Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского
Серия «Биология, химия». Том 26 (65). 2013. № 1. С. 248-257.

УДК 577.322.7:57.04:537.8

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КРАЙНЕНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗНЫХ БЕЛКОВ

Цейслер Ю.В.

НИИ физиологии имени академика Петра Богача УНЦ «Институт биологии» Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина
E-mail: yuliya.tseysler@gmail.com

Показано, что эффект воздействия магнитного поля (МП) на собственную флуоресценцию сывороточного альбумина зависит от частоты поля. Оно ускоряет снижение АТР-азной активности актомиозина вследствие усиления белковой агрегации и изменения ее временной динамики. Действие физического фактора на структурно-функциональные свойства белков является более заметным в условиях их взаимодействия с гидрофобными лигандами. Совместное воздействие МП и хлороформа снижает окислительную способность цитохрома *c* в первые часы эксперимента. Влияние МП ингибирует процесс ренатурации метгемоглобина при взаимодействии с бензолом и хлороформом в течение первых четырех часов действия, но этот эффект не проявляется при длительной суточной экспозиции.
Ключевые слова: магнитное поле, альбумин, актомиозин, метгемоглобин, цитохром *c*, гидрофобные лиганды, собственная флуоресценция, АТР-азная активность.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все больше растет интерес к вопросу влияния магнитных полей на организм человека и животных как глобального фактора электромагнитного загрязнения окружающей среды. Проблема эта многофакторная, поскольку используемые в современном обществе источники магнитного излучения характеризуются широким диапазоном частот и интенсивностей. Одним из аспектов данного вопроса является изучение биологического действия магнитных полей с характеристиками, близкими к естественным электромагнитным вариациям. Из литературы известно про биологическую активность крайне низкочастотных электромагнитных полей (КНЧ ЭМП), которые обладают высокой проникающей способностью на всех уровнях организации живых систем и вызывают функциональные изменения во многих физиологических процессах [1-4].

Результаты ранних исследований первичных механизмов влияния МП КНЧ на биологические объекты привели к формированию целого ряда независимых гипотез, пытающихся объяснить отдельные эффекты влияния ЭМП на молекулярном и клеточном уровнях [5-8]. Исходя из представления ряда авторов о многообразии биологических эффектов слабых ЭМП, первичными акцепторами воздействия физического фактора являются клеточные и молекулярные структуры

(нуклеиновые кислоты, белки, биологические мембраны, митохондрии, и т.д.) [9-11]. Тем не менее, следует отметить, что молекулярные механизмы воздействия ЭМП на биологические объекты недостаточно унифицированы и систематизированы и продолжают оставаться неясными в силу отсутствия единого объективного и научно-теоретического обоснования наблюдаемых эффектов.

Учитывая вышесказанное, целью нашей работы было выяснение механизмов действия МП КНЧ на функциональные свойства таких ведущих молекулярных структур как белковые молекулы разной степени сложности организации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования служили растворы белков разной степени сложности пространственной организации: 0,02% водный раствор коммерческого лиофильного препарата *метгемоглобина* (олигомерный α-спиральный гемопротеид со степенью окисления железа в геме Fe^{3+} (М=64.5 кДа) («Fluka», Германия), 0.05% водный раствор коммерческого лиофильного препарата *цитохрома* ***c*** (небольшой (М=13.3 кДа) преимущественно α-спиральный гемопротеид с небольшим количеством β-складчатой структуры) («Fluka», Германия), 0,1% водный раствор коммерческого лиофильного препарата *бычьего сывороточного альбумина* (простой глобулярный белок (М=67 кДа) с 48% α -спиралей, 15% β-складок и 37% неупорядоченных подвижных петель) («Биоритм», Украина), 0,02% раствор *актомиозина* (сложный фибриллярный белок мышечных волокон, состоящий в основном из белков актина (М=42 кДа) и миозина (М~500 кДа)) скелетных мышц кроля (*Soviet Chinchilla*), выделенный по методике Перри, описанной в работе [12]

Флуоресцентный анализ оптических свойств сывороточного альбумина проводили по [13] на спектрофлуориметре («ЛОМО», Санкт-Петербург). (флуоресцентный монохроматор МДР-23 с шириной щели 2,2 мм и точностью ее настройки 0,01 мм; светосильный монохроматор МДР-12 с шириной щели 4,0 мм и точностью ее настройки 0,01 мм; дифракционная решетка 200-500 нм с 1200 штрихов на 1 мм; шаг сканирования спектра 0.5 нм). Экспозиция образцов осуществлялась при комнатной температуре составляла 40 минут в МП, после чего регистрировали спектры собственной флуоресценции сывороточного альбумина при возбуждении на длинах волн, которые соответствуют максимумам поглощения фенилаланина (λ=255 нм), тирозина (λ=278 нм) и триптофана (λ=288 нм). Время экспозиции образцов в МП было установлено экспериментально и составляло 40 мин. Оно соответствовало минимальной экспозиции, при которой регистрируются относительно устойчивые эффекты воздействия для МП частотой 8 Гц.

Определение АТР-азной активности актомиозина скелетных мышц осуществляли по методу [14]. Для выяснения возможной роли Ca^{2+} в магниторецепции проводили определение Mg^{2+}/Ca^{2+}-АТР-азной активности (известной из литературы как Ca^{2+}-зависимая или актин-активированная [15]) и K^{+}-АТР-азной активности (известна из литературы как Ca^{2+}-независимая [15]).

Изменение окислительной способности цитохрома ***c*** оценивали по методу [16].

Для изучения процесса ренатурационной способности метгемоглобина предварительно проводили кислотную денатурацию белка при добавлении к его

растворам 0,1 Н HCl в соотношении 50:1. Сразу после добавления кислоты экспериментальные образцы насыщали хлороформом и бензолом на протяжении 1, 2, 4 и 24 часов, после чего растворы подвергали ренатурации добавлением 0.2 М фосфатного буфера (pH=7), который нейтрализовал кислоту. Процесс ренатурации регистрировали на спектрофотометре BioSpek-mini (Shimadzu Corporation, Япония) по возрастанию оптической плотности метгемоглобина с момента начала нейтрализации pH растворов через каждые 20 минут на протяжении 2 часов до выхода кинетических кривых на плато и достижения конечного результата ренатурации метгемоглобина на длине волны λ=408 нм, которая отвечает пику Соре (максимуму поглощения гема) и является чувствительной областью адсорбционного спектра данного белка к изменению окружения гема.

Насыщение белков неполярными лигандами проводили путем наслаивания полярной фазы на неполярную в случае с хлороформом и наоборот наслаиванием неполярной фазы на полярную в случае с бензолом.

При модуляции МП использовали систему колец Гельмгольца, на которые на протяжении эксперимента подавали переменный электрический ток. Источником тока служил генератор сигналов специальной формы Г6-28. Индукцию создаваемого поля контролировали микротеслометром Г-79. Импульсы были прямоугольной формы и разной полярности. Вектор индукции создаваемого МП был ориентирован в направлении, параллельном вектору геомагнитного поля. Частота 8 Гц была выбрана на основе ранее установленной ее высокой биологической проницаемости, геофизической значимости и относительно слабой исследованности механизма воздействия на живые системы. В исследованиях частотной зависимости реакции сывороточного альбумина на действия МП использовали диапазон КНЧ 0-100 Гц с шагом в 2 Гц. Индукция МП 25 мкТ была выбрана на основе её гигиенической значимости. Данная величина соответствует 25% предельно допустимого уровня для жилых помещений и офисов [17]. Контрольные пробы находились в условиях фоновых значений МП, интенсивность которых составляла 20-65 нТл, что приблизительно в 500 - 1000 раз ниже интенсивности МП в кольцах Гельмгольца. Неоднородность МП в кольцах Гельмгольца не превышала 5%.

Для оценки возможного влияния различий в уровне фоновых МП в местах расположения опытных и контрольных образцов проводили эксперименты с ложным воздействием МП. В этом случае опытные (экспериментальные) пробы помещали в установку, но не подвергали действию МП.

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили в программе Origin 8.0 (OriginLab Corporation, США) с использованием t-критерия Стьюдента ($p<0.05$ считали статистически достоверным).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование влияния МП КНЧ индукцией 25 мкТл в полосе 0-100 Гц на спектры собственной флуоресценции сывороточного альбумина показало довольно сложный характер зависимости изменения интенсивности флуоресценции в районе максимума спектра λ=338-340 нм от частоты МП (рис.1). Среднеквадратичное

отклонение от среднего значения в выборке контрольных образцов (n=18) составило 3,10 %, поэтому выявленные эффекты влияния МП, превышающие 11,7 % (3σ), не могут быть случайными и являются надёжным свидетельством конформационных изменений сывороточного альбумина. Как видно из рисунка 1, интенсивность собственной флуоресценции белка в изучаемой области его спектра повышалась под действием МП в отдельных частотных диапазонах, максимальные изменения интенсивности флуоресценции сывороточного альбумина наблюдались при действием МП частой 48-68 Гц, что ещё раз подтверждает эффективность влияния промышленных частот на живые системы и свидетельствует о необходимости дальнейшего исследования его влияния и пересмотра с целью совершенствования гигиенических норм МП КНЧ и его использования в медицине.

Таким образом, исследование зависимости интенсивности флуоресценции сывороточного альбумина от частоты МП свидетельствуют о том, что 40-минутное действие на частотах 46 Гц, 56-68 Гц, 72-74 Гц и 85 Гц обладают в целом стимулирующим действием и повышает интенсивность флуоресценции, тогда как частоты 2 Гц, 14-26 Гц, 36 Гц, 52-56 Гц, 76-80 Гц, 88-92 Гц приводят к снижению интенсивности собственной флуоресценции данного белка.

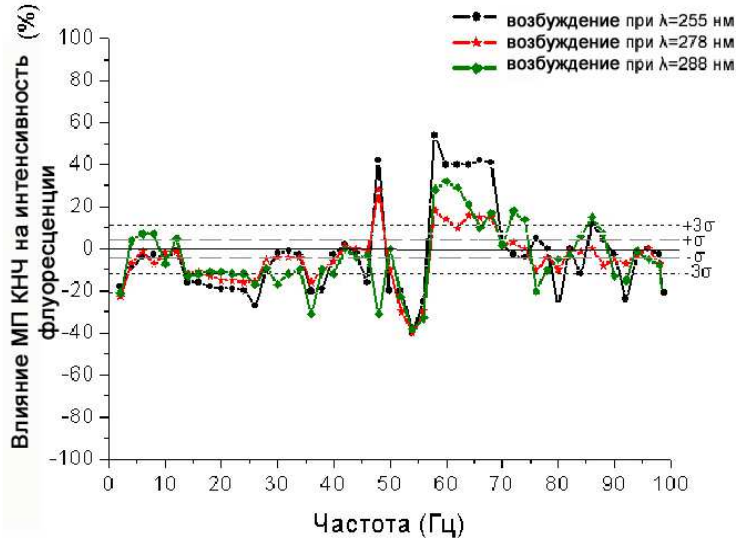
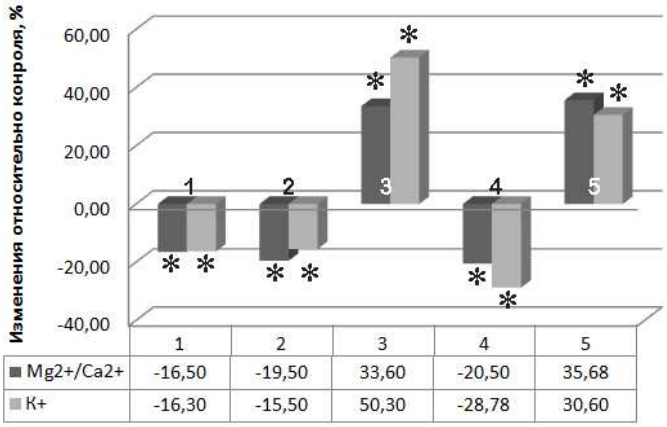


Рис.1. Зависимость интенсивности собственной флуоресценции сывороточного альбумина (относительно контроля; в %) на максимуме λ=338-340 нм при возбуждении на λ=255 нм, λ=278 нм, λ=288 нм от частоты МП (n=18).

Анализ изменений АТР-азной активности актомиозина скелетных мышц кроля в условиях электромагнитного воздействия показал разнонаправленные изменения данного показателя по сравнению с контрольными образцами (рис.2.): через 1, 2 и 4 часа экспозиции протеиновых растворов МП КНЧ подавляло АТР-азную активность ($p<0.05$), а на третьем и пятом часу экспозиции в МП наблюдался достоверный

($p<0.05$) рост АТР-азной активности актомиозина. Важным является тот факт, что характер изменений был практически одинаковым как в белковых растворах, содержащих свободные ионы кальция и магния, так и в растворах, в которых эти ионы были хелатированы ЭГТА. Это, на наш взгляд, может свидетельствовать о Ca^2-независимый механизмах воздействия ЭМП КНЧ на АТР-азную активность актомиозина.

ЭМП ННЧ, вероятно, способствует агрегации актомиозина, что вызывает общее снижение ферментативной активности белка. Но, одновременно с этим, влияние ЭМП ННЧ изменяет динамику процессов агрегации-дезагрегации в растворах актомиозина, что проявляется в виде колебаний направления эффекта воздействия МН в течение длительного эксперимента. Можно допустить, что такое влияние является Ca^{2+}-независимым, что подтверждает теоретические представления о влиянии электромагнитных полей на гидрофобно-гидрофильный баланс в водно-коллоидных системах [18].



	1	2	3	4	5
Mg2+/Ca2+	-16,50	-19,50	33,60	-20,50	35,68
K+	-16,30	-15,50	50,30	-28,78	30,60

Рис. 2. Изменения Mg^{2+}/Ca^{2+} (темные столбики) - и K^+-АТР-азной (светлые столбики) активности актомиозина (в %) при экспозиции в МП КНЧ 1, 2, 3, 4 и 5 часов (n = 60); линия «0%» - контрольные значения показателя, * - достоверные различия относительно активности в контрольных группах, $p < 0,05$.

Ранее проведенные исследования влияния МП КНЧ на растворы интактных *цитохрома* ***c*** и *сывороточного альбумина* не показали существенных изменений спектральных характеристик данных белков, в связи с чем в последующих исследованиях использовались белки, инкубирующиеся с полярными лигандами [19-20]. Для более полного освещения влияния МП КНЧ на *цитохром* ***c*** была проведена оценка совместного влияния низкочастотного МП и гидрофобного лиганда – хлороформа, на функциональную активность *цитохрома* ***c***. Как известно, органические растворители, к числу которых относится хлороформ, обладают выраженным денатурирующим действием, поэтому довольно важно было выявить влияние на функциональную активность фермента. Для внесения ясности в данную проблему были проведены исследования окислительной способности цитохрома ***c*** в

условиях его насыщения хлороформом и воздействия МП КНЧ. В качестве экспериментальной модели использовали реакцию восстановления окисленной формы данного белка [16]. Активность фермента оценивали по изменению оптической плотности при длине волны λ=550 нм.

Как видно из рисунка 3, в обеих экспериментальных сериях, как при воздействии МП КНЧ, так и при ложном действии данного фактора, для проб, которые инкубировались с хлороформом характерным является возрастание активности в сравнении с контролем после первого часа экспозиции на 6,5 %. Ингибирующее действие хлороформа в исследуемой модельной системе проявляется относительно слабо и достоверно ($p<0,05$) выявляется через 2 часа инкубации, как в экспериментах с применением МП, так и в серии с ложным действием поля. Потеря активности фермента не превышает 10 %. Это указывает на то, что насыщение белка хлороформом не приводит к значительным конформационным перестройкам и, соответственно, не приводит к полной потери активности изучаемого белка.

Полученные результаты по действию МП КНЧ (рис. 3 А) свидетельствуют о том, что ускорение связывания хлороформа *цитохромом* ***c***, вызванное действием физического фактора, приводит к достоверному ($p<0,05$) снижению окислительной способность белка в первый час эксперимента на 18%. Данный факт свидетельствует о том, что переменное магнитное поле стимулирует связывание хлороформа *цитохромом* ***c*** и тем самым усиливает денатурирующее действие неполярного растворителя на нативный биополимер. Тем не менее, проявляющаяся тенденция к восстановлению ферментативной активности цитохрома ***c*** вплоть до уровня контроля при длительной трехчасовой экспозиции может свидетельствовать об обратимости влияния гидрофобного лиганда, что обеспечивает восстановление активности фермента (рис. 3 Б).

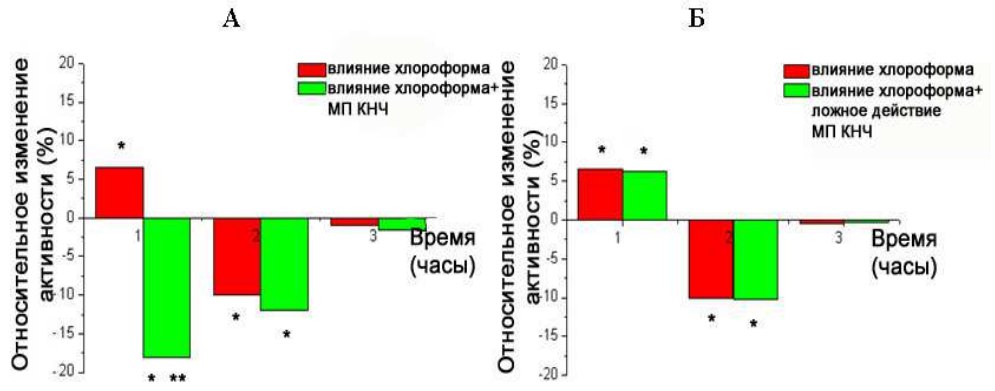


Рис. 3. Изменение активности *цитохрома с* (в % относительно контроля) при его насыщении хлороформом (А – эксперимент с МП; Б – эксперимент с ложным действием) линия «0%» - контрольные значения показателя; * - достоверное влияние МП относительно контрольных образцов ($p<0.05$); ** - достоверное влияние МП относительно насыщенных хлороформом образцов ($p<0.05$).

В исследованиях действия МП КНЧ на процесс ренатурации *метгемоглобина* без нагрузки белка гидрофобными лигандами показано слабое влияние этого фактора. Более масштабные изменения под влиянием МП КНЧ происходили при нагрузке белка гидрофобными низкомолекулярными веществами. Например, при действии МП на белок, насыщенный хлороформом, происходит снижение высоты плато кинетических кривых на 17%, 20.5%, 12% и 1.2% соответственно после 1, 2, 4 и 24 часов денатурации в МП (рис. 4. А). Замедляющее действие хлороформа на ренатурацию белка достоверно усиливается при одночасовой экспозиции в магнитном поле, как в сравнении с контрольными образцами (рис. 4. А), так и с ложно обработанными. При 2-часовой МП-экспозиции угнетение ренатурации достоверно ($p<0,05$) регистрируется только в первые минуты процесса ренатурации. При более длительных суточных влияниях МП КНЧ эффекты действия этого фактора проявляются крайне слабо, что скорее всего связано с более глубокими изменениями пространственной структуры, которые формируются при длительном насыщении денатурированного метгемоглобина, на фоне которых малое влияние МП КНЧ остается малозаметным.

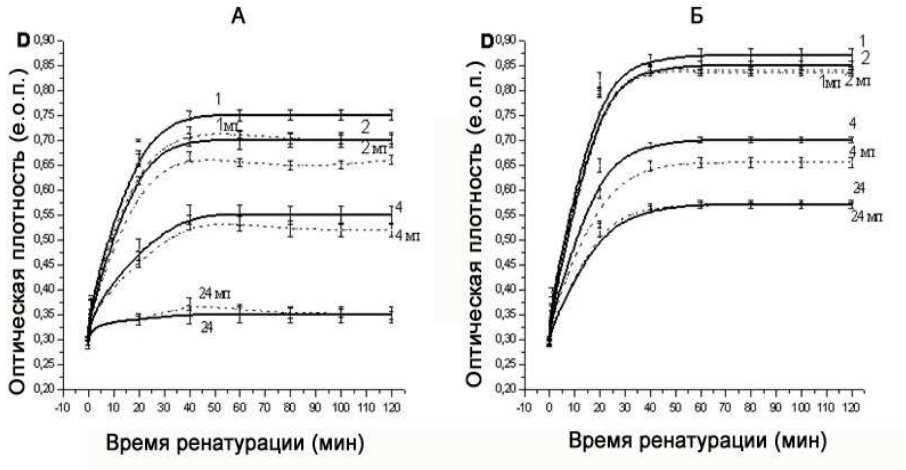


Рис. 4. Влияние МП КНЧ на ренатурацию метгемоглобина, насыщенного хлороформом (А) и бензолом (Б): сплошная линия – кинетические кривые ренатурации метгемоглобина, насыщенного лигандом; пунктирная линия - кинетические кривые ренатурации метгемоглобина, насыщенного лигандом под действием МП КНЧ; 1, 2, 4, 24 – время (в часах) насыщения неполярными лигандами растворов белка; МП – влияние МП КНЧ.

В случае с бензолом, МП КНЧ снижает уровень плато кинетических кривых процесса ренатурации на 7,5%, 3,5%, 15% и 1,5% соответственно после 1, 2, 4 и 24 часов денатурации в МП. Таким образом, МП КНЧ достоверно усиливает торможение процесса ренатурации при одно- и четырехчасовой экспозиции, при этом влияние МП на протяжении 4 часов является более эффективным (рис. 4. Б.). Также наблюдается 20-ти минутная задержка процесса ренатурации белка в

условиях его насыщения бензолом, которая сохраняется в условиях влияния МП ННЧ.

Таким образом, в целом МП КНЧ усиливает ингибирующее действие гидрофобных лигандов в первые часы эксперимента (с 1-ого по 4-ый часы в случае с хлороформом и в 1-ый и 4-ый часы в случае с бензолом) и практически не проявляет своего действия при длительных суточных воздействиях.

Итак, данный феномен найден в исследованиях на разных белках и разных функциональных моделях. При этом влияние ЭМП КНЧ дестабилизировало или наоборот стабилизировало динамику свойств водно-коллоидных систем. Согласно некоторым авторам [18, 21], именно неравновесность и метастабильность мишеней действия ЭМП КНЧ и вероятностный характер преобразования сигнала слабого магнитного поля в биохимический ответ, которые наблюдались и в наших исследованиях, является важным моментом в молекулярных механизмах магниторецепции.

ВЫВОДЫ

1. Влияние МП КНЧ на собственную флуоресценцию сывороточного альбумина зависит от его частоты. В диапазоне от 0 до 100 Гц выделяются частоты 46 Гц, 56-68 Гц, 72-74 Гц и 85 Гц, которые усиливают интенсивность флуоресценции, тогда как магнитное поле на частотах 2 Гц, 12-26 Гц, 36 Гц, 52-56 Гц, 76 Гц, 80 Гц, 88-92 Гц приводит к снижению интенсивности данного показателя.
2. Влияние МП КНЧ ускоряет снижение АТР-азной активности актомиозина вследствие усиления белковой агрегации и изменения ее временной динамики, при чем данный феномен влияния ЭМП КНЧ на динамическое поведение белковых растворов является Ca^{2+}-независимым.
3. Совместное влияние МП КНЧ и хлороформа снижает окислительную способность цитохрома ***c*** в первый час эксперимента на 18%, что может быть объяснено тем, что МП КНЧ усиливает дестабилизирующее действие неполярного лиганда на структуру биополимера.
4. Влияние слабого МП ингибирует процесс ренатурации метгемоглобина, взаимодействующего с бензолом и хлороформом, на протяжении первых четырех часов влияния и не приводит к достоверным изменениям при длительной суточной экспозиции.

Список литературы

1. Синхронизирующее действие низкоинтенсивных ЭМИ КВЧ и СНЧ- диапазонов на функциональную активность лейкоцитов крови при десинхронозах различного генеза / Н.А. Темурьянц, Е.Н. Чуян, В.А. Насилевич [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 12. – С. 41–47.
2. Мартынюк В.С. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания / В.С. Мартынюк, Б.М. Владимирський, Н.А. Темурьянц // Геофизические процессы и биосфера. – 2004. – Т.3. № 4 – С. 91-97.
3. Пресман А.С. Электромагнитное поле и жизнь / Пресман А.С. - М.: Наука, 2003. - 215 с.
4. Klitzing L. Low–frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man / L. Klitzing // Physica Medica, 1995. – P. 77–80.

5. Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic field on biological systems. / V.V. Lednev // Bioelectromagnetics. – 1991. – Vol. 12(2). – P. 71-75.
6. Martynyuk V.S. Interference of the Mechanisms of Influence That Weak Extremely Low-Freguency Electromagnetic Fields Have on the Human Body and Animals / V.S. Martynyuk, Yu.V. Tseyslyer, N.A. Temuryants // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2012. – Vol. 48, № 8. – P. 832-846.
7. Пресман А.С. Электромагнитная сигнализация в живой природе / Пресман А.С. – М.:Наука, 2004. – 143 с.
8. Бинги В.Н. Магнитобиология: эксперименты и модели / Бинги В.Н. – М., МИЛТА, 2002. – 592 с.
9. Martynyuk V.S. Surfactant Properties of Natural Phospholipids in Media Treated with Extremely Low Frequency Magnetic Field / V.S. Martynyuk, D.A. Panov // Biophysics. – 2004. – Vol. 4, № . 1. – P.23-25.
10. Lednev V.V. Effects of weak combined magnetic fields on actin–activated atpase activity of skeletal myosin / V.V. Lednev, S.L. Malyshev // Abstract of Annual Meeting on Bioelectromagnetics Society, June 10–14, 2004. St Paul, Minisota, USA. – 2004. – P. 2–3.
11. Шкорбатов Ю. Г. Влияние постоялого и вращающегося магн1тного поля на состояние хроматина в клетках буккального епителия человека и жизнеспособность *Drosophila melanogaster* / Ю.Г. Шкорбатов, В.А. Гоабина, В.Н Пасюга // Материалы 15-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, 2005. – Т.2. – С. 896-897.
12. Tseyslyer Yu.V. Effect of electromagnetic field of extremely low frequency on ATPase activity of actomyosin / Yu.V. Tseyslyer, O.V. Shelyuk, V.S. Martynyuk, N.E. Nuryschenko // Ukrainian biochemical journal – 2012. – Vol. 84, № 5. – P. 62-67.
13. Демченко А.П. Люминесценция и динамика структуры белков / Демченко А.П. – Киев: Наукова думка, 1988. – 280 с.
14. Dickman S.R. Colorimetric Determination of Phosphate / S.R. Dickman, R.H. Bray // Ind. Eng. Chem. Anal. – 1940. – Vol. 12(11). – P. 665–668.
15. Enrique M. De La Cruz Kinetic and Equilibrium Analysis of the Myosin ATPase / Enrique M. De La Cruz and E. Michael Ostap // Methods Enzymol. – 2009. – Vol. 455. – P. 157–192.
16. Генкин М.В. Реакция восстановления феррицитохрома с аскорбатом в водном растворе после предварительного нагревания воды / М.В. Генкин, Л.А. Блюменфельд // Биофизика. – 1991. – Т. 42, №. 1. – С. 22–24.
17. Гатовский С.И. Электромагнитная безопасность в офисе и дома / С.И. Гатовский, Ю.В. Перов– М.: «Имедис», 1998. – 136 с.
18. Martynyuk V.S. The Hydrophobic-Hydrophilic Balance in Water Solution of Proteins as The Possible Target for Extremely Low Frequency Magnetic Fields / V.S. Martynyuk, Yu.V. Tseysler // In: Biophotonics and Coherent Systems in Biology - Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2006. – P. 105–122.
19. Мартынюк В.С. Влияние слабого магнитного поля крайне низкой частоты на спектральные характеристики цитохрома с в присутствии хлороформа / В.С. Мартынюк, П.С. Калиновский, Ю.В. Цейслер // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2001. – Т.14 (53), № 3 – С. 121-128.
20. Цейслер Ю.В. Влияние переменного магнитного поля на спектральне характеристики альбумина при его взаимодействии с гидрофобными лигандами / Ю.В. Цейслер, П.С. Калиновский, В.С. Мартынюк // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2003. – Т.16 (55), № 3. – С. 8 – 12.
21. Martynyuk V.S. Influence of 8 Hz Magnetic Fiseld on The Binding of Chloroform With Proteins / V.S. Martynyuk, P.S. Kalinovsky, Yu.V. Tseisler // Biophysics. – 2004. – Vol. 49, №. 1. – P.17-22.

Цейслєр Ю.В. Вплив магнітних полів наднизької частоти на структурно-функціональні характеристики різних білків / Ю.В. Цейслєр // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Сєрія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 248-257.
Показано, що ефект впливу магнітного поля на власну флуоресценцію сироваткового альбуміну залежить від частоти. Воно прискорює зниження АТР-азної активнісі актоміозину внаслідок посилення білкової агрегації і зміни її часової динаміки. Дія фізичного фактору на структурно-функціональні властивості білків є більш помітною в умовах їх взаємодії з гідрофобними лігандами. Спільний вплив

МП і хлороформу знижує окислювальну здатність *цитохрому с* в першу годину експерименту. Вплив МП інгібує процес ренатурації метгемоглобіну, що взаємодіє з бензолом і хлороформом, протягом перших чотирьох годин дії і не призводить до достовірних змін при тривалій добовій експозиції.
Ключові слова: магнітне поле, альбумін, актоміозин, метгемоглобін, цитохром *с*, гідрофобні ліганди, власна флуоресценція, АТР-азна активність.

Tseyslyer Yu.V. The influence of extremely low frequency magnetic field on structurally-functional properties of different proteins / Yu.V. Tseyslyer // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2013. – Vol. 26 (65), No. 1. – P. 248-257.
It was shown that the effect of the magnetic field (MF) on intrinsic fluorescence of serum albumin depends on the frequency of the field. MF accelerates the decline of the ATP-ase activity of actomyosin due to increased protein aggregation and changes in its temporal dynamics. The effect of this physical factor on the structural and functional properties of proteins has been more significant in terms of their interaction with hydrophobic ligands. The combined impact of the MF and chloroform reduces oxidative capacity of cytochrome ***c*** in the first hours of the MF-exposure. MF inhibits the process of renaturation of methemoglobin interactied with benzene and chloroform in the first four hours of action but does not lead to significant changes in the long daily exposure.
Keywords: magnetic field, albumin, actomyosin, methemoglobin, cytochrome *c*, hydrophobic ligands, intrinsic fluorescence, ATP-ase activity.

Поступила в редакцию 12.02.2013 г.