

Механизм биологических эффектов крайне низких доз колебательных и волновых воздействий в области звуковых частот. Часть 1. Биологические эффекты низкоинтенсивных физических воздействий в пищевых технологиях

* И. А. Рогов, ** Т. Н. Данильчук

Московский государственный университет пищевых производств,
Волоколамское шоссе, 11, 125080, г. Москва, Россия, *e-mail: rogov@mgupp.ru, **e-mail: danil_tn@mail.ru

Описаны биоэффекты, возникающие при воздействии электромагнитных полей на живые системы. Приведены экспериментальные данные по влиянию низкоинтенсивных физических факторов воздействия колебательной и волновой природы на активность гидролитических ферментов ячменя при его проращивании. Проведено сопоставление полученных результатов с экспериментами на модельных ферментных системах и показано, что существует механизм биологического действия, который определяется не столько природой приложенного воздействия, сколько его переменной составляющей – частотным фактором. Показано, что биохимические процессы с участием гидролитических ферментов носят колебательный характер, а внешнее воздействие с периодическими колебаниями, примененное даже в крайне низких дозах, может приводить к резонансным эффектам на определенных частотах, изменяя скорость ключевых ферментативных процессов. Проведен перенос полученных результатов на другие биологические объекты. Предложена научная концепция принципиально нового способа модификации биотехнологических процессов совместным действием ферментов и низкоинтенсивных физических факторов.

Ключевые слова: биоэффекты электрофизических воздействий, крайне низкие дозы физических факторов воздействия, гидролитические ферменты, ферментативная активность, колебательный характер биохимических процессов, модификация процессов биотрансформации.

УДК (53.047+57.043):(663.043+637.03)

Наблюдения за влиянием физических факторов на состояние биологических объектов проводятся учеными разных стран уже достаточно давно [1]. Открытие биоэлектрической и биомагнитной энергии дало начало исследованиям, объединяющим физику, химию, медицину, физиологию и различные технологии. В последние годы усилилось внимание к использованию нетрадиционных физических принципов воздействия на живые объекты – применение электрических, магнитных, электромагнитных полей, электроконтактных способов обработки, акустического давления. Эти методы обладают рядом преимуществ: безынерционность работы оборудования, сокращение длительности процессов обработки, высокий КПД использования энергии. Биологические эффекты электрофизических явлений описаны многократно, в частности в работах Н.Д. Девяткова, И.А. Рогова, М.К. Бологи, С.Г. Ильсова, М.Г. Николаевой, Н.В. Обручевой, А.М. Гордеева, В.Б. Шершнева, В.Н. Бинги, М.Б. Беркинблита, Е.Г. Глаголевой, Г.Н. Зацепиной, М.Г. Барышева, Ю.Ф. Заяса, И.Е. Эльпинера, Л.Ф. Глущенко, Ch. Polk, E. Postow, R. Koch, J. Parsegian, C. Blackman,

R. Baldwin, H. Schwan, H. Frohlich, R. Hamm, N. Bengtsson, U. Rosenberg и других ученых.

Одним из основных параметров обработки является мощность прилагаемого воздействия W . Сейчас в пищевой индустрии достаточно широко применяется обработка пищевого сырья и продуктов питания в электростатическом поле (электроочистка, электросепарирование, электропанировка, электрокопчение), электроконтактные (электроплазмолиз, электрофлотация, электростимуляция) и ультразвуковые способы обработки (диспергирование, эмульгирование, гомогенизация, интенсификация диффузионного процесса и пр.). Расширяется использование в пищевых технологиях энергии электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысокочастотного (СВЧ) и инфракрасного (ИК) диапазона длин волн, в основном для доведения продукта до кулинарной готовности. Действие перечисленных факторов реализуется при относительно высоких мощностях [2–5]. Например, СВЧ и ИК нагрев проводят с использованием удельных мощностей ($W_{уд}$) от 1,5 до 2,0 кВт/кг [4, 5]. Основное внимание в литературе уделяется описанию тепловых явлений.

В работах научных школ академиков Н.Д. Девяткова и И.А. Рогова показано, что существует «специфическая» составляющая воздействия ЭМП на живые системы, связанные с проявлением биоэффектов: активацией ферментов, усилением обменных процессов, изменением морфологии клеток, усилением или подавлением ростовой активности, увеличением или снижением выживаемости, изменением функциональных процессов в биосистемах. Биологическое действие ЭМП оказывается наиболее явно выраженным при значениях плотности потока мощности, не превышающих 10^{-3} Вт/см², то есть в условиях повышения температуры объекта не более чем на 1 градус [6–8]. Биоэффекты не зависят от интенсивности воздействия вплоть до тех значений $W_{уд}$, при которых заметным становится тепловой эффект [6]. Интерпретация результатов биологического действия ЭМП носит многоплановый характер. Девятков Н.Д., изучая роль миллиметровых волн в процессах жизнедеятельности, пришел к выводу, что подходить к решению проблемы взаимодействия ЭМП с живыми организмами с привычных позиций, то есть объяснять происходящие процессы в первую очередь выделением тепла, нецелесообразно. Это связано с тем, что значимые эффекты были получены при весьма низкой интенсивности электромагнитных (ЭМ) колебаний, что заставляло предполагать их нетепловой характер [8], хотя, согласно законам термодинамики, невозможно никакое действие без поглощения или выделения тепловой энергии. Перспективным представляется использование биологического действия электрофизических факторов в пищевых технологиях для интенсификации технологических процессов, проходящих с участием живых систем.

Необходимо отметить, что литературные данные по изменению свойств биологических объектов под воздействием электрических, магнитных, электромагнитных полей, а также после пропускания электрического тока (постоянного или переменного) через биологический объект носят разрозненный характер. Противоречивые результаты экспериментов указывают на то, что для каждого объекта огромное значение имеют не только параметры обработки, но и обстоятельства природного характера. Например, для семян и растений наблюдаемые эффекты зависят от вида растений, растительных органов, на которые осуществляется воздействие времени года и суток, погодных условий, характера почвы и пр.

Часто наблюдается избирательная восприимчивость биологических систем к действию физических факторов, зависящая от параметров

воздействия, существование острых максимумов физиологического отклика, пороговый характер зависимости биологического эффекта от мощности. Многие исследователи отмечают высокую эффективность применения для интенсификации жизнедеятельности живых систем исчезающе малых доз различных физических и химических воздействий [9–14]. Именно они в соответствии с последними данными наиболее перспективны как в плане вызываемых биологических эффектов, так и безопасности применения. Однако при использовании таких доз затруднительна интерпретация полученных результатов из-за наличия в биологических объектах отрицательных обратных связей, способных поддерживать постоянство внутриклеточной среды и имеющих тенденцию к нивелированию влияния внешних факторов.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость проведения систематизированных исследований хотя бы на одном биологическом объекте.

Эффективность действия исчезающе малых доз физических факторов подтверждают проведенные авторами настоящей статьи совместно с другими учеными эксперименты с ферментными системами, микроорганизмами, семенами злаковых культур. В качестве основного объекта для проведения систематизированных исследований был выбран промышленно значимый биологический объект – зерно ячменя, предназначенного для проращивания на солод.

Цель первой части представленной работы – сопоставление экспериментальных данных по обработке зерна ячменя физическими воздействиями различной природы с использованием их в крайне низких дозах и результатов модельных экспериментов на ферментных системах для выявления механизма, вызывающего значительные биологические эффекты, а также перенос полученных результатов на другие биологические объекты.

Планирование систематизированных исследований биологического действия физических факторов проводилось по принципу увеличения энергии кванта ($E_{кв}$) применяемого воздействия в соответствии с классификационной таблицей физических методов обработки (воздействующих факторов) [15, 16], составленной на основе непрерывности спектра электромагнитных волн. В классификационной таблице частота излучения (или длина волны) характеризует воздействующий фактор, а энергия кванта – возможность химических превращений.

Использовали наиболее простые и удобные в плане генерирования энергии способы воздействия: электроконтактную (ЭК) обработку при действии постоянного тока (формально $E_{кв} = 0$),

тока промышленной частоты ($E_{кв} = 2,07 \cdot 10^{-13}$ эВ) и переменного тока частотой от 50 до 20000 Гц ($2,07 \cdot 10^{-13}$ эВ $< E_{кв} < 8,28 \cdot 10^{-11}$ эВ), а также акустическую обработку в том же диапазоне частот при мощностях, не превышающих 10^{-4} Вт/кг. Для проведения эксперимента выбрали конкретные частоты в диапазоне 50–20000 Гц, начиная с промышленной частоты – 50 Гц и далее 100, 200... с пошаговым увеличением частоты в 2–2,5 раза при сохранении мощности и длительности воздействия. В экспериментах по ЭК обработке продолжительность воздействия составляла 15 минут, в экспериментах по акустической обработке – 5 минут.

Было установлено, что семена можно вывести из состояния покоя пропуская через зерно тока в различных режимах при мощности $W_{уд} = 10^{-4}$ – 10^{-6} Вт/кг или акустической обработкой в звуковом диапазоне частот при $W_{уд} = 10^{-9}$ Вт/кг. Выявлены благоприятные для усиления ростовой активности зерна и активации его гидролитических ферментов «окна взаимодействия» [17, 18].

Биологические эффекты наблюдали при проращивании на солод ячменной различных сортов с разной способностью прорастания. Опыты проводили не менее чем в 4-кратной повторности для каждой партии исследуемого зерна. Оценивали следующие показатели: способность прорастания зерна ($E_{сн}$), амилолитическую активность (АС), протеолитическую активность (ПА) и степень растворения эндосперма зерна (СР), которая меняется совместным действием протеолитических и цитолитических ферментов. $E_{сн}$ численно оценивали в процентах по доле семян, проросших на пятые сутки. Величину АС определяли по методу Виндиша-Кольбаха, величину ПА – по методу Ансона, СР – рефрактометрически [19].

Показатели солода в опытном проращивании оценивали по отношению к одноименным показателям, полученным в контрольном проращивании. Показатели контрольного образца принимали за 100%.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью метода математической статистики. Значение среднеквадратичного отклонения прямо измеряемой величины рассчитывалось следующим образом:

$$\Delta x_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_i^j - \bar{x}_i)^2}{N(N-1)} + \sigma_{сисм.}^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сисм.}^2$ – величина систематической ошибки, складывающаяся из ошибки прибора и ошибки округления при измерениях по приборной шкале.

Последняя может быть оценена как $\sigma_{окр.}^2 = u / \sqrt{12}$, где u – цена деления. Это оправдано центральной предельной теоремой теории вероятностей.

Среднее значение косвенно измеряемой величины вычислялось как:

$$\bar{f}(\{x_i\}) = f(\{\bar{x}_i\}), \quad (2)$$

а среднеквадратичное отклонение косвенно измеряемой величины как:

$$\Delta f(\{x_i\}) = \sqrt{\sum_{i=1}^M \left(\left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{\bar{x}_i} \Delta x_i \right)^2}. \quad (3)$$

Ошибка эксперимента составляла: при определении АС – 4–7%, при определении ПА и СР – 14–15%.

Анализ полученных результатов проводили с использованием метода кластеризации многомерных объектов при обработке результатов экспериментальных данных. Применяли специально разработанные компьютерные программы [20]. Экспериментальные данные режимов обработки зерна представлялись как множество многомерных объектов \bar{S} :

$$\bar{S} = \{S_n\}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где N – количество многомерных объектов; n – номер эксперимента; S_n – опытные результаты n -го эксперимента.

Характеристики опытных данных, оценивающих качество зерна, были представлены матрицей \bar{X} (матрица «объект-свойство»):

$$S_n = \{X_{nm}\}, \quad \bar{X} = \|X_{nm}\|, \quad m = \overline{1, M}, \quad (5)$$

где X_{nm} – m -я характеристика n -го объекта; X – матрица характеристик множества объектов; m – номер характеристики; M – количество характеристик ($M = 4$); X_{n1} – способность прорастания ($E_{сн}$); X_{n2} – амилолитическая активность (АС); X_{n3} – протеолитическая активность (ПА); X_{n4} – степень растворения эндосперма зерна (СР).

Решением задачи кластеризации были найдены максимально эффективные частоты, находящиеся в диапазонах 100–200 и 5000–10000 Гц [21, 22].

В частотном интервале 50–10000 Гц, когда энергия кванта ($E_{кв}$) колебательных и волновых воздействий не превышает 10^{-10} эВ, а тепловые эффекты сведены к минимуму, наблюдали аналогии биологического действия переменного тока и звука (рис. 1 и 2). Абсолютные значения способности прорастания зерна, активности ферментных систем солода и их показатели относительно контроля могли меняться довольно

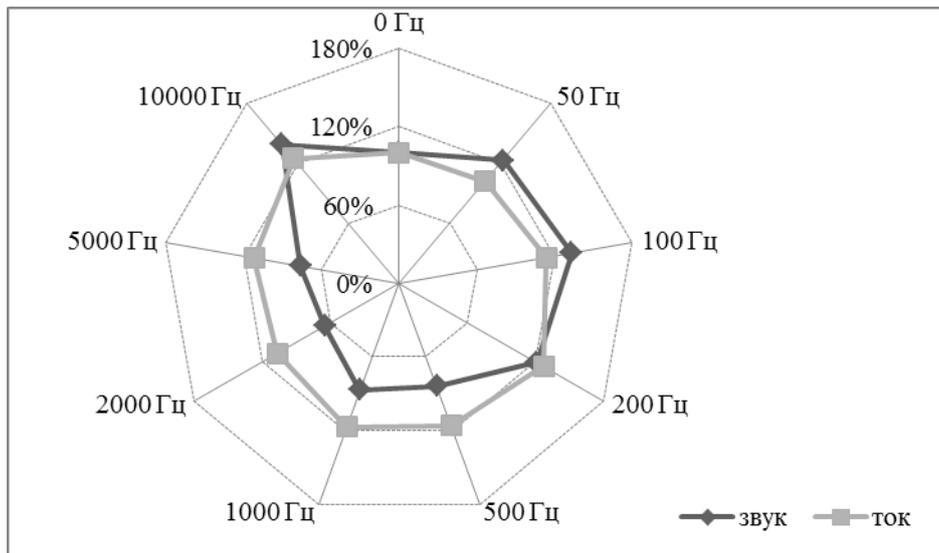


Рис. 1. Изменение амилолитической активности (% к контролю) ячменного солода в зависимости от частоты низкоинтенсивного физического воздействия на увлажненный ячмень.

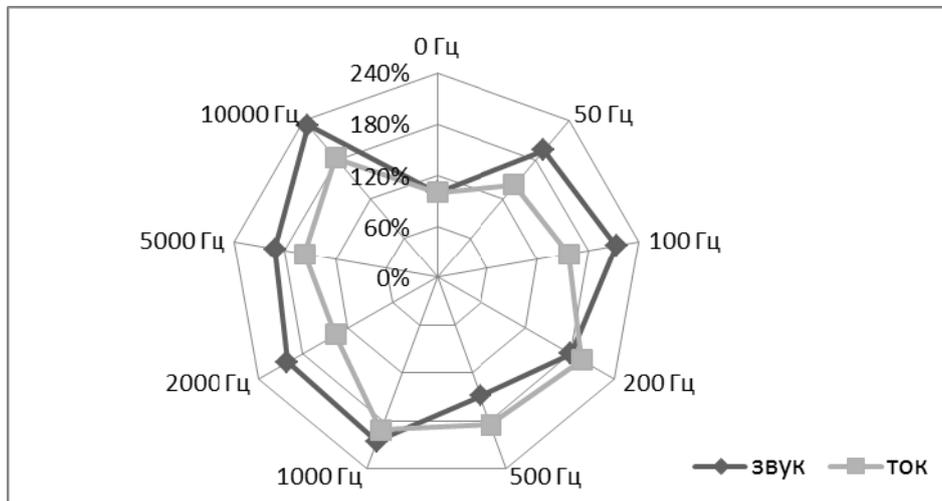


Рис. 2. Изменение протеолитической активности (% к контролю) ячменного солода в зависимости от частоты низкоинтенсивного физического воздействия на увлажненный ячмень.

значительно с изменением условий обработки, но характер этих изменений в зависимости от частоты был одинаков для воздействия переменного тока и звука.

Выявленные аналогии позволили предположить, что существует механизм, который определяется не столько природой приложенного воздействия, сколько его переменной составляющей – частотным фактором. Данное предположение подтвердили эксперименты на модельных системах.

Поведение ферментов моделировали в следующих системах:

- изменение активности амилолитических ферментов. Для проведения эксперимента использовали раствор препарата Амилосубтилин Г 10Х, в качестве субстрата применяли крахмал;
- изменение активности цитолитических ферментов. В этом модельном эксперименте обрабатывали влажную массу субстрата (пшеничная клетчатка WF 200), предварительно

пропитанную раствором ферментного препарата LAMINEX®BG Glukanase Complex;

– изменение активности протеолитических ферментов. Для проведения эксперимента использовали растворы ферментных препаратов «Карипарин» и «Пепсин говяжий», в качестве субстрата применяли казеинат натрия.

Модельные системы подвергали воздействию тока переменной частоты и акустической обработке в звуковом диапазоне частот. Прилагаемые мощности не превышали 10^{-6} Вт/см² (10^{-4} Вт/кг) для ЭК обработки и 10^{-10} Вт/см² (10^{-9} Вт/кг) для акустической обработки.

Результаты модельного эксперимента по влиянию частоты тока на АС ферментного препарата Амилосубтилин Г 10Х приведены на рис. 3. Зависимость носит бимодальный характер. Аналогичный характер изменения АС наблюдали при исследовании солода, полученного из ячменя (рис. 3).

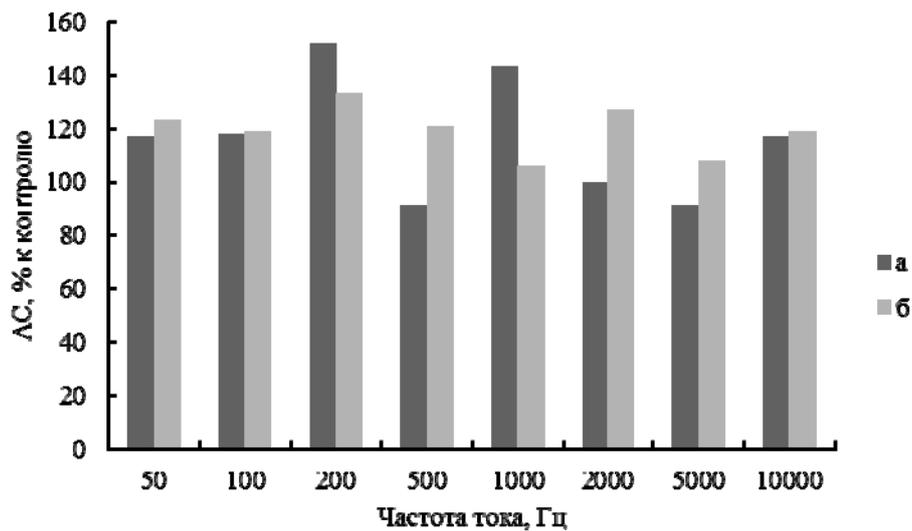


Рис. 3. Изменение активности амилолитических ферментов после ЭК воздействия низкой мощности: *а* – в модельном эксперименте (субстрат – крахмал, ферментный препарат Амилосубтилин Г 10Х); *б* – в зерне ячменного солода.

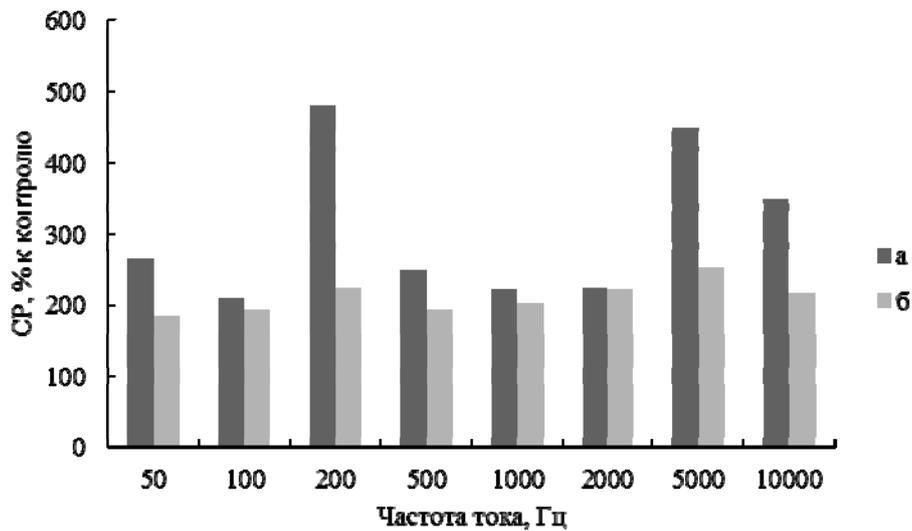


Рис. 4. Изменение активности цитолитических ферментов (CP) после ЭК воздействия низкой мощности: *а* – в модельном эксперименте (субстрат – пшеничная клетчатка WF 200, ферментный препарат LAMINEX®BG Glukanase Complex); *б* – в зерне ячменного солода.

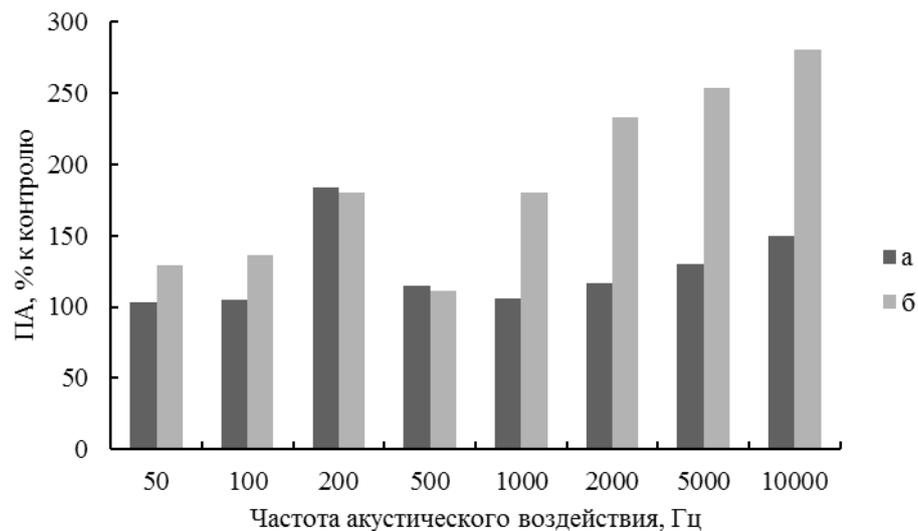


Рис. 5. Изменение активности протеолитических ферментов после акустического воздействия низкой мощности: *а* – в модельном эксперименте (субстрат – казеинат натрия, ферментный препарат «Пепсин говяжий»); *б* – в зерне ячменного солода.

Результаты модельного эксперимента по влиянию частоты тока на активность ферментного препарата LAMINEX®BG Glukanase Complex приведены на рис. 4. Для фермента, обладающего цитолитической активностью, наблюдается бимодальность в зависимости его активности от частоты ЭК обработки. Максимальную активность препарат проявляет при 200 и 5000 Гц. При этих частотах выявилось и наиболее хорошее растворение эндосперма зерна при проращивании ячменя на солод (рис. 4).

В экспериментах по акустической обработке также наблюдали бимодальный характер зависимости ферментативной активности от частоты приложенного воздействия как в опытах на модельных системах, так и в опытах с зерновками ячменя (рис. 5). При этом проявление положительного эффекта частотного фактора в сильной степени зависело от природы ферментного препарата. Протеолитический препарат животного происхождения «Пепсин говяжий» проявлял максимум активности при $f = 200$ Гц. Благоприятными для усиления активности этого препарата являлись также частоты $5000 \leq f \leq 10000$ Гц. Увеличение активности протеолитического препарата растительного происхождения «Карипаин» наблюдали во всем исследованном интервале частот, но наиболее эффективным являлся интервал $100 \leq f \leq 1000$ Гц. В процессе проращивания зерна ячменя с использованием акустической обработки как сухой, так и увлажненной зерновой массы ячменя при $f = 100$, $f = 200$, $f = 5000$ и $f = 10000$ Гц удавалось получить солод, ПА которого в 2–3 раза превышала ПА контрольного образца.

Из диаграмм 2–5 видно практически полное подобие результатов модельных экспериментов с опытами на реальной биологической системе как по характеру частотных зависимостей, так и по относительной величине наблюдаемых эффектов.

Полученные в настоящей работе результаты согласуются с новейшими исследованиями биологических систем, в соответствии с которыми колебательные режимы играют фундаментальную роль в нормальных процессах жизнедеятельности [23–28]. Понять динамические свойства регуляторных механизмов можно лишь на основе общесистемных подходов. Одним из таких подходов является математическое моделирование. В современной литературе по математической биологии широко используются методы качественной теории дифференциальных уравнений, позволяющие ответить на многие существенные вопросы, касающиеся поведения биологической системы. Методы дают возмож-

ность выявить важные свойства модели, не прибегая к нахождению сложных неизвестных функций, основанные на анализе фазовой плоскости, представляющей совокупность всех возможных состояний системы [29–31]. Качественные методы анализа динамических систем можно успешно применять для построения математических моделей как триггерных, так и автоколебательных систем (в частности, моделей ферментативных процессов), что позволяет выявить причинно-следственные связи при внешнем воздействии на биологический объект. Кинетические модели ферментативных процессов представлены во второй части статьи.

Данные наших экспериментов в совокупности с анализом описанных в литературе колебательных процессов в биологических системах и кинетических моделей ферментативных процессов свидетельствуют в пользу того, что биохимические процессы с участием гидролитических ферментов носят колебательный характер. Наложение внешнего воздействия с периодическими колебаниями может приводить к резонансным эффектам на определенных частотах, изменяя скорость ключевых ферментативных процессов в биологическом объекте (например, в зерне ячменя) и оказывая тем самым существенное влияние на накопление и активацию ферментов солода.

Полученные в опытах с ячменем результаты нашли подтверждение при воздействии на другие биологические объекты, используемые в различных областях пищевой индустрии. Авторами настоящей работы предложены способы биотрансформации мясного сырья с использованием низкоинтенсивной акустической обработки; модификации свойств пшеничной клетчатки совместным действием ферментации и низкоинтенсивной электроконтактной обработки [32]; усиления β -галактозидазной активности штаммов *Str. thermophiles*, применяемых в составе заквасок для получения кисломолочных продуктов с пониженной массовой долей лактозы, действием крайне низких доз колебательных и волновых воздействий в области звуковых частот [33, 34].

На основании изложенного в статье материала авторы сформировали научную концепцию принципиально нового способа модификации биотехнологических процессов совместным действием ферментов и низкоинтенсивных физических факторов. Проведенные исследования и полученные результаты являются новым научно-техническим направлением, включающим комплексный подход к реализации ресурсосберегающих технологий переработки сырья животного и растительного происхождения для нужд

различных отраслей (биотехнология, мясная и молочная промышленность, переработка и хранение зерна, приготовление напитков брожения и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Tompkins P. and Bird Cr. *The Secret Life of Plants*. USA: HarperColins, 1973, 416 p.
2. Берзой С.Е., Ботошан Н.И., Болога М.К. *ЭОМ*. 2000, (5), 126–132.
3. Ботошан Н.И., Болога М.К., Берзой С.Е. *ЭОМ*. 2006, (3), 172–181.
4. Рогов И.А., Некрутман С.В. *Сверхвысококачественный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов*. М.: Пищевая промышленность, 1976. 210 с.
5. Рогов И.А., Данильчук Т.Н., Миклашевский В.В., Бершова Т.М. и др. *Мясные технологии*. 2009, (9), 34–38.
6. Рогов И.А. *ЭОМ*. 2000, (5), 115–125.
7. Betskii O.V., Devyatkov N.D., Kislov V.V. *Crit Rev Biomed Eng*. 2000, **28**(182), 247–268.
8. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. *Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности*. М.: Радио и связь, 1991, 168 с.
9. Burlakova E.V., Konradov A.A. and Maltseva E.L. *J of Advances in Chemical Physics*. 2003, **2**(2), 140–162.
10. Epstein O.I. *Ultralow doses (History of the research)*. Moscow: RAMS Publishing House, 2009. 302 p.
11. Kononov A.I., Ryzhkina I.S. *Geochem Int+*. 2014, **52**(13), 1207–1226.
12. Ratushnyak A.A., Ratushnyak A.Yu., Trushin M.V. *World Appl Sci J*. 2013, **24**(12), 1616–1620.
13. Binhi V.N., Savin A.V. *Physics–Uspekhi*. 2003, **46**(3), 259–291.
14. Yu L.D., Sanguyenongpipat S., Anuntalabhochai S., Phanchaisri B., et al. *Surf Coat Technol*. 2007, **201**, 19–20.
15. Рогов И.А., Горбатов А.В. *Физические методы обработки пищевых продуктов*. М.: Пищевая промышленность, 1974. С. 3–9.
16. Рогов И.А. *Электрофизические методы обработки пищевых продуктов*. М.: Агропромиздат, 1988, 582 с.
17. Данильчук Т.Н. *Электроконтактная обработка в технологии проращивания ячменя на солод*. Под редакцией И.А. Рогова. М.: Франтера, 2013. 144 с.
18. Данильчук Т.Н., Юрьев Д.Н., Ратников А.Ю. *Пиво и напитки*. 2008, (6), 11–14.
19. Narziss L., Back W. *Die Bierbrauerei: Band 1 – Die Technologie Der Malzbereitung*. Germany: Wiley-Vch, 2012. 936 p.
20. Гетьман В.В., Карпов В.И., Мышенков К.С. *Комплексная оценка качества и классификация многомерных объектов*. Свид. об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2006613936 РФ; Заяв. 02.11.2006; Зарегистр. 16.11.2006.
21. Данильчук Т.Н., Карпов В.И., Чечулин С.А. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2011, (3), 24–28.
22. Данильчук Т.Н., Карпов В.И., Чечулин С.А. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2012, (3), 16–20.
23. Zhang Z., Xu F., Liu Z., Wang R., Wen T. *BioMed Research International*. Vol. 2013, Article ID 285063, 7 p.
24. Elowitz M.B., Leibler S. *Nature*. 2000, **403**, 335–338.
25. Fung E., Wong W.W., Suen J.K., Buelter T., et al. *Nature*. 2005, **435**, 118–122.
26. Sticker J., Cookson S., Bennet M.R. *Nature*. 2008, **456**, 516–519.
27. Stamatakis M., Mantzaris N.V. Intrinsic Noise and Division Cycle Effects on an Abstract Biological Oscillator. *CHAOS*. 2010, 033118, 14 p. doi: 10.1063/1.3484868.
28. Danino T., Mondragon-Palomino O., Tsimring L., Hasty J. *Nature*. 2010, **463**, 326–330.
29. Rubin A.B. *Fundamentals of Biophysics*. Beverly: Scrivener Publishing, 2014. 226 p.
30. Ryznichenko G.Yu., Lebedeva G.V., Demin O.V., Belyaeva N.E., et al. *J Biol Phys*. 1999, **25**, 177–192.
31. Митяев В.Д., Паненко Л.А., Резниченко Г.Ю., Терехин А.Т. *Высшая математика и ее приложения к биологии. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели*. М.: Академия, 2009. 320 с.
32. Данильчук Т.Н., Рогов И.А., Абдрашитова Г.Г. *Пищевая промышленность*. 2015, (8), 8–11.
33. Ким И.В., Ганина В.И., Данильчук Т.Н., Лобышева Я.А. *Молочная промышленность*. 2009, (12), 46–47.
34. Данильчук Т.Н., Ганина В.И., Головин М.А. *Молочная промышленность*. 2013, (11), 41–42.

Поступила 06.07.16

Summary

The bioeffects are described that appear at the electromagnetic fields impact on live systems. Experimental data on the effect of the low-intensity physical oscillatory and wave impacts on the activity of the hydrolytic enzymes of barley at its germination are given. Comparison of the received results to experiments on model enzymatic systems is carried out and it is shown that there is a mechanism of a biological effect, which is determined not so much by the nature of the applied impact but by its variable component – the frequency factor. It is shown that biochemical processes involving hydrolytic enzymes have an oscillatory character, and the external impact with periodic fluctuations, applied even in very low doses, can lead to resonant effects at certain frequencies, changing the key enzymatic processes speed. A possibility to apply the obtained results on other biological objects is demonstrated. The scientific concept of an essentially new way of biotechnological processes modification by a cumulative effect of enzymes and low-intensive physical factors is offered.

Keywords: bioeffects of electrophysical impacts, very low doses of physical impacts, hydrolytic enzymes, enzymatic activity, oscillatory nature of biochemical processes, modification of biotransformation processes.