

Научная статья

УДК 504.062.2

doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-123-135

Сравнение эффективности нетермических методов обработки для предотвращения образования отходов

Николай Эдуардович Воротынцев^{✉1}, Александр Львович Кузнецов²,
Элина Андреевна Базанкова³, Олег Александрович Суворов⁴

^{1,3,4}Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11,
Москва, Россия, 125080

²Общество с ограниченной ответственностью «ЭКО-БЛОК №345», Западная промзона, шоссе
Энтузиастов, 7, Московская область, г. Балашиха, 143900

^{✉1}vorotyntsev93@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2987-599X>

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

³bazankovaelina2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1534-6789>

⁴suvorova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

Аннотация. Контроль роста бактерий в продуктах с истекающим сроком годности и сокращение количества микроорганизмов в пищевых отходах позволит увеличить объем перерабатываемой и повторно используемой пищевой продукции и сократить количество пищевых потерь. Ряд исследований показал эффективность методов нетермической обработки пищевой продукции и пищевых отходов. В то же время широкий спектр имеющихся исследований зачастую демонстрирует противоположные результаты, что говорит о необходимости дополнительных исследований применительно к конкретным пищевым продуктам и штаммам микроорганизмов. Целью данного исследования является изучение и сравнение эффективности таких методов нетермической обработки, как озонирование, воздействие ультразвуковыми волнами, воздействие ультрафиолетовыми волнами, воздействие электромагнитным и электростатическим полями и их комбинаций применительно к молоку, обсемененному грибами дрожжевыми *Saccharomyces Cerevisiae*. В результате исследования был установлен наиболее эффективный нетермический метод обработки молока, обсемененного грибами дрожжевыми *Saccharomyces Cerevisiae*, выполнено обоснование режимов обработки. Результаты обзора могут быть использованы в качестве материала для дальнейших исследований по продлению срока годности молочных продуктов нетермическими методами обработки.

Ключевые слова: нетермические методы обработки, озонирование, ультразвук, ультрафиолет, безопасность, качество

Для цитирования. Воротынцев Н. Э., Кузнецов А. Л., Базанкова Э. А., Суворов О. А. Сравнение эффективности нетермических методов обработки для предотвращения образования отходов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 3(45). С. 123–135. doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-123-135

Original article

Comparison of the effectiveness of non-thermal treatment methods for waste prevention

Nikolai E. Vorotyntsev^{✉1}, Alexander L. Kuznetsov², Elina A. Bazankova³, Oleg A. Suvorov⁴

^{1,3,4}Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11 Volokolamsk highway, Moscow, Russia,
125080

²Limited Liability Company "ECO-BLOK №345", Western industrial zone, 7 Entuziastov highway,
Moscow region, Balashikha, 143900

© Воротынцев Н. Э., Кузнецов А. Л., Базанкова Э. А., Суворов О. А., 2024

✉¹vorotyntsev93@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2987-599X>

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

³bazankovaelina2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1534-6789>

⁴suvorovoa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

Abstract. Controlling bacterial growth in expired products and reducing the number of microorganisms in food waste will increase the volume of processed and reused food products and reduce food waste. A number of studies have shown the effectiveness of non-thermal treatment methods for food products and food waste such as ozonation, ultrasonic wave exposure, ultraviolet irradiation, electrolyzed water exposure, and pulsed electric field treatment. However, the wide range of available studies, often show opposite results, suggesting the need for further research in relation to specific food products and microbial strains. The aim of this study is to investigate and compare the effectiveness of non-thermal treatment methods such as ozonation, ultrasonic wave exposure, ultraviolet wave exposure, electromagnetic and electrostatic fields and their combinations on milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* yeast fungi. As a result of the research the most effective non-thermal method of treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* yeast fungi was found, justification of treatment modes was made. The results of the review can be used as a material for further research on extending the shelf life of dairy products by non-thermal treatment methods.

Keywords: non-thermal treatment methods, ozonation, ultrasound, ultraviolet, safety, quality

For citation. Vorotyntsev N.E., Kuznetsov A.L., Bazankova E.A., Suvorov O.A. 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;3(45):123–135. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-123-135

Введение. Сохранение качества и пищевой ценности самого продукта и в то же время сокращение количества бактерий и увеличение срока годности являются основными целями предприятий пищевой промышленности [1]. Однако, согласно исследованиям ТИАР-центра, потери пищевых продуктов на этапе хранения, транспортировки, реализации и последующей переработки суммарно составляют более половины от общего количества потерь [2]. Лидирующие позиции в общем объеме пищевых отходов занимают скоропортящиеся продукты, такие как молочная, мясная и хлебобулочная продукции [3].

В силу несовершенства законодательства торговые сети утилизируют основную массу продукции с истекающим сроком годности [4]. Часть продукции удается реализовать со скидками, часть передается платформам фудшеринга, однако данную практику ограничивает срок годности, поскольку спустя непродолжительное время продукт становится непригодным к употреблению. Таким образом, контроль роста бактерий в продуктах с истекающим сроком годности и сокращение количества микроорганизмов в пищевых отходах позволит увеличить объем перерабатываемой и повторно используемой пищевой

продукции и сократить количество пищевых потерь на пост производственных этапах.

Традиционные способы термической обработки пищевой продукции существенно снижают количество патогенных микроорганизмов до безопасного уровня, но и вызывают изменения органолептических и физико-химических показателей продуктов. В то же время при использовании нетепловых методов неблагоприятное воздействие на сам продукт значительно ниже, чем при использовании высоких температур [1]. Ряд исследований показал эффективность таких методов нетермической обработки, как озонирование, воздействие ультразвуковыми волнами, ультрафиолетовое облучение, воздействие электролизованной воды, обработка импульсным электрическим полем.

Данные по применению озона в пищевой промышленности для контроля роста микроорганизмов и продления срока хранения пищевых продуктов обычно сильно различны в части выводов. В некоторых исследованиях заявлено о существенном сокращении микробного загрязнения при обработке озоном, в то время как противоположная сторона утверждает, что обработка озоном вообще неэффективна. Такое разнообразие результатов

может быть связано с многообразием продуктов, используемых в отдельном исследовании и конкретных условий обработки и, следовательно, эффективность озона следует оценивать в отношении конкретного продукта и конкретной группы микроорганизмов [1].

По мнению некоторых исследователей данного метода обработки, необходимы дальнейшие исследования эффективности контроля над микроорганизмами пищевого происхождения, включая бактерии, грибы, дрожжи, плесень в различных комбинациях с другими распространенными методами для достижения лучшего синергетического эффекта. Кроме того, по результатам обзора опубликованных научных исследований по данной теме, установлено, что научных публикаций по обработке озонированием молока и продуктов его переработки за последнее десятилетие незначительно [1].

Метод ультрафиолетового облучения также получил применение в пищевой промышленности как быстрый и дешевый способ гигиенической обработки поверхностей твердых и жидких пищевых продуктов несмотря на то, что обычно используется в качестве дезинфицирующего средства поверхности, воды и воздуха. Преимуществом ультрафиолетовых лучей перед тепловой обработкой является эффективное разрушение спор, которые не восприимчивы к температуре [5].

Ультразвук как инактиватор вредоносной микрофлоры активно применяется в молочной и мясоперерабатывающей промышленности [6]. При этом стоит отметить, что его применение на разных этапах производства молочной продукции, помимо продления сроков ее хранения, позволяет снижать содержание жира, способствует гомогенизации продукта, улучшению органолептических свойств и пищевой ценности [7, 8].

Использование электролизированной воды и импульсного электрического поля также приводит к уничтожению и подавлению роста различных видов бактерий, плесеней и дрожжей [9]. Однако количество пор, образующихся вокруг клеточных мембран под действием электрического поля, зависит от среды, напряженности электрического поля, интенсивности импульса, ширины импульса, числа импульсов и времени обработки, а также от типа и штамма микроорганизма,

размера и геометрии клеток [10]. Исследований по использованию электромагнитного и электростатического полей для обработки пищевых продуктов, в частности молочных продуктов, нами найдено не было.

Таким образом, широкий спектр имеющихся результатов исследований методов нетермической обработки пищевых продуктов и пищевых отходов, зачастую противоположно отличающихся между собой, говорит о необходимости дальнейших исследований различных комбинаций методов обработки применительно к конкретным продуктам и штаммам микроорганизмов.

Целью данного исследования является изучение и сравнение эффективности таких методов нетермической обработки как озонирование, воздействие ультразвуковыми волнами, воздействие ультрафиолетовыми волнами, воздействие электромагнитным и электростатическим полями и их комбинаций применительно к молоку, обсемененному грибами дрожжевыми *Saccharomyces Cerevisiae*.

Научная новизна работы заключается в количественном сравнении и обосновании продолжительности различных видов и комбинаций нетермической обработки молока, обсемененного грибами дрожжевыми *Saccharomyces Cerevisiae*.

Материалы, методы и объекты исследования. Объекты исследования. В качестве объекта исследования было выбрано молоко ультрапастеризованное торговой марки «Сафійка» производства Полоцкого молочного комбината с массовой долей жира 2,5%. Для обсеменения объекта исследования были использованы хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces Cerevisiae* марки «Саф-Момент». Дрожжи в пищевых продуктах активируют процесс порчи. При попадании в пищу они вызывают процесс ферментации или разлагают продукт, делая его небезопасным для организма человека. Конкретно в продуктах животного происхождения дрожжи запускают скисание или изменение структуры.

Методики исследования. Для каждого метода обработки и вида микроорганизма подготавливают порцию молока объемом 200 мл и помещают в стеклянную емкость объемом 500 мл. Далее для имитации заражения

вносят в молоко водный раствор хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces Cerevisiae*. Молоко перемешивалось до полного растворения дрожжей. Концентрация дрожжей не менее 1 г/л воды. Перед началом обработки молока предварительно подготавливали питательные среды для выполнения посевов в чашках Петри и стерилизовали их с помощью

парового стерилизатора ГК-10-1-ТЗМОИ. Для посевов дрожжей использовали питательную среду для культивирования дрожжевых и плесневых компании «Биотехновация».

Обработка молока выполнялась в лабораторных стендах в течение 60 минут. Внешний вид лабораторных стендов представлен на рисунке 1.

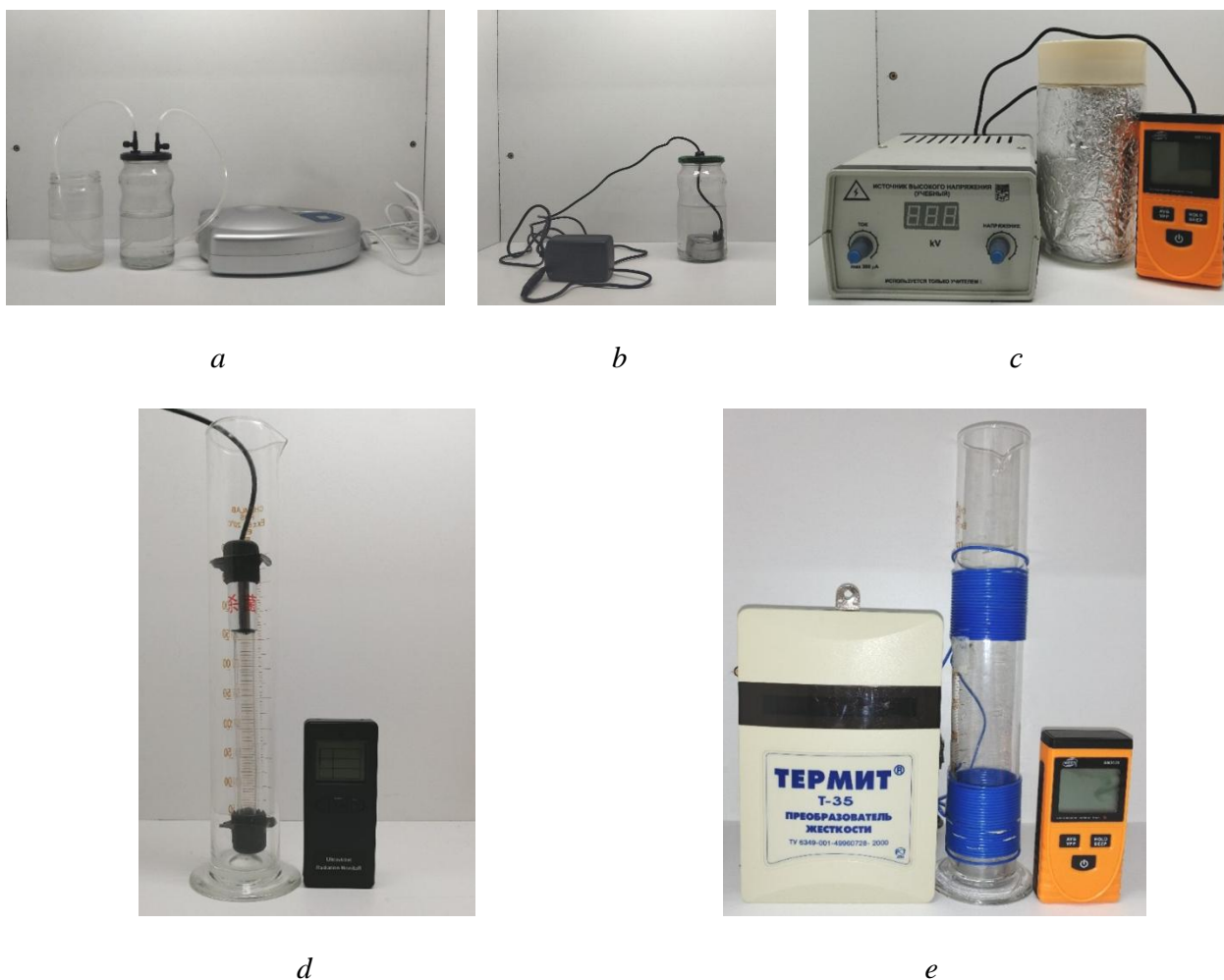


Рисунок 1. Внешний вид лабораторных стендов:

a – для обработки озонированием; *b* – для обработки ультразвуком; *c* – для обработки электростатическим полем; *d* – для обработки ультрафиолетовыми волнами; *e* – для обработки электромагнитным полем

Figure 1. External appearance of laboratory stands:

a – for ozonation treatment; *b* – for ultrasound treatment; *c* – for electrostatic field treatment; *d* – for ultraviolet wave treatment; *e* – for electromagnetic field treatment

Лабораторный стенд для обработки молока озонированием представляет собой герметичную крышку, закрывающую стеклянную емкость с обрабатываемой пробой молока. Конструкция крышки имеет два герметичных отверстия – для подключения к генератору озона Matwave GL-3188 и для выхода из емкости избыточного озона и продуктов

его распада. Производительность озонатора 400 мг/ч. Озон подается непосредственно в обрабатываемую среду.

Стенд для обработки молока ультразвуковыми волнами представляет собой герметичную крышку, закрывающую стеклянную емкость с обрабатываемой пробой молока. Конструкция крышки предусматривает под-

ключение ультразвукового генератора тумана частотой 1,7 МГц, помещенного непосредственно в обрабатываемую среду.

Стенд для обработки молока ультрафиолетовым излучением представляет собой ультрафиолетовую лампу с длиной волны 260 нм, помещенную в стеклянную емкость с обрабатываемой пробой молока. Для контроля интенсивности ультрафиолетового излучения использовался прибор UVI-метр.

Стенд для обработки молока электромагнитным полем представляет собой соленоид с двойной обмоткой проводами с двух противоположных сторон стеклянной емкости с обрабатываемой пробой молока. Количество витков на каждую из сторон – 12. Расстояние между двумя обмотками 80 мм. Соленоид подключали к преобразователю жесткости Термит Т-35. Обработка производилась с индукцией магнитного поля величиной 2,33 мкТл. Для контроля интенсивности электромагнитного поля использовался детектор Venetech GM3120.

Стенд для обработки молока электростатическим полем представляет собой лабораторный источник высокого напряжения с возможностью регулировки напряжения, высоковольтных проводов, камеры обработки. Для контроля интенсивности электростатического поля использовался детектор Venetech GM3120.

Стенд для совместной обработки молока озонированием и ультразвуковыми волнами выполнен методом совмещения конструкций *a* и *b*, представленных на рисунке 1. Посредством доработки стенда с ультразвуковой обработкой в объем образца дозированно вводился озон, регулирование осуществляется установленным краном-дозатором.

Стенд для совместной обработки молока озонированием и ультрафиолетовым излучением выполнен методом совмещения конструкций *a* и *d*, представленных на рисунке 1.

Стенд для совместной обработки молока электромагнитным и электростатическим полями выполнен методом совмещения конструкций *c* и *e*, представленных на рисунке 1, с использованием дополнительного перекачивающего насоса. Отличительной особенностью являлась последовательная обработка образцов, так как невозможно было

конструктивно обеспечить одновременную обработку.

По достижению 15, 30 и 60 минут времени обработки отбирались промежуточные пробы для посева на подготовленные стерильные среды с помощью одноразового дозатора одноканального в объеме 0,1 мл. Далее чашка Петри помещалась в термостат электрический суховоздушный ТС-1/80 с экспозицией 24 часа при температуре 37,5°C.

Оценка результатов. Количественная обработка полученных результатов выполнялась спустя 24 часа экспозиции в термостате с помощью программного обеспечения ImageJ путем обработки фотографий чашек Петри с исследуемыми образцами и подсчетом количества пикселей, соответствующих колониям микроорганизмов.

Оценка влияния рассматриваемых нетермических обработок на свойства продукта. Оценка влияния обработок на химические, физические и органолептические показатели молока в рамках данного исследования не проводилась.

Результаты исследования. Обработка озонированием. Озон – это газ, являющийся аллотропной трехатомной модификацией кислорода, используется в качестве газообразного химического агента, способного окислять различные классы органических и неорганических соединений путем взаимодействия [11–13]. Газообразный озон является сильным окислителем и используется для обеззараживания пищевых продуктов с целью предотвращения их порчи и обеспечения максимального срока хранения. Благодаря тому, что озон переходит в кислород и не оставляет никаких следов, кроме реакции с органическими соединениями и образованием безопасных побочных продуктов, он вызывает повышенный интерес в качестве метода дезинфекции [14].

Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами, газообразным озоном представлены на рисунке 2. Обработка в течение 60 минут позволяет подавить рост 97% колоний исследуемого образца. Обработки длительностью менее 60 минут неэффективны, наблюдается эффект ингибирования роста.

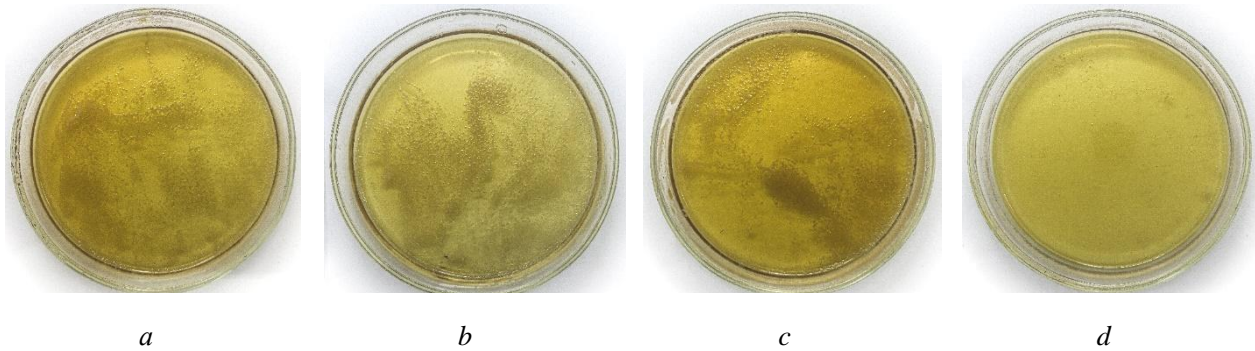


Рисунок 2. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, методом озонирования:

a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 2. Results of treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* using ozonation:

a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка ультразвуковым воздействием. Взаимодействие между ультразвуковой волной и средой, передающей звук, содержит огромную энергию, достаточную для уничтожения микроорганизмов за очень короткое время через механизм разрыва клеток. Давление и температура в ультразвуковом процессе разрушают клеточную стенку микроорганизмов и повреждают клеточную ДНК, вызывая разрушение целевых микроорганизмов в пище [15].

Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, ультразвуком представлены на рисунке 3. Обработка в течение 15 минут позволяет получить подавление роста 92% колоний исследуемого образца, обработка в течение 30 минут – 97% колоний, обработка в течение 60 минут – 99% колоний исследуемого образца.

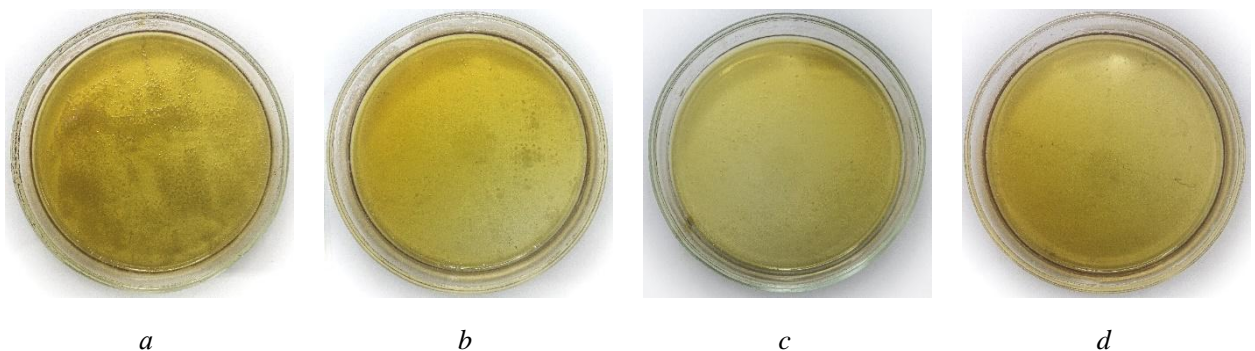


Рисунок 3. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, ультразвуком:

a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 3. Results of ultrasound treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae*:

a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка ультрафиолетовыми волнами. Ультрафиолетовое излучение длиной волны 200-280 нм хорошо известно своими антимикробным и бактерицидным свойствами. Ультрафиолет дестабилизирует микробную ДНК и РНК, меняя механизмы метабо-

лизма и размножения клеток, что в конечном счете приводит к их гибели. Облучение ультрафиолетом успешно инактивирует некоторые бактерии, дрожжи и плесени, связанные с порчей продуктов питания [16].

Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, ультрафиолетом представлены на рисунке 4. Обработка в течение 30 минут позволяет получить подав-

ление роста 95% колоний исследуемого образца, а обработка в течение 60 минут – более 99% колоний. При обработке в течение 15 минут наблюдается эффект ингибирования роста.

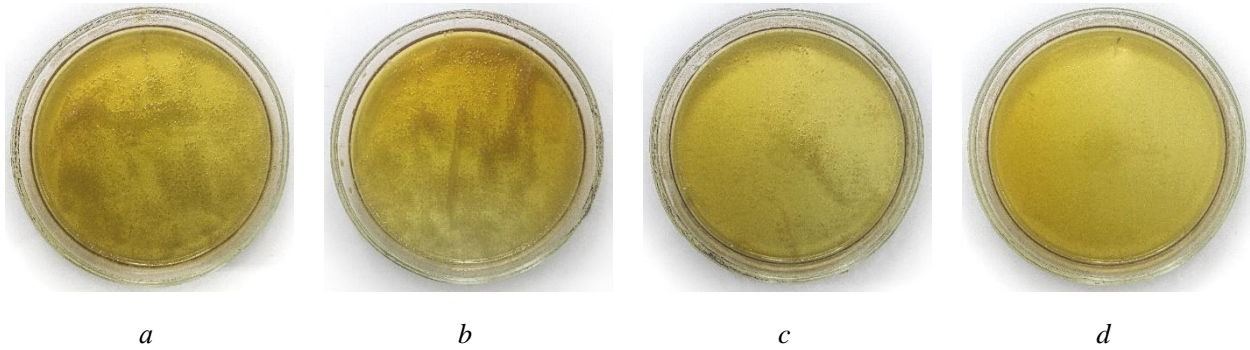


Рисунок 4. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, ультрафиолетом: *a* – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин; *c* – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 4. Results of ultraviolet treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae*: *a* – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min; *c* – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка электромагнитным полем. Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, электромагнитным полем представлены на рисунке 5. Обработка в течение

60 минут характеризуется слабой эффективностью. Количество колоний после обработки в течение 15, 30 и 60 минут не позволяет подавить рост не более 10% колоний в сравнении с контрольным образцом.

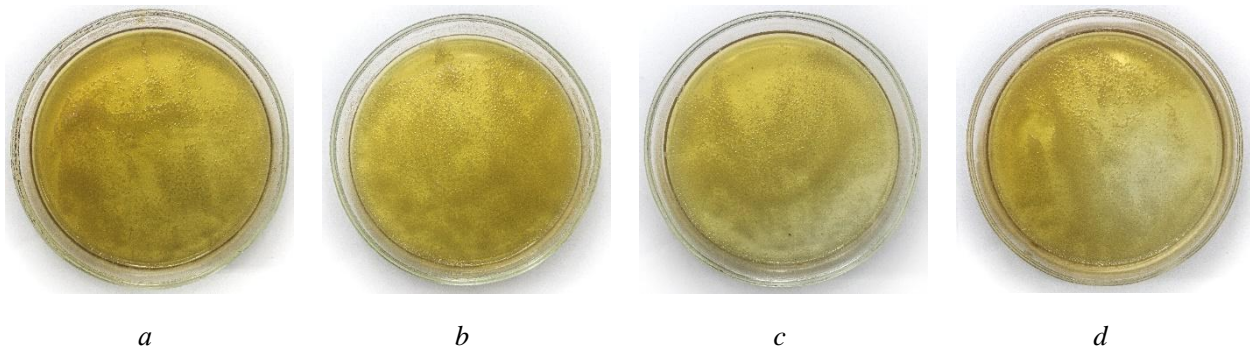


Рисунок 5. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, электромагнитным полем:

a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 5. Results of treating milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* with an electromagnetic field:

a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка электростатическим полем. Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, электростатическим полем представлены на рисунке 6. Обработка в течение

60 минут характеризуется слабой эффективностью. Количество колоний после обработки в течение 15, 30 и 60 минут не позволяет подавить рост более 18% колоний в сравнении с контрольным образцом.

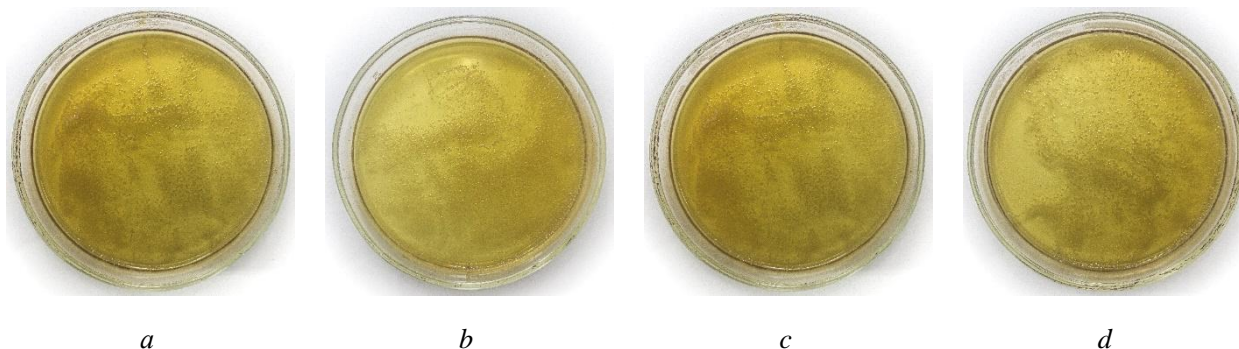


Рисунок 6. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, электростатическим полем:

a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 6. Results of treating milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* with an electrostatic field:

a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка комбинацией озонирования и ультразвукового воздействия. В рамках исследования мы объединили методы, показавшие наибольшую эффективность для оценки их синергического эффекта.

Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией озона и ультразвука представлены на рисунке 7.

Обработка в течение 15 минут характеризуется слабой эффективностью. Обработка в течение 30 минут позволяет подавить рост 98% колоний в сравнении с контрольным образцом. Таким образом, эффективность данного комбинированного метода обработки превосходит озонирование, однако уступает воздействию ультразвука.

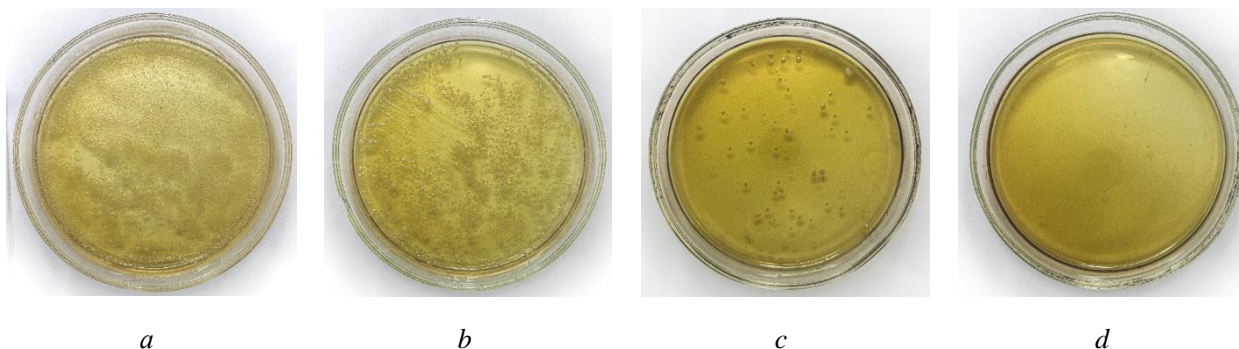


Рисунок 7. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией озона и ультразвука:

a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 7. Results of treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* with a combination of ozone and ultrasound:

a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка комбинацией озонирования и ультрафиолетовых волн. Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией озона и ультрафиолета представлены на рисунке 8. Обра-

ботка в течение 15 минут характеризуется тотальным подавлением роста колоний. Эффективность данного комбинированного метода превышает эффективность озонирования и ультразвукового воздействия за счет синергического эффекта.

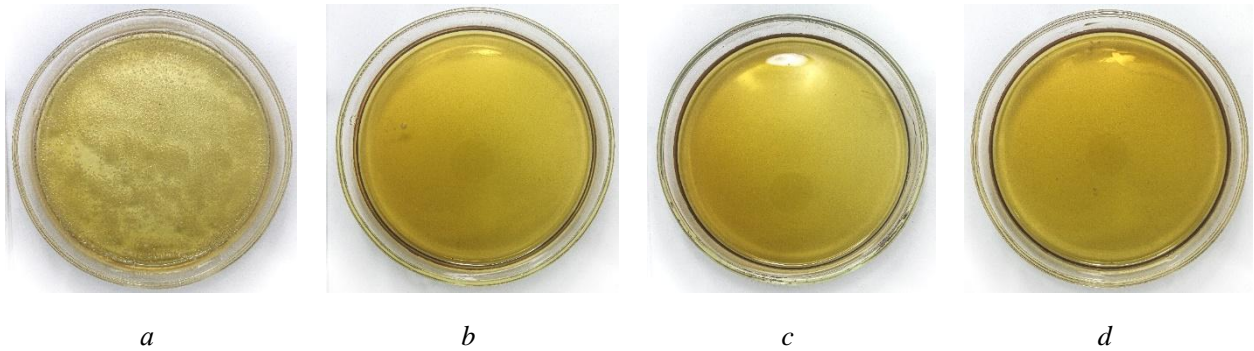


Рисунок 8. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией озона и ультрафиолета:
a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 8. Results of treating milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* with a combination of ozone and ultraviolet light:
a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Обработка комбинацией электромагнитного и электростатического полей. Несмотря на низкую эффективность либо ее отсутствие по результатам обработок электромагнитным и электростатическим полями, были получены противоречивые данные относительно времени обработки. Было принято решение провести эксперимент по совмещению данных методов обработки для проверки возможного синергического эффекта.

Результаты обработки молока, обсемененного хлебопекарными дрожжами *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией электромагнитного и электростатического полей представлены на рисунке 9. Обработка в течение 15 минут позволяет подавить рост 31% колоний, обработка в течение 30 минут – 38% колоний. Дальнейшее увеличение времени обработки не улучшает результаты.

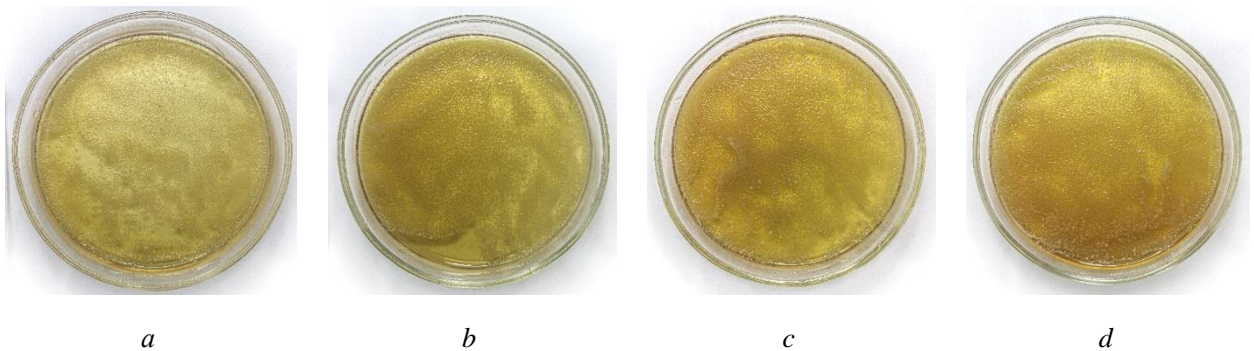


Рисунок 9. Результаты обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*, комбинацией электромагнитного и электростатического полей:
a – контрольный образец без обработки; *b* – обработка в течение 15 мин;
c – обработка в течение 30 мин; *d* – обработка в течение 60 мин

Figure 9. Results of treatment of milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae* with a combination of electromagnetic and electrostatic fields:
a – control sample without treatment; *b* – treatment for 15 min;
c – treatment for 30 min; *d* – treatment for 60 min

Таким образом, согласно таблице 1, наибольшую эффективность при длительности обработки в 15 минут показала обработка

комбинацией озона и ультрафиолетовых волн, позволяющая добиться тотального подавления роста дрожжевых грибов

Saccharomyces Cerevisiae. Обработка ультразвуком в течение 15 минут позволяет добиться подавления роста 92% колоний. Воздействие на исследуемый образец электромагнитного и электростатического полей и их комбинации не показало эффективности в подавлении роста колоний. Обработки озонированием и ультрафиолетовыми волнами привели к ингибированию роста микроорганизмов на 26% и 10% соответственно.

При длительности обработки в 30 минут наибольшую эффективность показала комбинация озонирования и ультразвука – подавление роста 98% колоний. Ультразвуко-

вое воздействие позволило подавить рост 97% колоний, воздействие ультрафиолетовыми волнами – 95% колоний. Обработка озонированием снова привела к ингибированию роста микроорганизмов на 19%.

При длительности обработки в 60 минут озонирование позволило добиться подавления роста 97% колоний дрожжей. Обработки ультразвуком, ультрафиолетовыми волнами, комбинацией озона и ультразвука, а также комбинацией озона и ультрафиолета привели к тотальному подавлению роста микроорганизмов в исследуемых образцах.

Таблица 1. Сравнение эффективности методов обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae*

Table 1. Comparison of the effectiveness of methods for treating milk contaminated with *Saccharomyces Cerevisiae*

Метод обработки	Колонии <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , при различной длительности обработки, КОЕ				Количество выживших колоний <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> после обработки в сравнении с контрольным образцом, %		
	контрольный образец без обработки	обработка в течение 15 минут	обработка в течение 30 минут	обработка в течение 60 минут	обработка в течение 15 минут	обработка в течение 30 минут	обработка в течение 60 минут
Озонирование	4 481	5 624	5 333	141	126	119	3
Ультразвуковая обработка	4 481	346	111	52	8	3	1
Ультрафиолетовая обработка	4 481	4 909	218	33	110	5	<1
Электромагнитная обработка	4 481	4 029	4 315	4 367	90	96	97
Электростатическая обработка	4 481	3 693	4 636	4 048	82	103	90
Совмещение озонирования и ультразвуковой обработки	2 837	2 684	68	8	94	2	0
Совмещение озонирования и ультрафиолетовой обработки	2 837	3	1	1	0	0	0
Совмещение электромагнитной и электростатической обработки	2 837	1 944	1 745	2 513	69	62	89

Выводы. В ходе исследования было выполнено сравнение эффективности методов обработки молока, обсемененного *Saccharomyces Cerevisiae* такими нетермическими методами, как озонирование, воздействие ультразвуковыми волнами, воздейст-

вие ультрафиолетовыми волнами, воздействие электромагнитным и электростатическим полями и их различными комбинациями. По результатам экспериментов были получены следующие выводы:

1. Обработка молочных продуктов газообразным озоном производительностью 400 мг/ч эффективно подавляет рост дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* при длительности обработки не менее 60 минут. Меньшая продолжительность обработки оказывает эффект ингибирования роста микроорганизма.

2. Обработка молочных продуктов ультразвуковым воздействием частотой 1,7 МГц эффективно подавляет рост дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* уже через 15 минут обработки.

3. Обработка молочных продуктов ультрафиолетовыми волнами длиной волны 260 нм эффективно подавляет рост дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* через 30 минут обработки. Меньшая продолжительность обработки оказывает эффект ингибирования роста микроорганизма.

4. Обработка молочных продуктов индукцией магнитного поля величиной 2,33 мкТл и электростатическим полем напряженностью 14 кВ не показало эффективности в подавлении роста дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae*. Комбинация этих методов позволила подавить рост не более 38% колоний при длительности обработки в 30 минут.

5. Наибольшую эффективность показала обработка молочных продуктов комбинацией газообразного озона производительностью 400 мг/ч и ультрафиолетовых волн длиной волны 260 нм. Тотальное подавление роста дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* происходит уже через 15 минут обработки.

6. Аналогичную эффективность показала обработка молочных продуктов комбинацией газообразного озона производительностью 400 мг/ч и ультразвукового воздействия частотой 1,7 МГц. Однако для достижения тотального подавления роста дрожжевых грибов *Saccharomyces Cerevisiae* необходимо минимум 30 минут обработки.

На основании результатов исследования был сделан вывод о необходимости дальнейшего исследования эффективности таких методов нетермической обработки, как озонирование, воздействие ультразвуковыми волнами, воздействие ультрафиолетовыми волнами, воздействие электромагнитным и электростатическим полями и их комбинаций применительно к молочным продуктам, обсемененным другими видами микроорганизмов.

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. Фудшеринг в России: отраслевой отчет [электронное издание]. URL: https://tiarcenter.ru/wp-content/uploads/2019/10/Foodsharing-in-Russia_October-1.pdf.// tiarcenter.com (дата обращения: 03.07.2024).
3. Кудинова М. Г., Шевчук Н. А., Шигапов И. И., Горбатко Е. С., Ильмушкин А. Г. Отечественный и зарубежный опыт развития фудшеринга, как перспективного направления предотвращения потерь от пищевых отходов для экономики и окружающей среды // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 6. С. 78–83. EDN: YCYZUS
4. Иринина О. И., Спасова Ю. С. Фудшеринг – состояние и перспективы развития в России // *Актуальные вопросы современной науки и образования: сборник статей IX Международной научно-практической конференции*. Пенза: Изд-во Наука и Просвещение, 2022. В. 2. Т. 2. С. 35–39. EDN: SNYLLV
5. Schmalwieser A.W, Siani A.M. Review on Nonoccupational Personal Solar UV Exposure Measurements // *Photochem Photobiol*. 2018. Vol. 94(5). P. 900–915. DOI: 10.1111/php.12946.
6. Морева А. В. Влияние ультразвука на качество молочных продуктов // *Символ науки*. 2020. № 4. С. 56–57. EDN: BWUTUM
7. Бурак Л. Ч. Современные методы обработки пищевых продуктов. критический обзор // *The scientific heritage*. 2024. № 30. С. 45–59. DOI: 10.5281/zenodo.10632041. EDN: MQYNGM
8. Umego E.C., Ronghai H., Huang G., Chuanhua D., Haile M. Ultrasound-assisted fermentation: Mechanisms, technologies, and challenges // *Food Processing and Preservation*. 2021. Vol. 45 (6):e15559. DOI:10.1111/JFPP.15559

9. Jadhav H.B, Annapure U.S, Deshmukh R.R. Non-thermal Technologies for Food Processing. *Front Nutr.* 2021. Vol. 8. 657090. Doi.org/10.3389/fnut.2021.657090
10. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields. *Encyclopedia of Food and Health.* 2016. Pp.561–565.
11. Бахчевников О. Н., Брагинец А. В. 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. EDN: TMCZD
12. 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. P. 435–441. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.134.
13. 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.
14. Sujayaree 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). P. 17–37.
15. Бурак Л. Ч. Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. №3. С.59–73. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73. EDN: WQKTRW
16. Singh, H.; Bhardwaj, S.K.; Khatri, M.; Kim, K.-H.; Bhardwaj, N. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chem. Eng. J.* 2020. P. 128084. DOI:10.1016/j.cej.2020.128084

References

1. Burak L. Using ozonizing technology in the food industry. *Sciences of Europe.* 2022;(98):85–100. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.6973824
2. Foodsharing in Russia: industry report [electronic volume]. URL: https://tiarcenter.ru/wp-content/uploads/2019/10/Foodsharing-in-Russia_October-1.pdf// tiarcenter.com / (circulation date: 03.07.2024). (In Russ.)
3. 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. № 6. S. 78–83. (In Russ.). EDN: YCYZUS
4. Irinina O.I., Spasova Yu.S. Foodsharing – state and development prospects in Russia. *Ak tual'nyye voprosy sovremennoy nauki i obrazovaniya: sbornik statey IX Mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii.* [Actual issues of modern science and education: collection of articles of the IX International scientific-practical conference]. Penza: Izd-vo Nauka i Prosveshcheniye, 2022. V. 2. T. 2. P. 35–39. EDN: SNYLL
5. Schmalwieser A.W, Siani A.M. Review on Nonoccupational Personal Solar UV Exposure Measurements. *Photochem Photobiol.* 2018;94(5):900–915. DOI: 10.1111/php.12946.
6. Moreva A.V. Effect of ultrasonic on the quality of dairy products. *Symbol of science.* 2020;(4):56–57. EDN: BWUTUM
7. Burak L. Modern methods of food processing. critical review. *The scientific heritage.* 2024;(30):45–59. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.10632041. EDN: MQYNGM
8. Umego E.C., Ronghai H., Huang G., Chuanhua D., Haile M. Ultrasound-assisted fermentation: Mechanisms, technologies, and challenges. *Food Processing and Preservation.* 2021;45(6):e15559. (In Russ.). DOI:10.1111/JFPP.15559
9. Jadhav H.B, Annapure U.S, Deshmukh R.R. Non-thermal Technologies for Food Processing. *Front Nutr.* 2021;8:657090. Doi.org/10.3389/fnut.2021.657090
10. Guerrero-Beltran J.A., Welti-Chanes J. Pulsed Electric Fields. *Encyclopedia of Food and Health.* 2016. Pp. 561–565.
11. Bakhchevnikov O.N., Braginets A.V. Ozonation for feed raw materials disinfection (review). *Taurida Herald of the Agrarian Sciences.* 2021;2(26):41–61. (In Russ.). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-41-61
12. 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;243:435–441. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.134.

13. Raghunathan R., Pandiselvam R., Kothakota A., & Khaneghah A. M. The application of emerging non-thermal technologies for the modification of cereal starches. *LWT*. 2021;138:110795.
14. 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;44(1):17–37.
15. Burak L. Existing food processing methods and their impact on nutritional value and chemical composition. *Technologies of the food and processing industry of AIC – healthy food*. 2021;(3):59–73. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73. EDN: WQKTRW
16. Singh, H.; Bhardwaj, S.K.; Khatri, M.; Kim, K.-H.; Bhardwaj, N. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chem. Eng. J.* 2021, 128084. DOI:10.1016/j.cej.2020.128084

Сведения об авторах

Николай Эдуардович Воротынцев – аспирант кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Александр Львович Кузнецов – кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог, ООО «ЭКО-БЛОК № 345», SPIN-код: 5655-2460

Элина Андреевна Базанкова – аспирант кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Олег Александрович Суворов – доктор технических наук, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», SPIN-код: 8979-2000

Information about the authors

Nikolay E. Vorotyntsev – Postgraduate student of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH)

Alexander L. Kuznetsov – Candidate of technical sciences, Leading engineer-technologist, Limited Liability Company "ECO-BLOCK No. 345", SPIN-code: 5655-2460

Elina A. Bazankova – Postgraduate student of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH)

Oleg A. Suvorov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), SPIN-code: 8979-2000

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26.08.2024;
одобрена после рецензирования 11.09.2024;
принята к публикации 16.09.2024.

The article was submitted 26.08.2024;
approved after reviewing 11.09.2024;
accepted for publication 16.09.2024.