

Влияние обработки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* миллиметровыми волнами на показатели сбраживания в технологии производства биоэтанола

А. В. Якунов^а, А. И. Нижельская^а, Л. В. Маринченко^б,
В. А. Маринченко^с, В. А. Макара^а

^аУчебно-научный центр «Физико-химическое материаловедение»
Киевского университета им. Тараса Шевченко и НАН Украины,
ул. Владимирская, 64, г. Киев-33, 01033, Украина,
e-mail: yakunov@univ.kiev.ua, aljona.nizhelska@gmail.com

^бНациональный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»,
пр. Победы, 37, г. Киев-56, 03056, Украина, e-mail: lolitamar@ukr.net

^сНациональный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, г. Киев-33, 01601, Украина

В технологии производства биоэтанола рассмотрено воздействие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона (ЭМИ ММД) на технoхимические показатели сбраживания мелассного сула облученными засевными дрожжами. Экспериментально определены оптимальные параметры облучения в диапазоне 53–55 ГГц культуры дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* М-09. В спиртовой бражке повысилось (по сравнению с контролем) накопление биомассы, спирта, количество выделенного диоксида углерода. Одновременно уменьшилось количество несброженных углеводов. Эффект от действия ЭМИ ММД на засевные дрожжи сохранялся примерно в течение четырех пересевов дрожжей и постепенно слабел, что может быть связано с адаптацией *Saccharomyces cerevisiae* к влиянию внешних факторов.

Ключевые слова: ЭМИ ММД, биоэтанол, дрожжи, брожение.

УДК 577.3.04

ВВЕДЕНИЕ

Современный интерес к биоэнергетике как альтернативному пути получения энергии стимулировал поиски новых источников возобновляемой биомассы и новых методов биотехнологии. Существенная роль здесь отводится различным микроорганизмам. Так, дрожжи рассматривают как продуценты биоэтанола, микроводоросли – липидов для биодизеля, бактерии – биоагенты для деградации органических продуктов (тонкой химической ферментации). Для увеличения продуктивности применяют различные методы стимуляции роста и ускорения метаболических процессов у микроорганизмов. Один из таких методов предусматривает обработку биоматериала электромагнитным излучением миллиметрового диапазона (ЭМИ ММД).

Эффекты воздействия слабоинтенсивного ЭМИ ММД на живые клетки обнаружены почти полвека назад [1–3]. Исследовано достаточно много биологических объектов (бактерий, простейших, одноклеточных грибов, тканевых клеток), на которых в той или иной степени проявлялось воздействие ЭМИ ММД. Вероятно, наиболее перспективными в смысле достоверной восприимчивости к слабоинтенсивным волнам миллиметрового диапазона следует считать культуру дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*). Результаты классических экспе-

риментов Грюндлера и Кальмана [4] неоднократно воспроизводились в различных модификациях. В частности, нами подтверждены значения частот, облучение которыми способно ускорять или угнетать рост клеток [5–7], порядок величины пороговой мощности, оказывающей биологическое воздействие [8]. Есть данные о «резонансном» действии на дрожжи других частот ЭМИ ММД [9, 10]. Полученные результаты позволяют говорить о перспективах практического использования облучения в биотехнологии.

Цель данной работы – исследование влияния нетеплового электромагнитного излучения в диапазоне частот 53–55 ГГц на производственную культуру спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* расы М-09. Рассмотрены генеративная активность культуры и важные для технологии биоэтанола технoхимические показатели сбраживания мелассного сула. Проверено сохранение изменений в этих показателях при последующих пересевах облученной культуры. Полученные результаты обсуждаются в рамках концепции резонансной биостимуляции волнами миллиметрового диапазона.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводили с культурой спиртовых дрожжей *S. cerevisiae* расы М-09, которая отличается высокой регенеративной способно-

стью и осмофильностью [11]. Для приготовления образцов чистую культуру, выросшую в пробирке со скошенным агаром, пересеивали в пробирку со стерильным меласным сусликом с концентрацией сухих веществ (СВ) 10% и инкубировали 24 ч при +30°C. Содержимое пробирки переносили в колбу со стерильным сусликом (23% СВ) и сбраживали его 24 ч, после чего дрожжи отфильтровывали, разводили стерильной водой в пропорции 1:10 и охлаждали в термостате до +4°C. Отсутствие питательных веществ в среде и охлаждение повышают чувствительность клеток к воздействию слабого внешнего поля [12].

Облучение культуры проводили высокочастотным генератором Г4-142. Дискретность установки частоты составляла 0,01 ГГц. Излучение от генератора через волновод с помощью рупора подавали снизу на плоское дно стеклянной конической колбы с дрожжевой суспензией. Предварительно дрожжи осаждались ровным слоем толщиной около 0,3 мм, оптимальной с точки зрения волнового согласования с выходным излучателем (рупором) [13]. Мощность падающего и отраженного излучения через направленные ответвители контролировали измерителем М3-22А. Согласование отвечало минимуму отраженной энергии ЭМИ. Расчетная средняя объемная плотность поглощенной мощности в слое клеток составляла порядка 10^{-12} Вт на клетку, что в несколько раз превышает пороговое значение эффективной мощности [8].

Облучение проводили на нескольких частотах в диапазоне 53–55 ГГц. Активность этого диапазона экспериментально подтверждена в работе [9]. Для исследования выбраны частоты 53,77; 54,17; 54,20 и 54,57 ГГц.

Экспозиция составляла 10 мин, что является оптимальным для стимуляции культуры [7]. Облученные и контрольные образцы дрожжей использовали для сбраживания меласного суслика (23% СВ) методом «броидильной пробы» [14] в колбах с сернокислыми затворами при +30°C в течение 72 ч.

Эффекты воздействия ЭМИ ММД на культуру *S. cerevisiae* оценивали по ряду технoхимических показателей [11, 14]. Динамику выделения диоксида углерода и концентрацию биомассы дрожжей после фильтрации определяли весовым методом [15]. Содержание этанола в зрелой бражке измеряли рефрактометрическим методом, а несброженных углеводов (сахаров) – фотоэлектроколориметрическим методом с резорциновым реактивом [16]. Биомассу дрожжей определяли после фильтрации весовым методом. Общее количество дрожжевых

клеток и количество мертвых клеток (с окрашиванием суспензии метиленовым синим) в 1 см³ среды вычисляли методом прямого подсчета в камере Горяева [14]. Количество примесей в бражном дистилляте – методом газовой хроматографии на хроматографе Agilent technologies 6890N с пламенно-ионизационным детектором.

Полученные данные обрабатывали с помощью методов математической статистики. Оценка достоверности различий проводилась с помощью *t*-критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05. Опыты проводили, как минимум, в трех повторностях для каждой серии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нашими предыдущими исследованиями были установлены полоса «активных» частот ЭМИ ММД – 41,75–41,78 ГГц, облучение которыми засевных дрожжей приводило к стимуляции роста дрожжевых культур *Saccharomyces cerevisiae* и уменьшению несброженных сахаров в зрелой бражке, и оптимальная продолжительность облучения для обработки образцов суспензии – 8–10 мин [5, 7, 17].

Представляется важным проверить влияние ЭМИ ММД других известных «активных» частот [9] на параметры жизнедеятельности облученной дрожжевой культуры.

В табл. 1 приведены показатели генеративной активности дрожжей, облученных на разных частотах, по отношению к контролю (всего выполнено 10 серий экспериментов). Время облучения составило 10 мин.

Исследования генеративной активности дрожжей показало значимый эффект увеличения биомассы и клеток при облучении засевных дрожжей на частоте 54,20 ГГц. Процентное соотношение этих показателей отличается, поскольку клетки могут иметь разную массу на разных стадиях роста. Если учесть, что облучение засевных дрожжей на частоте 54,20 ГГц приводит к увеличению скорости деления, то понятно, что накопление биомассы оказывается меньше, чем клеток. Об увеличении генеративной активности свидетельствует и снижение количества мертвых клеток.

С практической точки зрения целесообразно было исследовать возможные метаболические изменения, которые непременно происходят в живых клетках, реагирующих на ЭМИ ММД. В табл. 2 приведены сравнительные технoхимические показатели зрелой бражки, полученной с использованием дрожжей, облученных на разных частотах, по отношению к контролю (всего выполнено 10 серий экспериментов). Время облучения составляло 10 мин.

Таблица 1. Показатели генеративной активности дрожжей, облученных вблизи 54 ГГц

Частота, ГГц	Клетки, млн/см ³	Изменение к контролю, %	Биомасса, г/дм ³	Изменение к контролю, %	Мертвые клетки, %	Изменение к контролю, %
Контроль	297,5 ± 20	–	15,4 ± 0,2	–	2,95 ± 0,5	–
53,77	310,5 ± 20	4,4	15,9 ± 0,2	3,2	2,77 ± 0,5	-6,1
54,17	318,5 ± 20	7,1	16,2 ± 0,2	5,2	2,47 ± 0,5	-16,3
54,20	405,5 ± 20	36,3	17,6 ± 0,2	14,3	1,09 ± 0,5	-63,1
54,57	306,5 ± 20	3,0	15,7 ± 0,2	1,9	2,99 ± 0,5	+1,4

Таблица 2. Технохимические показатели зрелой бражки, сброженной засевными дрожжами, облученными вблизи 54 ГГц

Частота, ГГц	Выделившийся диоксид углерода, г	Изменение к контролю, %	Этанол, % об.	Изменение к контролю, %	Несброженные углеводы, г/100 см ³	Изменение к контролю, %
Контроль	13,78 ± 0,01	–	9,0 ± 0,1	–	0,25 ± 0,01	–
53,77	13,82 ± 0,01	0,3	9,0 ± 0,1	0	0,25 ± 0,01	0
54,17	13,90 ± 0,01	0,9	9,0 ± 0,1	0	0,24 ± 0,01	-4,0
54,20	14,02 ± 0,01	1,7	9,1 ± 0,1	1,1	0,19 ± 0,01	-24,0
54,57	13,79 ± 0,01	0,1	9,0 ± 0,1	0	0,25 ± 0,01	0

Видно, что облучение клеток ЭМИ ММД на частоте 54,20 ГГц оказывает биостимулирующее, то есть ускоряющее метаболизм, влияние на такие технологические параметры брожения, как количество выделившегося диоксида углерода (показатель характеризует интенсивность брожения) и синтезированного этанола. Существенным можно назвать уменьшение количества несброженных углеводов в бражке (этот показатель характеризует полноту использования субстрата растущей культурой), что также свидетельствует об увеличении генеративной активности и является важным технологическим показателем производства спирта из мелассы. Согласно приведенным данным, вблизи частоты 54,0 ГГц существует зависимость биологического эффекта от частоты облучения ЭМИ ММД.

Значение «активной» частоты (54,20 ГГц) близко к определенной в [9] частоте ЭМИ (54,17 ГГц), облучение при которой приводило к увеличению скорости размножения дрожжей. На соседних частотах биостимулирующие эффекты не выражены (табл. 2). В [10] для частотной зависимости скорости газовой выделенной суспензии дрожжей обнаружен довольно широкий максимум на частоте 55 ГГц.

Ранее нами было показано [17], что однократное непродолжительное облучение дрожжей ЭМИ ММД на активной частоте 41,76 ГГц приводит к долговременным последствиям: изменения в скорости размножения сохраняются в течение еще нескольких пересевов. В данной работе последствия облучения определяли для выявленной нами стимулирующей частоты 54,20 ГГц.

В табл. 3 представлены результаты влияния облучения на частоте 54,20 ГГц при нескольких пересевах. Из полученной бражки выделяли дрожжи и использовали их в качестве засевных для сбраживания таким же образом еще несколько раз.

Как видно из таблицы, приобретенные дрожжами свойства по накоплению биомассы и содержанию несброженных углеводов сохранялись до пятой генерации. Содержание спирта в бражке, определенное рефрактометрически, не показало значимых отличий. Однако изменение на 0,1% объема является очень весомым для технологии. Постепенное «угасание» значимых различий показателей в контрольном и опытном образцах может свидетельствовать о передаче измененных функций на уровне внехромосомной ДНК, изменением сигналинга и постепенного «вырождения» эффекта. Это достаточно распространенное явление для мутагенных факторов, к которым, возможно, необходимо причислить и влияние ЭМИ ММД некоторых частот.

Согласно результатам исследований облучение дрожжевых клеток ЭМИ ММД приводит к широкому спектру полезных с точки зрения промышленного применения биологических эффектов. В частности, хроматографические исследования дистиллятов бражки, сброженной облученными на активной частоте засевными дрожжами, показали увеличение количества примесей по сравнению с контрольным образцом. Это, безусловно, связано с увеличением синтеза дрожжевых клеток и может служить позитивным фактором для применения облучения засевных дрожжей ЭМИ ММД в технологии производства биоэтанола. Все разработанные

Таблица 3. Технохимические показатели зрелой бражки при нескольких пересевах в случае однократного облучения засевных дрожжей (54,20 ГГц; 10 мин)

Дрожжи	Выделенный диоксид углерода, г	Биомасса, г/дм ³	Этанол, % об.	Несброженные углеводы, г/100 см ³	Мертвые дрожжевые клетки, %
Первый засев					
Облученные	14,02 ± 0,01	17,6 ± 0,2	9,1 ± 0,1	0,19 ± 0,01	1,09 ± 0,5
Контроль	13,78 ± 0,01	15,4 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,25 ± 0,01	2,95 ± 0,5
Второй пересев					
Облученные	14,00 ± 0,01	17,3 ± 0,2	9,1 ± 0,1	0,19 ± 0,01	1,97 ± 0,5
Контроль	13,73 ± 0,01	15,4 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,25 ± 0,01	4,03 ± 0,5
Третий пересев					
Облученные	13,92 ± 0,01	17,0 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,21 ± 0,01	2,04 ± 0,5
Контроль	13,73 ± 0,01	15,2 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,25 ± 0,01	4,01 ± 0,5
Четвертый пересев					
Облученные	13,83 ± 0,01	17,0 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,21 ± 0,01	2,14 ± 0,5
Контроль	13,73 ± 0,01	15,0 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,25 ± 0,01	3,92 ± 0,5
Пятый пересев					
Облученные	13,74 ± 0,01	16,3 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,23 ± 0,01	3,73 ± 0,5
Контроль	13,51 ± 0,01	15,2 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,25 ± 0,01	3,92 ± 0,5
Шестой пересев					
Облученные	13,64 ± 0,01	16,2 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,29 ± 0,01	4,13 ± 0,5
Контроль	13,46 ± 0,01	14,8 ± 0,2	9,0 ± 0,1	0,30 ± 0,01	4,43 ± 0,5
Седьмой пересев					
Облученные	13,38 ± 0,01	14,6 ± 0,2	8,9 ± 0,1	0,22 ± 0,01	4,15 ± 0,5
Контроль	13,21 ± 0,01	14,3 ± 0,2	8,9 ± 0,1	0,32 ± 0,01	4,51 ± 0,5

ные и внедренные способы спиртового сбраживания мелассного суслу направлены на получение максимального количества этилового спирта при минимальном количестве дрожжей и затрат сахара на их развитие и синтез биомассы. Также важен минимальный расход сахара на синтез побочных и вторичных продуктов брожения [11], которые ухудшают качество спирта. Наоборот, в технологии производства биоэтанола увеличение содержания побочных примесей, полученных во время брожения, а именно сложных эфиров и высших спиртов (сивушных компонентов), позволяет увеличить стойкость смесевых бензинов от расслоения, в том числе и в холодный зимний период.

Из сравнения с результатами, полученными ранее [17], видно, что облучение культуры спиртовых дрожжей *S. cerevisiae* расы М-09 на частотах 41,76 и 54,20 ГГц при прочих равных условиях вызывает похожие эффекты. Повышается выход биомассы (на 23,2 и 14,3% соответственно), увеличивается выход спирта (на 1,2 и 1,1%), диоксида углерода (на 7,8 и 1,7%) по отношению к контролю. Уменьшается количество несброженных углеводов (на 18,5 и 24%). Интересно, что явно выраженные изменения в способности накапливать биомассу и спирт при воздействии частоты 41,76 ГГц сохранялись только до третьего пересева культуры, а дальше наблюдалось даже некоторое угнетение биосин-

теза. При действии частоты 54,20 ГГц начальные эффекты меньше, но сохраняются до пятого пересева. Поэтому нельзя говорить о самой «эффективной» частоте, необходимо подбирать воздействие под определенную задачу.

К специфическим чертам клеточных эффектов ЭМИ ММД относятся: низкая (нетепловая) интенсивность облучения, универсальный, как правило, благоприятный характер воздействия, близкие количественные показатели биоэффектов. Похожим по характеру и конечному эффекту воздействия на биосистему является влияние низкоинтенсивного лазерного излучения, так называемая лазерная биостимуляция [18]. Отметим, что в обоих случаях нет четкого понимания физических механизмов преобразования электромагнитной энергии в клетке.

Среди возможных первичных рецепторов ЭМИ ММД рассматриваются внутриклеточная вода [19], мембраны [20], металлосодержащие белковые комплексы [21], свободные радикалы [22] и др. Однако универсальный характер действия ЭМИ ММД на разнообразные биологические системы ставит под сомнение существование единого первичного рецептора молекулярного уровня. Та же ситуация характерна для лазерной биостимуляции. Несмотря на попытки отыскать единую молекулярную мишень [23], большинство исследователей считают, что различных физических и химических механизмов

преобразования энергии лазерного излучения, влияющих на функциональное состояние живых систем, может быть множество и далеко не все из них известны.

В обоих случаях речь может идти о сложной цепочке связанных физико-химических процессов, которые реализуются по одному из многочисленных регуляторных механизмов, и с помощью которых ЭМИ данного спектрального диапазона организует определенные биохимические реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выявлено стимулирующее влияние ЭМИ ММД в диапазоне частот 53–55 ГГц для дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* расы М-09, используемых в качестве засевных в технологии производства биоэтанола. Выбранные для исследования параметры отражают технотехнические показатели биотехнологического процесса и одновременно являются важными с точки зрения характеристики жизнедеятельности культуры.

Исследования генеративной активности дрожжей после трехсуточного роста показали увеличение биомассы (на 14,3%) и количества клеток (на 36%) при облучении в течение 10 мин засевных дрожжей на частоте 54,20 ГГц. Количество мертвых клеток в культуре снизилось на 63%.

Изучение технологических параметров брожения показало, что облучение клеток ЭМИ ММД на частоте 54,20 ГГц оказывает биостимулирующее, то есть ускоряющее, метаболизм влияние. Количество выделившегося диоксида углерода увеличилось на 1,7% и синтезированного этанола на 1,1%, количество несброженных углеводов в бражке уменьшилось на 24%, что является важным технологическим показателем производства спирта из мелассы.

В диапазоне 53–55 ГГц существует зависимость биологического эффекта от частоты облучения ЭМИ ММД: наиболее «активна» частота 54,20 ГГц, а на частотах 53,77, 54,17 и 54,57 ГГц биостимуляция слабее.

Приобретенные дрожжами свойства по накоплению биомассы и содержанию несброженных углеводов сохранялись до пятой генерации. Постепенное «вырождение» эффекта – достаточно распространенное явление для мутагенных факторов, к которым, возможно, следует причислить и влияние ЭМИ ММД некоторых частот.

Таким образом, биостимуляция дрожжевой культуры ЭМИ ММД в технологии производства биоэтанола может применяться для повышения выхода биомассы, увеличения выхода

спирта, повышения утилизации субстрата (уменьшения количества несброженных углеводов), а также увеличения количества побочных продуктов – оксигенатов для оптимизации технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. *Успехи физических наук*. 1973, 3(110), 452–469.
2. Смолянская А.З., Гельвич Э.А., Голант М.Б. Резонансные явления при действии электромагнитных волн мм диапазона на биологические объекты. *Успехи современной биологии*. 1979, 3(87), 381–392.
3. Webb S.J. Nonlinear Phenomena in Bioenergetics and Oncology as Seen as 25 years of Research with mm Microwaves and Raman Spectroscopy. *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*, ed. by W.R. Adey, New York, London; Plenum Press, 1984. 603 p.
4. Grundler W., Keilmann F. Sharp Resonances in Yeast Growth Prove Nonthermal Sensitivity to Microwaves. *Phys Rev Lett*. 1983, 51(13), 1214–1216.
5. Андреев Е.А., Белый М.У., Караченцева А.И., Кислая Л.В., Маринченко Л.В., Якунов А.В. Резонансная реакция дрожжевых клеток на воздействие малоинтенсивного электромагнитного поля миллиметрового диапазона. *Известия вузов. Пищевая технология*. 1990, (2–3), 30–31.
6. Тишук С.П., Якунов А.В. Роль спектрального состава в клеточных эффектах миллиметровых волн. *ЭОМ*. 1992, (3), 59–60.
7. Нижельская А.И., Якунов А.В. Оптимизация экспериментальных исследований резонансной реакции *Saccharomyces cerevisiae* на воздействие ЭМИ миллиметрового диапазона. *Физика живого*. 2004, (1), 53–62.
8. Андреев Е.А., Белый М.У., Иванченко И.А., Якунов А.В. Определение пороговой мощности электромагнитного поля миллиметрового диапазона, влияющего на рост дрожжевых клеток. *ЭОМ*. 1990, (1), 61–63.
9. Гамаюрова В.С., Крыницкая А.Ю., Астраханцева М.И. Влияние ЭМИ КВЧ нетепловой интенсивности на рост дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2004, (1–2), 117–120.
10. Гаркуша О.М., Мазуренко Р.В., Махно С.Н., Горбик П.П. Закономерности влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения на биологические системы. *Поверхность*. 2010, 2(17), 340–354.
11. Яровенко В.Л., Маринченко В.А., Смирнов В.А. *Технология спирта*. М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002. 464 с.
12. Маринченко В.А., Нижельская А.И., Макара В.А., Якунов А.В., Маринченко Л.В. *Способ активациі чистої культури засівних дріжджів*

- Saccharomyces cerevisiae*. Украины пат. 102480, 2013. Бюл. № 13, 4 с.
13. Маринченко В.А., Нижельская А.И., Макара В.А., Якунов А.В., Маринченко Л.В. *Пристрій для обробки суспензій клітин електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону довжин хвиль нетеплової потужності*. Украины пат. 102905, 2013. Бюл. № 16, 4 с.
 14. Слюсаренко Т.П. *Лабораторний практикум по мікробіології пищевих производств*. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 82–88.
 15. Рухлядева А.П. *Інструкція по технічному і мікробіологічному контролю спиртового виробництва*. М.: Агропромиздат, 1986. 399 с.
 16. Фертман Г.И., Шойхет М.И. *Хіміко-технологічний контроль спиртового і лікеро-водочного виробництва*. М.: Пищевая промышленность, 1975. 340 с.
 17. Маринченко Л.В., Нижельская А.И., Маринченко В.А. Стимуляція накоплення біомаси і бродильної активності культури дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с помощью сверхвысоко-частотного електромагнітного випромінювання. *Научні весті НТУУ «КПІ»*. 2011, (3), 68–73.
 18. Рогаткин Д.А., Черный В.В. Низкоинтенсивная лазерная терапия. Взгляд физика на механизмы действия и опыт применения. «*Взаимодействие излучений и полей с веществом*» под ред. Ю.Н. Денисюка. Иркутск, 1999, 366–378.
 19. Бецкий О.В. Вода и электромагнитные волны. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 1998, (2), 3–6.
 20. Казаринов К.Д. Роль клеточных мембранных систем в рецепции электромагнитных полей КВЧ диапазона биологическими объектами. *ИРЭ РАН. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*. 2008, 1(494), 42–55.
 21. Ситько С.П., Сугаков В.П. Роль спиновых состояний белковых молекул. *ДАН АН УССР. Сер. А*, 1984, (6), 63–64.
 22. Поцелуева М.М., Пустовидко А.В., Евтодиенко Ю.В., Храмов Р.Н. Образование реактивных форм кислорода в водных растворах под действием электромагнитного излучения КВЧ-диапазона. *ДАН СССР*. 1998, (3), 415–418.
 23. Кару Т.И., Афанасьева Н.И. Цитохром-с-оксидаза как первичный фотоакцептор при лазерном воздействии света видимого и ближнего ИК-диапазона на культуру клеток. *Доклады АН*. 1995, 342, 693–697.

Поступила 15.10.13

После доработки 23.12.13

Summary

The influence of microwave irradiation on the technical and chemical indicators of molasses worth fermentation by the irradiated seed yeast has been investigated in the technology of bioethanol production. The optimum irradiation parameters of the microwave EMR in 53–55 GHz band for the yeast culture *Saccharomyces cerevisiae* M-09 were experimentally determined. In the alcoholic brew fermented with the irradiated yeast the accumulation of biomass, alcohol and the amount of carbon dioxide emissions increased compared to the control. At the same time, the quantity of residual carbohydrates decreased. The effect of the microwave EMR action on the yeast culture was saved for six generations and only gradually weakened, which may be connected with the *Saccharomyces cerevisiae* adaptation to the influence of external factors.

Keywords: microwaves, bioethanol, yeast, fermentation.