

МЕХАНИЗМ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БИОПЛЕНКООБРАЗОВАНИЮ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Н.В. Вдовина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Приводятся результаты теоретического исследования по установлению механизма противодействия биопленкообразованию микроорганизмов при использовании микроволнового излучения природного происхождения. При использовании модели микроволнового излучения в виде непрерывной последовательности частотно-модулированных сигналов рассмотрены основные физические процессы, лежащие в основе противодействия биопленкообразованию. Доказывается, что моделированное широкополосное излучение СВЧ-диапазона может блокировать образование условно-патогенными микроорганизмами внеклеточного матрикса. Результаты проведенного исследования подтверждают гипотезу об эволюционной природе управляющей роли широкополосного микроволнового излучения на процессы жизнедеятельности организмов. Они открывают реальные перспективы снижения персистентного потенциала микроорганизмов и повышения эффективности лечения бактериальных инфекций.

Ключевые слова: широкополосное микроволновое излучение, микроорганизмы, биопленки, радиовибрационный эффект.

Введение

При рассмотрении возможного механизма противодействия биопленкообразованию микроорганизмов при использовании микроволнового излучения природного происхождения необходимо обратить внимание как на морфологические особенности биопленок, так и на амплитудные и частотно-временные характеристики указанного излучения.

Биопленки представляют собой высокоупорядоченные сообщества бактерий, формирующиеся на биологических или искусственных поверхностях в результате адгезии, последующего роста и размножения микроорганизмов, сопровождающегося образованием поверхностной оболочки и внеклеточного матрикса [1, 2]. В состав поверхностной оболочки и матрикса биопленок входят белки, полисахариды, липиды и нуклеиновые кислоты. При этом только 5–35 % массы биопленки определяют бактерии, остальная часть представлена межбактериальным матриксом.

Что касается основных характеристик микроволнового излучения природного происхождения, на примере микроволнового излучения Солнца, ограничимся лишь тем, что это излучение является низкоинтенсивным, широкополосным и сложно модулированным как по амплитуде, так и по несущей частоте.

Механизм противодействия биопленкообразованию микроорганизмов

На основании вышеизложенного следует, что при оценке модифицирующего действия на биопленку ЭМИ с указанными характеристиками необходимо учитывать его дисперсионные свойства при распространении и особенности по пространственному и временному перераспределению поглощаемой биопленкой энергии излучения.

Общее выражение, описывающее в направлении распространения x пространственную неоп-

ределенность Δx в распределении зон поглощения ЭМИ биоструктурой с учетом наличия неопределенности волнового вектора Δk , имеет вид¹ [3]:

$$\psi(\Delta x, \Delta k) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(x) \cdot \dot{S}^*(x - \Delta x) \cdot e^{j\Delta k \cdot x} dx. \quad (1)$$

В этом выражении $\dot{S}(x) = A(x) \exp[j\varphi_s(x)]$ – комплексная амплитуда сигнала, в записи которой функция $A(x)$ – описывает амплитудную модуляцию сигнала, а $\varphi_s(x)$ – фазовую и частотную модуляции.

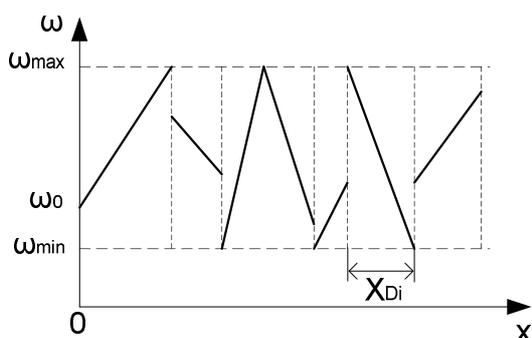


Рис. 1. Частотная структура микроволнового излучения природного происхождения

Если принять во внимание модель микроволнового излучения природного происхождения при его распространении в виде последовательности непрерывных дискрет X_{Di} с характерным изменением несущей частоты (рис. 1) [4], то можно указать на возможность следующих эффектов взаимодействия указанного излучения с биоструктурой.

Первый из них связан с тем, что в сложно дисперсионной среде отдельные участки волнового процесса, частотные характеристики которого окажутся согласованными с дисперсионными свойствами биосреды, будут подвергнуты «сжатию» с концентрацией большей части энергии в интервале X_c (рис. 2).

Коэффициент «сжатия» волнового процесса, равный отношению $K_c = X_D / X_c$, определяется протяженностью волнового процесса, на котором его частотно-временные характеристики согласованы с дисперсионными свойствами среды распространения. При этом область концентрации энергии волнового процесса и его амплитудные значения в направлении распространения будут зависеть от степени согласованности со средой распространения (см. рис. 2).

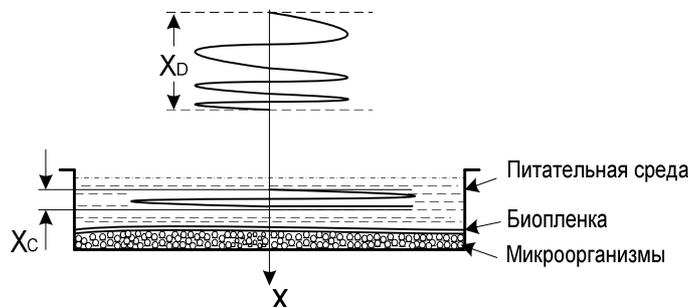


Рис. 2. Пояснение к описанию «сжатия» волнового процесса

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в сложно дисперсионной среде при распространении ЭМИ, представляющего собой непрерывную последовательность волновых пакетов с линейной частотной модуляцией, будет происходить возникновение нерегулярных амплитудных пульсаций $q(t, x)$ протяженностью X_{ci} (рис. 3)

$$q(t, x) = Q(x) \cos(\omega_0' t - kx), \quad (2)$$

где $Q(x) > A$ – амплитуда пульсаций, которая зависит от текущего значения коэффициента сжатия K_c .

При оценке размеров зон поглощения необходимо учитывать, что в среде распространения частота колебаний увеличивается и в выражении (2) $\omega_0' = \omega_0 \sqrt{\varepsilon}$, где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

¹ Точка над символами комплексных амплитуд сигналов указывает на комплексную форму их представления; символ «звездочка» означает комплексно-сопряженную форму записи.

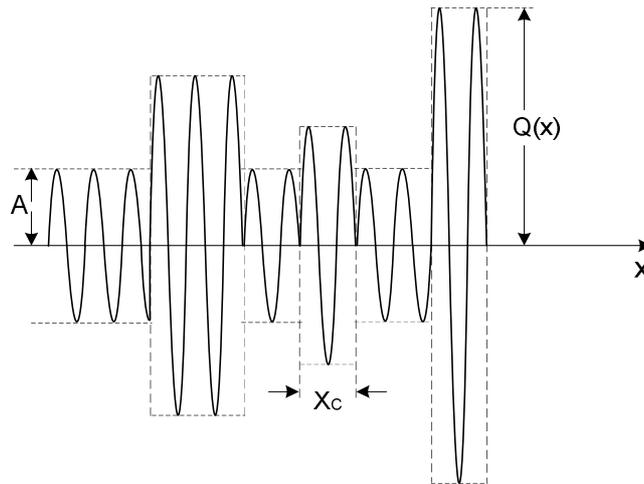


Рис. 3. Модификация амплитуд волнового процесса

Часть энергии рассматриваемого волнового процесса будет расходоваться не только на нагрев биотканей в локальной области её концентрации, но и на возбуждение упругих колебаний, которые, радиально распространяясь, будут оказывать механическое воздействие на структурные элементы биологических тканей.

Возможность возбуждения упругих колебаний в биоструктурах можно показать при использовании модели атома, согласно которой внешний электрон рассматривается в виде шарового облака радиусом R [5].

Сила, вызывающая отклонение колебания электрона от плоскости изменения вектора напряженности электрического поля \mathbf{E} электромагнитной волны (сила Лоренца), может быть определена из выражения

$$\mathbf{F}_{лi} = (-e)(\mathbf{v} \times \mu_0 \mathbf{H}_i), \quad (3)$$

где e – заряд электрона; \mathbf{v} – вектор скорости электрона; μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость; \mathbf{H}_i – вектор напряженности магнитного ЭМИ.

Указанная сила (рис. 4) будет оказывать механическое воздействие на другие атомы. Её пульсирующий характер будет способствовать возбуждению в биологических структурах упругих колебаний со средней интенсивностью [5]

$$I = (\Omega_{cp}^2 \cdot \rho \cdot X_0^2 \cdot u) / 2, \quad (4)$$

где Ω_{cp} – средняя частота низкочастотных амплитудных пульсаций электромагнитной волны; ρ – плотность биологической ткани; X_0 – амплитуда упругих колебаний; u – скорость распространения упругих колебаний.

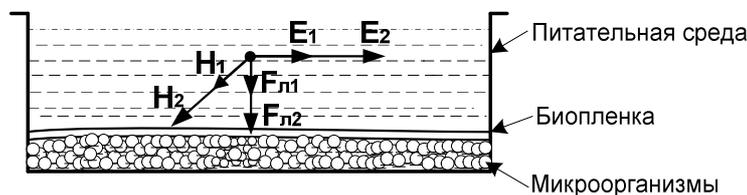


Рис. 4. Пояснение процесса возбуждения упругих колебаний

Результатом возбуждения упругих колебаний может стать противодействие процессу биопленкообразования микроорганизмами и их пространственному разобщению.

Рассмотренный выше механизм противодействия биопленкообразованию микроорганизмов при использовании микроволнового излучения природного происхождения отражает физические процессы преобразования электромагнитной энергии в механическую и раскрывает сущность «радиовибрационного» эффекта [6], обусловленного внешним электромагнитным фактором.

Адекватность рассмотренного механизма реальным процессам следует из результатов экспериментального исследования воздействия моделированного низкоинтенсивного микроволнового

излучения Солнца в диапазоне частот 4,0–4,3 ГГц на формирование пленочной структуры золотистого стафилококка (рис. 6) и кишечной палочки (рис. 8) [7].

В эксперименте с золотистым стафилококком (см. рис. 6) в сравнении с контролем (рис. 5) наблюдается ослабление процесса образования внеклеточного матрикса, его деструктуризация (в правой части микроскопии (см. рис. 6)). На это указывает область темного цвета и клетки бактерии, свободные от матрикса.

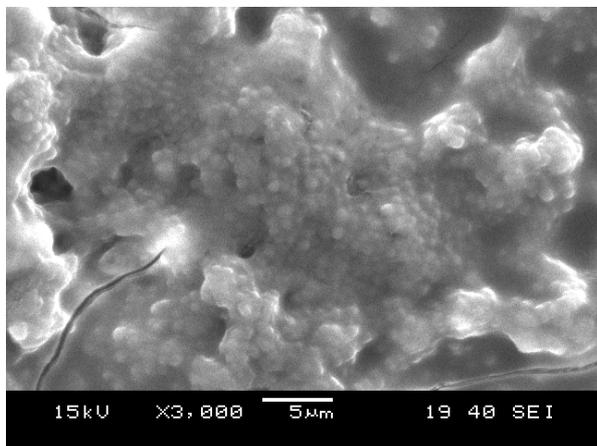


Рис. 5. Электронная микроскопия контрольного образца золотистого стафилококка

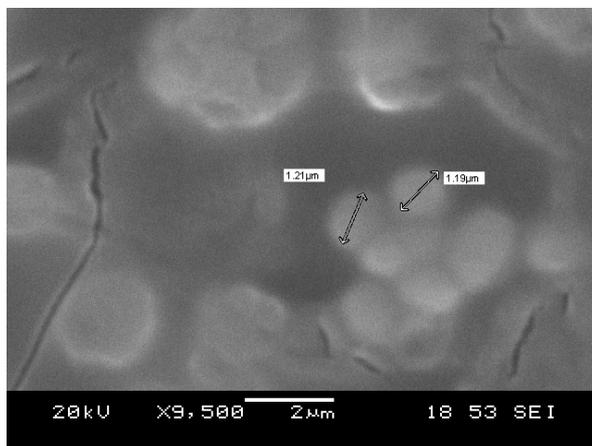


Рис. 6. Электронная микроскопия опытного образца золотистого стафилококка

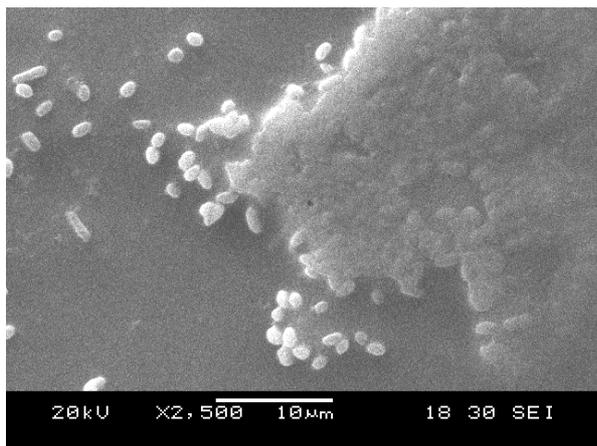


Рис. 7. Электронная микроскопия контрольного образца кишечной палочки

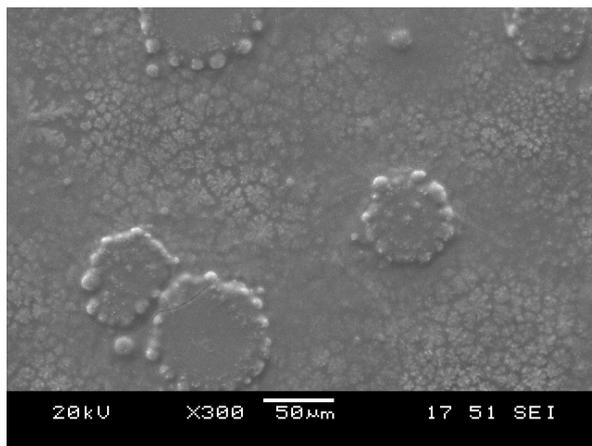


Рис. 8. Электронная микроскопия опытного образца кишечной палочки

Более значимый эффект наблюдается в сравнении с контролем (рис. 7) в эксперименте с кишечной палочкой. На представленной фотографии (см. рис. 8) видно, что примененное электромагнитное воздействие на кишечную палочку инактивировало процесс формирования биопленки. На фоне кристаллов питательной среды визуализируется снижение общего количества микробных клеток и полное отсутствие внеклеточного матрикса.

Обобщая все вышеизложенное, а именно: процесс и условия образования матрикса и его свойства, радиовибрационный эффект [6] и результаты приведенных микроскопий (см. рис. 6, 8) опытных образцов условно-патогенных микроорганизмов (золотистый стафилококк и кишечная палочка), можно гипотетически указать основную закономерность механизма развития резистентных свойств микроорганизмов и ослабления их под воздействием микроволновых излучений природного происхождения.

В основе этой закономерности лежит тот факт, что интенсивное образование биопленок микроорганизмов есть результат нарушения в них определенного баланса метаболических процессов синтеза полисахаридов и их расщепления в пользу первых. Нарушение этого баланса напрямую связано с воздействием на микроорганизмы негативных факторов как эндогенного, так и (или)

экзогенного происхождения. Под воздействием этих факторов происходит угнетение микроорганизмов, сопровождающееся снижением их двигательной активности, и как следствие, инактивацией их сахаролитических ферментов. «Перепроизводство» полисахаридов, из которых состоит биопленка, – это защитная реакция микроорганизмов, повышающая их резистентность.

В этих условиях для ослабления процесса биопленкообразования необходимо повысить двигательную активность микроорганизмов. Это можно сделать на основе ЭМИ природного происхождения, создающего в клеточных структурах рассмотренные выше вибрации, под воздействием которых будет происходить расщепление клеточных структур микроорганизмов на более мелкие составляющие. Индуцированная таким образом двигательная активность микроорганизмов будет сопровождаться активацией их сахаролитических ферментов для обеспечения движения необходимой энергией, нормализацией метаболических процессов синтеза и расщепления полисахаридов. Из вышеизложенного следует, что восстановление двигательной активности микроорганизмов под воздействием ЭМИ природного происхождения является основой ослабления резистентных свойств микроорганизмов.

Заключение

Результаты проведенного теоретического исследования и вышеописанных составляющих механизма биопленкообразования и противодействия ему указывают на правомерность идеи о высокоэффективной управляющей роли широкополосных микроволновых излучений на процессы жизнедеятельности организмов [8]. При этом такое управление, как следует из представленных микроскопий (см. рис. 6, 8), касается не только противодействия биопленкообразованию и пространственного разобщения микроорганизмов, но и других процессов, непосредственно связанных с их размножением, изменением биохимических свойств и др.

Механизмы влияния микроволнового излучения природного происхождения на процессы размножения микроорганизмов и изменения их ферментативной активности в настоящее время являются малоизученными разделами современной микробиологии. Необходимы экспериментальные исследования. При этом важным является проведение сравнительной оценки указанного влияния на микроорганизмы ЭМИ как природного, так и антропогенного происхождения.

Литература

1. Costerton, J.W. *Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections* / J.W. Costerton, P.S. Stewart, E.P. Greenberg // *Science*. – 1999. – 284. – 1318–1322.
2. Романова, Ю.М. *Бактериальная биоплёнка как естественная форма существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина* / Ю.М. Романова, А.Л. Гинцбург // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. – 2011. – № 3. – С. 99–109.
3. *Modern aspects of construction of information microwave therapy devices* / S. Darovskih, E. Popechitelev, N. Vdovina, I. Novikov // *Natural Science*. – 2013. – No. 5. – P. 1230–1237. – <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.512150>.
4. Даровских, С.Н. *Основы построения устройств информационной электромагнитной терапии* / С.Н. Даровских. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ. – 2011. – 138 с.
5. Орир, Дж. *Физика: в 2 т. / Дж. Орир*. – М.: Мир, 1981. – 622 с.
6. Даровских, С.Н. *О новом механизме взаимодействия клеточных структур организма с электромагнитными полями и излучениями* / С.Н. Даровских, Н.В. Вдовина, И.В. Новиков // *Актуальные вопросы развития науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф.: в 6 ч. / отв. ред. А.А. Сукиасян*. – Уфа: БашГУ, 2014. – С. 82–85.
7. *Simulated Solar Microwave Radiation Blocks the Formation of Biofilms* / Y.S. Shishkova, S.N. Darovskih, N.L. Pozdnyakova et al. // *Natural Science*. – 2015. – No. 7. – P. 127–131. – <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2015.7301>.
8. *Информационно-волновая концепция противодействия электромагнитному загрязнению окружающей среды и другим негативным факторам антропогенного происхождения* / С.Н. Даровских, А.А. Разживин, Ю.И. Кудряшова, М.Е. Кузнецов // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 2008. – № 11. – С. 20–28.

Вдовина Надежда Владимировна, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; nadzh@yandex.ru.

Поступила в редакцию 19 мая 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150307

THE MECHANISM OF COUNTERACTION TO BIOFILM FORMATION OF MICROORGANISMS BY MICROWAVE RADIATION OF NATURAL ORIGIN

N.V. Vdovina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, nadzh@yandex.ru

The article presents the results of the theoretical study of the determination of the mechanism of the counteraction to microbial biofilm formation by using microwave radiation of natural origin. The main physical processes which are the cornerstone of counteraction to biofilm formation are considered when using a model of microwave radiation in the form of continuous sequence of frequency-modulated signals.

It is proved that the simulated broadband microwave radiation can block the formation of extracellular matrix by opportunistic pathogens. The results of this study support the hypothesis of the evolutionary nature of the supervisory role of broadband microwave radiation on vital processes of organisms. It opens up the real perspective for decrease of persistent potential of microorganisms and improvement of the effectiveness of bacterial infections treatment.

Keywords: broadband microwave radiation, microorganisms, biofilm, radio vibration effect.

References

1. Costerton J.W., Stewart P.S., Greenberg E.P. Bacterial Biofilms: a Common Cause of Persistent Infections. *Science*, 1999, 284, pp. 1318–1322.
2. Romanova Ju.M., Gincburg A.L. [Bacterial Biofilm as a Natural Form of Existence of Bacteria in the Environment and the Host Organism]. *Journal of Epidemiology and Microbiology, Immunobiology*, 2011, no. 3, pp. 99–109. (in Russ.)
3. Darovskikh S., Popechitelev E., Vdovina N., Novikov I. Modern Aspects of Construction of Information Microwave Therapy Devices. *Natural Science*, 2013, no. 5, pp. 1230–1237. Available at: <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.512150>. DOI: 10.4236/ns.2013.512150
4. Darovskikh S.N. *Osnovy postroeniya ustroystv informatsionnoy elektromagnitnoy terapii* [Fundamentals of Building of Information Electromagnetic Therapy Devices]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011, 138 p.
5. Orir J. *Fizika. V 2-kh tomakh* [Physics. In 2 Volumes]. Moscow, Mir Publ., 1981. 622 p.
6. Darovskikh S.N., Vdovina N.V., Novikov I.V. [A New Mechanism of Interaction between the Cellular Structures of the Organism with Electromagnetic Fields and Radiation]. *Aktual'nye voprosy razvitiya nauki: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. of the International Scientific and Practical Conference "Topical Issues of Science Development"]. Ufa, Bashkir State University, 2014, pp. 82–85.
7. Shishkova Y.S., Darovskikh S.N., Pozdnyakova N.L., Vdovina N.V., Komarova I.A., Shishkova E.V. and Vodyanitskiy E.V. Simulated Solar Microwave Radiation Blocks the Formation of Biofilms. *Natural Science*, 2015, no. 7, pp. 127–131. Available at: <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2015.73014>. DOI: 10.4236/ns.2015.73014

8. Darovskih S.N., Razzhivin A.A., Kudryashova Yu.I., Kuznetsov M.E. [Information-Wave Concept Counteract Electromagnetic Pollution and Other Negative Factors of Anthropogenic Origin]. *Bio-medical radio electronics*, 2008, no. 11, pp. 20–28. (in Russ.)

Received 19 May 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Вдовина, Н.В. Механизм противодействия биопленкообразованию микроорганизмов при использовании микроволнового излучения природного происхождения / Н.В. Вдовина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 50–56. DOI: 10.14529/ctcr150307

FOR CITATION

Vdovina N.V. The Mechanism of Counteraction to Biofilm Formation of Microorganisms by Microwave Radiation of Natural Origin. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 50–56. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150307