



Обзорная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.003

EDN: ZGFWRR

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Леонид Чеславович Бурак

Общество с ограниченной ответственностью «Белросаква», Минск, Республика Беларусь
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Аннотация. Поиск инновационных технологий, направленных на обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, незначительно снижающих пищевую ценность и оказывающих минимальное воздействие на окружающую среду, является основным приоритетом предприятий пищевой промышленности. Получаемая путем электрохимической диссоциации воды и солей щелочная электролизованная вода обладает дезинфицирующими свойствами, благодаря высокому pH, низкому окислительно-восстановительному потенциалу и повышенной проницаемости. Цель статьи – обзор результатов научных исследований по использованию щелочной электролизованной воды в пищевой промышленности и агропромышленном производстве. В качестве материалов исследования послужили научные статьи, опубликованные в период с 2015 по 2025 год. Научный поиск провели в научных базах данных Scopus и Web of Science, Google Scholar и Научной электронной библиотеке «eLIBRARY.RU». Среди статей, соответствующих критериям включения для составления данного обзора, было выбрано 63 исследования. Обзор результатов научных исследований показал, что благодаря высокому pH, окислительно-восстановительному потенциалу и проницаемости щелочная электролизованная вода является эффективным средством для применения в пищевой промышленности, здравоохранении и сельском хозяйстве. Использование электролизованной воды в процессах экстракции позволяет значительно увеличить извлечение белков и биоактивных соединений, улучшая текстуру, вкус и удержание влаги в пище, что способствует повышению качества продукта и эффективности переработки. В качестве средства обеззараживания щелочная электролизованная вода эффективно дезинфицирует поверхности, удаляет остатки пестицидов и токсины и снижает микробную нагрузку, значительно повышая безопасность пищевых продуктов. Благодаря своей нетоксичности и экологичности щелочная электролизованная вода может служить эффективной альтернативой традиционным химическим методам, способствуя повышению безопасности, качеству и устойчивости, минимизируя воздействие на окружающую среду. Однако необходимо отметить такие проблемы, как нестабильность щелочной электролизованной воды, ее способность вызывать коррозию оборудования, а также отсутствие утвержденных нормативных документов по ее использованию и недоверие потребителей. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на повышение стабильности щелочной электролизованной воды, оптимизацию параметров обработки различных видов пищевого сырья, производственных процессов по ее использованию и разработке нормативной базы.

Ключевые слова: электролиз, электролизованная вода, качество, микробиологическая обсеменённость, патогены, инаktivация, дезинфекция, консервант, экстракция, биологически активные вещества, пищевая ценность.

Для цитирования: Бурак Л. Ч. Перспективы использования щелочной электролизованной воды. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 20–31. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.003. EDN: <https://elibrary.ru/ZGFWRR>.

Original article

PROSPECTS OF USING ALKALINE ELECTROLYZED WATER. A REVIEW OF SUBJECT FIELD

Leonid Ch. Burak

Belrosakva Limited Liability Company, Minsk, Republic of Belarus
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Abstract. The search for innovative technologies aimed at ensuring the quality and safety of food products, slightly reducing the nutritional value and having a minimal impact on the environment is the main priority of the food industry. Alkaline electrolyzed water obtained by electrochemical dissociation of water and salts has disinfectant properties due to high pH, low oxidation-reduction potential and increased permeability. The purpose of the article is to review the results of scientific research on the use of alkaline electrolyzed water in the food industry and agro-industrial production. The research materials were scientific articles published between 2015 and 2025. The scientific search was conducted in the

© Бурак Л. Ч., 2026

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

scientific databases Scopus and Web of Science, Google Scholar and the Scientific Electronic Library "eLIBRARY.RU". Among the articles that met the inclusion criteria, 63 studies were selected to compile this review. A review of scientific research has shown that alkaline electrolyzed water, due to its high pH, oxidation-reduction potential and permeability, is an effective means for use in the food industry, healthcare and agriculture. The use of electrolyzed water in extraction processes can significantly increase the recovery of proteins and bioactive compounds, improving the texture, taste and moisture retention of food, which contributes to higher product quality and processing efficiency. As a disinfectant, alkaline electrolyzed water effectively disinfects surfaces, removes pesticide residues and toxins and reduces microbial load, significantly improving food safety. Due to its non-toxicity and environmental friendliness, alkaline electrolyzed water can serve as an effective alternative to traditional chemical methods, contributing to increased safety, quality and sustainability, while minimizing the impact on the environment. However, issues such as the instability of alkaline electrolyzed water, its ability to cause corrosion of equipment, as well as the lack of approved regulations for its use and consumer mistrust should be noted. Further scientific research should be aimed at increasing the stability of alkaline electrolyzed water, optimizing the processing parameters of various types of food raw materials, production processes for its use and developing a regulatory framework.

Keywords: electrolysis, electrolyzed water, quality, microbiological contamination, pathogens, inactivation, disinfection, preservative, extraction, biologically active substances, nutritional value.

For citation: Burak, L. Ch. (2026). Prospects of using alkaline electrolyzed water. A review of subject field. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 20-31. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.02.003. EDN: <https://elibrary.ru/ZGFWRR>.

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая промышленность претерпевает значительные изменения, поскольку она все больше внедряет устойчивые и инновационные технологии переработки, направленные на повышение безопасности пищевых продуктов, улучшение качества и минимизацию воздействия на окружающую среду [1]. Среди новых решений щелочная/основная электролизованная вода (ЩЭВ) привлекла значительное внимание научное сообщество благодаря широкому спектру возможного использования в качестве дезинфицирующего, консервирующего и функционального средства [2, 3, 4]. ЩЭВ генерируется путем электролиза насыщенного солевого раствора, в результате чего получается раствор с высоким pH, повышенным восстановительным потенциалом и эффективной проникающей способностью [4]. В отличие от традиционных химических дезинфицирующих средств ЩЭВ представляет собой нетоксичную, экологически чистую альтернативу, которая снижает содержание химических остатков в пищевых продуктах, тем самым повышая безопасность пищевых продуктов и способствуя устойчивости процессов их производства [4]. Многие годы большинство исследований по применению электролизованной воды для дезинфекции в пищевой промышленности были сосредоточены на слабокислой электролизованной воде (СКЭВ), в то время как ЩЭВ изначально рассматривалась для использования в основном в областях производства водорода, топливных элементов и аккумуляторных технологий [5, 6]. СКЭВ, обладая более низким pH и высоким окислительным потенциалом, эффективна для уничтожения широкого спектра патогенов, но ее агрессивные окислительные свойства иногда могут повредить пищевые продукты, ухудшить пищевую ценность или привести к остаточному количеству нежелательных химических веществ [6]. Напротив, ЩЭВ, которая имеет более высокий pH и восстановительный потенциал, оказывает более щадящее воздействие на обрабатываемый продукт, но при этом не менее эффективное дезинфицирующее действие. Различные свойства ЩЭВ способствуют сохранению качества пищевых продуктов, при этом достигая микробной инактивации, что характеризует ее как эффективный альтернативный метод для процессов, требующих как дезинфекции, так и консервирования. Отличительные физико-химические свойства ЩЭВ, такие как высокий pH, повышенный восстановительный потенциал и отличная способность проникновения в поверхность пи-

щцевого продукта и мембраны микробных клеток, делают его особенно эффективным для микробной инактивации, а также для улучшения качества пищевых продуктов и продления срока годности [7, 8]. Эти свойства дают ЩЭВ явное преимущество перед СКЭВ не только в качестве чистящего средства, но и в более широком спектре применений в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Например, ЩЭВ продемонстрировала высокую эффективность в сохранении сенсорных показателей качества и пищевой ценности фруктов, овощей и мяса [4, 9, 10]. Вместе с тем следует отметить, что большая часть научных исследований направлена на использование ЩЭВ в качестве дезинфицирующего средства или консерванта с целью обеспечения микробиологической стабильности и безопасности пищевых продуктов [4, 9]. Потенциальная возможность использования щелочной электролизованной воды в процессах экстракции белка и биологически активных соединений, улучшении органолептических показателей пищевых продуктов пока изучен недостаточно. Более того, необходимо продолжать научные исследования влияния ЩЭВ по снижению микробной биопленки, дезактивации пищевых патогенов, таких как *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Legionella* и, возможно, вирусов, таких как SARS-CoV-2, вирус гриппа А, вирус простого герпеса типа 1 [9]. В связи с этим цель данного исследования – интегративный обзор современных данных об эффективности использования щелочной электролизованной воды (ЩЭВ) в пищевой промышленности и агропромышленном производстве, анализ основных недостатков ограничений для широкомасштабного использования на всех этапах цепочки, производства и хранения продуктов питания. Такой междисциплинарный подход позволит не только позиционировать ЩЭВ как эффективный инструмент повышения безопасности, качества и устойчивости современной пищевой промышленности, но и создать основу для прикладных инноваций и научных исследований, направленных на трансформацию продовольственных систем в направлении сохранения ресурсов и охраны здоровья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск научной литературы на английском и русском языках по исследованию физико-химических свойств, антимикробной активности, технологическим возможностям, практическим аспектам применения и

ограничениям щелочной электролизованной воды в различных отраслях АПК (пищевые производства, растениеводство, животноводство, санитарная обработка оборудования) проводили в библиографических базах «Scopus», «Web of Science», Google Scholar и «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU». В качестве дескрипторов использовали «щелочная электролизная вода», «электролизная окислительная вода», «агропромышленное производство», «дезинфекция», «санитарная обработка», «консервирование пищевых продуктов», «послеуборочная обработка», «дезактивация», «экстракция», «извлечение биологически активных соединений». В качестве временных рамок для обзора научных публикаций принят период 2015–2025 гг.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

1. Статья написана в период 2015–2025 гг.
2. Экспериментальные и обзорные работы по применению ЩЭВ в очистке, обработке, хранении, производстве продукции агропромышленного комплекса.
3. Оригинальные исследовательские статьи результатов эффективности ЩЭВ по микробиологической деkontаминации на различных видах пищевых продуктов и технологического оборудования.
4. Публикации и краткие отчеты по оценке влияния ЩЭВ на органолептические показатели, пищевую ценность обрабатываемых продуктов, эффективность экстрагирования белков и биологически активных соединений с использованием ЩЭВ.

Критерии исключения:

1. Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики исследования по применению ЩЭВ в агропромышленном комплексе.
2. Фрагментированные сообщения по применению ЩЭВ без указания методов/результатов;
3. Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составляли схему проведения исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение и свойства щелочной электролизованной воды (ЩЭВ).

ЩЭВ генерируется посредством электролиза насыщенного солевого раствора (например, NaCl). Данный процесс электролиза требует минимального количества электроэнергии, что делает его энергоэффективным методом получения высококачественных многофункциональных растворов. Кроме того, данный метод обладает несколькими преимуществами, такими как низкие производственные затраты, эксплуатационная безопасность и минимальное воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными методами очистки и консервирования на основе химических веществ [8, 10, 12]. Установка электролиза включает электролизную ячейку, которая содержит анод и катод, разделенные диафрагмой. При подаче электрического тока вода (H_2O) на катоде подвергается диссоциации, образуя газообразный водород (H_2) и гидроксид-ионы (OH^-), в то время как на аноде образуются газообразный хлор (Cl_2) и газообразный кислород (O_2). Ионы гидроксида (OH^-), образующиеся на

катоде, взаимодействуют с ионами натрия (Na^+) из солевого раствора, что приводит к образованию гидроксида натрия ($NaOH$), который определяет щелочность полученного раствора. Другие параметры обработки, такие как приложенный ток, время электролиза и температура, также могут влиять на характеристики ЩЭВ. Эти параметры имеют решающее значение для оптимизации производительности и стабильности получаемой электролизованной воды. Свойства ЩЭВ, включая его высокий pH, низкий окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и повышенную проницаемость, вносят значительный вклад в его универсальность как многофункционального агента по потенциальному применению в пищевой промышленности, консервировании и сельском хозяйстве. Эти свойства не только делают ЩЭВ эффективным чистящим и дезинфицирующим средством, но и подчеркивают его потенциал для улучшения качества продуктов питания, продления срока годности и поддержки устойчивости сельского хозяйства [8, 10]. Раствор щелочной электролизованной воды эффективно расщепляет органические материалы, такие как белки, жиры, масла и другие загрязнители, благодаря высокому pH, сильному восстановительному потенциалу и присутствию небольших количеств $HClO$. Высокий pH ЩЭВ нарушает структуру органических соединений, заставляя их легче распадаться. Он также эмульгирует масла и жиры, что облегчает удаление жирных или маслянистых остатков с поверхностей [13]. Значительный восстановительный потенциал ЩЭВ также способствует расщеплению сложных органических веществ за счет восстановления окисленных молекулярных компонентов, таких как дисульфидные связи в белках. Кроме того, небольшие количества $HClO$, образующиеся во время электролиза, способствуют окислению и разложению органических веществ, что дополнительно способствует удалению пятен и остатков жировых отложений [14, 15]. В комплексе эти механизмы способствуют эффективной очистке поверхностей, оборудования и производственных сред от стойких загрязнений, таких как биопленки и остатки пищи [16]. Поэтому с точки зрения снижения остатков химических веществ в пищевых продуктах ЩЭВ может быть эффективным альтернативным средством обычным химическим очистителям, таким как растворы на основе хлора, перекись водорода и синтетические моющие средства.

ЩЭВ также эффективна при использовании в различных процессах переработки пищевых продуктов, особенно в повышении извлечения белков и биологически активных соединений, а также улучшении консистенции, вкуса и удержания влаги в пище. Благодаря этим свойствам ЩЭВ эффективна в производстве растительных пищевых продуктов, где извлечение биоактивных веществ и улучшение эмульсий имеют решающее значение для качества продукта [8]. Например, использование ЩЭВ в переработке растительных пищевых продуктов облегчает извлечение антиоксидантов, полифенолов и других биоактивных соединений, полезных для здоровья человека [4, 18, 19]. Более того, было установлено, что ЩЭВ улучшает характеристики теста в процессах выпечки и улучшает эмульсии в производстве пищевых продуктов, что оказывает положительное влияние на стабильность и внешний вид мучных изделий. Помимо влияния на текстуру и качество пищевых продуктов, антиоксидантные свойства ЩЭВ способствуют сохранению от окисления чувствительных к теплу питательных веществ, витаминов и других биоактивных веществ в пищевых продуктах. Низкий

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) раствора около -800 до -900 мВ помогает подавлять окисление липидов, что является основной причиной прогорклости жиров и масел. Уменьшая окисление, ЩЭВ может продлить срок годности различных пищевых продуктов, включая мясо, фрукты и овощи [4, 10]. Исследования показали, что ЩЭВ может эффективно снижать уровни остатков пестицидов во фруктах и овощах, что повышает безопасность пищевых продуктов и соответствует растущему спросу потребителей на более натуральные и менее химически обработанные пищевые продукты [4]. В дополнение к антиоксидантным свойствам, низкое содержание растворенного кислорода в ЩЭВ и наличие небольших кластеров воды (5–6 молекул) значительно улучшают проницаемость раствора. Это позволяет ЩЭВ более эффективно проникать в пищевые матрицы, дополнительно подавляя рост микроорганизмов и продлевая свежесть пищевых продуктов [4, 10]. Помимо эффективного действия по очистке, обработке и консервированию пищевых продуктов ЩЭВ обладает значительным потенциалом по использованию в сельскохозяйственном производстве и медицине. Применение ЩЭВ в сельском хозяйстве может эффективно повысить pH почвы, устойчивость сельскохозяйственных культур к болезням и вредителям, а за счет снижения окислительного стресса улучшить здоровье скота [3]. Кроме того, ЩЭВ положительно влияет на здоровье кишечника и улучшает кровообращение у людей [20, 21]. Использование ЩЭВ в уходе за полостью рта также привлекло внимание, поскольку исследования показывают, что ЩЭВ может улучшить гигиену полости рта за счет уменьшения зубного налета и бактерий во рту, что потенциально приводит к улучшению общего состояния здоровья [22]. Широкий спектр функциональных преимуществ позиционирует ЩЭВ как универсальное средство не только для обработки и консервирования пищевых продуктов, но и для поддержания благополучия потребителей. Подводя итог, можно сделать вывод, что ЩЭВ – это универсальное и экологичное решение для пищевой отрасли, имеющее ряд приложений, которые будут способствовать обеспечению безопасности, качества и устойчивости пищевых продуктов. Простое производство на основе электролиза приводит к получению щелочного раствора, который служит мощным чистящим, обрабатывающим и консервирующим средством. Способность ЩЭВ снижать микробиологическую обсемененность, улучшать эффективность извлечения биологически активных соединений, продлевать срок годности продукта и поддерживать устойчивость сельского хозяйства подчеркивает ее ценность как практичного и экологически безопасного средства для пищевой промышленности и агропромышленного комплекса.

Применение ЩЭВ в качестве дезинфицирующего средства.

В ходе научных исследований установлено, ЩЭВ обладает значительным потенциалом по обеззараживанию и стерилизации поверхностей, контактирующих с пищевыми продуктами, технологического оборудования и сырья. Высокий уровень pH и сильные восстановительные свойства, а также небольшое количество HClO играют решающую роль в нейтрализации широкого спектра патогенов, включая бактерии, вирусы, грибки и другие микроорганизмы. Среда с высоким pH, создаваемая ЩЭВ, нарушает мембраны микробных клеток, делая их более проницаемыми и восприимчивыми к повреждениям, что влечет за собой утечку содержимого клетки и к ее гибели [23]. Низкий окисли-

тельно-восстановительный потенциал (ОВП) ЩЭВ оказывает влияние на восстановление дисульфидных связей в белках и ферментах внутри микробных клеток, это приводит к их денатурации и инактивации и увеличению антимикробной активности. Наличие HClO вызывает окислительный стресс, который повреждает микробную ДНК липидов и белков, что способствует антимикробной активности [24]. Удаление биопленки является одной из основных проблем предприятий по переработке молока, которые также можно решать используя для этих целей ЩЭВ. В исследовании Jiménez-Pichardo R. [et al.] установлено, что использование ЩЭВ значительно снижало образование биопленки на поверхностях из нержавеющей стали на молочных предприятиях [14]. Также Liu [et al.] использовали ЩЭВ для очистки доильных систем на месте, продемонстрировав его способность эффективно удалять биопленки и дезинфицировать оборудование в режиме реального времени, тем самым минимизируя риски заражения [10]. Помимо молочной отрасли ЩЭВ доказал свою эффективность в стерилизации поверхностей, контактирующих с пищевыми продуктами, и уничтожении патогенов в различных других секторах пищевой промышленности. Nakano Y. [et al.] продемонстрировали эффективность ЩЭВ по снижению количества патогенов на металлических поверхностях, используя двухэтапный метод очистки, включающий как щелочную, так и кислотную электролизованную воду [25, 26]. Thomasello [et al.] подтвердили способность ЩЭВ снижать уровень бактериального загрязнения на поверхностях, контактирующих с пищевыми продуктами в процессе переработки мяса [27], а авторы Huang H. [et al.] исследовали способность ЩЭВ разрушать биопленки *Listeria monocytogenes* с помощью протеомного анализа, который дает представление о молекулярных механизмах, ответственных за его эффективность в устранении патогенов [28]. В работе Nyamende N.E. [et al.] изучена эффективность обработки ЩЭВ (доза 50, 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л-1) против *Botrytis cinerea* в яблоках. Результат показал, что обработка *B. cinerea* ЩЭВ привела к значительному уменьшению зон поражения по сравнению с контрольной группой. ЩЭВ концентрацией 200 мг/л-1 была эффективна в ингибировании развития *B. cinerea* [29]. Также авторы Turantaş F. [et al.] установили значительное сокращение количества микроорганизмов во фруктах и овощах после промывки электролизованной водой [30]. Tan [et al.] показали, что комбинированная обработка слабощелочной электролизованной водой с фотодинамической инактивацией уничтожила биопленки смешанных видов [10]. Экологические преимущества использования ЩЭВ для малых и средних предприятий по переработке мяса представлены в исследовании Khalid N. [et al.], которые продемонстрировали его преимущества для малых и средних предприятий по переработке мяса [31]. Особо, в контексте глобальной пандемии, следует отметить исследование Suzuki [et al.], которые установили способность ЩЭВ нейтрализовать SARS-CoV-2 и другие вирусные патогены [32]. Эта антимикробная способность широкого спектра доказывает, что ЩЭВ эффективна не только для традиционных пищевых патогенов, но и для новых угроз безопасности пищевых продуктов, таких как вирусы, которые вызывают особую озабоченность в современных системах производства продуктов питания. В заключение следует отметить, что ЩЭВ является эффективным и универсальным обеззараживающим средством, способным дезактивиро-

вать поверхности, контактирующие с пищевыми продуктами, технологическое оборудование и сырье. Способность ЩЭВ дезактивировать широкий спектр патогенов, включая бактерии, вирусы и грибки, подтверждает ее эффективность по обеспечению безопасности пищевых продуктов во многих секторах пищевой промышленности.

Удаление остатков пестицидов и токсинов

Спрос на минимально обработанные и обладающие высокой пищевой ценностью продукты питания способствовал поиску эффективных и экологически безопасных средств для удаления остатков пестицидов и микотоксинов из пищевых продуктов. Использование ЩЭВ представляет собой высокоэффективную и экологически чистую альтернативу традиционным методам обработки на основе химических веществ за счет высокого pH, восстановительному потенциалу и образованию HClO в процессе электролиза. Благодаря этим свойствам ЩЭВ вызывает деградацию остатков пестицидов и других вредных токсинов, при этом не оказывая негативного влияния на качество пищевых продуктов [8, 33]. В ходе исследований доказана эффективность действия ЩЭВ по удалению остатков пестицидов для многих видов фруктов, овощей, мяса и пищевых масел [8, 10]. В исследовании авторов Calvo [et al.] и Liu [et al.] проводили сравнительный анализ эффективности ЩЭВ и диоксида хлора. Результаты показали, что ЩЭВ высокоэффективно снижает остаток пестицидов на различных продуктах, включая косточковые фрукты, капусту, брокколи, болгарский перец и яблоки [34, 35]. Данные исследования доказали, что, ЩЭВ не только эффективно удаляла остатки пестицидов, но и не оказывала негативного влияния на органолептические характеристики обрабатываемых продуктов. Следует отметить, что ЩЭВ также показала свою эффективность в удалении остатков пестицидов из более сложных пищевых матриц, таких как кумкват и коровий горох [36]. Установлено, что кроме остатков пестицидов ЩЭВ способна снизить уровень загрязнения микотоксинами, особенно афлатоксинами, которые являются токсичными метаболитами грибов, обычно встречающимися в зернах, орехах и специях [8, 12]. Zhou [et al.] продемонстрировали, что ЩЭВ эффективно разлагает афлатоксин В1 в образцах риса, способствуя повышению безопасности пищевых продуктов при хранении и обработке зерна [37]. Эффективность ЩЭВ в удалении остатков пестицидов и токсинов из пищевых продуктов в первую очередь объясняется его высоким pH и восстановительными свойствами. Значительные восстановительные свойства раствора обусловлены наличием гидроксид-ионов (OH⁻), которые взаимодействуют с молекулами пестицидов, особенно с теми, которые имеют такие функциональные группы, как сложные эфиры, амиды и нитрилы. Это взаимодействие приводит к гидролитическому расщеплению и распаду остатков пестицидов, эффективно нейтрализуя вредные химические вещества, не изменяя качество или пищевую ценность обработанных пищевых продуктов [37]. Щелочная среда, создаваемая ЩЭВ, также способствует гидролизу некоторых токсинов, включая микотоксины, такие как афлатоксины. Высокий pH дестабилизирует химическую структуру этих токсинов, что приводит к их деградации. Афлатоксины, обычно встречающиеся в зернах, орехах и специях, эффективно расщепляются в щелочной среде, тем самым снижается их токсичность и повышается безопасность пищевых продуктов [38].

Применение ЩЭВ в процессах экстракции и повышению качества пищевых продуктов

Процессы экстракции

В сравнении с традиционными методами экстракции применение ЩЭВ в технологии экстрагирования и извлечения биологически активных соединений, белков и питательных веществ из сырья позволило значительно увеличить эффективность и выход экстрагируемого вещества. Воздействие высокого pH, низкого ОВП эффективно разрушает клеточные стенки и мембраны, способствуя высвобождению биоактивных соединений, белков и других питательных веществ из сырья, не нарушая их целостности. Высокий уровень pH ЩЭВ разрывает химические связи, способствуя высвобождению биоактивных молекул, обеспечивая более качественный и эффективный процесс экстракции. Этот процесс оптимизирует использование ресурсов, снижает производственные затраты и повышает рентабельность производства. Традиционные методы экстракции зачастую основаны на использовании агрессивных химических растворителей, которые могут быть вредны как для окружающей среды, так и для здоровья человека. При использовании ЩЭВ отсутствует необходимость в токсичных растворителях, процесс экологически безопасен, а отходы процесса экстракции не оказывают негативного влияния на окружающую среду, значительно сокращая экологический след процесса экстракции. По сравнению с другими нетермическими методами, такими как ультразвук, ЩЭВ обладает дополнительными преимуществами, такими как более низкое потребление энергии и отсутствие высокочастотных звуковых волн, которые могут потенциально повредить чувствительные соединения во время экстракции [10, 15]. Кроме того, способность ЩЭВ извлекать соединения без использования растворителей дает значительное преимущество с точки зрения устойчивости и безопасности [18]. Установлена эффективность применения ЩЭВ для извлечения белков и биоактивных соединений из различных источников, пищевого сырья. Так, например, Zhang J., [et al.] использовали ЩЭВ для извлечения ценных соединений из панцирей омаров [19], в то время как Li [et al.] применили его для улучшения извлечения биоактивных соединений из абрикосов. Результаты показали, что при условии одинакового pH (pH = 9,5) эффективность экстракции электролизованной воды изюлята абрикосового белка была выше, чем у сверхчистой воды. Более того, абрикосовый белок, экстрагированный электролизованной водой, показал лучшую пенообразующую способность и стабильность эмульсии [18]. Экстракции с использованием ЩЭВ показана и в других исследованиях, которые подчеркивают способность ЩЭВ эффективно извлекать белки, полисахариды и другие биологически активные соединения, значительно увеличивая как выход, так и чистоту извлеченного материала [1, 10]. Дальнейшая оптимизация процессов экстракции на основе ЩЭВ привела к еще большей эффективности и расширенной функциональности. Например, Tan [et al.] использовали ЩЭВ в комплексе с ферментативной обработкой для извлечения белков из остатков чая, достигнув при этом превосходных показателей экстракции, более высокой растворимости и эмульгирующих свойств белковых изюлятов [40]. Результаты исследований подтверждают потенциал ЩЭВ для повышения как количества, так и качества извлекаемых биоактивных соединений. Помимо увеличения выхода продуктов экстракции ЩЭВ улучшает функциональные свойства извлечен-

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

ных белков и биоактивных соединений. Использование ЩЭВ повышает растворимость, эмульгирующую способность, пенообразующую способность и антиоксидантную активность извлеченных соединений, которые затем могут быть включены в широкий спектр пищевых продуктов для улучшения текстуры, стабильности и пищевой ценности. Авторы Li [et al.] продемонстрировали, что экстракция белков антарктического криля с помощью ультразвука и ЩЭВ значительно улучшила их растворимость и эмульгирующую активность, которые являются критически важными характеристиками для их использования в пищевых продуктах [17]. Аналогичным образом Song [et al.] установили, что экстракция ЩЭВ улучшила свойства и антиоксидантную активность полисахаридов, полученных из грибов *Morchella*, которые ценятся за их пользу для здоровья [41]. Soquetta [et al.] наблюдали аналогичные результа-

ты увеличения выхода и антиоксидантной активности при экстракции биоактивных соединений из кожуры *Citrus reticulata* [42]. В целом экстракция с использованием ЩЭВ имеет ряд преимуществ для пищевой промышленности: более высокий выход и эффективность экстракции, улучшенные функциональные свойства извлеченных соединений и устойчивый, экологически безопасный процесс.

Влияние ЩЭВ на качество пищевых продуктов

ЩЭВ является эффективным средством по обеспечению микробиологической стабильности и улучшению качества пищевых продуктов, включая мясо, овощи и фрукты, злаки и даже функциональные вещества. В таблице 1 представлен краткий обзор результатов исследования эффективности ЩЭВ по обеспечению качества пищевых продуктов.

Таблица 1 – Эффективность щелочной электролизованной воды (ЩЭВ) по обеспечению микробиологической стабильности и улучшению качества пищевых продуктов

Table 1 – Efficiency of alkaline electrified water (AEW) in ensuring microbiological stability and improving the quality of food products

Наименование пищевого сырья и продуктов	Параметры обработки	Эффективность обработки	Источник
Яблоки (плоды)	ЩЭВ pH: 10–11,5	ЩЭВ подавляла рост естественных микробов на поверхности яблок (<i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>S. capitis</i> , <i>Ochrobactrum soli</i> и <i>Aspergillus inuii</i>) во время хранения	[43]
Нарезанные яблоки	ЩЭВ и аскорбиновая кислота	Снижение активности ПФО примерно до 66 % при использовании отдельно и улучшение антиоксидантных свойств при сочетании с аскорбиновой кислотой	[10]
Зерно пшеницы	ЩЭВ, pH: 9,5	Скорость выведения микотоксина дезоксиниваленола составляет 61,60 %, после обработки наличие живых грибов не обнаружено	[44]
Нектарин	ЩЭВ	Сохранение цвета е цвета кожуры L^* , a^* , b^* , снижена частота потемнения (h^*) и поверхностного распада по сравнению с обработанными хлором и контрольными фруктами	[45]
Свинина	ЩЭВ	Высокая антимикробная активность в сочетании с отсутствием повреждения белков	[46]
Колбаса вареная «Мартаделла»	ЩЭВ, pH: 11; УЗ-175 Вт, 20 мин	Подавление роста молочнокислых бактерий до 0,36 log КОЕ/г	[47]
Замороженные креветки	ЩЭВ pH: 10,5; УЗ -35 кГц	По сравнению с традиционными методами размораживания время размораживания сократилось на 48,9 %, сохранилась эластичность и целостность мышечных волокон	[48]
Филе белого амура	ЩЭВ	Подавление роста преобладающих бактерий, равномерная структура миофибриллярных белков способствует сохранению качества рыбы	[49]

Примечание : ПФО – полифенолоксидаза; УЗ – ультразвук

Использование ЩЭВ в мясной промышленности показала свою эффективность в улучшении стабильности эмульсии и удержания воды, которые являются критическими факторами качества мясных продуктов. Leães [et al.] комбинировали ЩЭВ с ультразвуковым методом для улучшения мясных эмульсий, в продуктах с пониженным содержанием хлорида натрия (NaCl) [47]. Это соответствует растущим предпочтениям потребителей в отношении продуктов здорового питания, а также улучшает качество и текстуру мясных продуктов. Athayde D.R. [et al.] установили, что обработка ЩЭВ не только снизила микробную нагрузку свинины, но и улучшила ее общее качество [46]. Аналогично в исследовании Shimamura [et al.] показано, что обработка ЩЭВ значительно снизила микробное загрязнение в курице и говядине, подтверждая ее стерилизующий эффект на мясные продукты. Это снижение микробной нагрузки имеет решающее значение для предотвра-

щения порчи и обеспечения безопасности мясных продуктов по всей цепочке поставок [50]. Как уже показано в таблице 1, использование ЩЭВ эффективно для увеличения срока годности и качества рыбы и морепродуктов. Авторы Lin, Hung, and Deng показали, что обработка ЩЭВ эффективно заменила традиционные полифосфатные добавки в филе сома, сохранив текстуру и вкус филе, одновременно предотвратив рост микроорганизмов [51]. Сочетание ЩЭВ с ультразвуковой технологией повышает эффективность размораживания, способствуя равномерному распределению тепла и ускоряя процесс размораживания, а также снижая окислительное повреждение. Это инновационное применение демонстрирует потенциал ЩЭВ для повышения качества обработки замороженных морепродуктов и может служить альтернативой традиционным методам размораживания, которые часто приводят к ухудшению текстуры [10]. Результаты исследова-

ния Lin Y. [et al.] показали, что обработка ЩЭВ улучшила качество филе белого амура, сохранив структуру белка и предотвратив рост микроорганизмов, что в итоге продлило срок годности и сохранило качество продукта [49]. При обработке фруктов и овощей технология ЩЭВ продемонстрировала свою способность улучшать вкусовые характеристики, продлевать срок годности и действовать как мощный антимикробный агент [4, 8]. Nyamende N.E. установили, что яблоки, обработанные ЩЭВ, сохранили физико-химические свойства (твердость, цвет, консистенция), увеличение содержания полифенолов и флавоноидов и антиоксидантной активности. Кроме того, было достигнуто значительное снижение микробной нагрузки с 3-кратным снижением общего количества бактерий [43]. Сочета-

ние ЩЭВ с современными упаковочными технологиями, такими как вакуумная упаковка или упаковка в модифицированной атмосфере, представляет собой перспективное направление для будущих исследований. Интеграция обработки ЩЭВ с современными способами упаковки будет служить увеличению срока годности и микробиологической стабильности.

Потенциальные возможности использования ЩЭВ в сельском хозяйстве

Результаты научных исследований показали, что ЩЭВ обладает потенциалом использования в сельском хозяйстве, так как способствует улучшению роста растений, положительно влияет на качество почвы, профилактике заболеваний и повышению урожайности. Краткий обзор представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Использование щелочной электролизованной (ЩЭВ) воды в сельскохозяйственном производстве

Table 2 – Use of alkaline electrolyzed water (AEW) in agricultural production

Наименование образца	Параметры обработки	Полученные результаты	Источник
Куркума	ЩЭВ (500 мг/л)	Полное подавление <i>Fusarium sp.</i> , вызывающее гниение корневища куркумы	[9]
Солод тритикале	ЩЭВ (pH: 8,59); КЭВ (pH: 5,32)	Значительное увеличение в солоде: активность α -амилазы, фитазы, кислой протеазы и липазы составила $0,11, 1,24 \times 10^{-4}, 0,62$ и $0,51$ ед./мг белка соответственно)	[52]
Почва	ЩЭВ; КЭВ	По сравнению с КЭВ, ЩЭВ обеспечивает более стабильную регуляцию pH почвы, создавая среду, благоприятную для оптимального роста сельскохозяйственных культур	[53]
Томаты	ЩЭВ (pH: $11,5 \pm 0,2$)	Применение ЩЭВ эффективно для прорастания семян томатов и уничтожения личинок, не вызывая никаких побочных эффектов или негативных явлений	[54]
Шелковица	ЩЭВ	Опрыскивание растений шелковицы щелочной электролизованной водой повышает концентрацию общего количества органических кислот, ТА, антоцианов и витамина С, тем самым повышая их пищевую ценность	[55]
Брокколи	ЩЭВ (pH: $13,0 \pm 0,5$)	Полив с применением ЩЭВ оказывает эффективное мелиоративное действие на закисленные почвы, а также обеспечивает улучшенный контроль над порошистой паршой картофеля и ризоктониозом крестоцветных	[56]
Томаты	ЩЭВ	ЩЭВ эффективно борется с болезнями томатов и уничтожает мелких белокрылок, блокируя их устьица	[57]
Брокколи	ЩЭВ (pH: 13,5)	ЩЭВ эффективно удаляет остатки пестицидов, стимулируя рост овощей, но при этом она может снижать содержание витаминов	[10]

В процессе анализа результатов научных исследований использования ЩЭВ в сельском хозяйстве следует отметить, что основной вклад принадлежит китайским ученым, в работах которых показано, что ЩЭВ положительно влияет на рост растений за счет усиления ферментативной активности во время прорастания растений. Например, Yu Z.-L. & Liu R. установили, что электролизованная вода стимулирует активность ферментов во время прорастания солода тритикале, поэтому справедливо предположить, что ЩЭВ может улучшить прорастание семян и раннее развитие растений, что особенно эффективно для устойчивого производства сельскохозяйственных культур [52]. Tian Q. [et al.] продемонстрировали, что ЩЭВ улучшает pH почвы и предотвращает заболевания томатов, что может использоваться как экологически безопасная технология для улучшения качества почвы, а также для здоровья растений [53]. Эта способность улучшать условия почвы, такие как pH и микробный баланс, имеет решающее значение для улучшения роста растений и оптимизации урожайности сельскохозяйственных культур. ЩЭВ также ока-

зывает положительное влияние на пищевую ценность. L. Liu [et al.] показали, что ЩЭВ не только сохраняла шелковичные деревья от болезней, но и способствовала повышению пищевой ценности плодов, включая повышенные уровни антиоксидантов и витаминов. Результаты подтвердили, что предуборочное применение ЩЭВ повышает уровень витамина С в овощах, улучшая их пищевой профиль и способствует производству более здоровых продуктов питания [10, 55]. Эффективность использования ЩЭВ также было исследовано в животноводстве. Результаты показали, что слабокислая электролизованная вода (СКЭВ), используемая в качестве добавки к питьевой воде для кур-несушек, улучшает здоровье птицы и производство яиц [10, 58]. Добавление ЩЭВ в питьевую воду для животных оказывает положительное влияние на общее состояние здоровья, что приводит к повышению производительности и улучшению качества мяса и яиц [10]. Следует отметить исследования Петровой [и др.], которые изучили влияние электролизованной восстановленной воды на производительность уток, указав на ее потенциаль-

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

ные преимущества в водном птицеводстве [59]. Подводя итог, можно сказать, что ЩЭВ является перспективной технологией для применения в сельском хозяйстве и животноводстве, способствуя росту растений, улучшая качество почвы и контролируя заболевания, а также улучшая здоровье и продуктивность скота.

Влияние ЩЭВ на здоровье человека

Ряд результатов научных исследований, таких как исследования Xia [et al.], Kondo [et al.], Tanaka [et al.] показывают преимущества ЩЭВ для здоровья, позиционируя ее как эффективное функциональное средство с применением в различных аспектах здоровья человека [10, 20, 60]. ЩЭВ продемонстрировала потенциал для улучшения здоровья полости рта, улучшения желудочно-кишечной функции, поддержки здоровья сердечно-сосудистой системы, уменьшения воспаления и окислительного стресса. Эти преимущества приписываются уникальным биоактивным компонентам ЩЭВ, которые включают OH^- , ClO^- , HClO и растворенный кислород/водород, каждый из которых играет важную роль в модуляции здоровья. Одно из самых эффективных преимуществ ЩЭВ заключается в его свойствах, улучшающих здоровье полости рта. Kondo [et al.] установили, что полоскание ЩЭВ (15 мл в течение 30 дней) противодействует кислотности полости рта, эффективно поддерживая баланс pH во рту и потенциально снижая эрозию зубов [20]. Результаты данного исследования показали, что ЩЭВ можно эффективно использовать в качестве эффективного компонента для средств по уходу за зубами. Научные исследования показали, что ЩЭВ оказывает благотворное влияние на желудочно-кишечный тракт [61]. Участники эксперимента ежедневно принимали 500 мл ЩЭВ, в результате наблюдений было отмечено отсутствие желудочно-кишечных расстройств, таких как вздутие живота и несварение желудка. Результаты исследования подтверждают благотворное влияние антиоксидантной активности ЩЭВ на здоровье пищеварительной системы и микробиом кишечника [10, 61]. Weidman [et al.] показали, что ЩЭВ способствует улучшению кровотока и оказывает положительное влияние на сердечно-сосудистую систему [62]. В ходе четырехнедельного эксперимента участники ежедневно употребляли 500 мл щелочной воды с высоким pH (pH 9,5). Результаты показали значительное снижение вязкости крови и улучшение кровообращения, что позволяет предполагать об эффективности ЩЭВ [61]. Следует отметить исследования ученых Rias [et al.], которые установили, что прием ЩЭВ в сочетании с регулярной физической активностью, такой как ходьба, может уменьшить воспаление и окислительный стресс у пациентов с диабетом 2 типа [21]. Более того, ЩЭВ продемонстрировал защитное действие против повреждения печени. Результаты исследования Jackson [et al.] показали, что ЩЭВ обеспечивает защиту от неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП) мышей, которых кормили диетой с высоким содержанием жиров, что подтверждает потенциал ЩЭВ для смягчения прогрессирования НАЖБП, которая часто связана с нарушениями обмена веществ [62]. По сравнению с нейтральной водой ЩЭВ за счет низкого ОВП (от -600 до -900 мВ) проявляет значительно более высокую антиоксидантную активность [10]. Xia [et al.] исследовали ЩЭВ при различных уровнях ОВП и установили, что растворы с более низким ОВП проявляют более силь-

ную антиоксидантную активность и кислотонейтрализующую способность. Эти растворы благотворно влияют на здоровье кишечника и общее состояние организма за счет снижения окислительного стресса и поддержания здорового уровня pH в организме. В совокупности все исследования показали, что ЩЭВ обладает свойствами, которые благоприятно влияют на здоровье организма. Способность ЩЭВ уменьшать воспаление, окислительный стресс и метаболическую дисфункцию может быть использована в медицинских целях, направленные на улучшение благополучия и профилактику хронических заболеваний.

Ограничения и проблемы применения ЩЭВ

1) Результаты исследований показали, что ЩЭВ обладает значительным потенциалом использования в различных областях пищевой промышленности, таких как извлечение, сохранение и функциональность. Вместе с тем, для максимального и широкомасштабного использования данного потенциала необходимо решить ряд проблем и ограничений. Существенным ограничением ЩЭВ является нестабильность раствора с течением времени. Дезинфицирующие и антимикробные свойства электролизованной воды ухудшаются по мере отстаивания раствора, что требует его свежего приготовления для оптимальной эффективности. Ограниченный срок хранения создает логистические проблемы для крупномасштабного промышленного использования, где поддержание постоянного запаса свежеприготовленного ЩЭВ будет трудоемким и экономически невыгодным. Вместе с тем сохранение свойств ЩЭВ может быть обеспечена при определенных условиях хранения, например, 4 °C или ниже может замедлить деградацию и сохранить антимикробные и антиоксидантные свойства ЩЭВ. Также поддержание pH в щелочном диапазоне способствует стабильности, поэтому для хранения целесообразно использование герметичных контейнеров или герметичной среды, которые защитят от воздействия воздуха и света и соответственно от разрушения

2) Эффективность воздействия ЩЭВ значительно варьируется в зависимости от таких факторов, как тип пищевого продукта, концентрация раствора и конкретные условия, при которых она применяется. Пищевой состав обрабатываемого продукта, уровень pH и наличие других веществ в пищевой матрице могут оказывать влияние на антимикробные и консервирующие свойства ЩЭВ. Поэтому с целью определения и стандартизации оптимальных режимов обработки для различных пищевых продуктов.

3) Немаловажной проблемой является коррозионная природа ЩЭВ, в особенности, если среда является сильнощелочной. Раствор может быть агрессивным для технологического оборудования, контейнеров для хранения и труб, что приводит к повышенному износу. Эта коррозия может привести к более высоким расходам на техническое обслуживание и необходимости использования специализированных коррозионно-стойких материалов, что может значительно увеличить общую стоимость внедрения ЩЭВ на предприятиях по переработке пищевых продуктов. Поэтому одним из направлений исследований должна быть разработка и использование коррозионностойких материалов в системах ЩЭВ или поиск методов снижения коррозионной активности ЩЭВ при сохранении ее эффективности

4) Несмотря на то, что ЩЭВ принято считать безопасной, во многих странах и регионах отсутству-

ет нормативная база по широкому внедрению ЩЭВ в процесс обработки и консервирования пищевых продуктов, согласованная с органами здравоохранения и утвержденная на законодательном уровне. Например, в Соединенных Штатах FDA и EPA разработаны и утверждены руководящие документы по использованию электролизованной воды в качестве дезинфицирующего средства для поверхностей, контактирующих с пищевыми продуктами, а в ЕС установлены правила безопасности пищевых продуктов, которые должны гарантировать, что антимикробные свойства электролизованной воды безопасны для использования в процессе обработки пищевых продуктов [63]. Однако единых нормативных стандартов в странах и регионах нет. Кроме того, поскольку область биотехнологий быстро развивается, нормативные рамки часто отстают от технологических достижений. Для преодоления этих проблем решающее значение будут иметь комплексные оценки безопасности, исследования эффективности и гармонизация международных нормативных стандартов, позволяющие получить одобрение регулирующих органов и способствовать широкому использованию ЩЭВ в производстве продуктов питания.

Регулирующие органы различных стран должны сотрудничать для создания единых руководящих принципов, которые касаются безопасности, эффективности и маркировки пищевых продуктов, обработанных ЩЭВ. Опираясь на существующие стандарты безопасности пищевых продуктов, такие как установленные Комиссией Codex Alimentarius, возможны разработка и утверждение Свода основных правил для обеспечения качества и безопасности в любой стране мира. В качестве примера и основы вполне возможно использовать Стандарты Codex, которые признаны на международном уровне и регулируют правила безопасности пищевых продуктов. Содействие сотрудничеству между исследователями, заинтересованными сторонами в отрасли и регулирующими органами имеет важное значение для быстрой разработки и внедрения технологий ЩЭВ. Совместные усилия могут ускорить процесс устранения текущих ограничений и разработки практических решений для их внедрения. Партнерство между академическими кругами, промышленностью и государственными учреждениями может помочь объединить ресурсы и знания, что приведет к прорывам в исследованиях, производстве и одобрении регулирующих органов ЩЭВ. Сотрудничество также поможет преодолеть такие проблемы, как масштабирование производства, повышение эффективности и получение одобрения регулирующих органов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря высокому рН, окислительно-восстановительному потенциалу и эффективной проницаемости щелочная электролизованная вода (ЩЭВ) обладает значительным потенциалом и перспективой использования в производстве продуктов питания, здравоохранении и сельском хозяйстве. Использование ЩЭВ в качестве обеззараживающего средства позволяет эффективно дезинфицировать поверхности, удалить остатки пестицидов и токсины, снизить микробиологическую обсемененность и обеспечить безопасность пищевых продуктов. Процессы экстракции с применением ЩЭВ позволяют значительно увеличить извлечение белков и биоактивных соеди-

нений, улучшая текстуру, вкус и удержание влаги в пище, способствуя повышению качества продукта и эффективности переработки. В качестве консерванта щелочная электролизованная вода способствует увеличению срока годности скоропортящихся продуктов, сохраняя при этом пищевую ценность, органолептические показатели качества и снижая количество образования отходов и не оказывает значительного влияния на окружающую среду. Кроме того, ЩЭВ положительно влияет на здоровье человека, улучшая работу кишечника, кровообращение и гигиену полости рта, одновременно снижая окислительный стресс и воспаление, а использование ее в сельском хозяйстве благотворно влияет на рН почвы, повышает устойчивость к болезням сельскохозяйственных культур, увеличивает их урожайность. Вместе с тем, для широкого промышленного использования ЩЭВ в производстве продуктов питания существует ряд проблем и ограничений, такие как нестабильность раствора, возможность вызывать коррозию оборудования, отсутствие единой утвержденной законодательной базы по применению ЩЭВ в производстве пищевых продуктов. Будущие исследования должны быть направлены на обеспечение стабильности ЩЭВ, оптимизации производственных процессов и режимов обработки для конкретных пищевых продуктов. Необходимо обеспечить тесное сотрудничество с органами здравоохранения и регулирующими органами для установления четких руководящих принципов, разработке масштабируемых методов по применению ЩЭВ как отдельно, так и в комбинации с другими технологиями. Решение проблем и ограничений позволит максимально использовать потенциал ЩЭВ в сельском хозяйстве, переработке растительного сырья, экстракции, консервировании пищевых продуктов и способствовать созданию качественных, безопасных и минимально обработанных продуктов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Burak L.Ch., Ermoshina T.V., Samankova N.V. Achieving sustainable development through the use of new food processing technologies // *Fundamental research*. 2024. No. 10. P. 171–179. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/fr.43705>.
2. Khalid N.I., Sulaiman N.S., Ab Aziz N., Taip F.S., Nor-Khaizura M.A.R., Sobri S. & Abd Rahim M.H. Assessing the efficacy of electrolyzed water for sanitizing contaminated stainless-steel surfaces in the meat industry // *Journal of Food Engineering*. 2024. V. 382. p. 112199. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112199>.
3. Wu T., Sakamoto M., Phacharapan S., Inoue N. & Kamitani Y. Antioxidant characteristic changes, sensory evaluation, processing and storage of functional water modified juice // *Food Bioscience*. 2023. V. 52. p. 102468. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102468>.
4. Burak L.Ch. Influence of modern methods of processing and sterilization on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products // Moscow : Limited Liability Company "Scientific Publishing Center INFRA-M". 2025. P. 236. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/0.12737/2154991>.
5. Brauns J. & Turek T. Alkaline water electrolysis powered by renewable energy: A review // *Processes*. 2020. V. 8(2). p. 248. <https://doi.org/10.3390/pr8020248>.
6. Dash S., Singh A., Jose S., Elangovan D., Surapraraju S.K. & Natarajan S.K. Advances in green hydrogen production through alkaline water electrolysis: A comprehensive review // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. V. 83. pp. 614–629. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.157>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

7. Rebezov M., Saeed K., Khaliq A., Rahman S.J.U., Sameed N., Semenova A., Khayrullin M., Dydykin A., Abramov, Y., Thiruvengadam, M., Shariati, M.A., Bangar, S.P. & Lorenzo, J.M. Application of electrolyzed water in the food industry: A review // *Applied Sciences*. 2022. V. 12(13). p. 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>.
8. Burak L.Ch. Influence of electrolyzed water on the quality and safety of fruit and vegetable raw materials // *Scientific review. Biological sciences*. 2024. No. 3. P. 59–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/srbs.1375>.
9. Keatsirirote S., Chuajedton A., Uthaibutra J. & Whangchai K. Biorefinery-driven approach to managing Fusarium sp. causing agent rhizome rot in turmeric using electrolyzed water // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024. V. 14. pp. 22805–22813. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04243-4>.
10. Du Y., Tian Q., Kuang X., Deng Y., Jiang Y., Yi J. Advanced application of alkaline/basic electrolyzed water in the food and agriculture industry as cleaning, processing, preserving, and functional agents // *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2025. V. 24(2). e70129. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70129>.
11. Leães Y.S.V., Pinton M.B., de Aguiar Rosa C.T., Robalo S.S., Wagner R., de Menezes, C.R. Smanioto Barin J., Cezar Bastianello Campagno, P. & Cichoski A.J. Ultrasound and basic electrolyzed water: A green approach to reduce the technological defects caused by NaCl reduction in meat emulsions // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. V. 61. p. 104830. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104830>.
12. Villarreal-Barajas T., Vázquez-Durán A. & Méndez-Albore A. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water on fungi and mycotoxins in food // *Food Control*. 2022. V. 131. p. 108454. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108454>.
13. Ampiauw R.E., Yaqub M. & Lee W. Electrolyzed water as a disinfectant: a systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid // *Journal of Water Process Engineering*. 2021. V. 43. p. 102228. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102228>.
14. Jiménez-Pichardo R., Hernández-Martínez I., Regalado-González C., Santos-Cruz J., Meas-Vong Y., Wachter-Rodarte M.D.C., Carrillo-Reyes J., Sánchez-Ortega I. & García-Almendárez B.E. Innovative control of biofilms on stainless steel surfaces using electrolyzed water in the dairy industry // *Foods*. 2021. V. 10(1). p. 103. <https://doi.org/10.3390/foods10010103>.
15. Tan L., Zhao Y., Li Y., Peng Z., He T., Liu Y., Zeng Q. & Wang J.J. Potent eradication of mixed-species biofilms using photodynamic inactivation coupled with slightly alkaline electrolyzed water // *Lwt*. 2022. V. 155. p. 112958. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112958>.
16. Li Y., Wang J., Tan L., Zeng S., Liu F. & Zhao Y. Research Progress on Properties of Basic Electrolyzed Water and Its Application in Food // *Chinese Institute of Food Science & Technology*. 2023. V. 12. pp. 421–432. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2023.12.041>. (in Chinese with English abstract).
17. Li Y., Zeng Q.-H., Liu G., Peng Z., Wang Y., Zhu Y., Liu H., Zhao Y. & Jing Wang J. Effects of ultrasound-assisted basic electrolyzed water (BEW) extraction on structural and functional properties of Antarctic krill (*Euphausia superba*) proteins // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. V. 71. p. 105364. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105364>.
18. Li Z.-H., Zhou B., Li X.-T. & Li S.-G. Effect of alkaline electrolyzed water on physicochemical and structural properties of apricot protein isolate // *Food Science and Biotechnology*. 2019. V. 28. pp. 15–23. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0439-5>.
19. Zhang J., Wang X., Sun Y., Gong J., Sang Y. & Sun J. Application of electrolyzed water in demineralization and protein removal from crayfish shells // *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*. 2021. V. 21(01). pp. 157–165. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2021.01.019>.
20. Kondo K., Kanenaga R., Tanaka Y., Hotta K. & Arakawa S. The neutralizing effect of mouth rinsing with alkaline electrolyzed water on different regions of the oral cavity acidified by acidic beverages // *Journal of Oral Science*. 2022. V. 64(1). pp. 17–21. <https://doi.org/10.2334/josnussd.21-0262>.
21. Rias Y.A., Kurniawan A.L., Chang C.W., Gordon C.J. & Tsai H.T. Synergistic effects of regular walking and alkaline electrolyzed water on decreasing inflammation and oxidative stress, and increasing quality of life in individuals with type 2 diabetes: A community based randomized controlled trial // *Antioxidants*. 2020. V. 9(10). p. 946. <https://doi.org/10.3390/antiox9100946>.
22. Ramírez Orejel J.C. & Cano-Buendía J.A. Applications of electrolyzed water as a sanitizer in the food and animal-by products industry // *Processes*. 2020. V. 8(5). p. 534. <https://doi.org/10.3390/pr8050534>.
23. Tango C.N., Hussain M.S. & Oh D.-H. Application of electrolyzed water on environment sterilization // *Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications*. 2019. p. 177–204. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6_7.
24. Jiménez-Pichardo R., Regalado C., Castaño-Tostado E., Meas-Vong Y., Santos-Cruz J. & García-Almendárez B.E. Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry // *Food Control*. 2016. V. 60. pp. 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.011>.
25. Nakano Y., Akamatsu N., Mori T., Sano K., Satoh K., Nagayasu T., Miyoshi Y., Sugio T., Sakai H., Sakae E., Ichimiya K. & Sakae E. Sequential washing with electrolyzed alkaline and acidic water effectively removes pathogens from metal surfaces // *Plos One*. 2016. V. 11(5). e0156058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156058>.
26. Fukuda A., Tominaga T., Matsumoto T. [et al.]. Feasibility and efficacy of newly developed eco-friendly, automatic washer for endoscope using electrolyzed alkaline and acidic water // *Asian J. Endosc Surg*. 2024. V. 17(1). e13245. doi: 10.1111/ases.13245.
27. Tomasello F., Pollesel M., Mondo E., Savini F., Scarpellini R., Giacometti F., Lorito L., Tassinari M., Cuomo S., Piva S. & Serraino A. Effectiveness of alkaline electrolyzed water in reducing bacterial load on surfaces intended to come into contact with food // *Italian Journal of Food Safety*. 2021. V. 10. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2021.9988>.
28. Huang H., He J., Gao X., Lei J., Zhang Y., Wang Y., Liu X. & Hao J. Mechanism of acid and alkali electrolyzed water on the elimination of *Listeria monocytogenes* biofilm based on proteomic analysis // *Journal of Proteomics*. 2023. V. 286. p. 104952. <https://doi.org/10.1016/j.jprotp.2023.104952>.
29. Nyamende N.E., Domtchouang F.R., Belay Z.A., Zanehyphyn K., Ayodeji O., Oluwafemi C.J. Alternative post-harvest pre-treatment strategies for quality and microbial safety of 'granny smith' apple // *Heliyon*. 2021. Vol. 7. Ne e07104. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07104>.
30. Turantaş F., Ersus-Bilek S., Sömek Ö. & Kuşçu A. Decontamination effect of electrolyzed water washing on fruits and vegetables // *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2018. V. 7(4). p. 337. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.7.4.337-342>.
31. Khalid N., Ab Aziz N., Thani N., Shapi'ia R. & Abd Rahmana N.F. Electrolyzed water as a sustainable cleaning and disinfection chemical for SMEs Malaysian meat processing food industries: Challenges and uncertainties // *Journal of Agricultural and Food Engineering Research*. 2020. V. 1(6). pp. 1–2. <https://doi.org/10.37865/jafe.2020.0006>.
32. Suzuki Y., Hishiki T., Emi A., Sakaguchi S., Itamura R., Yamamoto R., Matsuzawa T., Shimotohno K., Mizokami M., Nakano T. & Yamamoto N. Strong alkaline electrolyzed water efficiently inactivates SARS-CoV-2, other viruses, and Gram-negative bacteria // *Biochemical and*

Biophysical Research Communications. 2021. V. 575. pp. 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.08.048>.

33. Yang J., Song L., Pan C., Han Y. & Kang L. Removal of ten pesticide residues on/in kumquat by washing with alkaline electrolysed water // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022. V. 102(15). pp. 3638–3651. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1772775>.

34. Calvo H., Redondo D., Remón S., Venturini M.E. & Arias E. Efficacy of electrolyzed water, chlorine dioxide and photocatalysis for disinfection and removal of pesticide residues from stone fruit // *Postharvest Biology and Technology*. 2019. V. 148. pp. 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.009>.

35. Liu Y., Wang J., Zhu X., Liu Y., Cheng M., Xing W., Wan Y., Li N., Yang L. & Song P. Effects of electrolyzed water treatment on pesticide removal and texture quality in fresh-cut cabbage, broccoli, and color pepper // *Food Chemistry*. 2021. V. 353. p. 129408. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129408>.

36. Han Y., Song L., An Q. & Pan C. Removal of six pesticide residues in cowpea with alkaline electrolysed water // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. V. 97(8). pp. 2333–2338. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8043>.

37. Zhou D.-R., Xu L. & Pan G.-D. Removal function of aflatoxin B₁ from rice samples by alkaline electrolytic water // *Journal of Food Safety and Quality*. 2019. V. 10(20). pp. 6957–6962. <https://doi.org/10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2019.20.039>.

38. Burak L.Ch. The use of modern processing technologies to increase the shelf life of fruits and vegetables. Review of the subject field // *Polzunovsky Bulletin*. 2024. No. 1. P. 99–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>.

39. Wang J.J., He T., Li H., Dong H., Liu Y., Zeng Q. & Zhao Y. Enhancement of riboflavin-mediated photodynamic inactivation against Salmonella on tuna fillets coupled with slightly basic electrolyzed water // *Food Control*. 2024. V. 162. p. 110441. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110441>.

40. Tan X.-Y., Sun J.-S., Ning H.-J., Pei H.-S., Zeng W.-H., Hu J. & Zhang X.-Q. Optimization of extraction process of protein from exhausted tea by alkaline electrolyzed-reducing water synergized with protease // *Science and Technology of Food Industry*. 2018. V. 39(15). pp. 213–218+227. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.038>. (in Chinese with English abstract).

41. Song G., Deng L., Zhao Y., Zeng Y., Liu J. & Zhong G. Effects of alkaline water extraction on the properties and antioxidant activity of Morchella polysaccharides // *Food and Fermentation Industries*. 2023. V. 49(22). pp. 208–214. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033411>. (in Chinese with English abstract).

42. Soquetta M.B., Tonato D., Quadros M.M., Boeira C.P., Cichoski A.J., de Marsillac Terra L. & Kuhn R.C. Ultrasound extraction of bioactive compounds from Citrus reticulata peel using electrolyzed water // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. V. 43(12). e14236. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14236>.

43. Nyamende N.E., Hoff J.W., van Brede V., Belay Z.A., Oyenihi A.B. & Caleb O.J. Isolation and characterization culturable microbes on the surface of 'Granny Smith' apples treated with electrolyzed water during cold storage // *Food Science and Biotechnology*. 2022. V. 31(12). pp. 1603–1614. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01148-2>.

44. Lyu F., Gao F., Zhou X., Zhang J. & Ding Y. Using acid and alkaline electrolyzed water to reduce deoxynivalenol and mycological contaminations in wheat grains // *Food Control*. 2018. V. 88. pp. 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.036>.

45. Belay Z.A., Botes W. & Caleb O.J. Effects of alkaline electrolyzed water pretreatment on the physicochemical quality attributes of fresh nectarine during storage

// *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. V. 45(10). e15879. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15879>.

46. Athayde D.R., Flores D.R.M., da Silva J.S., Genro A.L.G., Silva M.S., Klein B., Mello R., Campagnol P.C.B., Wagner R., de Menezes C.R., Barin J.S. & de Menezes C.R. Application of electrolyzed water for improving pork meat quality // *Food Research International*. 2017. V. 100. pp. 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.009>.

47. Leães Y.S.V., Silva J.S., Robalo S.S., Pinton M.B., dos Santos S.P., Wagner R., Brasil C.C.B., de Menezes C.R., Barin, J.S., Campagnol P.C.B. & Cichoski A.J. Combined effect of ultrasound and basic electrolyzed water on the microbiological and oxidative profile of low-sodium mortadellas // *International Journal of Food Microbiology*. 2021. V. 353. p. 109310. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109310>.

48. Li Y., Wang J., Zeng Q.-H., Wang L., Wang J.J., Li S., Zhu J. & Zeng X.-A. Novel thawing method of ultrasound-assisted slightly basic electrolyzed water improves the processing quality of frozen shrimp compared with traditional thawing approaches // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024. V. 107. p. 106931. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106931>.

49. Lin Y., Liang S., Liu W., Jiao W., Zhang Y. & Yu Y. Effect of alkaline ionised water on grass carp filets: Insight into physicochemical, microbial composition and miofibrillar proteins // *International Journal of Food Science & Technology*. 2023. V. 58(10). pp. 5366–5375. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16653>.

50. Shimamura Y., Shinke M., Hiraishi M., Tsuchiya Y. & Masuda S. The application of alkaline and acidic electrolyzed water in the sterilization of chicken breasts and beef liver // *Food Science & Nutrition*. 2016. V. 4(3). pp. 431–440. <https://doi.org/10.1002/fsn3.305>.

51. Lin H.-M., Hung Y.-C. & Deng S.-G. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets // *Food Control*. 2020. V. 112. p. 107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>.

52. Yu Z.-L. & Liu R. Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticale malt during germination // *Journal of Food Science and Technology*. 2019. V. 56. pp. 1495–1501. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>.

53. Tian Q., Xiao W., Han Q., Kudakwashe Z.O., & Mai D.T. Electrolytic water or alkaline electrolytic water on pH value of cultivated soil // *Journal of Changjiang Vegetables*. 2023. V. 00(22). pp. 21–23. (in Chinese with English abstract).

54. Yi C. & Xiao W. Study on control effect of soybean oil emulsified by alkaline electrolyzed water on tomato diseases // *Journal of Changjiang Vegetables*. 2023. V. 00(14). pp. 16–18. (in Chinese with English abstract).

55. Liu L., Zheng D., Ke H., Ren J. & Li Q. Effect of alkaline electrolyzed water application on the nutritional quality of mulberries // *Sichuan Sericulture*. 2023. V. 51(02). pp. 39–40. <https://doi.org/10.13886/j.cnki.sccy.2023.02.008>. (in Chinese with English abstract).

56. Zhang J., Xiao W., Zhu P., Huang S., Yi C. & Liu W. Efficacy of alkaline electrolyzed water in the control of rhizoctonia in broccoli // *Journal of Changjiang Vegetables*. 2021. V. 00(24). pp. 22–23. (in Chinese with English abstract).

57. Huang S., Xiao W., Zhang J. & Fan W. Effective measures on controlling tomato leaf mold in early spring by using agriculture technology system of electrolytic water // *Journal of Changjiang Vegetables*. 2021. V. 00(18). pp. 27–28. (in Chinese with English abstract).

58. Li J., Wang Y., Zheng W., Xia T., Kong X., Yuan Z., Niu B., Wei G. & Li B. Comprehensive evaluation of treating drinking water for laying hens using slightly acidic electrolyzed water // *Poultry Science*. 2024. V. 103(1). p. 103176. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103176>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

59. Petrova T., Kurtenkov A., Shindarska Z., Radanski S. & Ivanov S. Study of the effect of electrolyzed reduced water (catholyte) on the indices productivity of ducks // Tradition and Modernity in Veterinary Medicine. 2023. V. 7(2). pp. 57–63. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7705178>.

60. Xia R., Zhong G., Li, T., Yang W. & Gao Y. Study on physicochemical properties, antioxidant and relieve hyperchlorhydria of alkaline electrolyzed water with different negative ORP value // Fundamental Research. 2022. V. 38(3). pp. 1–7. <https://doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90017>. (in Chinese with English abstract).

61. Tanaka Y., Saihara Y., Izumotani K., & Nakamura H. Daily ingestion of alkaline electrolyzed water containing hydrogen influences human health, including gastrointestinal symptoms // Medical Gas Research. 2018. V. 8(4). pp. 160–166. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.248267>.

62. Weidman J., Holsworth Jr.R.E., Brossman B., Cho D.J., St Cyr J. & Fridman G. Effect of electrolyzed high-pH alkaline water on blood viscosity in healthy adults

// Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2016. V. 13(1). p. 45. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0153-8>.

63. Burak L.Ch. Modern methods of processing and preserving fruit and vegetable raw materials // St. Petersburg: Lan. 2024. 488 p. (In Russ). ISBN 978-5-507-48119-4.

Информация об авторах

Л. Ч. Бурак – доктор философии в области пищевых наук, кандидат технических наук, профессор РАЕ, директор Общества с ограниченной ответственностью «Белросаква».

Information about the authors

L.Ch. Burak - Doctor of Philosophy in the field of food sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Director of the Limited Liability Company "Belrosakava".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.