

УДК 577.31+577.342

ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ¹

С. А. Вызулин², В. И. Вызулина³, Д. И. Крыцин⁴

EFFECT OF THE ACTION OF RADIATION MAGNETOSTATIC WAVES ON BIOLOGICAL ACTIVITY OF MICROORGANISMS

Vyzulin S. A., Vyzulina V. I., Krytsin D. I.

For the first time the opportunity of controlling the leaven growth process by means of a qualitatively new mechanism, i.e. radiation magnetostatic waves, has been shown experimentally. It has been proved that the speed of gain of microorganisms biomass can be raised or lowered by varying the parameters of radiation. The results obtained can be applied to develop fundamentally new and environmentally appropriate technologies in agroindustrial complex as well as pharmacology and medicine.

Введение

Вопросы влияния внешних воздействий на биологические объекты интересовали человечество с доисторических времен. Задачи создания новых экологически чистых биотехнологий, поставленные перед наукой в конце XX в., придали дополнительный импульс исследованиям в этой области. Известно большое число работ, посвященных изучению эффектов действия различных по физической природе видов облучения (звукового, оптического, рентгеновского, радиоволнового) на биологические свойства живых объектов. В частности, установлено, что внешние воздействия электромагнитной природы могут существенно влиять на жизнедеятельность биологических объектов. Например, облучение постоянным магнитным полем приводит к ускорению логарифмической фазы роста бак-

терий в 1,2–2 раза, т.е. к более высокому приросту биомассы по сравнению с кинетикой развития клеток в отсутствие магнитного поля [1]. Воздействие электромагнитных волн крайне высоких частот может приводить к подавлению биологического роста дрожжей — удельная скорость роста уменьшается на 20–30% [2]. Основным интерес в исследованиях влияний электромагнитных излучений на физико-химическую кинетику в конденсированных средах биологического происхождения сконцентрирован на изучении эффектов действия либо только статических полей, либо обычных электромагнитных возбуждений (радиоволн). Целью настоящей работы является изучение влияния на биологическую активность дрожжей специфического типа сверхвысокочастотного излучения электромагнитной природы — магнитостатических волн (МСВ).

¹Работа выполнена при поддержке администрации Краснодарского края и РФФИ р2003юг (03-04-96789Р), гранта Президента РФ (НШ-2107-2003.1).

²Вызулин Сергей Александрович, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры радиофизики и радиоэкологии Кубанского государственного университета.

³Вызулина Виктория Игоревна, начальник отдела Краснодарского центра стандартизации, метрологии и сертификации.

⁴Крыцин Данил Иванович, аспирант кафедры радиофизики и радиоэкологии Кубанского государственного университета.

1. Микроорганизм — сложный колебательный контур

В природе, в технологических процессах, в биологических опытах и т.п. микроорганизмы встречаются, как правило, в виде колоний. Для того чтобы повысить, либо наоборот, подавить биологическую активность колонии микроорганизмов, необходимо оказать воздействие на значительную часть отдельных особей. В отдельности микроорганизм представляет собой достаточно сложный биологический объект, который можно рассматривать как сложный колебательный контур с большим числом степеней свободы. Возбуждение вынужденных колебаний в микроорганизме может привести к смещению по пространственной координате отдельных компонентов клетки относительно друг друга и, как следствие этого, изменению режима его работы как биологического объекта, т.е. к изменению его биологической активности. Для того чтобы возбудить резонанс в микроорганизме, необходимо, чтобы пространственный период (длина волны) внешнего воздействия был сопоставим с его размерами, имел величину порядка десятков — сотен микрон. По этому критерию наиболее перспективным является использование в качестве источника внешнего воздействия излучения магнитостатических волн.

МСВ можно классифицировать как один из видов электромагнитных возмущений [3]. Эти волны возбуждаются в ферромагнетиках и ферритах. Длина волны таких возмущений, по сравнению с «обычными» радиоволнами такой же частоты, существенно меньше (на два — четыре порядка).

Для МСВ характерно преобладание магнитной составляющей поля над электрической. Последнее представляется важным в силу следующих причин. Многие живые системы обладают феноменальной чувствительностью к электромагнитным полям. Наиболее очевидным следствием взаимодействия внешних полей с биосистемами является их нагрев. В то же время известно, что биомембраны обладают магнитными свойствами. По некоторым данным [4] для участка мембраны площадью 1 см^2 и толщиной около 1 нм индуктивность составляет порядка десятых долей Генри. Указанный факт позволяет предположить возможность реализации более тонкого — нетеплового механизма взаимодействия

излучения МСВ с биологическими объектами вообще и с микроорганизмами в частности.

2. Методика эксперимента

Облучению подвергались сухие дрожжи. Объект исследований — хлебные и винные дрожжи. Воздействие осуществлялось при различных значениях напряженности постоянного поля подмагничивания. Мощность МСВ была порядка нескольких десятков — сотен микроватт. Время экспозиции составляло от 10 до 60 мин. После облучения дрожжи помещались в питательную среду, представляющую собой 3% раствор сахара в воде. Исследование влияния излучения на биологическую активность микроорганизмов производилось по критерию изменения относительной скорости прироста биомассы в процессе роста дрожжей по сравнению с контрольным (необлученным) образцом. Метод контроля — фотометрический. Измерения проводились с помощью оригинальной автоматизированной лабораторной установки, позволяющей получать временные зависимости изменений относительного объема биомассы в процессе роста дрожжей. Дискретность сбора информации не хуже $0,01 \text{ с}$, что позволяло наблюдать быстротекающие динамические события в процессе роста. Весь эксперимент проводился в течение от 3,5 до 7 ч с момента размещения пробирки с исследуемым образцом в установке.

3. Эффект действия

Эффект действия излучения, создаваемого магнитостатическими волнами, на биологическую активность микроорганизмов вообще и дрожжей, в частности, ранее не наблюдался. Поэтому необходимо было экспериментально убедиться в самом факте влияния высокочастотных магнитных возбуждений на биологические объекты.

С этой целью наблюдались изменения относительного объема биомассы в процессе роста дрожжей для образцов контрольного (необлученного), облученного только постоянным магнитным полем и облученного МСВ. Напряженность постоянного поля подмагничивания была равна 740 Э . Воздействие осуществлялось в течение 15 минут всем спектром возбуждаемых МСВ. Полу-

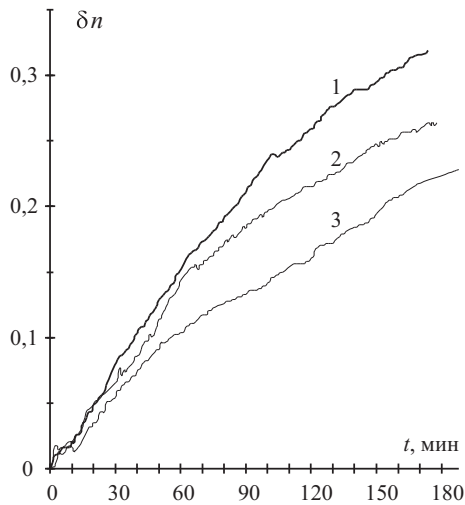


Рис. 1.

ченные экспериментальные временные зависимости δn — относительного изменения (в процессе роста) концентрации биомассы микроорганизмов продемонстрированы на рис. 1 ($\delta n = \Delta n/n_0$, где Δn — прирост биомассы; n_0 — первоначальная концентрация дрожжей; t — время; $t = 0$ в момент начала роста дрожжей в растворе с питательной смесью; кривые: 1 — контрольный образец; 2 — образец, облученный только постоянным магнитным полем; 3 — образец, облученный МСВ). Сравнительный анализ представленных результатов однозначно свидетельствует, что облучение МСВ изменяет биологическую активность дрожжей. Влияние проявляется в изменении относительной скорости прироста биомассы как по сравнению с контрольным образцом, так и по сравнению с образцом, облученным только постоянным магнитным полем.

4. Влияние параметров облучения

Облучение МСВ носит характер комбинированного воздействия, обусловленного одновременным существованием постоянного (без которого магнитоэлектрические волны не существуют) и сверхвысокочастотного магнитных полей. Его характер определяется достаточно большим числом параметров. Например, постоянное магнитное поле характеризуется напряженностью, а переменное магнитное поле — частотой, длиной волны, интенсивностью и т.д. Кроме того, на результат воздей-

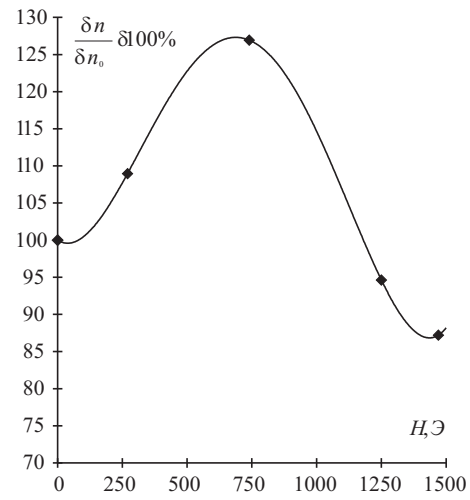


Рис. 2.

ствия может влиять время экспозиции (облучения).

Изучено влияние на эффект действия величины напряженности поля подмагничивания H , длины МСВ λ и времени облучения T .

4.1. Напряженность поля подмагничивания

Исследуемые образцы облучались МСВ при различных значениях напряженности постоянного поля подмагничивания. Воздействие осуществлялось всем спектром возбуждаемых МСВ. Время экспозиции равнялось 15 минутам. Зависимость относительного изменения объема биомассы $\delta n/\delta n_0$ (δn_0 — относительный прирост для контрольного образца) при $t = 50$ мин от напряженности поля подмагничивания показана на рис. 2.

Установлено, что при облучении хлебных дрожжей всем спектром возбуждаемых МСВ с увеличением напряженности статического поля подмагничивания на интервале от 200 до 800 Э скорость роста дрожжей повышается, а на интервале от 800 до 2000 Э — понижается. Для напряженности статического поля подмагничивания от 200 до 1000 Э скорость роста облученных дрожжей больше, чем скорость роста контрольного (необлученного) образца, а при поле больше 1000 Э — меньше. Увеличение скорости роста, по сравнению с контрольным образцом, может достигать величины порядка 25%. Уменьшение — 15%. Качественно аналогичная зависимость наблюдается и для винных дрожжей.

4.2. Длина волны

Одним из параметров, которым характеризуются магнитостатические возбуждения, является величина длины волны. Для того чтобы оценить величину этой характеристики, можно воспользоваться дисперсионным уравнением Дэймона-Эшбаха [3]

$$\omega^2 = (\omega_H + \frac{\omega_M}{2})^2 - (\frac{\omega_M}{2})^2 \exp(-2kd), \quad (4.1)$$

где $\omega = 2\pi f$; $\omega_H = \gamma H$; $\omega_M = 4\pi\gamma M$; k — волновое число МСВ; d — толщина ферритового слоя; f — частота; γ — гиромагнитное отношение; H — напряженность постоянного поля подмагничивания; M — намагниченность.

Из (4.1) следует формула для расчета волнового числа

$$k = -\frac{1}{2d} \ln \frac{(\omega_H + \frac{\omega_M}{2})^2 - \omega^2}{(\frac{\omega_M}{2})^2}. \quad (4.2)$$

Волновое число связано с длиной волны соотношением

$$\lambda = 2\pi/k. \quad (4.3)$$

Из приведенных формул видно, что при постоянных d , γ , H и M величина длины МСВ λ убывает с ростом ее частоты f . Следовательно, изменяя частоту возбуждений при постоянной величине напряженности поля подмагничивания, мы можем управлять параметром λ .

В работе исследовано влияние величины длины МСВ на повышение или подавление биологической активности.

В первом случае облучение осуществлялось при напряженности поля подмагничивания 740 Э в частотных интервалах: а) от 3900 до 4000 МГц; б) от 4000 до 4100 МГц; в) от 4100 до 4200 МГц. Интервалы изменений длины волны равны, соответственно: а) 3,6–1,6 мм; б) 1,6–1,0 мм; в) 1,0–0,66 мм. (При вычислении λ по формулам (4.2) и (4.3) использовались следующие значения параметров: $d=40$ мкм; $\gamma=2,8$ МГц/Э; $4\pi M=1750$ Гс). Время экспозиции равнялось 15 мин.

Влияние длины МСВ на относительный (по сравнению с контрольным образцом) прирост биомассы для хлебных дрожжей при $t=150$ мин проиллюстрировано на рис. 3. (Целочисленный параметр N соответствует, в порядке возрастания, режимам: контрольному; облучению только постоянным магнитным полем; облучению МСВ с λ от 3,6 до 1,6 мм, от 1,6 до 1,0 мм и 1,0–0,66 мм).

Для хлебных дрожжей максимальный эффект действия наблюдался при облучении МСВ с пространственным периодом в интервале от 1,6 до 1 мм (частотный диапазон — 4,0–4,1 ГГц). Относительное увеличение объема биомассы по сравнению с контрольным образцом через 1,5 ч с момента начала роста равнялось примерно 300%.

Влияние величины λ при бактерицидном действии излучения МСВ исследовалось при напряженности поля подмагничивания 1470 Э. Изучены ситуации, когда интервалы изменений длины МСВ волн равны: а) 29,9–2,0 мм; б) 2,0–0,9 мм; в) 0,9–0,5 мм; г) 0,5–0,26 мм. Частоты изменялись в диапазонах: а) 6,1–6,2 ГГц; б) 6,2–6,3 ГГц; в) 6,3–6,4 ГГц; г) 6,4–6,5 ГГц.

Эффект действия на относительный (по сравнению с контрольным образцом) прирост биомассы для винных дрожжей для различных режимов облучения при $t=150$ мин, продемонстрирован на рис. 4. (Целочисленный параметр N соответствует, в порядке возрастания, режимам: контрольному; облучению только постоянным магнитным полем; облучению МСВ с λ в интервалах 29,9–2,0 мм, 2,0–0,9 мм, 0,9–0,5 мм и 0,5–0,26 мм).

Из рисунка видно, что эффект действия существенным образом зависит от величины λ . В частности, с уменьшением длины волны скорость роста дрожжей сначала понижается, достигая минимального значения на интервале от 3,0 до 1,0 мм, а затем повышается. Для образцов, облученных в диапазоне частот от 6,1 до 6,3 ГГц, скорость роста винных дрожжей меньше, чем скорость роста контрольного (необлученного) образца. Иными словами, в результате воздействия наблюдается эффект подавления биологической активности микроорганизмов. По сравнению с контрольным (необлученным) образцом достигнуто подавление скорости роста дрожжей на величину порядка 20–25%.

5. Время экспозиции

Из ряда исследований [5, 6] известно, что длительность облучения электромагнитными волнами либо лазерным излучением может существенно влиять в дальнейшем на биологическую активность исследуемого образца. Поэтому в настоящей работе было изучено влияние времени облучения магнитостатиче-

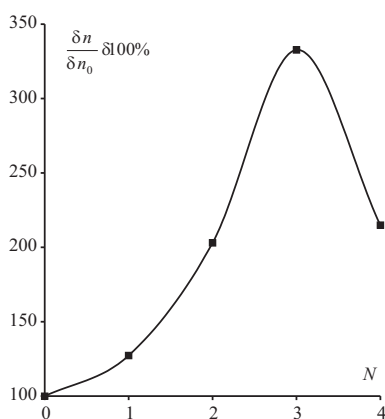


Рис. 3.

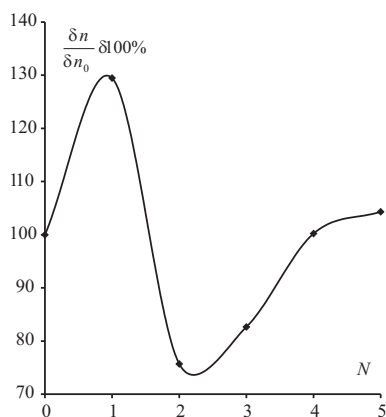


Рис. 4.

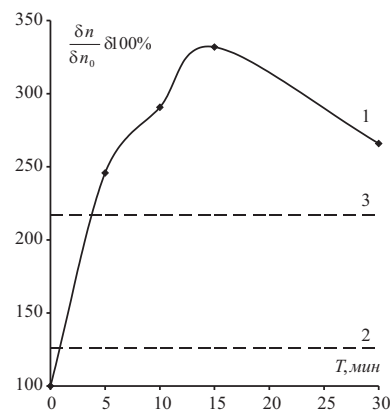


Рис. 5.

скими волнами на изменение биологической активности дрожжей.

Исследование влияние времени облучения МСВ на изменение биологической активности хлебных дрожжей осуществлялось при напряженности поля подмагничивания 740 Э в диапазоне частот от 4000 до 4100 МГц (величина пространственного периода волны в интервале от 1,6 до 1 мм). Время экспозиции было равно 5, 10, 15 и 30 мин. В двух первых случаях образцы до облучения сверхвысоко-частотным магнитным излучением подвергались предварительному воздействию в течение 10 и 5 мин постоянного магнитного поля соответственно. При такой методике облучения эффект действия постоянного магнитного поля одинаков и может быть учтен при дальнейшем анализе.

График, иллюстрирующий зависимость прироста биомассы от времени экспозиции (по истечению 150 мин после начала роста дрожжей), представлен на рис. 5. Для сравнения на этом же рисунке представлены в виде горизонтальных прямых значения $\delta n/\delta n_0$ для об-

разцов, подвергнутых облучению только постоянным магнитным полем в течение 15 и 30 мин (кривые 2 и 3 соответственно).

Полученные результаты позволяют предположить, что, оптимизируя параметры МСВ, можно усилить результирующий эффект.

6. Сравнение с эффектом действия миллиметровых волн

Сравнительный анализ полученных результатов и данных по изучению влияния на живые организмы монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн нетепловой интенсивности [5] позволяет сделать вывод — воздействие МСВ волн на микроорганизмы не менее эффективно. В частности, в первом случае по сравнению со вторым: 1) примерно в 1,5–6 раза больше величина параметра, характеризующего изменение скорости прироста биомассы по сравнению с контрольным (необлученным) образцом; 2) существенно меньше

(не менее, чем в 10–20 раз) время облучения (время экспозиции), необходимое для достижения количественно близкого результирующего эффекта.

Заключение

Экспериментально впервые показана возможность управления процессом роста дрожжей с помощью качественно нового механизма — коротковолнового сверхвысокочастотного магнитного излучения. Варьируя параметры излучения, можно как повышать, так и понижать скорость прироста биомассы микроорганизмов. По сравнению с контрольным (необлученным) образцом достигнуто увеличение скорости роста дрожжей на величину порядка 300%, а уменьшение — на 25 %. Установлено, что результирующий эффект влияния облучения на биологическую активность дрожжей можно усилить, оптимизируя параметры излучения.

В настоящее время затруднительно дать полную оценку перспектив возможного практического применения полученных результатов. Однако уже сейчас ясно, что возможность управления биологической активностью микроорганизмов позволит создать

принципиально новые, более эффективные (чем ныне существующие) технологии в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса, в фармакологии и в медицине.

Литература

1. Макаревич А. В. Влияние магнитных полей магнитоластов на процессы роста микроорганизмов // Биофизика. 1999. Т. 44. В. 1. С. 7–74.
2. Голант М. Б., Кузнецов А. П., Божанова Т. П. О механизме синхронизации культуры дрожжевых клеток КВЧ-излучением // Биофизика. 1994. Т. 39. В. 3. С. 490–495.
3. Вашковский А. В., Стальмахов В. С., Шараевский Ю. П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1993. 312 с.
4. Бецкий О. В., Кислов В. В. Волны и клетки. М.: Знание, 1990. 20 с.
5. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991. 168 с.
6. Кау Т. Н., Каледа Г. Е., Летохов В. С., Лобко В. В. Зависимость биологического действия низко интенсивного видимого света на клетки Hela от когерентности, дозы, длины волны и режима облучения // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. С. 1761–1767.