging non-thermal technologies for the modification of cereal starches. *LWT*, 2021, vol. 138, p. 110795. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110795
11. Sujayasree O.J., Chaitanya A.K., Bhoite R., & Mousavi Khaneghah A. Ozone: An advanced oxidation technology to enhance sustainable food consumption through mycotoxin degradation. *Ozone: Science & Engineering*, 2021, vol. 44(1), pp. 17–37. DOI: 10.1080/01919512.2021.1948388
12. Tang W., Sun R., Jiang N., Om A. Effects of ultrasonication coupled with plasma-activated water cleaning on the sterilization and preservation of fresh crucian carp fillets. *LWT*, 2025, vol. 215. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.117246.
13. Gayán E., Condón S. & Álvarez I. Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet Light: a Review. *Food Bioprocess Technol.*, 2014, vol. 7, pp. 1–2. DOI: 10.1007/s11947-013-1168-7
14. Kebbi Y., Muhammad A.I, Sant'Ana A., do Prado-Silva L., Liu D., Ding T. Recent advances on the application of UV-LED technology for microbial inactivation: Progress and mechanism. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, vol. 19, iss. 6, pp. 3501–3527. DOI: 10.1111/1541-4337.12645
15. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields. *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, pp. 561–565. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00579-1

### Информация об авторах

**Воротынцев Николай Эдуардович**, аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия; vorotyntsev93@gmail.com

**Кузнецов Александр Львович**, канд. тех. наук, ведущий инженер-технолог, ООО «ЭКО-БЛОК № 345», Московская область, Балашиха, Россия; a.l.kuznetsov@bk.ru

**Базанкова Элина Андреевна**, магистрант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия; bazankovaelina2001@gmail.com

**Суворов Олег Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия; suvorovoa@yandex.ru

*Information about the authors*

**Nikolai E. Vorotyntsev**, graduate student, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia; vorotyntsev93@gmail.com

**Alexander L. Kuznetsov**, Cand. of Tech. Sci., leading engineer-technologist, LLC “ECO-BLOCK No. 345”, Moscow region, Balashikha, Russia; a.l.kuznetsov@bk.ru

**Elina A. Bazankova**, master's student, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia; bazankovaelina2001@gmail.com

**Oleg A. Suvorov**, Doctor of Tech. Sci., prof. departments of the Food industry, hotel business and service, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia; suvorovoa@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 06.04.2025*

*The article was submitted 06.04.2025*