

УДК 577.31+577.342

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЦИКЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДРОЖЖЕЙ¹

Вызулин С. А.², Крыцын Д. И.³

THE ACTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON BIOLOGICAL ACTIVITY AND LEAVEN SYNCHRONIZATION CYCLES

Vyzulin S. A., Krytzy D. I.

The action of parameters of the magnetostatic wave radiation (wave length, density of power stream and radiation time) on the change in biological activity and duration of leaven synchronization cycles was investigated. The action was carried out under the strength of constant bias field 1380 Oe. The research resulted in the following assumptions: 1) the dependence of biomass gain speed on the radiation parameters has the resonant character; 2) the radiation parameters have an action on the duration of synchronization cycles; 3) during the slow-down of cell division speed, the duration of leaven synchronization cycles is increased and vise versa.

Keywords: leaven, shortwave super high frequency radiation, action effect, biological activity, cycles duration.

Введение

В работе [1] исследовано влияние крайне высокочастотного (КВЧ) излучения на синхронные микроорганизмы (дрожжи). Синхронными называют микроорганизмы, имеющие практически одинаковую длительность цикла развития между последовательными делениями. В процессе выращивания дрожжей происходит смещение моментов деления клеток относительно друг друга, в результате чего через несколько циклов наступает полная десинхронизация.

Внешнее излучение влияет не только на биологическую активность, но и на длительность циклов деления дрожжей. Биологическая активность определяется скоростью деления микроорганизмов. Было установлено, что в ходе относительно кратковременного (в разных условиях от нескольких десятков минут до двух часов) воздействия когерентным сигналом нетепловой интенсивности (плотность потока мощности 0,25 мВт/см²) от внешнего источника КВЧ-излучений с дли-

ной волны 6,5 мм различия в длительности цикла деления для разных клеток практически устранялись. Длительность цикла между последовательными делениями синхронизированных клеток зависит от частоты синхронизирующих колебаний. Наличие этой зависимости говорит о влиянии частоты на происходящие в клетке процессы (на длительность цикла влияют практически все внутриклеточные процессы). Управлять процессом роста дрожжей можно также с помощью специфического излучения электромагнитной природы — излучения магнитостатической волны (МСВ) [2]. Установлено, что при облучении хлебных дрожжей всем спектром возбуждаемых магнитостатических волн при напряженности статического поля подмагничивания в интервале от 200 до 1200 Э скорость роста дрожжей повышается, а в интервале от 1200 до 2000 Э — понижается. Для напряженности статического поля подмагничивания от 200 до 1200 Э скорость роста облученных дрожжей больше, чем скорость ро-

¹Работа выполнена при поддержке администрации Краснодарского края и РФФИ (03-04-96789 Р).

²Вызулин Сергей Александрович, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой нанотехнологий и наносистем Кубанского государственного университета; e-mail: vsa@ftf.kubsu.ru.

³Крыцын Данил Иванович, младший научный сотрудник научно-исследовательской части Кубанского государственного университета; e-mail: vsa@ftf.kubsu.ru.

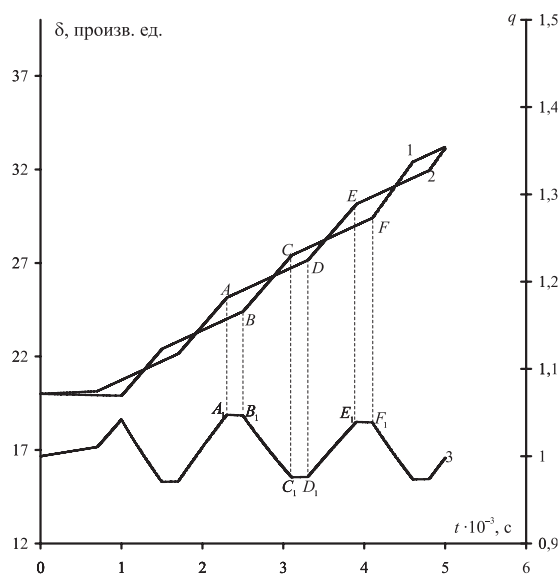


Рис. 1

ста контрольного (необлученного) образца, а при поле, большем 1200 Э — меньше.

Целью данной работы является изучение влияния параметров магнитостатического излучения (длины волны, мощности облучения) и времени экспозиции на биологическую активность и длительность циклов синхронизации дрожжевой культуры. В работе предложен метод определения длительности циклов синхронизации дрожжей.

1. Методика эксперимента

Влияние сверхвысокочастотного магнитного излучения на биологическую активность микроорганизмов исследовалось на примере хлебных дрожжей. Облучение дрожжей МСВ осуществлялось экспериментальной установкой [3], с помощью которой можно было варьировать параметры излучения (длину МСВ — λ и плотность потока мощности P). Облучению подвергались сухие дрожжи. В дальнейшем эти дрожжи помещались для проращивания в питательную среду, представляющую собой 3% раствор сахара в воде.

Изучение влияния излучения на биологическую активность исследуемых микроорганизмов проводилось 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 контроля роста биомассы [4]. Дискретность сбора информации не менее 1 с, что позволяло наблюдать быстропротекающие события в процессе роста. Контроль роста проводился в течение 14 ч с момента размещения дрожжей в питательном растворе.

2. Метод определения длительности циклов деления

Процесс роста дрожжей представляет собой чередование замедлений и ускорений делений клеток. Временные зависимости относительного изменения концентрации микроорганизмов — δ ($\delta = \Delta n/n$, где Δn — прирост биомассы и n — первоначальная концентрация дрожжей) имеют чередование вогнутостей вверх и вниз. Вогнутости определяют временные отрезки, на которых происходит замедление или ускорение роста клеток. Чередование вогнутостей для реального процесса роста микроорганизмов слабо выражено на графике зависимости $\delta(t)$, где t — время, отсчитываемое с момента начала роста дрожжей.

На рис. 1 показаны идеализированные временные зависимости $\delta_1(t)$ и $\delta_2(t)$ для двух процессов синхронного деления клеток (кривые 1 и 2, соответственно), смещенных по времени относительно друг друга. По оси абсцисс отложено время роста культуры t . По оси ординат слева — относительная концентрация δ (для кривых 1 и 2), справа — параметр $q = \delta_1/\delta_2$ (для кривой 3).

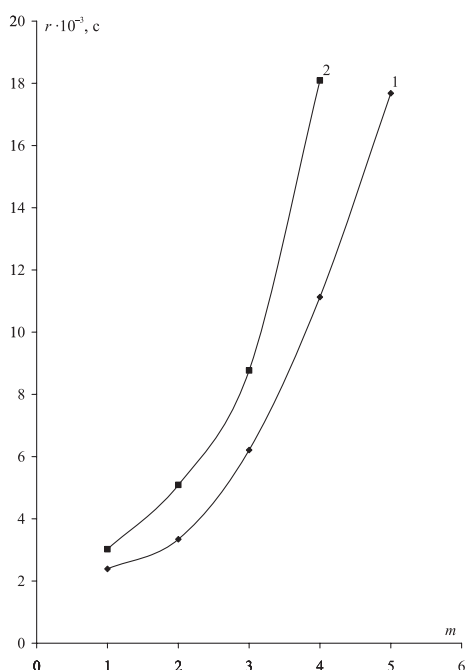


Рис. 2

В моменты изменения направления вогнутостей на кривых 1 и 2, на кривой 3 появляются экстремумы. Соответствующие точки кривых 1, 2 и 3 соединены пунктирными линиями. Чередование максимумов и минимумов на кривой 3 разрешимы лучше, чем точка перегиба на кривых 1 и 2. Видно, что длительность циклов деления клеток можно определять по расстоянию между ближайшими значениями минимумов или максимумов на кривой 3. Для первого процесса длительность цикла размножения дрожжей определяется двумя соседними точками на кривой $\delta_1(t)$ (например, точками А и Е), вогнутости в которых направлены вниз, и равна расстоянию между пунктирными линиями AA_1 и EE_1 . Для второго процесса период синхронизации деления клеток определяется двумя ближайшими точками на кривой $\delta_2(t)$, вогнутости в которых направлены вверх (например, точки В и F) и равен расстоянию между пунктирными линиями BB_1 и FF_1 .

Воспользуемся описанным выше способом для оценки периодов синхронизации в реальных процессах деления клеток. В качестве первого процесса (опорного) возьмем деление дрожжей контрольного (необлученного) образца; в качестве второго — образца, облученного излучением МСВ в диапазоне 6,1–6,15 ГГц при величине поля подмагничивания 1380 Э.

Зависимость длительности периодов синхронизации клеток τ первого и второго процесса роста дрожжей от номера цикла деления m продемонстрирована на рис. 2. Видно, что длительность циклов деления микроорганизмов увеличивается в процессе роста дрожжей и представляет собой зависимость, близкую к экспоненциальной $\tau = ae^{bm}$, где a и b — константы. Действие облучения приводит к увеличению периода синхронизации дрожжей (по сравнению с контрольным образцом).

3. Влияние параметров облучения

Облучение МСВ принципиально носит характер комбинированного воздействия, обусловленного одновременным существованием постоянного (без которого магнитостатические волны не существуют) и сверхвысокочастотного магнитных полей.

В работе изучено влияние длины МСВ — λ , мощности излучения — P и времени облучения — T на скорость деления микроорганизмов — δ и длительность циклов синхронизации — τ при напряженности статического поля подмагничивания 1380 Э (в этой ситуации наблюдается подавление биологической активности дрожжей [5]).

Значения параметра λ для граничных значений частот

f , ГГц	5,85	5,90	5,95	6,00	6,05	6,10	6,15	6,20	6,25	6,30
λ , мм	8,16	2,93	1,70	1,14	0,83	0,62	0,47	0,35	0,25	0,14

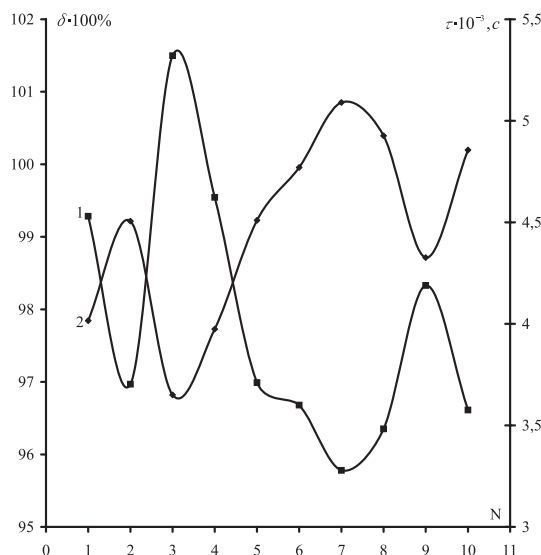


Рис. 3

3.1. Влияние длины волны

Влияние длины МСВ на биологическую активность дрожжей исследовалось при постоянном уровне падающей мощности и времени экспозиции. Эти параметры были равны соответственно 0,2 мкВт и 15 мин. Длина волны задавалась путем установки частоты внешнего СВЧ излучения. Изучены ситуации, когда облучение осуществлялось в диапазоне частот от 5,85 до 6,3 ГГц с шагом 0,05 ГГц. Оценка параметра λ для граничных значений частот проведена по формуле Дэймона-Эшбаха [6] и представлена в таблице.

На рис. 3 продемонстрированы зависимости относительного прироста биомассы и длительности циклов деления дрожжей от режима облучения. По оси абсцисс отложен целочисленный параметр N . Порядок соответствия: $N = 0$ — контрольный образец; $N = 1 \div 9$ — образцы, облученные в диапазоне частот от 5,85 до 6,30 ГГц с шагом 0,05 ГГц (величину длины волны см. по таблице). По оси ординат слева показана относительная концентрация микроорганизмов в процессе роста δ при $t = 10\,000$ с (кривая 1), справа — длительность второго цикла деления клеток τ (кривая 2). При $t = 10\,000$ с процесс роста дрожжей соответствует второму циклу деле-

ния. Видно, что с уменьшением длины волны от 3 мм и до 0,5 мм (увеличением частоты МСВ излучения от 5,9 до 6,15 ГГц) наблюдается постепенное замедление скорости деления клеток. Максимальный биологический эффект подавления скорости роста наступает при облучении МСВ с длиной волны 0,5–0,6 мм ($N=6$, диапазон частот 6,1–6,15 ГГц). Дальнейшее уменьшение λ приводит к увеличению скорости прироста биомассы. Изменение длины волны на 0,8 % приводит к существенному изменению результата. Это обстоятельство свидетельствует о том, что зависимость биологической активности от длины волны МСВ излучения, действующего на клетки, носит острорезонансный характер. Наблюдается также зависимость длительности циклов дрожжей от пространственного периода излучения. С уменьшением длины волны от 3 мм и до 0,5 мм (увеличением частоты МСВ излучения от 5,9 до 6,15 ГГц) наблюдается увеличение длительности циклов деления клеток. При дальнейшем уменьшении λ длительность циклов синхронизации уменьшается.

Сопоставление кривых 1 и 2 (рис. 3) указывает на наличие связи скорости деления клеток с длительностью циклов синхронизации. С увеличением периодов синхронизации

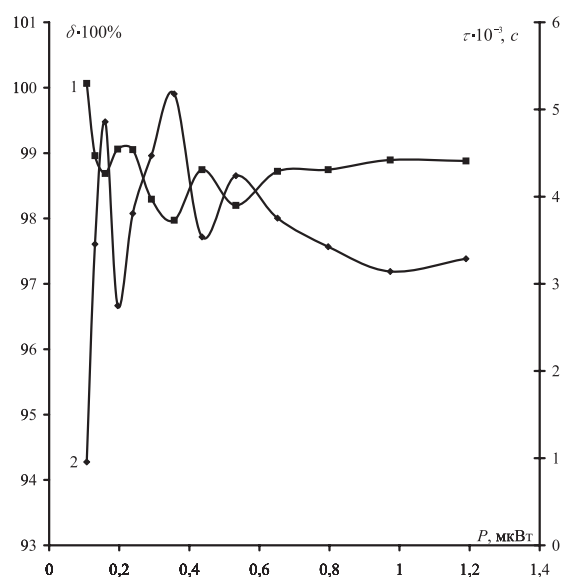


Рис. 4

происходит замедление деления дрожжей и наборот.

3.2. Влияние мощности излучения

Зависимость эффекта нетеплового действия КВЧ электромагнитного излучения от плотности потока мощности наиболее полно исследована для колициногенного штамма *E. Coli* C600 (e1) [7]. Показано, что при увеличении плотности потока мощности от 0,001 до 0,01 мВт/см² эффект возрастал и достигал максимального значения, не изменяющегося даже при 10 мВт/см². Данная зависимость была подтверждена результатами исследований влияния миллиметровых волн на индуцибельный синтез пенициллина у *Staph. Aureus* [8].

Мощность облучения влияет и на процесс синхронизации деления клеток. На это обстоятельство косвенно указывают эксперименты [1] по изучению эффектов действия частотно-модулированного КВЧ излучения. Установлено, что с возрастанием амплитуды частотной модуляции для обеспечения синхронизации клеток необходимы все большие потоки излучаемой энергии.

Влияние мощности излучения магнито-статических волн исследовано в диапазоне частот от 6,1 до 6,15 ГГц (длина волны от 0,62 до 0,47 мм), время экспозиции равно 15 мин. Уровень падающей мощности варьировался от 0,11 до 1,19 мкВт и в каждом опыте был постоянным.

Графики зависимости относительной концентрации исследуемых микроорганиз-

мов и длительности периода синхронизации клеток от уровня падающей мощности представлены на рис. 4. По оси абсцисс отложена мощность излучения P . По оси ординат слева — относительная концентрация микроорганизмов в процессе роста δ при $t = 10\,000$ с (кривая 2), справа — длительность второго цикла деления дрожжей τ (кривая 1). При $t = 10\,000$ с процесс роста дрожжей соответствует второму циклу деления. С увеличением уровня падающей мощности от 0,17 до 0,36 мкВт наблюдается постепенное уменьшение δ , а затем — увеличение относительной концентрации дрожжей. Это обстоятельство говорит о том, что эффект действия излучения носит резонансный характер.

Из рис. 4 видно, что с увеличением δ происходит уменьшение τ и наоборот. Зависимость длительности циклов синхронизации дрожжей от мощности излучения так же, как и биологической активности, имеет на интервале от 0,17 до 0,36 мкВт резонансный характер.

3.3. Влияние времени экспозиции

В [8] отмечено, что при малом времени облучения (≤ 15 мин) биологических систем эффект действия КВЧ излучения часто практически не обнаруживается. С увеличением T влияние облучения на биологическую активность микроорганизмов возрастает и становится экспериментально наблюдаемым. Однако при значительном увеличении времени экспозиции эффект действия излучения достигает некоторой предельной величины и

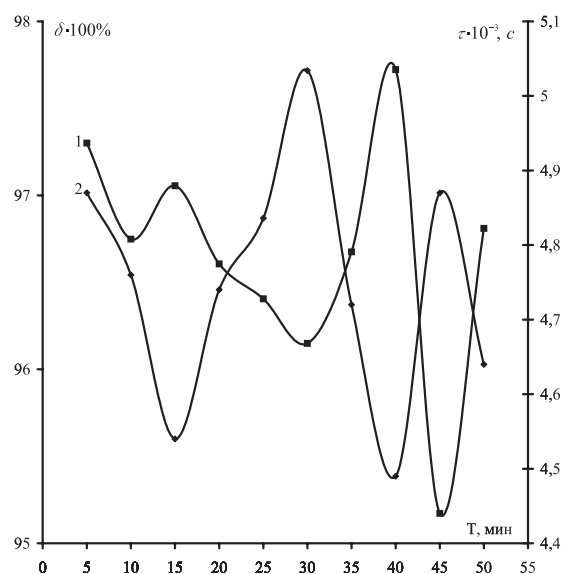


Рис. 5

поддерживается на этом уровне с ростом времени облучения. Иногда при продолжительном облучении эффект воздействия может уменьшаться.

В работе [1] было исследовано влияние длительности облучения на процесс синхронизации дрожжей. Установлено, что для сохранения эффекта синхронизации линейные изменения времени облучения можно компенсировать экспоненциальным изменением потока энергии, облучающего синхронную культуру.

Влияние времени экспозиции МСВ излучения на биологическую активность и длительность циклов синхронизации дрожжей исследовалось при облучении клеток в диапазоне частот от 6,1 до 6,15 ГГц, уровень падающей мощности равен 0,2 мкВт, длительность облучения изменялась от 5 до 50 мин.

Графики зависимости относительной концентрации исследуемых микроорганизмов и длительности периода синхронизации клеток от времени экспозиции излучения представлены на рис. 5. По оси абсцисс отложено время экспозиции T . По оси ординат — слева относительная концентрация микроорганизмов в процессе роста δ при $t = 10\,000$ с (кривая 1), справа — длительность второго цикла деления бактерий τ (кривая 2). При $t = 10\,000$ с процесс роста дрожжей соответствует второму циклу деления. Из рисунка видно, что длительность облучения влияет на оба исследуемых параметра. Минимальной скорости деления клеток соответствует максимальная длительность циклов синхро-

низации. С увеличением времени экспозиции от 15 до 30 мин происходит постепенное подавление биологической активности дрожжей. Дальнейшее увеличение времени облучения (35 и 40 мин) приводит к увеличению биологической активности микроорганизмов. Зависимость эффекта подавления прироста биомассы от времени экспозиции МСВ излучения является резонансной. Резонансный характер имеет и зависимость длительности циклов синхронизации от времени экспозиции. Максимальный эффект действия излучения наблюдается одновременно у обоих параметров при времени экспозиции 30 мин.

4. Заключение

Изучено влияние параметров магнитостатического излучения (длины волны, мощности облучения) и времени экспозиции на биологическую активность и длительность циклов синхронизации дрожжевой культуры при напряженности постоянного поля подмагничивания 1380 Э. Установлено, что:

1) длина волны, плотность потока мощности и время облучения МСВ излучения влияют на биологическую активность и длительность циклов синхронизации дрожжей;

2) при замедлении деления дрожжей происходит увеличение периодов синхронизации и наоборот;

3) зависимости относительной концентрации и длительности циклов синхронизации дрожжей от длины волны, плотности потока

мощности и времени облучения МСВ излучения носят резонансный характер.

Литература

1. *Голант М. Б.* О проблемах резонансного действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн на живые организмы // *Биофизика*. 1989. Т. 34. В. 2. С. 339–348.
2. *Вызулин С. А., Вызулина В. И.* Влияние излучения магнитостатических волн на биологическую активность микроорганизмов // *Новые магнитные материалы микроэлектроники: Сборник трудов XIX международной школы-семинара*. М., 2004. С. 277–279.
3. *Вызулин С. А., Вызулина В. И., Крыцын Д. И.* Влияние коротковолнового сверхвысокочастотного магнитного излучения на биологическую активность микроорганизмов // *Наука Кубани*. 2004. Т. 3. Ч. 1. С. 41–44.
4. *Вызулин С. А., Крыцын Д. И.* Разработка аппаратного и программного комплекса снятия и обработки результатов наблюдения динамических процессов роста дрожжей // *Со-
временное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: Тез. докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов. Просвещение-Юг*. 2004. Т. 2. С. 97.
5. *Вызулин С. А., Крыцын Д. И.* Подавление биологической активности микроорганизмов излучением магнитостатической волны // *Процессы и явления в конденсированных средах: Материалы Межд. дистанционной научн.-практ. конф. Краснодар. 27 сентября 2004. 2005. Краснодар: Изд-во Кубан. гос. ун-та*. С. 184–191.
6. *Damon R. W., Eshbach J. R.* Magnetostatic modes of ferromagnet slab // *J. Phys. Chem. Solids*. 1961. Vol. 19. № 3/3. P. 308–320.
7. *Виленская Р. Л., Смолянская А. З., Гельвич Э. А. и др.* О характере воздействия миллиметрового излучения на синтез колицина // *Научн. докл. высш. школы. Биол. науки*. 1972. № 7. С. 69–71.
8. *Смолянская А. З., Гельвич Э. А., Голант М. Б. и др.* Резонансные явления при действии электромагнитных волн миллиметрового диапазона на биологические объекты // *Успехи современной биологии*. 1979. Т. 87. В. 3. С. 381–392.

Ключевые слова: дрожжи, коротковолновое сверхвысокочастотное магнитное излучение, эффект действия, биологическая активность, длительность циклов.