

УДК 577.3

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭМИ КВЧ НА СИСТЕМУ «ВОДА – КРАСИТЕЛЬ»

Мартынюк В.С., Нижельская А.И.¹

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, биологический факультет, кафедра биофизики, e-mail: mavis@science-center.net

¹*Центр «Физико-химическое материаловедение» Киевского национального университета им. Тараса Шевченко и НАН Украины, e-mail: aljona_@bigmir.net*

Поступила в редакцию 09.05.2009

Рассмотрено действие электромагнитного излучения (ЭМИ) миллиметрового диапазона на водные растворы красителей разной природы при комнатной температуре. При локальном облучении слоя воды, содержащей концентрированный раствор красителя, в чашках Петри возникали разнообразные типы упорядоченных диссипативных структур. Быстрые динамические изменения в жидкости происходили в течение минут, а затем структуры стабилизировались и медленно эволюционировали во времени. Данная модель удобна для демонстрации синергетических явлений наподобие ячеек Бенара, а также для изучения действия миллиметрового ЭМИ, в том числе его биологических эффектов.

Ключевые слова: ЭМИ КВЧ, миллиметровый диапазон, динамические структуры в жидкостях.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие электромагнитного излучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ) с водной средой характеризуется, во-первых, сильным поглощением, и во-вторых, разнообразием биологических эффектов, механизм которых нельзя свести к простому нагреванию [1-5].

С классической точки зрения тонкий, порядка миллиметра, слой воды является защитным экраном от ЭМИ КВЧ. Энергия излучения за время порядка 10^{-10} с преобразуется в хаотичные тепловые колебания молекул воды. Условным энергетическим порогом, выше которого можно говорить о тепловых эффектах воздействия ЭМИ КВЧ, принято считать поток мощности 10 мВт/см^2 , что примерно соответствует энергии кТ при температуре 300 К, т.е. «тепловым шумам» при обычных условиях. В соответствии с классическими представлениями, основной механизм действия ЭМИ на биосистемы связан с тепловыми эффектами, поэтому электромагнитные излучения меньшей мощности не должны оказывать заметного влияния на биологические объекты. Тем не менее, многочисленные эксперименты показывают, что это не так. Достоверно показано, что слабые и крайне слабые ЭМИ КВЧ ($10^{-9} - 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$) вызывают широкий спектр биологических эффектов, что является основой для их использования в медицине [4].

Для биологических эффектов КВЧ постулируется их нетепловой, информационный характер. Внешнее поле играет роль управляющего сигнала для живой системы [1,2, 4, 6]. Слабый сигнал на «входе» при определённых условиях приводит к существенным, долговременным, и к тому же весьма маловероятным с точки зрения классических представлений перестройкам в системе, которые невозможно пояснить просто добавкой малой энергии.

Неясность механизмов воздействия является основной причиной острой и длительной дискуссии о тепловых и нетепловых эффектах ЭМИ КВЧ. В этом вопросе является очевидным тот факт, что тепловые и нетепловые эффекты порой трудно разделить, так как в конечном итоге имеет место поглощение энергии ЭМИ в конденсированной фазе и её диссипация по различным колебательным модам. При этом процесс диссипации характеризуется выраженной нелинейностью [7, 8], что является необходимой предпосылкой для формирования диссипативных структур. Анализ литературы показывает, что такие диссипативные структуры (неравномерное распределение биообъектов в культуральной среде) наблюдали разные исследователи, принимая это за проявления биологических эффектов миллиметровых волн [9]. Однако, такие эффекты могут быть просто результатом формирования сложной конвективной

структуры, всегда имеющей место в реальных экспериментальных условиях в водной фазе [10, 11], но усиливающейся, усложняющейся или принципиально изменяющейся по структуре при воздействии ЭМИ КВЧ [12]. Тем не менее, на это обстоятельство мало обращают внимание при проведении исследований *in vitro*. В последние годы для наблюдения и исследования указанных диссипативных структур применяют высокочувствительные, дорогие матричные инфракрасные системы [10-12].

Целью данной работы было выявление диссипативных структур, возникающих в воде при воздействии ЭМИ КВЧ разных частот, с помощью растворов красителей, и визуальный анализ динамики этих структур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили с октября 2008 г. по март 2009 г. Источником ЭМИ КВЧ был генератор Г4-141 с диапазоном частот 37.5 – 53.0 ГГц (длина волны в воздухе 8 – 5.7 мм), максимальной мощностью 10 мВт, излучение на выходе линейно поляризовано.

Использовали стандартные пластиковые и стеклянные чашки Петри диаметром от 4 см до 10.5 см. Чашку Петри с дистиллированной водой устанавливали симметрично на выходной торец волновода и выравнивали уровень. Высота слоя воды составляла 3 мм или 6 мм.

Диссипативные конвективные структуры выявляли с помощью водорастворимых красителей. Наиболее контрастную картину давали дихлорфенол индофенол (ДХФИФ) 10мг/мл в воде и тушь черная (дисперсный комплекс сажи с белком в воде). Раствор красителя объёмом 20 мкл вносили микропипеткой на дно чашки Петри, заполненной слоем воды, стоящей над волноводом генератора. Такая схема эксперимента в литературе не описана, поскольку при облучении образцов обычно стремятся к равномерному действию поля. После внесения раствора красителя включали генератор КВЧ и наблюдали формирование диссипативных структур. Контролем служили эксперименты без воздействия ЭМИ КВЧ при всех прочих равных условиях. В контрольных образцах, как правило, происходила медленная диффузия красителя.

Исследования проводили при комнатной температуре, которая составляла 17–20°C. Температуру в разных участках воды в чашке Петри измеряли термодатчиком с термоэлектрическим преобразователем (термопарой).

Возможное влияние испарения воды с открытой поверхности на образование структур не рассматривалось.

Динамику формирования диссипативных структур отслеживали фотографированием образцов с интервалом между кадрами, в зависимости от скорости процесса, 10–30 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование упорядоченной конвективной структуры в слое воды при действии ЭМИ КВЧ происходит следующим образом. При включении генератора, примерно через 10–30 с в области взаимодействия ЭМИ с водой образуется «вспучивание» раствора красителя, после чего становятся заметными тонкие конвективные вихри, которые через 15 с – 2 мин достигают верхней поверхности водного слоя и часть раствора красителя поднимается на поверхность, а в зону поглощения ЭМИ поступает вода из ниже лежащих слоёв, что приводит к появлению светлой зоны округлой формы. После этого происходит расширение пятна красителя на поверхности, «разломы» и формирование упорядоченной и устойчивой конвективной структуры, которая по всем признакам напоминает диссипативные структуры: лепестки, восьмерки, кардиоиды (рис. 1, 2 и далее). В дальнейшем эволюция диссипативных структур замедляется, и они могут сохраняться несколько десятков минут. После выключения генератора КВЧ сформировавшиеся структуры сохраняются некоторое время, подвергаясь медленному диффузионному разрушению.

Основная причина формирования конвективных диссипативных структур, на наш взгляд, связана с разогревом раствора красителя в области выхода волновода, откуда подаётся излучение в исследуемую систему (на фотографиях – чёрный прямоугольник в центре чашки Петри). Измерение температуры показало, что на дне чашки Петри в центре этой зоны водная среда нагревается на 2–4 °С, что приводит к образованию конвективных вихрей и поднятию части раствора красителя на поверхность. Однако измерение температуры в области выхода разогретого вихря на поверхность водного слоя показало, что его температура не выше, чем на 1 °С, в сравнении с окружающим объёмом, а в областях повышенной концентрации красителя, формирующей структуры лепестков, кардиоид и восьмёрок, температура не отличалась от таковой в остальном объёме.

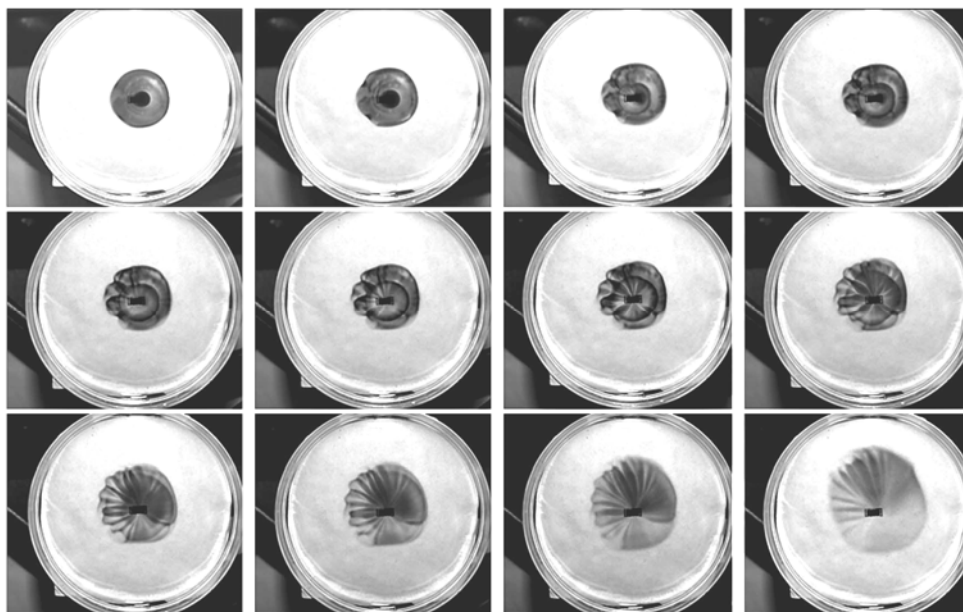


Рис. 1. Формирование структуры типа «лепестки» в слое воды 3 мм при действии ЭМИ с частотой 53 ГГц и мощностью 10 мВт (чёрный прямоугольник в центре – выход волновода генератора). Краситель - дихлорфенол индофенол. Последовательность кадров по строкам справа налево. Структура сохраняется после выключения поля (эксперимент 28.10.2008 г.)

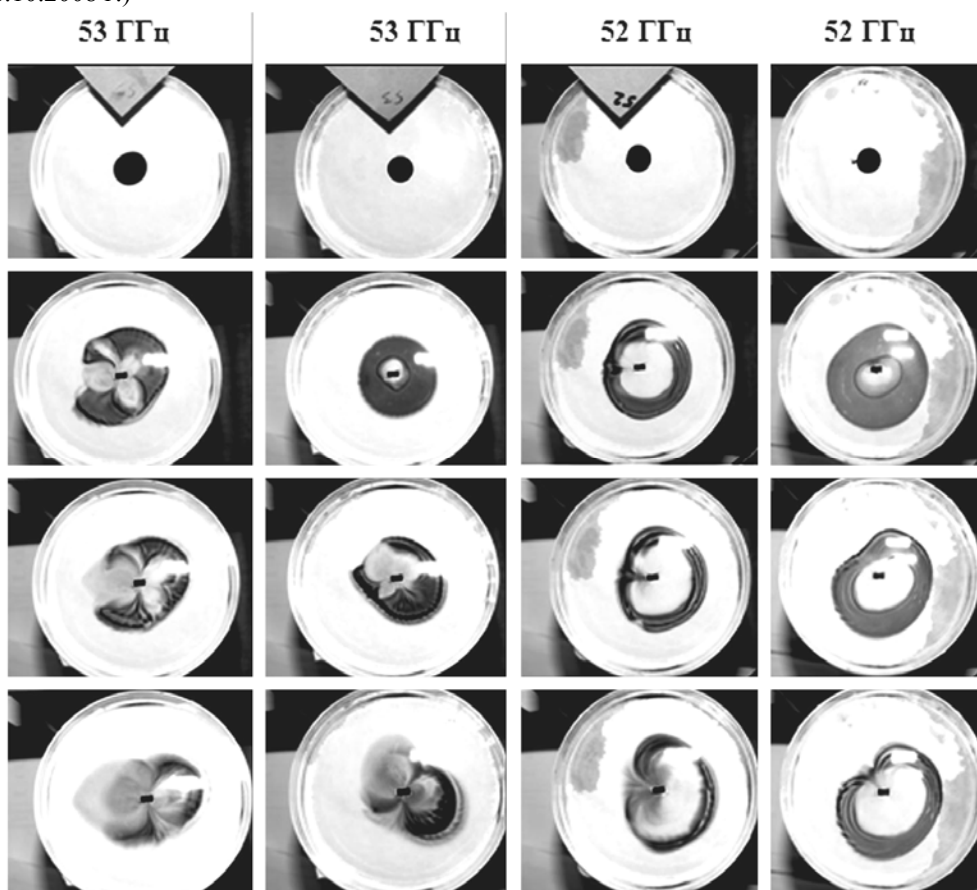


Рис. 2. Формирование структур типа «восьмёрки» и «кардиоиды» из исходных капель концентрированного раствора красителя ДХФИФ в слое воды 3 мм при действии ЭМИ с частотами 53 ГГц и 52 ГГц и мощностью 10 мВт (чёрный прямоугольник в центре – выход волновода генератора). Последовательность кадров – по столбцам сверху вниз (эксперимент 04.11.2008 г.).

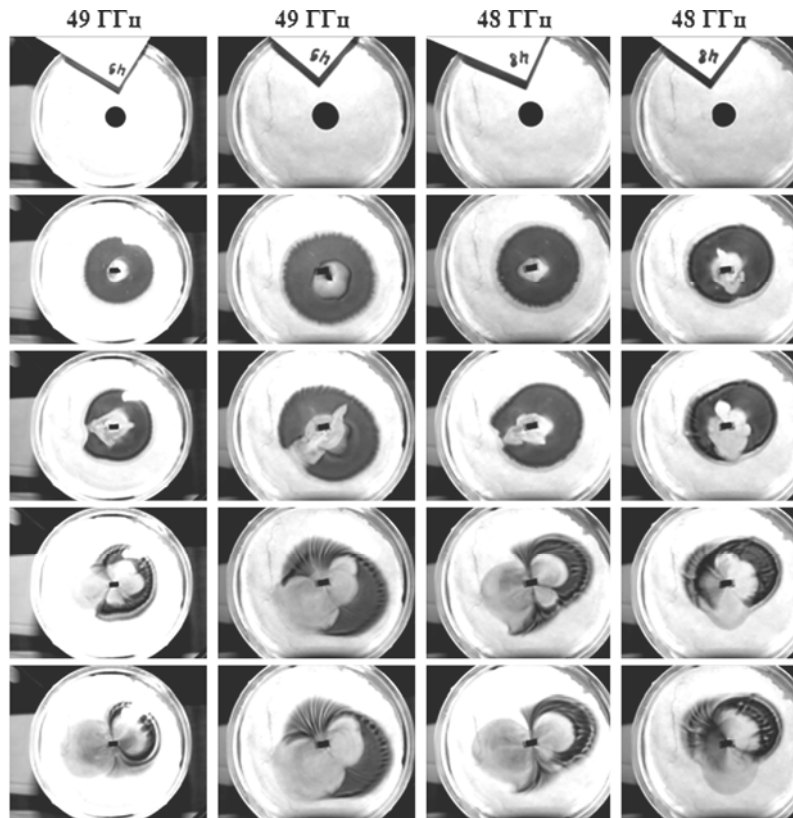


Рис. 3. Формирование структур типа «восьмёрки» из исходных капель концентрированного раствора красителя ДХФИФ в слое воды 3 мм при действии ЭМИ с частотами 49 ГГц и 48 ГГц и мощностью 10 мВт (чёрный прямоугольник в центре – выход волновода генератора). Последовательность кадров – по столбцам сверху вниз. (04.11.2008 г.)

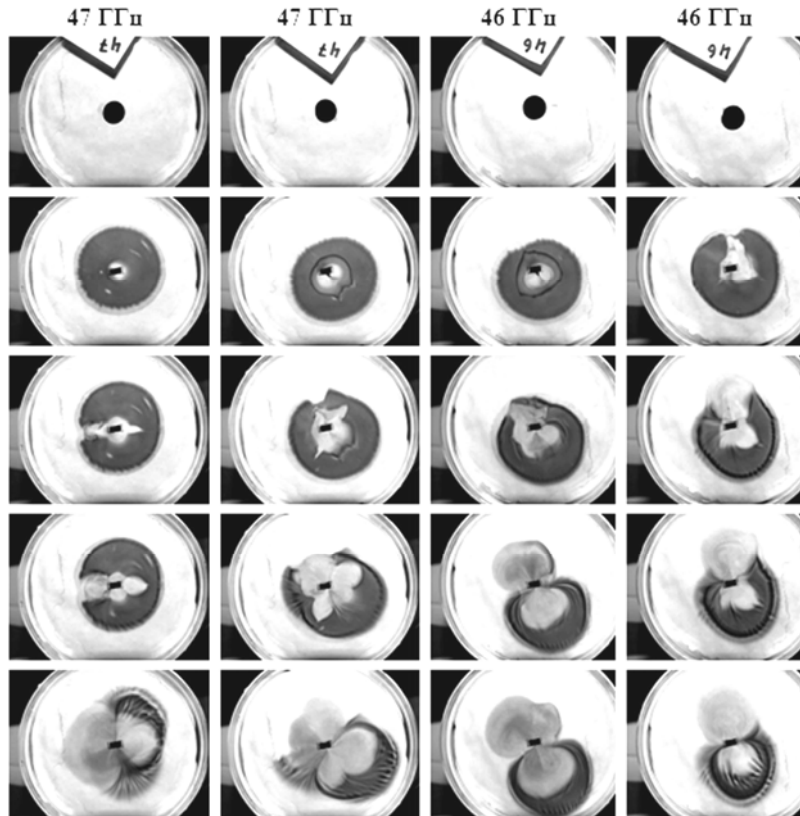


Рис. 4. Формирование структур типа «восьмёрки» из исходных капель красителя ДХФИФ в слое воды 3 мм при действии ЭМИ с частотами 47 ГГц и 46 ГГц и мощностью 10 мВт. Чёрный прямоугольник в центре – выход волновода генератора; ось «восьмёрки» может быть расположена под разными углами к продольной оси волновода. Последовательность кадров – по столбцам сверху вниз (эксперимент 04.11.2008 г.).

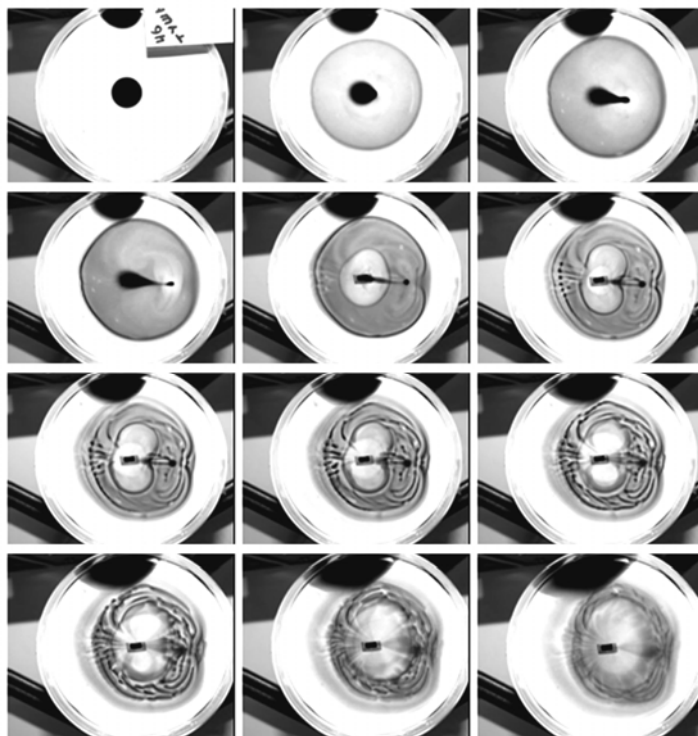


Рис. 5. Формирование диссипативной структуры «кардиоиды» из капли туши в слое воды 3 мм при действии ЭМИ с частотой 46 ГГц и мощностью 10 мВт (чёрный прямоугольник в центре – выход волновода генератора). На краю чашки Петри нанесенная на дно капля туши, которая не подвергалась действию ЭМИ КВЧ и диффундирует в воде обычным образом. Последовательность кадров – по строкам слева направо (эксперимент 12.12.2008 г.).

На наш взгляд, данная модель иллюстрирует синергетические представления о возникновении динамических структур в жидкостях. «...Возрастая, градиент температуры достигает критического значения, тогда внезапно устанавливается макроскопическое движение, образующее чётко выраженные структуры...» [7]. «Структуры могут поддерживаться в динамике за счёт непрерывного потока энергии (или вещества) через систему. В других случаях структуры сначала возникают в динамике, а затем как бы «отвердевают» [7].

На воду и краситель действуют: 1) сила тяжести, 2) градиент температуры, вызванный поглощением КВЧ-излучения в локальном объёме жидкости (этот поток энергии создаёт неустойчивость типа ячеек Бенара), 3) электромагнитное поле заданной частоты, которое влияет на распределение и движение зарядов в растворе. Капля того же красителя, в этой же воде, на которую не действует такая комбинация физических полей, проявляет обычную диффузию (рис. 5). Граничными условиями для формирующихся структур являются: размер чашки Петри, высота слоя жидкости, соизмеримая с длиной волны излучения, круглая форма стенок. В классических опытах Бенара градиент тепла был вертикальным – равномерно подогревалось дно посуды с жидкостью, в нашем случае – и вертикальным и радиальным (от центра к краям).

Тип диссипативных структур и их динамика в целом удовлетворительно воспроизводятся в течение дня или нескольких дней и недель. Как правило, по форме они напоминают неправильные восьмиугольники (рис.2,3,4) или кардиоиды (рис.2, 5). Особенностью фигур типа «восьмёрка» является наличие чёткой структуры у одного круга, и диффузной – у второго. Ось «восьмёрки» может быть расположена под разным углом к длинной стороне прямоугольного волновода (рис.3,4). В некоторые дни экспериментов, при той же частоте действующего ЭМИ, конвективные структуры эволюционировали к форме лепестков; причины такого поведения пока непонятны.

Вид конвективной структуры также может зависеть от толщины водного слоя. В экспериментах с красителем ДХФИФ при толщине водного слоя 3 мм доминируют структуры «неправильных восьмиугольников», а при 6 мм наблюдаются преимущественно кардиоиды. При использовании туши доминировали кардиоиды при разной высоте водного слоя. Такое различие указывает на то, что формирование диссипативных структур зависит и от химической природы растворённых веществ (наличия заряженных, гидрофобных, полярных химических групп в молекулах и т.д.).

Следует отметить, что материал чашки Петри – стекло или пластик – принципиально не влияет на

формирование диссипативных структур. Но поскольку пластик прозрачен в миллиметровой области, а стекло задерживает часть КВЧ-излучения, естественно, что при равной падающей мощности диссипативная структура в стеклянной чашке устанавливалась позднее, чем в пластиковой.

При уменьшении мощности действующего ЭМИ КВЧ на ~ 20% конвективные структуры образуются со значительной задержкой и являются неполными, а при ещё большем понижении мощности не формируются даже конвективные вихри. Различные искажения поля (рассеивание с помощью рупора, ослабление дополнительным тонким слоем воды, перекрытие части сечения волновода) исключают появление структур. По-видимому, это указывает на пороговый характер наблюдаемых явлений.

При использовании переходного волновода с круглым выходным сечением возникающие структуры более симметричны, чем при прямоугольном излучателе. Это свидетельствует о том, что формирование диссипативных структур в значительной мере зависит от пространственной структуры электромагнитного поля, воздействующего на водный слой.

Чёткую зависимость формы возникающей структуры от частоты ЭМИ КВЧ установить не удалось. По-видимому, здесь проявляется изначальная стохастичность (непредсказуемость) подобных диссипативных структур, которые зависят от незначительных сдвигов начальных условий.

Одной из наиболее интересных особенностей таких диссипативных структур является их когерентность: система ведет себя согласованно, как единое целое [8]. В наших опытах, например, если зацепить микропипеткой край «структуры», её можно поворачивать и двигать как целое, что напоминает поведение гелеподобных структур. Такое «гелеподобное» состояние сохраняется некоторое время и после выключения генератора. Следует отметить, что «гель-золь» переходы в живой клетке имеют исключительно важное значение в регуляции подвижности, формообразовании и способности реагировать на внешние стимулы [13].

На наш взгляд, приведенные факты снимают противоречие между «тепловым» и «нетепловым» воздействием ЭМИ КВЧ на воду. Градиент температуры, даже небольшой, возникающий в водном слое вследствие поглощения электромагнитных волн, является одним из управляющих параметров. При этом энергия, внесенная в систему, не приводит к хаотическому тепловому размыванию формирующихся диссипативных структур, а наоборот поддерживает

их даже некоторое время после прекращения воздействия ЭМИ КВЧ. Формирование упорядоченных конвективных структур при очень малых температурных градиентах порядка десятых-сотых градуса описано в литературе [10-12]. Вероятно, наблюдаемый нами феномен является одним из экспериментальных подтверждений идей о коллективных свойствах возбуждений в жидких средах, множественных нелинейных резонансных взаимодействиях колебательных мод и сильных колебательно-электронных взаимодействиях, приводящих к пространственному концентрированию энергии и переходу в определённые динамические структурные состояния [14].

ВЫВОДЫ

При воздействии КВЧ излучения мощностью ~10 мВт в диапазоне частот 37 – 53 ГГц на воду возникают макроскопические конвективные диссипативные структуры со временем жизни порядка минут, десятков минут. Такие диссипативные структуры хорошо визуализируются при использовании разнообразных красителей и проявляют свойства целостных пространственно самосогласованных систем.

Литература

1. *Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н.* Миллиметровые волны и живые системы. – М.: УРСС, 2004. – 272 с.
2. *Бецкий О.В., Кислов В.В., Яременко Ю.Г.* Низкоинтенсивные миллиметровые волны в биологии и медицине, их биофизические эффекты и механизмы воздействия // Радиотехника.-2005.-№ 8.- С.103 -110.
3. *Голант М.Б.* Влияние монохроматических электромагнитных излучений мм диапазона малой мощности на биологические процессы.// Биофизика.- 1986.- Т.31, вып.1.- С.139-147.
4. *Ситько С.П., Мкртчян Л.Н.* Введение в квантовую медицину. – К.: Паттерн, 1994. – 145 с.
5. *Семихина Л.П.* Диэлектрические и магнитные свойства воды в водных растворах и биообъектах в слабых электромагнитных полях. Тюмень. ТГУ. - 2006.- 164с.
6. Миллиметровые волны в медицине: Сб. ст. ТТ. 1,2 //Под ред. Н.Д.Девяткова и О.В.Бецкого.- М.: Изд-во ИРЭ АН СССР, 1991.- 585 с.
7. *Хакен Г.* Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ.- М.: Мир, 1985.-423 с.
8. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса // ред. В.А. Аршинов, Ю.Л. Климонтович. -М.: Прогресс, 1986.-432 с.
9. *Голант М.Б., Савостьянова Н.А., Тарасова Т.П.* Роль генерации клетками когерентных колебаний в

- организации клеточных ансамблей // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. - 1988.- Вып.7.- С.29-33.
10. *Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П.* Структуры на поверхности воды, наблюдаемые с помощью инфракрасной техники // Успехи физических наук.- 2005.-№ 11.-С. 1207-1216.
11. *Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П.* Биологическое значение тепловых узоров на поверхности воды. // Сборник «Проблемы регуляции в биологических системах. Биофизические аспекты» (под ред. А.Б.Рубина). - М: РХД, 2007. - С.292-328.
12. *Khizhnyak E.P., Ziskin M.C.* Temperature Oscillation in Liquid Media Caused by Continuous (Nonmodulated) Millimeter Wavelength Electromagnetic Irradiation. Bioelectromagnetics, 1996, 17.- pp. 223-229.
13. *Загускин, С.Л.* Гипотеза о возможной физической природе внутриклеточной и межклеточной синхронизации ритмов синтеза белка // Известия АН, Сер. Биология. - 2004, №4. - С. 389-394.
14. *Корниенко Н.Е.* О развитии нелинейно-квантовой макрофизики и нелинейно-волновой модели «энергетических каналов» живых организмов (о природе китайских меридианов) // Физика живого, 2008. - Т.16, №1. - С.5-22.

ВИНИКНЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ СТРУКТУР ПІД ДІЄЮ ЕМВ НВЧ НА СИСТЕМУ «ВОДА – БАРВНИК»

Мартинюк В.С., Ніжельська О.І.

Досліджувався вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ) міліметрового діапазону на водні розчини різноманітних барвників. При локальному опроміненні шару води, який містить концентрований розчин барвника, в чашках Петрі спостерігалось утворення різних типів впорядкованих дисипативних структур. Швидкі динамічні зміни рідині відбувалися протягом хвилин, після чого структури стабілізувалися та повільно еволюціонували у часі. Дана модель є зручною для демонстрації синергетичних явищ типу структур Бенара, а також для дослідження дії міліметрового ЕМВ, в тому числі на біологічні системи.

Ключові слова: ЕМВ, міліметровий діапазон, динамічні структури у рідинах.

DISSIPATIVE STRUCTURES FORMATION UPON EHF EMF ACTION ON THE “WATER AND DYE” SYSTEM

Martynyuk V.S., Nizhelska A.I.

An influence of millimeter range EMR on water solutions of different dyes was study at room temperature. Under local irradiation of water layer with the concentrated color solutions in Petri dishes the various types of regular structures were observed. Fast fluid dynamics took place during of minutes, than the structures became stable with slow evolution in time. This model is suitable for demonstration of the synergetic phenomena like Benard's cells and for investigation of millimeter EMR action, including its biological effects.

Key words: EMR, millimeter range, fluid dynamics.