

## Пищевая сонохимия: реальность и перспективы

Красуля Ольга Николаевна<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РГАУ – МСХА им. К. И. Тимирязева

*Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Красуля О.Н., РГАУ – МСХА им. К. И. Тимирязева, адрес: 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: krasulya@mail.ru*

Пищевая сонохимия является сравнительно новым научным направлением; она изучает процессы, происходящие при трансформации энергии упругих колебаний ультразвуковой частоты в жидких пищевых средах. В нашей стране исследования сонохимических технологий в отраслях агропромышленного комплекса и соответствующего оборудования (кавитационных реакторов) для их осуществления начались в начале 2000-х годов. Существенный вклад в развитие сонохимии в пищевой промышленности внесли проф. Шестаков С.Д., проф. Поландова Р.Д., проф. Панфилов В.А., проф. Красуля О.Н., проф. Потороко И.Ю. и др. Была сформирована концепция пищевой сонохимии, создано отечественное низкочастотное кавитационное оборудование для обработки жидких пищевых сред, проведено исследование возможности его использования в мясной, хлебопекарной и молочной промышленности. Полученные результаты исследований убедительно свидетельствуют об эффективности разработанных кавитационных технологий в названных выше отраслях агропромышленного комплекса. Перспективность применения этих энергосберегающих технологий не вызывает сомнений, что коррелируется с результатами исследований ведущих зарубежных исследователей, а также со Стратегией развития агропромышленного комплекса на период до 2030г., в которой подчеркивается необходимость более широкого использования кавитационных технологий в промышленном масштабе.

**Ключевые слова:** пищевая сонохимия, сонохимические технологии, кавитационное оборудование

Для производства качественных и безопасных продуктов из сырья животного и растительного происхождения, а также продуктов функциональной направленности, используются различные технологические способы воздействия: термическая обработка, обработка электромагнитным полем, озоном, ультразвуком, высоким давлением и т. д. Основными критериями эффективности применения того или иного метода воздействия является максимально возможное сохранение биологической полноценности продукта и экономическая целесообразность (Лисицын, 2002).

Ультразвуковое воздействие на жидкие пищевые среды является одним из перспективных из-за невысоких показателей энергоёмкости и стоимости, а также требуемых площадей для его осуществления. В Стратегии научно-технологического развития РФ до 2035 г. подчеркнута необходимость использования новых технологических методов

обработки сырья животного и растительного происхождения, в частности, ультразвука и акустической кавитации, которые относятся к энерго- и ресурсосберегающим технологиям<sup>1</sup>

Известно (Шестаков, 2001), что при воздействии ультразвука на жидкие среды, при определенных условиях наблюдается явление кавитации (от лат. *cavita* – пустота). При этом происходит видоизменение жидкой среды с образованием мельчайших газовых пузырьков, которые, в дальнейшем, лопаются с высвобождением энергии. В результате этого явления происходит разрушение структуры среды и соответствующие изменения её физико-химических свойств (Margulis, 1995).

Описанные выше процессы, происходящие в жидких пищевых средах под воздействием акустической кавитации, изучает новая наука – пищевая сонохимия (Thompson, 1999).

<sup>1</sup> Стратегия научно-технологического развития РФ до 2035г. от 12.05.2016г. Фонд «Центр стратегических разработок».

Преимущества от использования явления кавитации в пищевых технологиях очевидны и заключаются в:

- возможности замены / существенного уменьшения ингредиентов, имеющих химическое происхождение, выполняющих роль управляющих воздействий (в виде пищевых добавок, обладающих потенциальной опасностью для здоровья потребителя), безреагентным физическим воздействием, что позволяет выпускать продукты с «чистой» этикеткой и разрабатывать «зеленые» технологии;
- реализации надтеплого механизма (Шестаков, 2004) передачи энергии жидкой пищевой среде (за счет распространения в ней ультразвуковой волны), в результате чего водная фаза среды становится мощным растворителем и способна интенсивно вступать в реакцию гидратации с биополимерами сырья животного и растительного происхождения;
- небольшой энергоемкости процесса, что делает его энергосберегающим.

Перспективность этого метода воздействия при разработке новых технологий продуктов животного происхождения подтверждена результатами комплексных исследований, выполненных отечественными и зарубежными учеными: Шестаков С. Д., Рогов И. А., Красуля О. Н., Богущ В. И., Потороко И. Ю., Поландова Р. Д., Тихомирова Н. А. и др. (Россия), М. Ashokkumar, В. Zisu (Австралия), Т. Mawson, Z. Paniwnyk (Великобритания), Z. Neved (Хорватия), Е. Rieva (Испания), S. Anand (Индия) и др.

Известным российским ученым в области пищевой сонохимии профессором Шестаковым С. Д. сформулирована концепция этой отрасли научных знаний, которая состоит из следующих положений (Шестаков, 2013):

- ограничение либо полное исключение применения сонохимической обработки в отношении биополимеров сырья животного и растительного происхождения в силу наличия информационной неопределенности (нестабильные качественные характеристики, колебание спроса и предложения и пр.) и обработка только воды и водных растворов пищевых ингредиентов (типа поваренной соли, сахара и т.д.);
- максимальное ослабление химических реакций, происходящих при сжатии кавитационных пузырьков в газовой фазе внутри них, и минимизация взаимодействия с обрабатываемой жидкостью продуктов этих реакций;

- использование при разработке промышленных сонохимических аппаратов теории физического подобия кавитационных процессов (разработанной Шестаковым С. Д.), позволяющей, при её использовании, избавиться от трудоёмких и затратных этапов натурного моделирования и выполнить необходимые инженерные расчеты, опираясь на результаты оптимизации того или иного процесса в малогабаритном реакторе.

Остановимся на основных результатах научной деятельности, полученных за период 2005-2021гг, отечественными исследователями в области использования пищевой сонохимии в технологиях мясных и молочных продуктов: разработаны технология и соответствующее оборудование-реактор кавитационный ультразвуковой, которое удостоено Золотой медали на выставке «Агропродмаш-2010» в номинации «Лучшее инновационное оборудование для пищевой промышленности», для сонохимической водоподготовки при производстве мясных продуктов (Шестаков С. Д., Красуля О. Н., Бефус А. П., Богущ В. И., Шленская Т.В.) и восстановления сухого молока (Тихомирова И. А., Артемова Я. А., Шестаков С. Д.), технология питьевого йогурта, полученного из молока на территориях техногенного загрязнения (Потороко И. Ю., Ботвинникова В. В.), технология сыра – брынзы из цельного коровьего молока (Канина К. А., Красуля О. Н., Шуварики А. С.), технологический способ повышения терморезистентности биологически активных компонентов пищевого и лекарственного сырья растительного и животного происхождения (Патент РФ № 244201, авторы – Красуля О. Н., Шленская Т. В., Шестаков С. Д., Богущ В. И.), технология продуктов из мяса птицы (Цирульниченко Л. А., Потороко И. Ю.), технология вареных, цельномышечных, паштетно-ливерных, мясных продуктов и рубленых полуфабрикатов (Красуля О. Н., Богущ В. И., Казакова Е.В.) (Красуля, 2020; Ботвинникова, 2021; Канина, 2019). Технология вареных колбасных изделий и рубленых полуфабрикатов с применением сонохимически подготовленного рассола внедрена на одном отечественном мясоперерабатывающем предприятии, что позволяет ему выпускать экологически чистую продукцию без применения пищевых добавок.

Ультразвуковая кавитационная обработка широко изучается зарубежными учеными, особенно много работ выполнено в молочной промышленности: при приготовлении стабильных молочных эмульсий с различными видами растительных масел, дегазации воздуха при производстве

мороженого, ультразвуковой гомогенизации, инкапсуляции для получения белковых микросфер, инактивации патогенных микроорганизмов (*B. Subtilis*) в молоке, технологиях пробиотических и пребиотических молочных продуктов (Красуля, 2020).

Поскольку пищевая сонохимия является развивающейся технологией в пищевых системах, можно полагать, что, в дальнейшем, её применение в отечественной практике переработки сырья животного и растительного происхождения будет нарастать.

Полагаю, что эти технологии в отечественной практике получают распространение при производстве сливочного масла, обезжиренного сыра, инкапсуляции вкусоароматических веществ, инактивации ферментов, ухудшающих качество и хранимоспособность пищевых продуктов, посоле рыбы и морепродуктов, производстве наноплёнок. Первые положительные результаты применения кавитационных технологий в названных выше технологиях уже получены, о чем свидетельствуют отдельные публикации и выступления ученых на форумах различного уровня.

### Литература

Ботвинникова, В.В., Потороко, И. Ю, & Красуля, О. Н. (2021). *Инновационные подходы повыше-*

*ния пищевой ценности кисломолочной продукции*. Издательский центр ЮУрГУ.

Канина, К. А., Красуля, О. Н., Жижин, Н. А., & Семенова, Е. С. (2019). Изучение влияния воздействия высокочастотной акустической кавитации на качество молока-сырья и молочных продуктов на его основе. *Вестник ВГУИТ*, 81(3), 145-150. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-145-150>

Красуля, О. Н., Богущ, В. И., Пандей, П., Мартин, Г., & Ашоккумар, М. (2020). *Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения с использованием сонохимических воздействий*. Принт-24ю

Лисицын, А. Б., Иванкин, А. Н., & Неклюдов, А. Д. (2002). *Методы практической биотехнологии*. ВНИИМП.

Шестаков, С. Д. (2001). *Основы технологии кавитационной дезинтеграции*. Ева-пресс.

Шестаков, С. Д., & Рогов, И. А. (2004). Надтепловое изменение термодинамического равновесия воды и водных растворов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 9-13.

Шестаков, С. Д., Красуля, О. Н, Богущ, В. И., & Потороко, И. Ю. (2013). *Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции*. ГИОРД.

Margulis, M. A. (1995). *Sonochemistry and cavitation*. Gordon & Breach.

Thompson, L. K. (1999). Doraiswamy. Sonochemistry science and engineering. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38(4), 1215-1249.

# Food Sonochemistry: Reality and Prospects

Olga N. Krasulya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

Correspondence concerning this article should be addressed to Olga N. Krasulya, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434 e-mail: krasulya@mail.ru

Food sonochemistry is a relatively new scientific field; it studies the processes occurring during the transformation of the energy of elastic vibrations of ultrasonic frequency in liquid food media. In our country, studies of sonochemical technologies in the branches of the agro-industrial complex and related equipment (cavitation reactors) for their implementation began in the early 2000s. A significant contribution to the development of sonochemistry in the food industry was made by prof. Shestakov S.D., prof. Polandova R.D., prof. Panfilov V.A., prof. Krasulya O.N., prof. Potoroko I.Yu. and others. The concept of food sonochemistry was formed, domestic low-frequency cavitation equipment for processing liquid food media was created, and a study was made of the possibility of its use in the meat, bakery and dairy industries. The obtained research results convincingly testify to the effectiveness of the developed cavitation technologies in the above-mentioned branches of the agro-industrial complex. The prospects for the use of these energy-saving technologies are beyond doubt, which is consistent with the results of research by leading foreign scholars, as well as with the Strategy for the Development of the Agro-Industrial Complex for the period up to 2030, which emphasizes the need for a wider use of cavitation technologies on an industrial scale.

**Keywords:** food sonochemistry, sonochemical technologies, cavitation equipment

## References

- Botvinnikova, V. V., Potoroko, I. Yu., & Krasulya, O. N. (2021). *Innovacionnye podhody povysheniya pishchevoj cennosti kislomolochnoj produkcii* [Innovative approaches to increase the nutritional value of fermented milk products]. Publishing Center of SUSU.
- Kanina, K. A., Krasulya, O. N., Zhizhin, N. A., & Semenova, E. S. (2019). Study of the effect of high-frequency acoustic cavitation on the quality of raw milk and dairy products based on it. *Vestnik VGUIT [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 81(3), 145-150. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-145-150>
- Krasulya, O. N., Bogush, V. I., Pandey, P., Martin, G., & Ashokkumar, M. (2020). *Innovacionnye tekhnologii pererabotki syr'ya zhivotnogo proiskhozhdeniya s ispol'zovaniem sonohimicheskikh vozdeystvij* [Innovative technologies for processing raw materials of animal origin using sonochemical effects]. Print-24yu
- Lisitsyn, A. B., Ivankin, A. N., & Neklyudov, A. D. (2002). *Metody prakticheskoy biotekhnologii* [Methods of practical biotechnology]. VNIIMP.
- Shestakov, S. D. (2001). *Osnovy tekhnologii kavitacionnoj dezintegracii* [Fundamentals of cavitation disintegration technology]. Eva press.
- Shestakov, S. D., & Rogov, I. A. (2004). Suprathematic change in the thermodynamic equilibrium of water and aqueous solutions. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], (4), 9-13.
- Shestakov, S. D., Krasulya, O. N., Bogush, V. I., & Potoroko, I. Yu. (2013). *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitacionnoj dezintegracii* [Technology and equipment for processing food media using cavitation disintegration]. GIORD.
- Margulis, M. A. (1995). *Sonochemistry and cavitation*. Gordon & Breach.
- Thompson, L. K. (1999). Doraiswamy. Sonochemistry science and engineering. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38(4), 1215-1249.