

УДК 66.684

*Досліджено кінетику руйнування клітинних агломератів мікроорганізмів суспензії в умовах акустичної кавітації. Наші результати показують, що радіус органічних агломератів зменшується протягом озвучування і зростає концентрація окремих клітин у суспензії пропорційно до тривалості озвучування. Зменшення числа клітинних агломератів пов'язано із механічним руйнуванням кластерів великого розміру, утворенням окремих клітин мікроорганізмів і перетворенням енергії акустичної кавітації в агломератах*

*Ключові слова: клітинні агломерати, акустична кавітація, ультразвук, кластери, кінетика руйнування, руйнування клітин*

*Исследована кинетика распада клеточных агломератов микроорганизмов в условиях акустической кавитации. Наши результаты показывают, что радиус агломератов микроорганизмов уменьшается на протяжении озвучивания и увеличивается концентрация отдельных микроорганизмов в суспензии пропорционально времени озвучивания. Уменьшение числа клеточных агломератов связано с механическим разрушением больших кластеров, формированием отдельных клеток микроорганизмов и превращением энергии акустической кавитации в агломератах*

*Ключевые слова: клеточные агломераты, акустическая кавитация, ультразвук, кластеры, кинетика распада, разрушение клеток*

# ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА КЛЕТОЧНЫХ АГЛОМЕРАТОВ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ АКУСТИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

**В. Л. Старчевский**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*

E-mail: vstarch@polynet.lviv.ua

**В. М. Кисленко**

Доктор химических наук, профессор\*

**Н. Л. Максимив**

Старший лаборант\*

E-mail: maksymiv@rambler.ru

**Л. П. Олійник**

Доцент кафедры\*

E-mail: olijnik.lilianna@gmail.com

\*Кафедра общей химии

Национальный университет «Львовская политехника»  
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013

## 1. Введение

Современное качество воды стало серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья человека, поэтому актуальным стал поиск новых технологий, способных улучшить показатели качества воды. Альтернативой существующим методам водоочистки может стать использование ультразвука (УЗ) для очистки воды от химических и органических загрязнений воды, поскольку система очистки проста и отсутствуют побочные токсические продукты.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На сегодняшний день не существует единственной теории, которая объясняет бактерицидное действие ультразвука. С одной стороны, под действием физических, механических и химических процессов, которые являются результатом акустической кавитации, происходит разрушение клеточных агломератов в воде [1 – 4], с другой стороны, под влиянием ультразвука происходит ускорение развития культуры микроор-

ганизмов [5, 6]. Такие противоречивые литературные данные способствуют дальнейшему исследованию процессов, протекающих при ультразвуковой обработке воды, содержащей органические клеточные агломераты микроорганизмов.

## 3. Цель и задачи исследования

Данная работа посвящена изучению влияния ультразвука на кинетику распада органических клеточных агломератов микроорганизмов суспензии в условиях акустической кавитации. Для исследования использовали дисперсии сушеных хлебопекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* различных концентраций. Дисперсии готовили путем диспергирования навески дрожжей в 1 л дистиллированной воды в течение 2 часов до полного диспергирования и набухания дрожжевых клеток. Для акустической обработки использовали магнитострикционный облучатель, волновод которого опускался в экспериментальную смесь и был присоединен к УЗ генератору УЗДН-2Т. В работе был использован стеклянный реактор, объем дисперсии составлял 80 мл. Реактор бес-

прерывно охлаждался проточной водой. Частота УЗ – 22 кГц, температура 36 °С поддерживалась с точностью ±3 °С.

#### 4. Экспериментальные данные и их обработка

Как видно с рис. 1, радиус колоний клеточных микроорганизмов уменьшается под действием ультразвука в течение 30 минут.

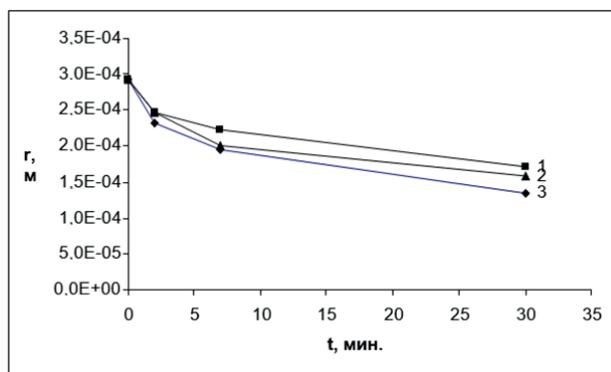


Рис. 1. Зависимость радиуса колоний от времени облучения ультразвуком для дисперсий бактерий с начальными концентрациями 8 (1), 4 (2) и 1,6 (3)

Количество агрегатов в системе рассчитывали по формуле:

$$N = c / (4/3\pi r^3 \rho) \quad (1)$$

где  $c$  – начальная концентрация диспергированной культуры микроорганизмов г/л;  $r$  – радиус колоний микроорганизмов, м;  $\rho$  – плотность культуры микроорганизмов 1/л.

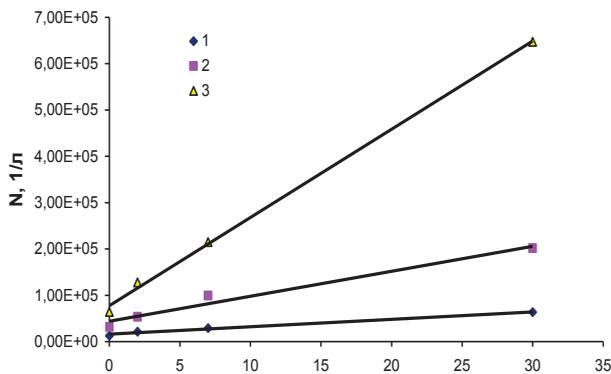


Рис. 2. Зависимость числа колоний бактерий от времени облучения ультразвуком при начальной концентрации бактерий 8 (1), 4 (2) и 1,6 (3)

На рис. 2 показано, что концентрация колоний микроорганизмов линейно растет во времени, что позволяет рассчитать скорость распада колоний на более мелкие. Следует отметить, что распределение концентрации колоний от количества первичных клеток в них хорошо описывается распределением Пуассона [10]:

$$P(k, \lambda) = \exp(-\lambda) \lambda^k / k! \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

где  $k = i - 1$ ,  $i$  – число первичных клеток в отдельной колонии;  $\lambda = n - 1$ ;  $n$  – среднее число клеток в колонии.

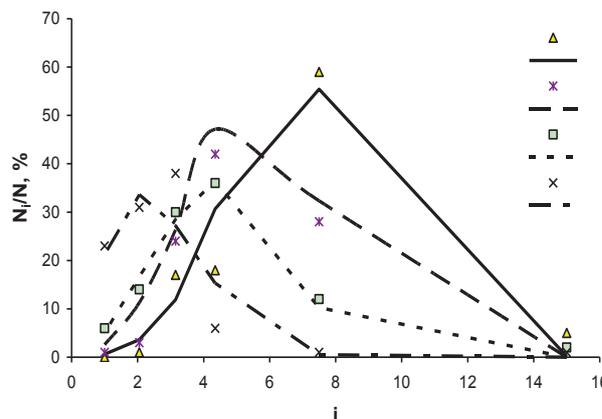


Рис. 3. Распределение количества колоний от количества бактерий в них. Точками обозначены экспериментальные данные после облучения активного ила ультразвуком в течение 0,5 (1), 1 (2), 3 (3) и 10 мин. (4), взятые из работы [9]. Кривые рассчитаны по распределению Пуассона в соответствии с уравнением (2)

Рис. 3 показывает, что под действием ультразвука максимум распределения смещается в сторону уменьшения количества клеток в колонии, а само распределение заметно сужается. Энергия кавитации расходуется на разрушение связей между частицами в агрегате, которая, очевидно, пропорциональна поверхности сегментов поверхности отдельных клеток, связывающих их с соседями в колонии. Поэтому в первом приближении можно полагать, что увеличение общей поверхности частиц в условиях кавитации будет пропорционально времени действия ультразвука, поскольку количество энергии, передаваемое системе, увеличивается практически пропорционально времени озвучивания:

$$dS_{об. св.} / dt = -K \cdot S_{об. св.}, \quad (3)$$

где  $S_{об. св.}$  – общая поверхность сегментов микроорганизмов, участвующих в связях между ними в колониях, м<sup>2</sup>.

Общая поверхность частиц, участвующих в образовании агрегатов, пропорциональна концентрации агрегатов в системе ( $N$ ) и поверхности, участвующей в связях между частицами в одном агрегате ( $S_{аг. св.}$ ):

$$S_{об. св.} = N \cdot S_{аг. св.} \quad (4)$$

Поверхность, участвующая в связях между частицами в одном агрегате, может быть описана уравнением:

$$S_{аг. св.} = (n - 1) S_{сег}, \quad (5)$$

где  $n$  – количество единичных клеток в колонии;  $S_{сег}$  – площадь сегмента частицы, участвующей в связях

между ними в колониях микроорганизмов. Среднее число частиц в одном агрегате рассчитано по формуле:

$$n = N_1/N, \quad (6)$$

где  $N_1$  – концентрация единичных клеток в системе, которая включает как единичные клетки в водной среде, так и единичные клетки в колониях, 1/л.

Принимая во внимание уравнение (4)-(6), получим выражение:

$$S_{\text{об. св.}} = N((N_1/N) - 1)S_{\text{сег.}} \quad (7)$$

Интегрируя выражение (3) и подставляя в него выражение (7), получим уравнение для изменения концентрации колоний в системе

$$\ln[(N_1 - N)/(N_1 - N_{\text{ин}})] = -Kt, \quad (8)$$

где  $N_{\text{ин}}$  – начальное число агрегатов в системе.

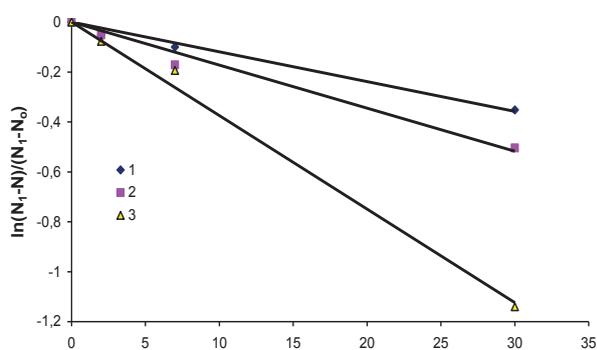


Рис. 4. Полулогарифмическая анаморфозная зависимость изменения концентрации колоний в системе от времени озвучивания при начальной концентрации бактерий 8 (1), 4 (2) и 1,6 (3)

Как видно с рис. 4, экспериментальные данные по распаду колоний клеток под действием ультразвука хорошо описывается уравнением (8). Зависимость константы скорости процесса от начальной концентрации агрегатов в системе свидетельствует о том, что порядок реакции по концентрации агрегатов в системе отличается от первого.

Для полного описания процесса, мы предположили, что при кавитации пузырьков в жидкости, колонии распадаются не только за счет их разрыва с образованием двух колоний, а при столкновении двух агрегатов с образованием четырех новых агрегатов за счет перераспределения энергии в них. Такой процесс можно описать выражением:

$$W = dN/dt = Kd_1N + Kd_2N^2. \quad (9)$$

Скорость изменения количества агрегатов в системе рассчитывали по зависимости количества агрегатов во времени (рис. 2). Преобразование уравнения (9) приводит к выражению:

$$W/N = Kd_1 + Kd_2 \cdot N. \quad (10)$$

Как видно из рис. 5, экспериментальные данные хорошо описываются выражением (10).

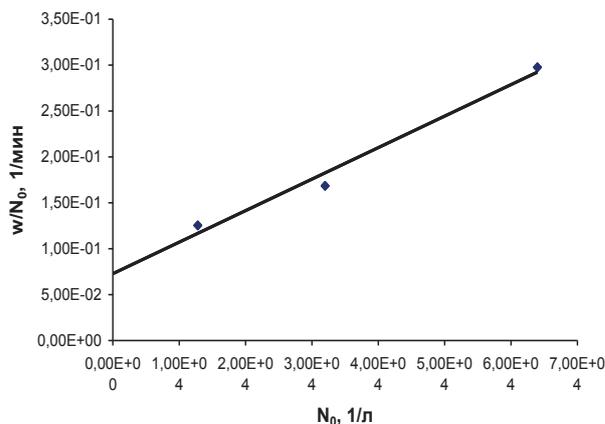


Рис. 5. Зависимость скорости изменения количества колоний в системе от начальной концентрации бактерий в координатах уравнения (10)

## 5. Выводы

Нами исследовано влияние ультразвука на кинетику распада органических клеточных агломератов микроорганизмов суспензии в условиях акустической кавитации. Полученные результаты показывают, что при использовании ультразвука для обработки дисперсий микроорганизмов количество агломератов микроорганизмов уменьшается на протяжении озвучивания и увеличивается концентрация отдельных микроорганизмов в суспензии пропорционально времени озвучивания. Исследование зависимости константы скорости процесса от начальной концентрации агрегатов в системе свидетельствует о том, что порядок реакции по концентрации агрегатов в системе отличается от первого. В результате исследований предложено уравнение, которое описывает процесс разрушения колоний клеток микроорганизмов под действием ультразвука.

## Литература

1. Iordache, I. Sonochemical enhancement of cyanide ion degradation from wastewater in the presence of hydrogen peroxide [Text] / I. Iordache // Polish Journal of Environmental Studies. – 2003. - Vol. 12, №6. - P. 735-737.
2. Шевчук, Л. И. Влияние ультразвука на химический та микробиологический стан воды [Текст] / Л. И. Шевчук, В. Л. Старчевский // Вопросы химии и химической технологии. - 2005. - №3. - С. 213-216.
3. Tsukamoto, I. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by ultrasonic irradiation [Text] / I. Tsukamoto // Ultrasonics Sonochemistry. – 2004. – Vol. 11. – P. 61-65.

4. Mohammad, H. D. Effectiveness of Ultrasound on the Destruction of E. coli [Text] / H. D. Mohammad // American Journal of Environmental Sciences. – 2004 - Vol. 1, № 3. – P. 187-189.
5. Chisti, Y. Sonobioreactors: using ultrasound for enhanced microbial productivity [Text] / Y. Chisti // Trends in Biotechnology. – 2003. -Vol. 21, №2. – P. 4-6.
6. Cao, X.Q. Experimental study of sludge reduction by ultrasound [Text] / X.Q Cao. //Water Science Technology – 2006. – Vol. 54, № 9. - P. 87-93
7. Tiehm, A. Ultrasonic waste activated sludge disintegration from improving anaerobic stabilization [Text] / A. Tiehm, K. Nickel, M. Zellhorn, U. Neis //Water Resources. – 2001. – Vol. 35, № 8. - P. 2003-2009.
8. Nasser, S. Determination of the ultrasonic effectiveness in advanced wastewater treatment [Text] / S. Nasser // Environmental Health Science Engineering - 2006. - Vol. 3, №2. - P. 109-116.
9. Sangave, P. C. Ultrasound and enzyme assisted biodegradation of distillery wastewater [Text] / P.C. Sangave, A.B. Pandit // Journal of Environmental Management. – 2006, Vol. 80.- Issue 1. - P. 36-46.
10. Nilsun, H. I. Aqueous Phase Disinfection with Power Ultrasound: Process Kinetics and Effect of Solid Catalysts [Text] / H. I. Nilsun, R. Belen // Environmental Science Technology. – 2001. – Vol. 35, №9.- P. 1885–1888.

*У статті сформульовані проблеми інтенсивного використання земель сільськогосподарського призначення, що приводять до розвитку деградаційних процесів. Відображена необхідність автоматизації ряду етапів розробки проектів землеустрою для забезпечення еколого-економічного обґрунтування сівозмін і впорядкування територій.*

*Розглянуте використання геоінформаційного моделювання для створення геообразження еколого-технологічних груп орних земель, що враховує потенційну небезпеку прояву ерозійних процесів та інтенсивність використання земель*

*Ключові слова: еколого-технологічні групи земель, геоінформаційне моделювання, сівозміна, база геопросторових даних*

*В статье сформулированы проблемы интенсивного использования земель сельскохозяйственного назначения, ведущие к развитию деградационных процессов. Отображена необходимость автоматизации ряда этапов разработки проектов землеустройства для обеспечения эколого-экономического обоснования севооборотов и упорядочения угодий.*

*Рассмотрено использование геоинформационного моделирования для создания геообразжения эколого-технологических групп пахотных земель, учитывающих потенциальную опасность проявления эрозионных процессов и интенсивность использования земель*

*Ключевые слова: эколого-технологические группы земель, геоинформационное моделирование, севооборот, база геопространственных данных*

УДК 528.92

# РАЗРАБОТКА ПРОЕКТОВ ЗЕМЛЕ- УСТРОЙСТВА ПО ОБОСНОВАНИЮ СЕВООБОРОТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМА- ЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**С. С. Кохан**

Доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой\*

E-mail: GIS\_DZZ\_chair@nubip.edu.ua

**И. Н. Шквир**

Ассистент\*

E-mail: GIS\_DZZ\_chair@nubip.edu.ua

**А. А. Москаленко**

Ассистент\*

E-mail: an\_moskalenko@yahoo.com

\*Кафедра геоинформационных  
систем и технологий

Национальный университет биоресурсов и  
природопользования Украины

вул. Героев Оборони, 15, м. Киев, Украина, 03041

## 1. Введение

Интенсивное использование земель сельскохозяйственного назначения, несоблюдение технологий воз-

делывания культур, недостаточное финансирование работ по рациональному использованию земельных ресурсов привело к их истощению. Негативное антропогенное воздействие проявилось, прежде всего,