

УДК 577.322: 537.632.5

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА КРИТИЧЕСКУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ В ВОДЕ И ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Мартынюк В.С.<sup>1</sup>, Панов Д.А.<sup>2</sup>, Цейслер Ю.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кафедра биофизики биологического факультета  
 Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,  
 01033, Киев, ул. Владимирская, 64.  
 e-mail: mavis@science-center.net;

<sup>2</sup>Кафедра физической и аналитической химии химического факультета  
 Таврического национального университета им. В.И. Вернадского

<sup>3</sup>Факультет биомедицинских технологий  
 Открытый международный университет развития человека «Украина»

Поступила в редакцию 09.09.2008

С целью проверки гипотезы о влиянии магнитных полей крайне низких частот (МП КНЧ) на гидрофильно-гидрофобный баланс в водных коллоидных системах изучено влияние предварительной обработки магнитным полем частотой 8 Гц индукцией 25 мкТл воды и водных растворов на критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ) фосфолипидов. Показано, что предварительная обработка МП воды и водных растворов электролитов приводит к достоверным изменениям ККМ фосфолипидов, что свидетельствует об изменениях свойства водной фазы. Добавление отдельных биологически важных ионов, таких как  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , снижает величину, а в ряде случаев и направленность эффектов воздействия МП КНЧ на водную фазу. Обнаруженные эффекты можно рассматривать как прямое подтверждение влияния МП КНЧ на гидрофильно-гидрофобный баланс в водно-коллоидных системах.

**Ключевые слова:** магнитное поле крайне низкой частоты, вода, водные растворы электролитов, фосфолипиды, критическая концентрация мицеллообразования.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время биологическая активность и экологическая значимость магнитных полей крайне низких частот (МП КНЧ) не вызывает сомнений [1, 2, 3]. Однако первичные биофизические механизмы их воздействия остаются малоизученными. Представления о том, что в основе наблюдаемых биологических эффектов электромагнитных полей лежит изменение гидрофобно-гидрофильного баланса в водных системах [4, 5], требует всесторонней экспериментальной верификации.

В ранее проведенных исследованиях было показано, что воздействие магнитного поля частотой 8 Гц влияет на проявление поверхностно-активных свойств природных гликозидов [6]. Как известно, главным фактором в образовании ассоциатов этих молекул в водной фазе являются гидрофобные взаимодействия. Поэтому факт влияния низкочастотного магнитного поля на физико-химические свойства растворов гликозидов исследователи рассматривают как одно из

подтверждений идеи о важной роли гидрофобных взаимодействий в магнитобиологических эффектах.

Биологические мембраны являются классическим примером, демонстрирующим ведущую роль гидрофобных взаимодействий в организации биологических структур. При этом простейшей моделью биологических мембран являются липосомы, сформированные из природных фосфолипидов. Один из ключевых параметров, характеризующих растворимость фосфолипидов и их агрегацию в водных средах, является критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Значение ККМ зависит от ряда факторов, в том числе и от присутствия в водной среде электролитов. В связи с этим целью настоящей работы было изучение влияния экологически значимого переменного магнитного поля (ПеМП) частотой 8 Гц на ККМ природных фосфолипидов в водных средах, содержащих биологически значимые ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  разной концентрации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фосфолипиды яичного желтка получены модифицированным методом [7].

Липосомальные суспензии получали путем быстрого (~ 0,15 мл/сек) смешивания с помощью шприца 0,15 мл спиртовых растворов фосфолипидов с концентрациями  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $2 \cdot 10^{-4}$ ,  $4 \cdot 10^{-4}$ ,  $6 \cdot 10^{-4}$ ,  $8 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$  М с 14,85 мл воды или растворами электролитов разной концентрации и состава. Согласно данным литературы при таком способе получения липосомы формируются правильной сферической формы с диаметром около  $500 \text{ \AA}$  [8].

Эксперимент был проведен с пятью различными ионными средами. Растворы NaCl с концентрациями 0,003; 1; 8,5; 25,6; 35; 85; 152; 171; 256 мМ, растворы KCl с концентрациями 0,003; 1; 5; 8,5; 25,6; 35; 85; 152; 171; 256 мМ, растворы  $\text{CaCl}_2$  с концентрациями  $10^{-7}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-5}$ ;  $10^{-4}$ ;  $10^{-3}$  мМ. Исследовали также растворы NaCl+KCl с физиологическими концентрациями, составившими для  $\text{Na}^+$  - 152 мМ и  $\text{K}^+$  - 5 мМ (близкая к внеклеточной концентрации) и 15,2 мМ для  $\text{Na}^+$  и 50 мМ для  $\text{K}^+$  (близкая к внутриклеточной концентрации), а так же NaCl + KCl +  $\text{CaCl}_2$  с концентрациями, составившими для  $\text{Na}^+$  - 152 мМ,  $\text{K}^+$  - 5 мМ и  $\text{Ca}^{2+}$  -  $10^{-3}$  М (близкие к внеклеточной), также для  $\text{Na}^+$  - 15,2 мМ,  $\text{K}^+$  - 50 мМ и  $\text{Ca}^{2+}$  -  $10^{-6}$  мМ (близкие к внутриклеточной).

ККМ определяли по точке излома линии, описывающей зависимость светорассеивания липосомальных суспензий от концентрации фосфолипидов в растворе [9]. Светорассеяние суспензий оценивали по их оптической плотности с помощью фотоколориметра (КФК-3) при светофильтре с максимумом пропускания на длине волны 315 нм. Использовали кюветы с длиной оптического пути 3 см.

Магнитной обработке подвергали дистиллированную воду и растворы электролитов вышеуказанных концентраций до внесения растворов фосфолипидов. Импульсное магнитное поле создавали кольцами Гельмгольца. Импульсы были прямоугольной формы и разной полярности. Частота магнитного поля составляла 8 Гц, индукция 25 мкТл. Частота МП выбрана на основе ее экологической и геофизической значимости [1,3]. Вектор индукции создаваемого магнитного поля был параллелен вектору геомагнитного поля. Опытные образцы помещали в кольца Гельмгольца. Экспозиция составляла 30 мин. Контрольные пробы находились в условиях фоновых значений МП КНЧ, характерных для данной лаборатории (20-65 нТл). Для оценки возможного влияния различий в уровне фоновых МП в местах расположения опытных и

контрольных образцов проводили эксперименты с ложным воздействием магнитного поля. В этом случае опытные образцы помещали в кольца Гельмгольца, но не подвергали воздействию МП.

Для оценки достоверности влияния МП КНЧ использовали t-критерий Стьюдента для независимых, а также попарно связанных выборок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

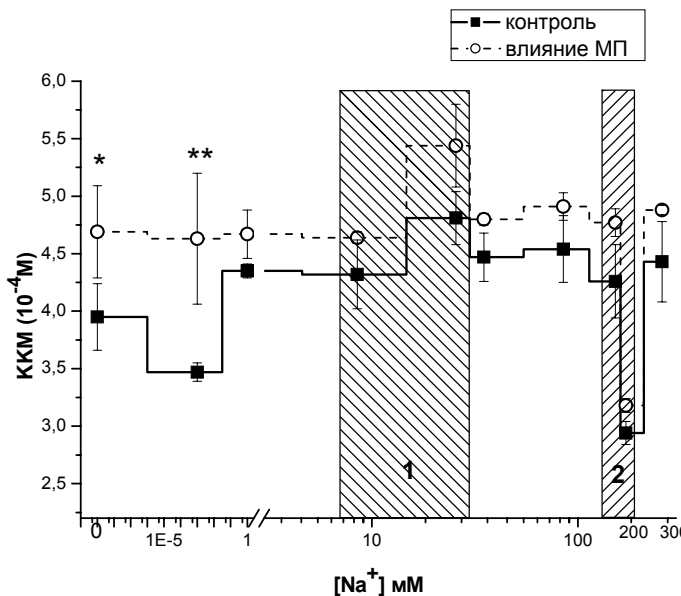
Изучение процесса мицеллообразования показало, что в экспериментах с ложным воздействием изменения ККМ фосфолипидов по отношению к контрольным образцам были статистически недостоверны и по абсолютной величине не превышали 2% и поэтому в дальнейшем изложении они не представлены. Случаи формально статистически недостоверных изменений в пределах  $0,10 > p > 0,05$ , но превышающие указанный 2%-ный уровень в несколько раз, нами рассматривались как проявление устойчивой тенденции, заслуживающей внимание.

На рисунке 1 представлены значения ККМ фосфолипидов в воде (крайняя левая точка) и растворах хлорида натрия разной концентрации. Как видно, значение ККМ зависит от концентрации хлорида натрия. Однако в исследуемом диапазоне концентраций монотонная зависимость не обнаруживаются. Для отдельных концентраций хлорида натрия (0,001 и 171 мМ) имеет место достоверное снижение величин ККМ (рис. 1). Известно, что с повышением концентрации электролита величина ККМ растет [10], однако результаты данного исследования свидетельствуют о том, что указанная зависимость, видимо, выполняется для более широкого диапазона высоких концентраций, а в диапазоне физиологически значимых концентраций имеет место более сложная зависимость. Этот вывод также подтверждают результаты исследований, проведенные на растворах хлорида калия и кальция (рис. 2-3), а также на растворах с комбинированным физиологически значимым ионным составом (рис. 4).

Предварительная экспозиция воды и растворов хлорида натрия в МП приводит к повышению значению ККМ на 6-25%. Указанное повышение зависит от концентрации данного электролита. Так, наибольшие изменения ККМ ( $0,05 > p > 0,01$ ) на 15-25% установлены для дистиллированной воды и крайне низких (0,003 мМ) концентраций хлорида натрия. Повышение концентрации NaCl приводит к снижению эффектов магнитной обработки в 1,5-2 раза, однако общая направленность изменений значений ККМ сохраняется в пределах 6-11% с уровнем статистической значимости  $0,07 > p > 0,05$

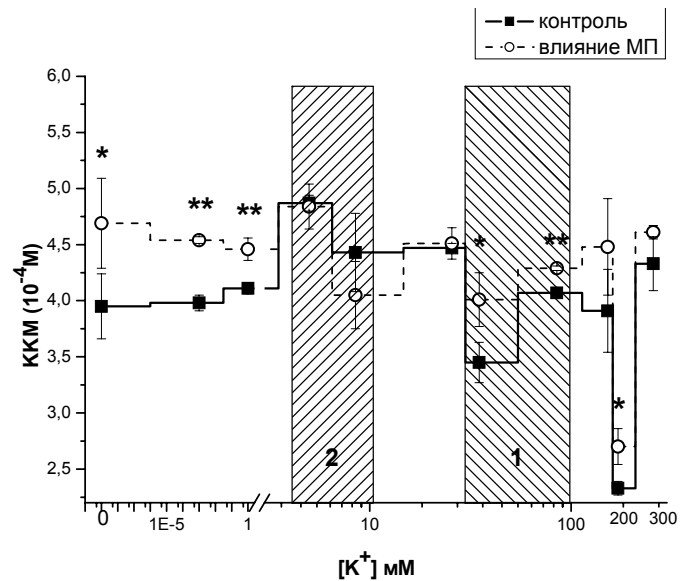
(рис. 1). Однако сравнение результатов повторных экспериментов свидетельствует о том, что такое уменьшение эффекта действия МП в присутствии хлорида натрия удовлетворительно воспроизводится. Тем не менее, монотонной зависимости влияния МП на ККМ природных фосфолипидов от концентрации хлорида натрия в диапазоне концентраций (1-171 мМ) не установлено.

Для растворов хлорида калия в исследуемом концентрационном диапазоне, также как и для растворов хлорида натрия, монотонная зависимость значений ККМ от концентрации электролита отсутствует (рис. 2). Однако, не только в воде и крайне разбавленных растворах, но и в диапазоне внутриклеточных концентраций ионов калия (35-85 мМ) эффекты МП носят более устойчивый и высоко достоверный характер. При этом величина эффекта МП в воде и сильно разбавленных растворах (+7 - +15%) сравнима с эффектами для растворов с концентрацией более 35 мМ (+5 - +13%). Однако в диапазоне концентраций ионов калия 5-8 мМ, соответствующем внеклеточной среде, в условиях предварительной обработки растворов МП наблюдается слабая тенденция к снижению значений ККМ.



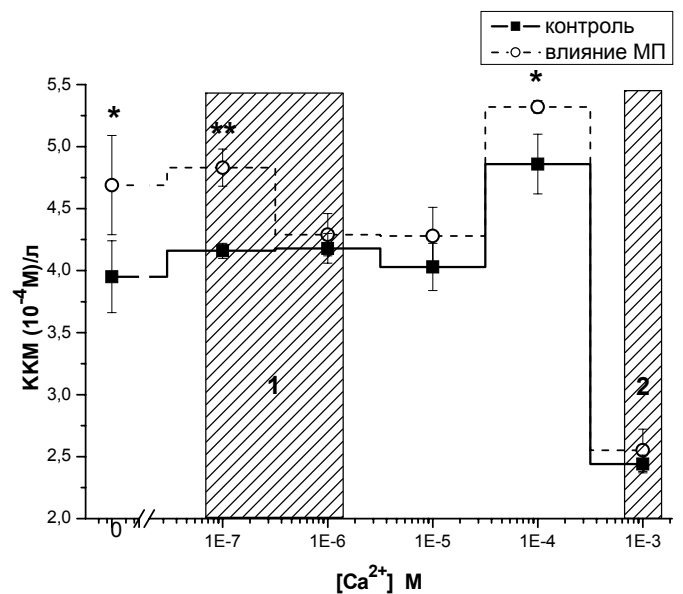
**Рис. 1.** Значения ККМ фосфолипидов в воде и растворах хлорида натрия разной концентрации в контрольных и предварительно обработанных МП образцах.

*Примечания:* дистиллированная вода – крайняя левая точка; далее слева направо концентрационные точки - 0,003; 1; 8,5; 25,6; 35; 85; 152; 171; 256 мМ; заштрихованные области соответствуют диапазонам концентрации NaCl внутри клетки (1) и в межклеточном пространстве (2); \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ .



**Рис. 2.** Значения ККМ фосфолипидов в воде и растворах хлорида калия разной концентрации в контрольных и предварительно обработанных МП образцах.

*Примечания:* дистиллированная вода – крайняя левая точка; далее слева направо концентрационные точки - 0,003; 1; 5; 8,5; 25,6; 35; 85; 152; 171; 256 мМ; заштрихованные области соответствуют диапазонам концентрации NaCl внутри клетки (1) и в межклеточном пространстве (2); \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ .



**Рис. 3.** Значения ККМ фосфолипидов в воде и растворах хлорида кальция разной концентрации в контрольных и предварительно обработанных МП образцах.

*Примечания:* дистиллированная вода – крайняя левая точка; далее слева направо концентрационные точки -  $10^{-7}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-5}$ ;  $10^{-4}$ ;  $10^{-3}$  М; заштрихованные области соответствуют диапазонам концентрации  $\text{CaCl}_2$  внутри клетки в состоянии покоя (1) и в межклеточном пространстве (2); \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ .

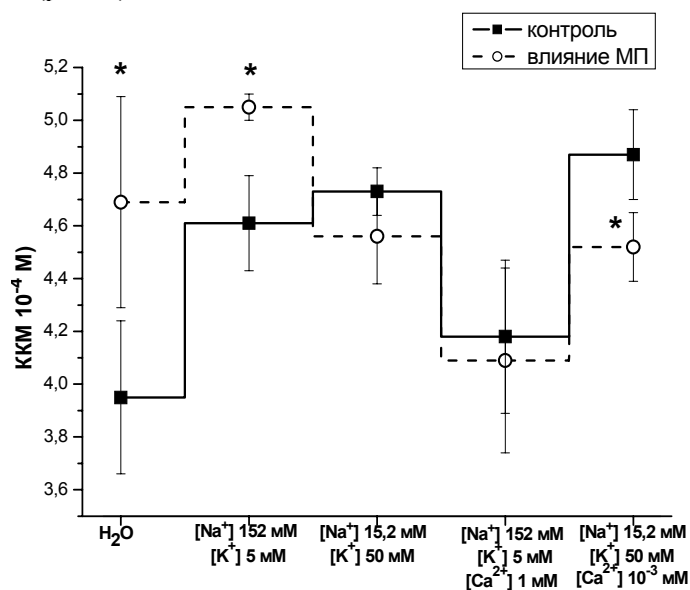
Широко известно, что ассоциация-диссоциация ионов кальция с белками, нуклеиновыми кислотами и биологическими мембранами является важным фактором в регуляции биологических процессов. В цитоплазме клетки, находящейся в покое, концентрация кальция составляет порядка  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  М, тогда как в возбужденном функциональном состоянии уровень кальция может возрасти на 2-3 порядка. В тоже время в межклеточной жидкости концентрация ионов  $Ca^{2+}$  поддерживается на относительно постоянном уровне и находится в пределах  $10^{-3}$  М. В литературе описаны факты высокой чувствительности активности  $Ca^{2+}$ -зависимых ферментов к действию переменных магнитных полей [11-13], поэтому нами проведены исследования влияния МП на поверхностно-активные свойства природных фосфолипидов для растворов с широким диапазоном концентрации ионов кальция. Результаты экспериментов с растворами хлорида кальция приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, предварительная экспозиция в МП приводила к достоверному повышению ККМ на 9-13% в растворах, с концентрациями ионов  $Ca^{2+}$ , соответствующими минимальной ( $10^{-7}$  М) и максимальной ( $10^{-4}$  М) внутриклеточным концентрациям данного иона.

В клетках живых организмов ионы калия, натрия и кальция присутствуют одновременно, в связи с этим представляет интерес изучение водных сред с ионным составом, соответствующим содержанию указанных ионов как вне, так и внутри клетки. Результаты экспериментов с различным ионным составом представлены на рисунке 4.

Первое, на что следует обратить внимание, это отсутствие аддитивных эффектов магнитного воздействия на растворы, содержащие одновременно разные ионы. Так, если при предварительной экспозиции в МП растворов NaCl и KCl с концентрациями, соответствующими содержанию этих ионов в межклеточном пространстве, имели место разнонаправленные тенденции (рис. 1 и 2), то при одновременном присутствии данных ионов в растворе предварительная обработка МП приводила к достоверному повышению значений ККМ почти на 9% (рис. 4). Дополнительное же введение ионов  $Ca^{2+}$  до уровня 1 мМ, которое эквивалентно их содержанию в межклеточном пространстве, приводило к нивелированию указанных магнитно-полевых эффектов.

Несколько другие эффекты имели место с растворами, концентрация указанных ионов в которых соответствовала их содержанию внутри клетки, находящейся в состоянии покоя. Так если значения ККМ в растворах повышались после магнитно-полевой экспозиции (рис. 1 и 2), то при

одновременном присутствии данных ионов в растворе эффекты воздействия МП отсутствовали, а при наличии ионов  $Ca^{2+}$  в концентрации  $10^{-3}$  мМ значения ККМ достоверно снижались почти на 8% (рис. 4).



**Рис. 4.** Значения ККМ фосфолипидов в воде и растворах с разным ионным составом в контрольных и предварительно обработанных МП образцах.

Примечания: дистиллированная вода – крайняя левая точка; \* -  $p < 0,05$ .

Таким образом, результаты данного исследования свидетельствуют о том, что предварительная обработка МП частотой 8 Гц воды и сильноразбавленных физиологически значимых растворов электролитов приводит к повышению ККМ природных фосфолипидов в среднем на 15-20%. Это означает, что растворимость фосфолипидов в воде и растворах с крайне низкими концентрациями электролитов возрастает, поэтому фазовый переход от мономолекулярного раствора фосфолипидов к коллоидному раствору их агрегатов – липосомальной суспензии, – происходит при более высоких концентрациях фосфолипидов. Данный факт формально позволяет говорить об изменении поверхностно-активных свойств этих соединений. Однако, из схемы проведения экспериментов ясно, что мы имеем дело не с изменением свойств самих поверхностно-активных веществ, а с изменением свойств водной фазы, в которой фосфолипиды ведут себя иначе. В исследованиях [14-17], проведенных разными авторами на белковых моделях, так же обнаружены магнитно-полевые эффекты, связанные с изменением свойств водной фазы. Поэтому полученные результаты можно рассматривать как дополнительное подтверждение идеи о том, что одним из первичных «акцепторов» воздействия переменного магнитного поля может являться вода,

определяющая параметры гидрофобно-гидрофильного баланса в растворах биополимеров.

Так как свойства водной фазы зависят от природы растворенных в ней веществ, не удивительно, что в данном исследовании присутствие ионов натрия, калия, кальция и хлора в диапазоне физиологических концентраций является фактором, который, как правило, снижает эффекты магнитно-полевого воздействия на растворимость фосфолипидов. Данный факт, вероятно, может быть полезен в исследованиях, посвященных проблемам устойчивости живых систем к действию электромагнитных факторов.

Следует обратить внимание на тот факт, что относительно небольшие различия в ионном составе водных растворов приводят к модификации магнитно-полевых воздействий, вплоть до нивелирования или смены знака эффекта. Последнее обстоятельство также может иметь важное значение для электромагнитной биологии. Во-первых, такая сложная зависимость магнитно-полевых эффектов от ионного состава может быть ключом к пониманию причин «плохой» воспроизводимости экспериментальных результатов, что обсуждается в литературе [2,18]. А во-вторых, открывает дополнительные возможности использования электромагнитных факторов для управления медико-биологическими и биотехнологическими процессами посредством изменения их чувствительности в зависимости от состава физиологических сред.

Следует также отметить, что биологические последствия такого влияния МП на поведение фосфолипидов в водных растворах пока мало изучено, но можно предположить, что в результате воздействия МП в клетках живых организмов может происходить повышение (или понижение) истинной растворимости природных фосфолипидов, что в свою очередь должно изменять величину их ККМ. Как следствие, для формирования бислойных мембранных структур и поддержания их структурно-функциональной целостности в таких условиях необходимы более высокие (или более низкие, в зависимости от знака эффекта) концентрации фосфолипидов. В таком случае можно ожидать, что на клеточном и системном уровне реакция организма на воздействие МП будет сопровождаться интенсификацией тех или иных звеньев липидного обмена и системы межклеточного и внутриклеточного транспорта липидов, что показано в отдельных исследованиях [19,20]. Одновременно с этим можно ожидать изменения жидкокристаллических свойств билипидного слоя, изменения свойств межклеточных контактов и взаимодействий [21], проницаемости биологи-

ческих мембран [22], активности мембранных белков и их ассоциации с мембранами [23], повышение секреторной активности клеток [24]. Вероятно, с этим может быть связана более высокая реактивность бактериальных культур на предварительно обработанные МП питательные среды [25,26]. Можно также предположить, что давно известная высокая чувствительность к МП КНЧ электрически активных тканей человека и животных (нервная ткань и миокард) [27], в которых ритмично меняется ионный состав в примембранном внешнем и внутреннем пространстве, также связана с зависимостью магнитно-полевых эффектов от ионного состава среды, который определяется функциональным состоянием биологической ткани. Одновременно с этим вполне возможно, что в основе некоторых адаптационных реакций живых организмов к действию МП КНЧ могут лежать механизмы, приводящие к таким изменениям ионного состава внутри и снаружи клетки, которые минимизировали или/и компенсировали бы изменения, вызываемые действием данного фактора. Все это тем или иным способом должно сказываться на системных показателях минерального обмена в организме человека и животных, что в действительности имеет место [28, 29].

## ВЫВОДЫ

1. Предварительная обработка низкочастотным магнитным полем воды и водных растворов электролитов приводит к достоверным изменениям ККМ фосфолипидов, что свидетельствует об изменениях свойств водной фазы.
2. Изменения свойств водной фазы, вызванные добавлением отдельных биологически важных ионов, таких как  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , снижает величину, а в ряде случаев меняет и направленность эффектов воздействия МП КНЧ.
3. Обнаруженные эффекты можно рассматривать как прямое подтверждение влияния МП КНЧ на гидрофильно-гидрофобный баланс в водно-коллоидных системах.

## Литература

1. Александров В.В. Экологическая роль электромагнетизма. – С.Пб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – 716 с.
2. Бинги В. Н. За что и как критикуют магнитобиологию // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений. — М.: Изд-во «АЛЛАНА», 2004. – С. 195–209.

3. *Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М.* У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. - Киев: Издатель В.С. Мартынюк, 2008. - 179 с.
4. *Martyniuk V.S., Tseysler Yu. V.* The Hydrophobic-Hydrophilic Balance in Water Solution of Proteins as The Possible Target for Extremely Low Frequency Magnetic Fields // In: Biophotonics and Coherent Systems in Biology - Berlin-Heidelberg- New York: Springer, 2006. - P. 105 - 122.
5. *Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В., Мирошниченко Н.С., Артеменко А.Ю.* Влияние магнитного поля крайне низкой частоты на собственную флуоресценцию сывороточного альбумина в условиях его насыщения хлороформом // Физика живого. - 2008. - Т.16, № 1. - С. 73-80.
6. *Панова Е.П., Алексахин А.В., Мартынюк В.С., Кацева Н.Г.* Влияние магнитных полей на физико-химические свойства гликозидов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия».- 2001. - Т. 12(51), № 2. - С. 95 - 98.
7. *Кучеренко Н.Е., Васильев А.Н.* Липиды. - Киев: «Вища Школа», 1985. - 248 с.
8. *Страйер Л.* Биохимия: Пер с англ. - М.: «Мир», 1984. - т.1. - 232 с.
9. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. - Ленинград: «Химия», 1984. - 368с.
10. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы.- М.: «Химия», 1989. - 464 с.
11. *Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Белова Н.А., Тирас Х.П., Климов А.А., Рождественская З.Е.* Магнитный параметрический резонанс в биосистемах // Биофизика. - 1996. - Т.41. - Вып.4. - С.815-825.
12. *Adey W.R.* Electromagnetic interaction with biological systems. - Ed. J.C.Lin. N.Y. Plenum Publ. Corp., 1989. - P. 109-140.
13. *Lerchl A., Reiter R.J., Howes K.A., Nanaka K.O., Stokan K.A.* Evidence that extremely low frequency Ca<sup>2+</sup>-cyclotron resonance fields depress pineal melatonin synthesis in vitro // Neurosci. Lett. - 1991. - Vol. 124, N 2. - P. 213 - 215.
14. *Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э.* Особенности люминесценции воды, обусловленные полиморфизмом ее структур // Вестник МГУ, серия «Физика». - 1995. - Т. 36, № 2. С. 48 - 54.
15. *Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э.* Спонтанные и индуцированные внешними электромагнитными полями долговременные переходные процессы в разбавленных водных растворах глицилтриптофана и воде // Биофизика. - 1998. Т. - 43, № 4. - С. 710 - 715.
16. *Новиков В.В., Кувичкин В.В., Фесенко Е.Е.* Влияние слабых комбинированных постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на собственную флуоресценцию ряда белков в водных растворах // Биофизика. - 1999. - Т. 44, № 2. - С. 224 - 230.
17. *Черников Ф.Р.* Влияние некоторых физических факторов на колебания светорассеяния в воде и водных растворах биополимеров // Биофизика. - 1990. - Т. 35. - в. 5. - С. 711- 715.
18. *Мартынюк В.С.* Временная организация живых организмов и проблема воспроизводимости результатов магнитобиологических исследований // Биофизика. - 1995. - Т. 40, № 5.- С. 925-927.
19. *Овечкина З.А., Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б., Кучина Н.Б.* Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на метаболические процессы в печени животных с разными индивидуально-типологическими особенностями // Биофизика. - 2001. - Т. 46, №. 5. - С. 915-918.
20. *Чернышева О.Н.* Влияние переменного магнитного поля промышленной частоты на состав липидов в печени крыс // Украинский биохимический журнал. - 1987. - Т.59. - № 3. - С. 91-94.
21. *Valtersson U.V., Hanson M.K., Matsson M.O.* Ornithinecarboxylase activity in human lymphoblastoma cells lines in presence of 50 Hz magnetic fields / Abstracts of 17<sup>th</sup> Annual Meeting of BEMS, June 18-22, 1995, Boston. - Boston, 1995. - P. 20.
22. *Ramundo-Orlando A., Gattei P., Mossa G., Palombo A. D'Inzeo G.* Theoretical and Experimental Studies on Bilayer Permeability Alterations Induced by ELF MF / Abstracts of 17<sup>th</sup> BEEMS Meeting, Boston, June 18-22, 1995. - Boston, 1995. - P.50-51.
23. *Аксенов С.И., Груина Т.Ю., Горячев С.Н.* Особенности влияния низкочастотного магнитного поля на набухание семян пшеницы на различных стадиях // Биофизика. - 2001. - Т. 46, № 6. - С. 1127 - 1132.
24. *Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Х.* Реакция тучных клеток на действие переменных магнитных полей в условиях in vitro // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия».- 2001. - Т.14 (53), № 2 - С. 3-7.
25. *Лехтлаан-Тыниссон Н.П., Цыганков А.И., Холмогоров В.Е.* Биологические эффекты опосредованного действия НЧ ПМП на модельные биосистемы / Тезисы докладов 4-го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине, С.Пб, 03-07 июля 2006. - С.Пб., 2006. - С. 58.
26. *Никитин Д.И., Никитин Л.Е., Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И.* Видовая специфичность реакции бактерий на слабое магнитное поле частотой 50 Гц. // Тезисы докладов III международного симпозиума «механизмы действия сверхмалых доз». - Москва, 3-6 декабря 2002 г. Москва: 2002. - С. 194.
27. *Холодов Ю.А.* Мозг в электромагнитных полях. - М.: Наука, 1982. -123 с.
28. *Ли. А.В.* Влияние сверхслабых инфранизкочастотных полей на устойчивость организма к гипоксии и на микро- и макроэлементарный состав сердечной мышцы. - Автореф. ...канд. биол. наук, Москва, 1990. - 16 с.
29. *Макеев В.Б., Темурьянц Н.А., Сфименко А.М., Зальцфас А.А.* Роль ионов кальция и фосфора в реализации магнитобиологических эффектов. - В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. - М.: Наука, 1984. - Т.2. - С. 247 - 248.

---

**ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НАДНИЗЬКОЇ ЧАСТОТИ НА КРИТИЧНУ КОНЦЕНТРАЦІЮ МІЦЕЛОУТВОРЕННЯ У ВОДІ І ВОДНИХ РОЗЧИНАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ****Мартынюк В.С., Панов Д.О, Цейслер Ю.В.**

З метою перевірки гіпотези про вплив магнітних полів наднизьких частот (МП ННЧ) на гідрофільно-гідрофобний баланс у водних колоїдних системах досліджено вплив попередньої обробки магнітним полем частотою 8 Гц індукцією 25 мкТл води і водних розчинів на критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ) фосфоліпідів. Показано, що попередня обробка МП води і водних розчинів електролітів приводить до достовірних змін ККМ фосфоліпідів, що свідчить про зміни властивості водної фази. Додавання окремих біологічно важливих іонів, таких як  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  і  $\text{Ca}^{2+}$ , знижує величину, а у деяких випадках і спрямованість ефектів дії МП ННЧ на водну фазу. Виявлені ефекти можна розглядати як пряме підтвердження впливу МП ННЧ на гідрофільно-гідрофобний баланс у водно-колоїдних системах.

**Ключові слова:** магнітне поле наднизької частоти, вода, водні розчини електролітів, фосфоліпіди, критична концентрація міцелоутворення.

**INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD OF EXTREMELY LOW FREQUENCY ON MICELLFORMING CRITICAL CONCENTRATION IN WATER AND WATER SOLUTIONS OF ELECTROLYTES****Martynyuk V.S., Panov D.A, Tseyslyer Yu.V.**

With the purpose of verification of hypothesis about influence of the magnetic fields (MF) on hydrophilic-hydrophobic balance in the water colloidal systems the influence of preliminary magnetic treatment (8 Hz 5  $\mu\text{T}$ ) in micellformin critical concentration (MCC) of phospholipids was studied in water and water solutions with different concentration of electrolytes. The changes of surfactant properties of phospholipids, estimated by MCC, were revealed. The causes of such changes are the changes of properties of water phase. The addition of biologically important ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  decreases the MF-effects and in several cases change the direction of MF-effects. The MF-effects, revealed in this research, are considered as direct evidence to influence of electromagnetic fields on hydrophobic-hydrophilic balance in water systems.

**Key words:** Extremely low frequency magnetic field, water, water solutions of electrolytes, phospholipids, micellforming critical concentration.

---