

*ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ*

УДК 577.3

**ДЕГАЗАЦИЯ БИОЖИДКОСТЕЙ КАК МЕХАНИЗМ БИОЛОГИЧЕСКОГО  
ДЕЙСТВИЯ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ****В.М. Шаталов***Донецкий национальный университет, ул. Щорса 46, г. Донецк, Украина, 83050  
vladimir.shatalov@gmail.com*

Поступила в редакцию 28 мая 2009 г.

Принята 25 июня 2009 г.

Показано, что непосредственным результатом воздействия поля на воду и биожидкости, может быть дегазация, вызванная слиянием и всплытием синфазно поляризованных микропузырьков. Измерения коэффициента поверхностного натяжения показывают, что дегазация приводит к изменению гидрофобного взаимодействия, влияя таким образом на стабильность структуры белков. Накопление энергии поля выражается в увеличении количества свободной воды и энтропии системы без ее нагрева. Рассмотрены причины сопутствующих изменений некоторых свойств воды.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитное поле, вода, биожидкости, микропузырьки, дегазация, гидрофобный эффект.

**DEGASATION OF BIOLIQUIDS AS THE TARGET OF WEAK ELECTROMAGNETIC FIELD  
BIOLOGICAL EFFECTS****V.M.Shatalov***Donetsk national university, Schorsa 46, Donetsk, Ukraine, 83050. vladimir.shatalov@gmail.com*

It is shown, that by direct result of influence of a field on water and bioliquids, there can be a decontamination caused by integration and emersion inphase polarized microbubbles. Decontamination leads to change of factor of a superficial tension and therefore waterproof interaction, influencing thus on stability of structure of fibers. Accumulation of energy of a field is expressed in increase of amount of free water and entrophy of the system without its heating. The reasons of accompanying changes of some properties of water are considered.

**KEYWORDS:** electromagnetic field, water, bioliquids, microbubbles, degasation, waterproof effect.

**ДЕГАЗАЦІЯ БІОРІДИН ЯК МЕХАНІЗМ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ СЛАБКИХ  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ****В.М. Шаталов***Донецький національний університет, Щорса 46, Донецьк, Україна, 83050. vladimir.shatalov@gmail.com*

Показано, що безпосереднім результатом впливу поля на воду або біо-рідину, може бути дегазація, викликана укрупненням і спливанням синфазне поляризованих мікро-пухирців. Дегазація приводить до зміни коефіцієнта поверхневого натягу й отже гідрофобної взаємодії, впливаючи в такий спосіб на стабільність структури білків. Накопичення енергії поля виражається в збільшенні кількості вільної води й ентропії системи без її нагріву. Розглянуто причини супровідних змін деяких властивостей води.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** електромагнітне поле, вода, біо-рідина, мікро-пухирці, дегазація, гідрофобний ефект.

В настоящее время весьма активно обсуждаются вопросы о том, может ли длительное воздействие слабых электромагнитных полей вызывать реакцию живых организмов и влиять на самочувствие людей. Интерес к этой проблеме обусловлен все возрастающим электромагнитным загрязнением окружающей среды бытовыми и промышленными источниками. С другой стороны, слабые электромагнитные поля используются в медицине, и механизм их лечебного действия не всегда понятен. Подробный обзор экспериментальных и теоретических работ по данной проблеме можно найти в работе [1], один из выводов которой свидетельствует об отсутствии достоверной теории неионизирующего и нетермального действия электромагнитных полей на биологические системы. Непонятно, откуда берутся силы достаточные для изменений на молекулярном уровне в слабопроводящей и немагнитной среде. Отсутствие обоснованного физического механизма такого воздействия часто ставит под сомнения сами эксперименталь-

ные данные, поскольку опыты над биообъектами не всегда возможны *in-vitro* и трудно воспроизводимы *in-vivo*.

Заметим, что столь же непонятная ситуация складывается с воздействием поля на жидкую воду. Здесь имеется ряд аномалий, которые обычно связываются с изменениями структуры воды [2]. Вода представляется наиболее подходящим объектом для поиска механизма неионизирующего и нетермального действия электромагнитного поля, поскольку свойства водной среды напрямую определяют функционирование биосистем, а изменение внешних параметров (температура, давление, кислотность) способно вызвать денатурацию белков и инактивацию микроорганизмов [3]. С другой стороны – опыты на неживых объектах всегда лучше воспроизводятся.

В работе [4] показано, что слабое низкочастотное (3400Hz) электромагнитное поле за 2.5 часа увеличивает проводимость воды в 2-3 раза. Использование такой, по мнению автора, активированной воды увеличивает индекс прироста биомассы на 14%. Похожие результаты получены в [5], но уже для высокочастотного поля от 50 до 200MHz. Проводимость воды за время от 2 до 5 часов увеличивается в от 2 до 6 раз. Парадоксально, что при этом pH возрастает примерно на единицу, то есть относительное число легких ионов  $H^+$  уменьшается. Авторы связывают эти эффекты с изменением под действием поля структурных свойств воды, что также сказывается и на процессах мицеллообразования в растворах поверхностно-активных веществ [6], наблюдается изменение светопропускания и критической концентрации мицеллообразования растворов поверхностно-активных веществ после выдержки в поле. Последний факт представляется весьма важным, поскольку образование мицелл происходит по тем же законам, что и образование нативной структуры белков. Таким образом, происходящие под действием поля изменения свойств воды могут быть причиной последующих изменений структуры белков в водной среде. В работах [7, 8] изучалось влияние импульсного низкочастотного электромагнитного поля на спектры рассеяния света и люминесценции. На основе весьма тщательных экспериментов авторы приходят к выводу о том, что эффект воздействия электромагнитного поля уменьшается в воде с уменьшенным содержанием растворенного воздуха. Удивительно, что авторы [5-8] не делают вывода о дегазирующем действии электромагнитного поля, хотя этот вывод, казалось бы, прямо вытекает из полученных результатов.

### **Изменение свойств воды при дегазации**

Наблюдаемое в [5, 7] увеличение pH воды допускает единственное объяснение – выход углекислоты, а закон Дальтона говорит о том, что одновременно должны выходить из воды и другие компоненты воздуха, то есть действие поля приводит к дегазации воды. В работах [9, 10] сообщается о необычных последствиях дегазации воды, в частности, о значительном уменьшении электросопротивления до 0.8 MΩ·cm при 22°C после дегазации, по сравнению с 18.18 MΩ·cm при 25°C для сверхчистой воды [2, 11]. Считается, что уменьшение электросопротивления при дегазации обусловлено удалением неполярных газов  $O_2$  и  $N_2$ , обладающих структурирующим действием.

В литературе можно найти сообщения об эффективной дегазации воды без существенного повышения температуры с помощью микроволн и даже путем освещения [12]. В [12] концентрация растворенного и свободного кислорода определялась методом ядерного магнитного резонанса. Показано, что в  $1m^3$  воды при 20°C содержится около  $2 \cdot 10^{15}$  пузырьков со средним радиусом  $a \sim 20nm$ . После 30min облучения суммарный объем воздуха в пузырьках снижался почти вдвое, тогда как количество растворенного кислорода уменьшалось всего на 12%, что соответствовало уменьшению растворимости при сопутствующем нагреве воды на 4.5°C. Механизм этого явления не обсуждался, однако, напрашивается вывод о том, что облучение приводит к выходу пузырьков

из воды без заметного изменения растворимости газа. Отметим, что оценка среднего радиуса 20nm, полученная в этой работе, существенно отличается как от другой оценки 180nm того же автора [13], так и от значения 300nm, полученного в [7].

Растворенные газы обычно присутствуют даже в дистиллированной и деионизированной воде в виде микро- или нанопузырьков. В отсутствие поля в процессы растворения и дегазации взаимно скомпенсированы. При этом возникающие в воде микро- и нанопузырьки имеют, очевидно, флуктуационную природу, когда вероятность обратно пропорциональна квадратному корню из объема пузырька. Пузырьки меньшего размера появляются чаще, однако, они нестабильны, поскольку с уменьшением радиуса пузырька растет давление Лапласа и, следовательно, скорость растворения газа – пузырек схлопывается.

Воспрепятствовать уменьшению размера и обеспечить стабильность пузырька может захват ионов  $H^+$  или  $OH^-$  поверхностью пузырька. Как следует из электростатики, если сфера является проводником, то заряд захватывается потенциалом изображения, а если диэлектриком – притяжением заряда к наведенному диполю. Можно оценить сечение этого процесса в случае проводящей сферы:

$$s_i = \pi a^2 \left[ 1 + \left( \frac{e^2}{2\pi\epsilon\epsilon_0 a} \right)^{1/2} \left( \frac{m_i v_{i0}^2}{2} \right)^{-1/2} \right], \quad (1)$$

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$  F/m – электрическая постоянная,  $m_i$  и  $v_{i0}$  – масса и скорость иона. Так сечение захвата иона  $H^+$ , движущегося со средней тепловой скоростью, пузырьком радиуса  $a = 20$ nm составляет  $\sim 1.8\pi a^2$ . При меньших скоростях сечение может существенно превышать площадь поперечного сечения пузырька. При этом в условии равенства внутреннего и внешнего давлений появляется дополнительное слагаемое, связанное с кулоновской энергией заряженной сферы.

$$\frac{Nk_B T}{\frac{4}{3}\pi a^3} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^4} = \frac{2\sigma}{a} + P_0, \quad (2)$$

где  $a$  – радиус пузырька,  $N$  – число молекул газа в пузырьке,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения воды,  $P_0$  – давление воды. Отсюда получаем минимальный размер однократно заряженного пузырька без газа  $2a = 2.4$ nm, при этом давление Лапласа равно 1.2kbar. В области значений  $a$  от 5 до 500 nm давление изменяется от нескольких сот до нескольких десятков атмосфер. Такие пузырьки нестабильны, поскольку повышенное давление ускоряет растворимость газа, находящегося в пузырьке. Здесь справедлива приближенная формула  $a = \sqrt{N} 0.082$ nm (при температуре 20°C). Давление Лапласа сравнивается с атмосферным  $P_0$  при  $a \geq 1.4$ µm, поэтому пузырьки размером в несколько микрон живут достаточно долго, чтобы всплыть на поверхность. Например, пузырек размером 10 µm всплывает со скоростью  $\sim 1.3$ cm/min. Устойчивость пузырьков промежуточных размеров от 5 до 500 nm – это отдельная задача, которую мы здесь не обсуждаем.

Отметим, что в условие равновесия входит величина атмосферного давления  $P_0$ , следовательно, погодные изменения  $P_0$  могут влиять на равновесие пузырьков микронных размеров.

### Механизм дегазации в электромагнитном поле

Таким образом, у нас есть основания полагать, что непосредственным результатом воздействия поля на воду, а следовательно, и на живые организмы, может быть дегазация биожидкостей. Физика этого эффекта такова. Во-первых, электромагнитное поле приводит к синфазной электрической поляризации всех пузырьков, в результате чего

возникают дальнедействующие диполь-дипольные силы между пузырьками и притяжение пузырьков к границе жидкости, где нормальная составляющая поля меняется скачком. Вода, обладающая большой диэлектрической проницаемостью, втягивается в область поля, а пузырьки – выталкиваются. Во-вторых, заряженные пузырьки, перемещаясь в постоянном поле, создают области повышенной концентрации у границ жидкости. Акустические колебания заряженных пузырьков в переменном поле также могут ускорять коалесценцию и служить причиной резонансных эффектов. В результате пузырьки сближаются, сливаются и укрупняются до стабильных макроскопических размеров. При этом скорость всплытия пузырьков в вязкой жидкости увеличивается пропорционально квадрату их радиуса, в результате пузырьки успевают всплыть и освободить свой газ на поверхности (на границе с воздухом).

Подобное движение газовых пузырьков в поле звуковой волны в жидкости хорошо изучено. Пондеромоторные силы, возникающие между колеблющимися в фазе пузырьками называются силами Бьеркнеса. Природа этих сил проста: это силы притяжения из-за пониженного давления в области между пузырьками или между пузырьком и твердой стенкой. Колеблющиеся пузырьки взаимодействуют по закону Кулона, но не отталкиваются, как одноименные заряды, а наоборот притягиваются [14]. Заметим, что еще в работах П.Н. Лебедева показано, что пондеромоторное действие электромагнитных волн такое же, как у звуковых.

Как показали наши исследования [15], дегазация воды влияет на гидрофобные силы, приводя к росту коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  более, чем на 5%. Для сравнения, при нагреве от 20 до 60°C (температура денатурации некоторых белков)  $\Delta\sigma$  уменьшается всего на 10%. Как известно, гидрофобный эффект является результатом тонкого термодинамического равновесия между возможными структурами воды в присутствии гидрофобной поверхности. Это равновесие определяет, в частности, стабильность структуры и функционирование белков. Приведенные выше аргументы свидетельствуют о том, что электромагнитное поле через дегазацию среды может нарушить это равновесие. Накопление энергии поля выражается в увеличении количества свободной воды и энтропии системы без ее нагрева. В этой схеме нет поглощения энергии поля непосредственно биосистемой, нет повышения температуры среды. Поле через дегазацию меняет условия функционирования белков.

Тезис о том, что электромагнитное поле влияет на гидрофобное взаимодействие, сам по себе не нов. Среди множества экспериментальных свидетельств биологического действия слабых полей можно найти работы, связывающие эти эффекты с изменениями гидрофобного взаимодействия в изучаемом объекте. Так, например, спектральные исследования [16, 17] показали, что первичной мишенью слабого низкочастотного (8Hz) магнитного поля являются молекулярные структуры, образованные связыванием неспецифичных гидрофобных лигандов с альбумином, цитохромом и гемоглобином. Обнаружено, что магнитное поле увеличивает связывание бензола с протеинами, а также изменяет связывание с альбумином таких гидрофобных лигандов, как *tamoxifen* и *rethinolacetate*. Обнаруженная в [18] перестройка структуры коллагена у крыс, повергавшихся воздействию поля 910MHz также связывается авторами с изменением гидрофобного взаимодействия. Подобных примеров – множество, для всех характерна зависимость эффекта от дозы, иногда и от частоты. Результаты этих работ доказывали, что биологическое действие поля обусловлено конформационными перестройками биомолекул, причиной которых могло быть, изменение гидрофобных сил под влиянием поля, однако, сам физический механизм воздействия поля оставался неясным.

Если поле влияет на гидрофобный эффект, то это влияние должно иметь место в обычной воде. В [2] можно найти сообщения об увеличении поверхностного натяжения воды на 2% в электрическом поле  $\sim 1 \text{ MV m}^{-1}$  [19] и в магнитном поле  $\sim 10 \text{ T}$  [20], что

связывается со стабилизацией водородных связей либо с затуханием поверхностных волн. Дегазация воды под действием поля как причина изменения гидрофобного эффекта – такой механизм до сих пор не обсуждался.

### Оценка эффекта

Критерием наблюдаемости дегазации под действием поля может служить характерное время сближения поляризованных пузырьков. Проще всего оценить вклад диполь-дипольного взаимодействия между поляризованными пузырьками. Дипольный момент сферического пузырька в электрическом поле с напряженностью  $\mathbf{E}_0$  имеет вид:

$$\mathbf{d} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2} a^3 \varepsilon_0 \mathbf{E}_0, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_1 \approx 1$  и  $\varepsilon_2 \approx 80$  – диэлектрические проницаемости воздуха в пузырьке и окружающей его воды. Силу взаимодействия двух одинаковых диполей на расстоянии  $\mathbf{r}$  можно представить как сумму радиальной и тангенциальной составляющих:

$$\mathbf{F} = [F_r \mathbf{e}_r + F_t \mathbf{e}_t], \quad (4)$$

где  $\mathbf{e}_r$  и  $\mathbf{e}_t$  – единичные вектора вдоль  $\mathbf{r}$  и в поперечном направлении  $\mathbf{d} - \mathbf{e}_r \cdot d \cdot \cos \theta$ ,  $\theta$  – угол между векторами  $\mathbf{r}$  и  $\mathbf{E}_0$ . Пузырьки притягиваются или отталкиваются в зависимости от знака радиальной составляющей этой силы,

$$F_r = \frac{3d^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4} (1 - 3 \cos^2 \theta). \quad (5)$$

Знак  $F_r$  не зависит от фазы в случае полей, переменных во времени, а зависит лишь от взаимной ориентации поля и отрезка, соединяющего диполи – направления сил, действующих на пузырьки, не меняются во времени. Если пузырьки находятся в секторе притяжения (отталкивания), то они продолжают притягиваться (отталкиваться) в течение всего времени действия поля. С учетом того, что среднее значение квадрата косинуса в (4) равно  $\frac{1}{2}$ , можно утверждать, что в среднем между пузырьками всегда действует сила притяжения. Поперечная составляющая силы (4),

$$F_t = \frac{3d^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4} 2 \cos \theta, \quad (6)$$

изменяется в такт с изменением поля и в среднем равна нулю.

Для оценки времени сближения мы ограничимся рассмотрением только радиального движения, колебательное движение в поперечном направлении не учитываем. Скорость движения пузырьков  $v$  под действием силы (4) в жидкости с вязкостью  $\eta$  (для воды  $\eta = 0.001 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ограничивается противодействием силы Стокса:

$$F_v = 6\pi\eta av. \quad (7)$$

Приравнявая (5) и (7) и интегрируя это уравнение, начиная от среднего начального расстояния между пузырьками  $r_0$  до точки касания, получаем оценку времени коалесценции (см. Рис. 1):

$$\frac{t}{\tau} = \frac{8\pi^2}{5(3 \cos^2 \theta - 1)} \left[ \left( \frac{r_0}{a} \right)^5 - 32 \right]. \quad (8)$$

где характерный масштаб времени  $\tau$  определяется свойствами среды и напряженностью поля и не зависит от размера пузырька (см. Рис. 2),

$$\tau = \left( \frac{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right)^2 \frac{\eta}{\varepsilon_0 E_0^2}, \quad (9)$$

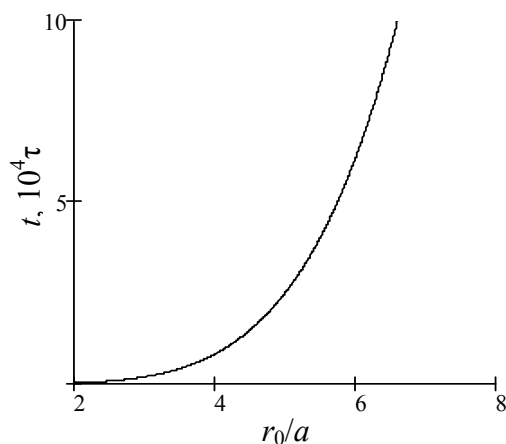


Рис. 1. Зависимость времени коалесценции  $t$  начального расстояния  $r_0$  между пузырьками

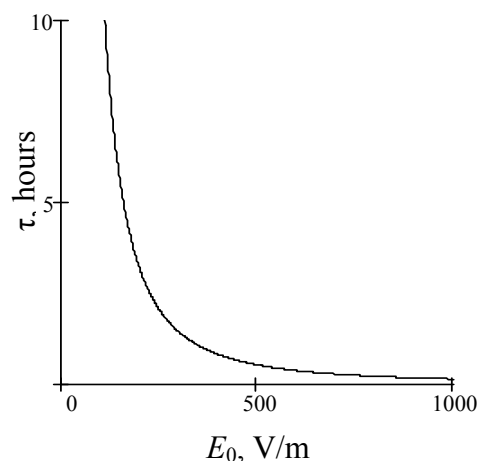


Рис. 2. Зависимость характерного масштаба времени  $\tau$  от напряженности поля  $E_0$

Анализируя графики, представленные на Рис. 1 и 2 можно заключить, что процесс коалесценции под действием поля довольно медленный, но все же заметный; для напряженности поля  $E_0=1000\text{V/m}$  получаем  $\tau=7.82$  минут, что дает для пузырьков, разделенных расстоянием в  $4a$ , время сближения  $t=1020$  часов. Прогноз не слишком оптимистический, однако, диполь-дипольное взаимодействие самый слабый из перечисленных выше эффектов. Более сильные, притяжение к границе и прочие, зависят от геометрии эксперимента и поэтому здесь не оцениваются. Возможно также, что какой-то вклад дают механические колебания пузырьков, стимулированные переменным полем. Заметим, что в работах [4-8] опыты длились от нескольких часов до нескольких дней, прежде чем изменения свойств воды проявляли тенденцию к насыщению. Таким образом, несмотря на приближенный характер проведенных оценок, можно утверждать, что в жидкости, помещенной в электромагнитное поле, появляется постоянно действующая сила притяжения между пузырьками и притяжение пузырьков к границе. Пузырьки воздуха в воде совершают броуновское движение, и если случайно оказываются близко друг от друга, то притягиваются и сливаются.

### Обсуждение результатов

Итак, имеются достаточно веские основания считать, что первичным действием электромагнитного поля на водные системы может быть синхронная поляризация всех возникающих в воде нестабильных микро и нанопузырьков. В равновесии без поля процессы растворения и дегазации взаимно скомпенсированы. Они включают в себя процессы адсорбции и диффузии молекул, образование и схлопывание, слияние и всплытие микропузырьков. Электромагнитное поле нарушает это равновесие. Под действием сил притяжения поляризованные пузырьки сближаются и укрупняются до стабильных макроскопических размеров. Они успевают всплыть и освободить свой газ на поверхности до того, как этот газ снова растворится в воде под действием давления Лапласа. Как следствие, уже на этом этапе происходит изменение структурных свойств воды, что выражается в изменении гидрофобных сил и проявляется как биологический эффект.

Дегазация водной среды, происходящая непрерывно на протяжении всего времени действия электромагнитного поля, является искомым механизмом накопления действия любого, даже очень слабого поля. Это накопление проявляется в изменении гидрофобных сил в облученной воде. Проведенная оценка времени сближения пузырьков свидетельствует о реальности предложенного механизма. Все пузырьки сближаются одновременно, поэтому среднее время сближения двух пузырьков определяет характерное время изменения наблюдаемых свойств жидкости.

Предлагаемый механизм не ограничен сравнением энергии кванта поля с  $kT$ , поскольку поле действует на макро- объекты, а не на отдельные молекулы, как в других известных теориях [1]. Кроме того, что снимается вопрос о первичной мишени и накоплении энергии при воздействии слабых полей на биосистему, наша модель объясняет ряд сопутствующих явлений. В поле цилиндрической симметрии [5, 6] на все пузырьки действует сила, определяемая градиентом электрического поля, направленного радиально. Эта сила пропорциональна кубу радиуса пузырька и квадрату напряженности поля (т.е. не зависит от направления поля), она уравнивается вязкой силой Стокса, пропорциональной радиусу и скорости пузырька. Таким образом, все пузырьки дрейфуют в одну сторону и их концентрация вблизи одного из электродов возрастает, что сдвигает равновесие в сторону слияния и всплытия пузырьков. Скорость дрейфа пузырьков пропорциональна квадрату радиуса, следовательно, крупные пузырьки сближаются быстрее. Скорость всплытия также пропорциональна квадрату радиуса, следовательно, более крупные пузырьки всплывают раньше. Таким образом, одновременно с дегазацией изменяется распределение пузырьков по размерам, что должно сказываться на светопропускании, поскольку интенсивность рассеяния по закону Релея пропорциональна квадрату вектора поляризации (3), то есть шестой степени радиуса. Перераспределение размеров и замедленное всплытие пузырьков малых размеров может наблюдаться как последствие, то есть, дегазация как всплытие слившихся, но маленьких пузырьков продолжается и после выключения поля. Кроме того, неконтролируемые внешние поля могут приводить к спонтанному изменению свойств воды, что подтверждается многодневными [4] и многолетними [21] наблюдениями флуктуаций проводимости.

Сопутствующий дегазации выход  $\text{CO}_2$  из раствора приводит к росту рН и, следовательно, к уменьшению числа легких носителей  $\text{H}^+$  по сравнению с тяжелыми  $\text{OH}^-$ . Тем не менее, электропроводность после дегазации резко возрастает [2, 10]. Причин тому может быть несколько. Во-первых, пузырьки являются центрами рекомбинации носителей, что уменьшает проводимость. Во вторых, вблизи пузырьков электрическое поле искажается, что выражается в локальном изменении электропроводности, которая становится тензором  $\sigma_{\alpha\beta}$ , зависящим от координат:

$$\frac{\sigma_{\alpha\beta}}{\sigma_0} = \left(1 + \frac{a^3}{2R^3}\right) \delta_{\alpha\beta} - \frac{3a^3 R_\alpha R_\beta}{2R^5}, \quad (11)$$

где  $\mathbf{R}$  – радиус-вектор из центра пузырька,  $\sigma_0$  – проводимость в отсутствие пузырька. Возможно также, что микропузырки газа, растворяющегося в воде, разрушают цепочки из молекул воды, по которым осуществляется быстрый перенос протонов («Grotthuss mechanism» [2]). Быстрый перенос переходит в стадию диффузии, как в обычных электролитах, и подвижность носителей падает.

Однако наиболее вероятная, по нашему мнению, причина многократного увеличения проводимости при дегазации связана с изменением типа носителей заряда. Микропузырки, захватывая ионы  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$ , становятся малоподвижными носителями заряда, вклад которых в проводимость можно оценить как  $\frac{ne^2}{6\pi\eta a}$ , где  $n$  – концентрация

заряженных пузырьков, максимальное значение последней равно концентрации свободных ионов  $n_i = 2N_A 10^{-pH}$  mol/L. При дегазации  $n \rightarrow 0$ , а концентрация свободных ионов растет  $n_i - n \rightarrow n_i$ . При этом растет соответствующий вклад в проводимость  $\frac{(n_i - n)e^2}{6\pi\eta a_i}$ , максимальное значение которого при  $n=0$  превышает проводимость воды с пузырьками в  $a/a_i$  раз, где  $a_i$  – средний радиус гидратированных ионов  $H^+$  и  $OH^-$ .

Каким образом гидрофобное взаимодействие связано с наличием микропузырьков, пока не ясно. Предлагаемый механизм снимает лишь вопрос о первичной мишени воздействия электромагнитного поля на биосистему. Как известно, сетка водородных связей образует льдоподобную гидратную оболочку вокруг пузырька. Такое «замораживание» уменьшает энтропию на  $\Delta S$ , что компенсируется сохранением H-связей. Возможно, запасенная в пузырьках «скрытая теплота»  $T\Delta S$  определяет изменение гидрофобности после дегазации.

Автор благодарит И.Е. Стась и В.С. Мартынюка за полезные обсуждения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields / USA, NIH Publication No. 98-3981, 1998. This report is available at the NIEHS EMFRAPID Program world-wide-website: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm>
2. Chaplin M. Water structure and science / is available at <http://www.lsbu.ac.uk/water/>
3. Нога И.В., Шаталов В.М. Моделирование кинетики инактивации спор *Bacillus Subtilis* и *Bacillus Stearothermophilus* под давлением // *Біофізичний вісник*. – 2007. – Вип. 19 (2). – С.116-121.
4. Boulanger L. Observations on variations in electrical conductivity of pure demineralized water: modification (“activation”) of conductivity by low-frequency, low-level alternating electric fields // *Int. J. Biometeorol.* – 1998. – V.41. – P.137-140.
5. Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // *Ползуновский вестник*. – 2008. – №3. – С.305-309.
6. Стась И.Е., Михайлова О.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства мицеллообразующих ПАВ // *Ползуновский вестник*. – 2004. – № 4. – С.115-119.
7. Valle'e Ph., Lafait J., Legrand L., Mentre' P., Monod M.-O., Thomas Y. Effects of Pulsed Low-Frequency Electromagnetic Fields on Water Characterized by Light Scattering Techniques: Role of Bubbles // *Langmuir*. – 2005. – V.21. – P.2293-2299.
8. Vallée Ph., Lafait J., Mentre' P., Monod M.-O., Thomas Y. Effects of pulsed low frequency electromagnetic fields on water using photoluminescence spectroscopy: Role of bubble/water interface // *J. Chem. Phys.* 2005. – V.122. – P.114513.
9. Pashley R.M., Rzechowicz M., Pashley L.R., Francis M.J. De-Gassed Water Is a Better Cleaning Agent // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – V.109. – P.1231-1238.
10. Pashley R.M., Francis M.J., Rzechowicz M. The hydrophobicity of non-aqueous liquids and their dispersion in water under de-gassed conditions // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* – 2008. – P.236-244.
11. Light T.S., Licht S., Bevilacqua A.C., Morash K.R. The fundamental conductivity and resistivity of water // *Electrochem. Solid-State Lett.* – 2005. – V.8. – P.E16-E19.
12. Емец Б.Г. Дегазация воды с помощью освещения бытовой электролампой накаливания // *ЖТФ*. – 2000. – Т.70, вып.1. – С.134-135.
13. Емец Б.Г. Определение методом ядерного магнитного резонанса средних размеров и концентрации воздушных пузырьков, содержащихся в воде // *ЖТФ*. – 1997. – Т.23, №13. – С.42-45.
14. Завтрак С.Т. К вопросу о силе взаимодействия Бьеркнеса двух газовых пузырьков в поле звуковой волны // *Акуст. ж.* – 1987. – Т.33, N2. – С.240-245.
15. Ковеза Ю.В., Нога И.В., Шаталов В.М. изменение кислотности и дегазация среды как факторы, влияющие на гидрофобное взаимодействие и активность растительной каталазы // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2008. – №8. – С.290-292.
16. Мартынюк В.С., Калиновский П.С., Цейслер Ю.В. Влияние слабого магнитного поля крайне низкой частоты на спектральные характеристики цитохрома с в присутствии хлороформа // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия»*. – 2001. – Т.14 (53), № 3. – С. 121-128.
17. Цейслер Ю.В., Мартынюк В.С., Калиновский П.С. Влияние переменного магнитного поля на спектральные характеристики альбумина при его взаимодействии с гидрофобными лигандами // *Ученые за-*



- писки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2003. – Т.16 (55), № 3. – С. 8 – 12.
18. Tzaphlidou M., Fotiou E. Collagen as a target for electromagnetic fields - effects of 910-MHz // EMC 2005 International Symposium on Electromagnetic Compatibility 8-12 Aug. 2005. – V. 3. – P.791-795. Digital Object Identifier 10.1109/ISEMC.2005.1513632
19. Bateni A., Susnar S.S., Amirfazli A., Neumann A.W. Development of a New Methodology to Study Drop Shape and Surface Tension in Electric Fields // Langmuir. – 2004. – V.20. – P.7589-7597.
20. Fujimura Y., Masaaki I. The surface tension of water under high magnetic fields // J. App. Phys. – 2008. – V.103. – P.124903.
21. Цетлин В.В., Артамонов А.А., Бондаренко В.А., Федотова И.В. О временных вариациях токов проводимости воды в электрохимической ячейке // Солнечно-земная физика. – 2008. – Т.2, вып.12. – С.361-363.