

УДК 594:612.884/615.849.11

**МОДИФИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ НОЦИЦЕПЦИИ НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ
HELIX ALBESCENS ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СЛАБЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ
ЭКРАНИРОВАНИЕМ**

Костюк А.С., Туманяц К.Н.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: alexkostyuk@mail.ru*

Показано, что слабое электромагнитное экранирование модифицирует изменения ноцицепции моллюсков *Helix albescens*, обусловленные действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (42,2 ГГц, ППМ – 10 мВт/см²) и переменного магнитного поля сверхнизкочастотного диапазона (8 Гц, индукция 50 нТл): стадия гипералгезии становится более выражена и продолжительна, а антиноцицептивный эффект снижается на 12,64% и 27,9% соответственно.

Ключевые слова: электромагнитное излучение крайне высокой частоты, переменное магнитное поле сверхнизкой частоты, электромагнитное экранирование, ноцицепция, моллюски.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современной экологической физиологии является исследование механизмов действия электромагнитных полей (ЭМП) различных параметров [1]. Это связано как с потребностью определения роли полей в процессах жизнедеятельности, так и с необходимостью изучения последствий пребывания организмов различной степени сложности в таких условиях, что имеет важное практическое значение.

Показано, что одной из наиболее чувствительной к действию ЭМП различных параметров является ноцицепция [2-4]. Так, в исследованиях на волонтерах А.А. Radziewsky et al. (2001) [5] впервые показали, что электромагнитное излучение (ЭМИ) частотой 42,2 ГГц, плотностью потока мощности (ППМ) – 30 мВт/см² значительно уменьшает болевую чувствительность. Низкочастотное ЭМП снижает мышечную боль, вызванную введением гипертонического раствора у женщин, тогда как у мужчин статистически достоверных изменений выявлено не было [6]. В экспериментах на животных также была обнаружена способность ЭМИ крайне высокой частоты (КВЧ) снижать острую и хроническую боль у мышей [7-9] после его однократного воздействия, а также при курсовом 10-тикратном применении [4].

В то же время на живые организмы различной степени сложности постоянно оказывают влияние ослабленные ЭМП, которые широко распространены в естественных и производственных условиях, однако эффекты этих влияний мало изучены [10]. Из многочисленных литературных источников известно, что в

условиях электромагнитной депривации меняется секреторная активность коры надпочечников [11], увеличивается частота сердечных сокращений, снижается двигательная активность [12], обнаружены существенные изменения эмоционально-поведенческой реактивности крыс [13] и др.

В предыдущих наших исследованиях была показана способность низкоинтенсивных ЭМП различных частотных диапазонов корректировать ноцицептивные реакции моллюсков, развивающиеся в условиях ЭМЭ [14]. Но в то же время и слабое ЭМЭ может модифицировать антиноцицептивное действие ЭМИ КВЧ и ПеМП СНЧ. С целью выяснения этого вопроса предпринято настоящее исследование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования выполнены на наземных брюхоногих моллюсках *Helix albescens*, широко распространенных на территории Крымского полуострова и применяемых в экспериментах для решения актуальных задач физиологии и биофизики. В эксперименте использовались половозрелые животные, одинаковые по массе и размерам.

Было проведено несколько серий экспериментов, в каждой серии моллюсков делили на пять равноценных групп по 20 особей в каждой.

Животные первой группы – биологический контроль – находились в стандартных лабораторных условиях (естественной освещенности, влажности и температуры воздуха ($t=22\pm 2^\circ\text{C}$)). Моллюски второй группы ежедневно в течение 30 минут подвергались действию ЭМИ КВЧ. Животные третьей группы каждый день в течение трех часов подвергались воздействию переменного магнитного поля (ПеМП) сверхнизкой частоты (СНЧ). Четвертую (ЭМИ КВЧ+ЭМЭ) и пятую группы (ПеМП+ЭМЭ) составили животные, которые помещались в экранирующую камеру на 23 часа в сутки и дополнительно подвергались воздействию ЭМИ КВЧ и ПеМП СНЧ соответственно аналогично животным второй и третьей групп.

Источником ЭМИ КВЧ служил генератор «Явь-1» (длина волны 7,1 мм; плотность потока мощности 10 мВт/см²). Во время воздействия ЭМИ КВЧ моллюски находились в затемненных условиях в стеклянных аквариумах, к низу которых подводился рупор генератора, при этом животные находились в зоне рупора.

В качестве ПеМП использовали вертикальное линейно-поляризованное МП гармонического колебания с частотой 8 Гц и магнитной индукцией 50 нТл. ПеМП создавалось катушками Гельмгольца диаметром 1 м и генератором ГРМ-3. Для контроля гармонического колебания использовался одноканальный лучевой осциллограф С1-114/1.

Ослабление фонового ЭМП достигалось применением экранирующей камеры размером 2×3×2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо». Внутри камеры для частот от 10⁴ до 30 Гц коэффициент экранирования магнитного поля (МП) находится в пределах 3–4, на промышленной частоте 50 Гц и кратных гармониках 150 и 250 Гц – около 3. Коэффициент экранирования постоянной компоненты МП составил: по вертикальной составляющей – 4,4 раза, по горизонтальной – 20 раз.

Все исследования проведены с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента.

О состоянии ноцицепции животных судили по латентному периоду реакции избегания в тесте «горячая пластинка». Эффект воздействия электромагнитных факторов на параметры ноцицепции оценивался по коэффициенту его эффективности (КЭ) [2] ежедневно в течение 21-суточного эксперимента.

Для оценки модифицирующего действия ЭМЭ на ноцицепцию при действии низкоинтенсивных ЭМП использовали коэффициент модификации (КМ) (%) [15], отражающий влияние одного фактора на действие другого.

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью параметрических методов. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали *t*-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что П у интактных животных колебался в пределах от $30,39 \pm 0,12^\circ\text{C}$ до $30,69 \pm 0,12^\circ\text{C}$; ЛП от $9,71 \pm 0,18$ с до $10,16 \pm 0,19$ с. Как показали данные эксперимента, изменения параметров ноцицептивной чувствительности интактных моллюсков в течение 21-суточного эксперимента достоверно не отличались от фоновых значений. Показатели РИ моллюсков на термическую стимуляцию в среднем составили П – $30,51 \pm 0,02^\circ\text{C}$, ЛП – $9,89 \pm 0,02$ с.

В течение 21 суток эксперимента динамика показателей ноцицептивной чувствительности моллюсков, подвергнутых 30-минутному действию ЭМИ КВЧ, отличалась от таковой контрольных животных. В течение первых двух суток наблюдения П и ЛП особей данной группы снижались относительно исходного уровня данных, достигая минимального значения на второй день, когда значения П составили $30,08 \pm 0,11^\circ\text{C}$, ЛП – $9,30 \pm 0,17$ с. Таким образом, П снижался на 1,34%, ЛП на 6,28% относительно исходного уровня.

Как показали проведенные исследования, ЭМИ КВЧ изменяет ноцицепцию моллюсков *Helix albescens*. В течение 21-тисуточного эксперимента. В течение первых-третьих суток эксперимента имела место тенденция к снижению П и ЛП. КЭ_{эми квч} на третьи сутки исследования снижался до $-5,54 \pm 1,88\%$ ($p < 0,001$), что соответствует развитию гипералгезии (рис. 1).

Но уже после четвертого воздействия начиналось прогрессирующее возрастание КЭ_{эми квч} до 16 суток, когда он достигал $17,5 \pm 1,23\%$ ($p < 0,001$). Такая его динамика характеризует развитие гипоалгетического эффекта. На таком уровне он оставался в различных сериях экспериментов в течение трех-четырёх дней, а затем медленно снижался и на 20, 21 сутки практически не отличался от исходного уровня.

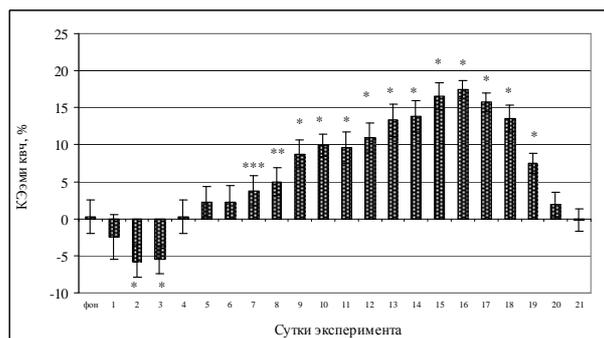


Рис. 1. Динамика ($\bar{x} \pm S\bar{x}$) коэффициента эффективности (%) ЭМИ КВЧ.

Примечание: * – достоверность различий данных у животных, подвергнутых действию ЭМИ КВЧ относительно значений контрольной группы: * – ($p < 0,001$), ** – ($p < 0,001$), *** – ($p < 0,05$).

Результаты проведенных исследований, свидетельствующие о выраженном антиноцицептивном действии низкоинтенсивных ЭМИ КВЧ, согласуются с имеющимися литературными данными. Так, было обнаружено неодинаковое влияние ЭМИ КВЧ на выраженность различного вида боли. Так, после трехкратного КВЧ-воздействия наблюдалось максимальное антиноцицептивное действие: тоническая боль снижалась на 84,9%, висцеральная – на 87,8%, острая тоническая – только на 7%, электростимуляционная – на 85% [4]. В проведенных исследованиях не только зарегистрирован антиноцицептивный эффект ЭМИ частотой 42,2 ГГц, но и изучена зависимость этого эффекта от продолжительности воздействия.

Эти данные согласуются с результатами, полученными другими авторами, согласно которым анальгетическое действие ЭМИ КВЧ зависит от продолжительности воздействия. Показано, что уже после трех сеансов ЭМИ КВЧ развивается выраженный эффект, который сохраняется в течение последующих шести-десяти воздействий [4, 16-18].

Таким образом, ЭМИ КВЧ вызывает фазные изменения ноцицепции у моллюсков: кратковременная фаза гипералгезии сменяется стадией стойкого длительного снижения ноцицепции, т.е. гипоалгетическим эффектом.

Свернизкочастотное ПемП также вызывает фазные изменения ноцицепции у моллюсков. В течение первых-третьих суток наблюдения П и ЛП РИ особей данной группы достоверно снижался относительно исходного уровня данных, достигая минимального значения на второй день – $30,12 \pm 0,10^\circ\text{C}$ и $9,37 \pm 0,15$ с соответственно.

$KЭ_{\text{пемп}}$ в этот период снижался до $-5,04 \pm 2,11\%$ ($p < 0,001$), что должно быть расценено как проявление гипералгетического эффекта. С четвертых суток воздействия $KЭ_{\text{пемп}}$ приобретал положительный знак и прогрессивно нарастал с каждым новым воздействием ПемП. Максимального значения он достигал на 15 сутки эксперимента, когда $KЭ_{\text{пемп}}$ составил $20,01 \pm 1,81\%$ ($p < 0,001$) (рис. 2).

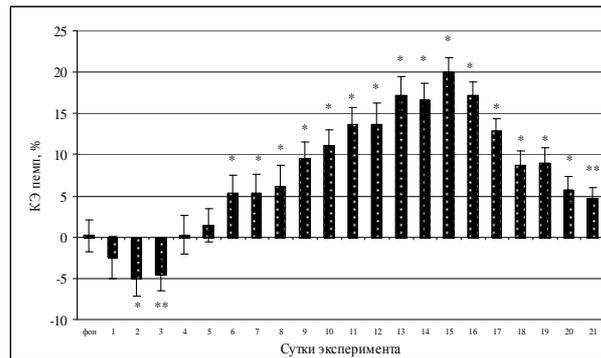


Рис. 2. Динамика ($\bar{x} \pm S\bar{x}$) коэффициента эффективности (%) переменного магнитного поля.

Примечание: * – различия достоверны между данными у интактных моллюсков и у животных, подвергнутых действию переменного магнитного поля: * – ($p < 0,001$), ** – ($p < 0,01$).

В дальнейшие сроки наблюдения зафиксировано прогрессирующее снижение ЛП и П РИ. Вследствие этого КЭ_{пемп} к 21 дню эксперимента уменьшался до $4,74 \pm 1,32\%$ ($p < 0,01$), т.е. в эти сроки исследования антиноцицептивный эффект ПеМП прогрессивно снижался.

Таким образом, трехчасовая экспозиция моллюсков в ПеМП частотой 8 Гц вызывает трехфазные изменения параметров ноцицептивной чувствительности моллюсков: первая кратковременная (первые-третьи сутки) фаза гипералгезии сменяется стадией снижения ноцицепции, т.е. развитием антиноцицептивного эффекта, который достигает максимума на 15 сутки, а затем снижается до исходного уровня.

Полученные данные существенно дополняют имеющиеся литературные сведения о способности ПеМП влиять на ноцицепцию. Так, М. Kavaliers и К.-Р. Ossenkopp (1991) с сотрудниками использовали гетерогенное МП частотой 0,5 Гц, а также систему колец Гельмгольца, где генерируется относительно однородное МП частотой 60 Гц [19]. Ими также была обнаружена способность ПеМП частотой 60 Гц индукцией 100 мТл (экспозиция 30 минут) вызывать гипоалгетический эффект [19]. В своих исследованиях А. Thomas et al. (1997, 1998) добились подобных результатов, воздействуя импульсными МП на моллюсков экспозицией 15 и 30 минут [20-21]. Экспериментальные данные, описанные F.S. Prato et al. (2000) [2], показали, что 15-минутное воздействие полем частой 30 Гц индукцией $V_{DC}=76$ мТл, $V_{AC}=190$ мТл также способно вызывать у моллюсков гипоалгетический эффект.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что дополнительное действие слабого ЭМЭ вызывает тенденцию к усилению гипералгетического эффекта ЭМИ КВЧ и уменьшает выраженность его антиноцицептивного действия. На первые-третьи сутки воздействия динамика КЭ как ЭМИ КВЧ, так и комбинированного действия ЭМИ КВЧ и ЭМЭ, была одинакова: имела место тенденция к его снижению (КЭ_{эми квч+эмэ} составил -6,24% против КЭ_{эми квч} – -5,74%) (рис. 3, А).

Однако продолжительность гипералгетической фазы при комбинированном действии электромагнитных факторов была пять суток больше, чем при изолированном действии ЭМИ КВЧ.

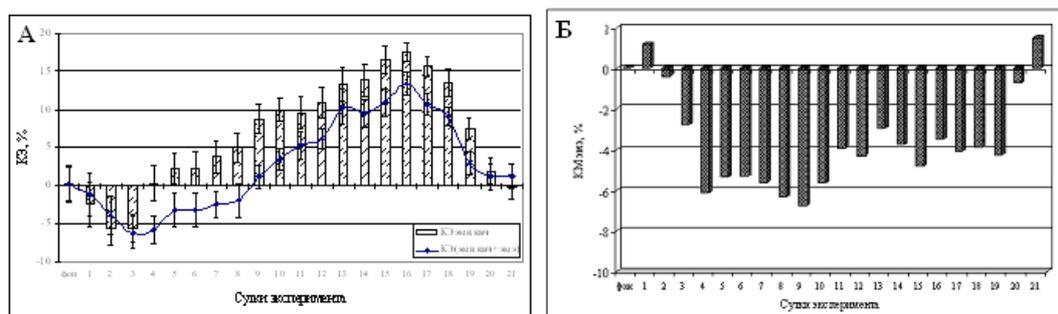


Рис. 3. А – динамика ($\bar{x} \pm Sx$) коэффициентов эффективности (%) изолированного и комбинированного действия ЭМИ КВЧ с ЭМЭ; Б – динамика коэффициента модификации (%) ЭМЭ на действие ЭМИ КВЧ, рассчитанного по латентному периоду реакции избегания термического стимула моллюсками.

Во вторую фазу, развивающуюся у моллюсков на действие электромагнитных факторов, отмечается снижение $KЭ_{\text{ЭМИ КВЧ+ЭМЭ}}$ на 12,64% ($p < 0,05$) относительно $KЭ_{\text{ЭМИ КВЧ}}$, что подтверждают отрицательные значения КМ (-5--7%) (рис. 3, Б).

К 21 суткам эксперимента наблюдается постоянное снижение изучаемых показателей в сравниваемых группах и достижение ими исходного уровня.

Эти данные полностью согласуются с представлениями о том, что эффективность действия различных факторов зависит от его исходного состояния [22]. В зависимости от него эффект действия фактора может быть не только выражен по-разному, но и иметь различный знак. Например, ЭМП частотой 60 Гц снижает болевой порог у мышей в тесте «горячая пластинка» ночью, когда он выше, чем днем и вызывает гипералгетический эффект днем [23].

Таким образом, воздействие слабого ЭМЭ на моллюсков, подвергавшихся действию ЭМИ КВЧ, вызывает усиление чувствительности к боли, снижает гипоалгетическое действие ЭМЭ.

При рассмотрении данных исследования было выявлено, что пребывание моллюсков в условиях ослабленного МП и одновременное воздействие слабых ПеМП СНЧ также приводит к изменениям ноцицепции. Так, уже на пятые сутки эксперимента наблюдалось максимальное снижение КЭ при комбинированном действии ПеМП частотой 8 Гц и экранирования (-5,18±1,81% ($p < 0,01$)) относительно исходного уровня, в то время как при изолированном действии ПеМП СНЧ КЭ достигал своего минимального значения на трое суток раньше и составил -5,04±2,11% ($p < 0,01$) (рис. 4, А). Следовательно, дополнительное воздействие ЭМЭ вызывало тенденцию к усилению гипералгетического эффекта ПеМП СНЧ.

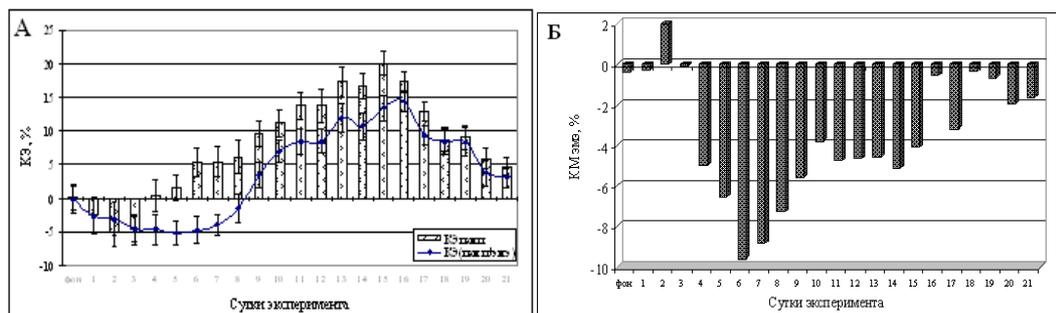


Рис. 4. А – динамика ($\bar{x} \pm S\bar{x}$) коэффициентов эффективности (%) изолированного и комбинированного действия ПеМП частотой 8 Гц с ЭМЭ; Б – динамика коэффициента модификации (%) ЭМЭ на действие ПеМП СНЧ, рассчитанного по латентному периоду реакции избегания термического стимула моллюсками.

Максимальный антиноцицептивный эффект у моллюсков при совместном действии факторов развивался на день позже (16 сутки наблюдений, $KЭ_{(Пемп+Эмэ)} = 14,42 \pm 1,48\%$ ($p < 0,001$)) по сравнению с действием ПеМП, тогда как $KЭ_{Пемп}$ был выражен больше на 27,9% ($p < 0,05$). В последующие сроки наблюдения отмечалось постепенное снижение $KЭ_{(Пемп+Эмэ)}$ и достижение им исходного уровня к 21 суткам наблюдения, т.е. эффект изменения ноцицепции отсутствовал.

Результаты проведенного исследования показали, что слабое экранирование оказывает влияние на выраженность действия ПеМП СНЧ: под его влиянием стадия гипералгезии становится продолжительнее на пять суток, а также снижается его антиноцицептивный эффект. КМ имеет отрицательные значения с четвертых суток наблюдения и достигает на шестые сутки -9,6%, а на 16 сутки приближался к нулю (рис. 4, Б). Следовательно, ЭМЭ модифицирует изменения ноцицепции, обусловленные действием ПеМП СНЧ.

Полученные данные существенно дополняют имеющиеся литературные сведения о способности различных стресс-факторов модифицировать действие ПеМП частотой 8 Гц. Так, Н.А. Темурьянц с соавт. (1995) [24] обнаружили, что гипокинезия модифицирует адаптационную реакцию, развивающуюся у крыс при действии ПеМП СНЧ, что выражается в изменении неспецифической резистентности, проявляющиеся в разрегулировании механизмов обеспечения фагоцитарной функции, свертывания крови, повышении возбудимости центральной нервной системы в 2-3 раза по сравнению с контрольными данными, а также возрастании норадреналина в миокарде, что говорит о нарушении функции сердечно-сосудистой системы [25].

Поскольку параметры ПеМП СНЧ, применяемые в настоящем исследовании, близки к параметрам возмущенного естественного ЭМП, полученные результаты могут быть использованы для доказательства более высокой чувствительности животных с разнообразными патологиями к геомагнитным возмущениям

ВЫВОД

Установлено, что незначительное ослабление фоновых ЭМП модифицирует изменения ноцицептивной чувствительности моллюсков, вызванные действием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ и ПеМП сверхнизкочастотного диапазона: дополнительное воздействие ЭМЭ вызывает тенденцию к усилению выраженности гипералгезии ЭМИ КВЧ и ПеМП частотой 8 Гц, приводит к затягиванию гипералгетической фазы, а также снижает гипоалгетический эффект слабых электромагнитных факторов.

Список литературы

1. Бинги В.Н. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы / В.Н. Бинги, А.В. Савин // УФН. – 2003. – Т. 173, № 3. – С. 265–300.
2. Prato F.S. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions / F.S. Prato, M. Kavaliers, A.W. Thomas // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – Vol. 21. – P. 287–301.
3. Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice / E. Choleris, Seppia Del, A.W. Thomas [et al.] // *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*. – 2002. – Vol. 269. – P. 193–201.
4. Чуян Е.Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е.Н. Чуян, Э.Р. Джелдубаева // Монография, Симферополь: «ДИАЙПИ», 2006. – 508 с.
5. Peripheral neural system involvement in hypoalgesic effect of electromagnetic millimeter waves / A.A. Radzievsky, M.A. Rojavin, A. Cowan [et al.] // *Life Sci*. – 2001. – Vol. 68 (1). – P. 143–151.
6. Low frequency therapeutic EMF differently influences experimental muscle pain in female and male subjects / E. Lyskov, N. Kalezic, M. Markov [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – Vol. 26 (4). – P. 299–304.
7. Rojavin M.A. Electromagnetic millimeter waves increase the duration of anaesthesia caused by ketamine and chloral hydrate in mice / M.A. Rojavin, M.C. Ziskin // *Int J Radiat Biol*. – 1997. – Vol. 72. – P. 475–480.
8. Millimeter wave induced hypoalgesia in mice: Dependence on type of experimental pain / A.A. Radzievsky, O.V. Gordiienko, A. Cowan [et al.] // *IEEE Trans Plasma Sci*. – 2004. – Vol. 32. – P. 1634–1643.
9. Electromagnetic millimeter wave induced hypoalgesia: frequency dependence and involvement of endogenous opioids / A.A. Radzievsky, O.V. Gordiienko, S. Alekseev [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2008. – Vol. 29. – P. 284–295.
10. Григорьев Ю.Г. Реакции организма в ослабленном геомагнитном поле / Ю.Г. Григорьев // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 1995. – Т. 35, Вып. 1. – С. 3–18.
11. Шуст И. В. Реакция коры надпочечной железы животных на воздействие сильного постоянного магнитного поля и гипомангнитной среды / И.В. Шуст, И.М. Костиник // *Проблемы эндокринологии*. – 1976. – Vol. 22, Is 3. – С. 86–92.
12. Левина В. К вопросу о влиянии гипогеомагнитного поля на теплокровных животных / Р. В. Левина, Р. В. Смирнов, Т. С. Олимпиенко // *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. – М.–1989. – С. 45–47.
13. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде / Д.В. Девицин, Н.А. Пальчикова, А.В. Трофимов [и др.] // *Бюллетень СО РАМН*. – 2005. – №3. – С.71–77.
14. Модификация экранобусловленных изменений ноцицепции моллюсков *Helix albescens* слабым электромагнитным полем сверхнизкой частоты / Н.А. Темуриянц, А.С. Костюк, К.Н. Гуманянц [и др.] // *Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ-2012»*. – 2012. – С. 79–80.
15. Чуян Е.Н. Изменение функциональной активности лимфоцитов крови крыс как отражение модифицирующих эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ и гипокинетического стресса / Е.Н. Чуян, М.М. Махонина // *Таврический медико-биологический вестник*. – 2005. – Т. 8, № 3. – С. 142–145.

16. Стимулирующее влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона нетепловой мощности на органотипические культуры спинальных ганглиев куриных эмбрионов / В.Д. Авелев, Г.Н. Акоев, Н.И. Чалисова [и др.] // Сб. докл. Межд. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 381–386.
17. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. // М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
18. Теппоне М.В. Крайне высокочастотная (КВЧ)–терапия в онкологии / М.В. Теппоне, Р.С. Авакяна // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2003. – № 1 (29). – С. 3–19.
19. Kavaliers M. Opioid systems and magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis* / M. Kavaliers, K.-P. Ossenkopp // Biol. Bull. – 1991. – Vol. 180. – P. 301–309.
20. Pulsed magnetic field induced analgesia in the land snail, *Cepaea nemoralis*, and the effects of m, d, and k opioid receptor agonists/antagonists / A.W. Thomas, M. Kavaliers, F.S. Prato [et al.] // Peptides. – 1997b. – Vol. 18. – P. 703–709.
21. Analgesic effect of a specific pulsed magnetic field in the land snail (*Cepaea nemoralis*): consequences of repeated exposure, relations to tolerance and cross-tolerance with DPDPE / A.W. Thomas, M. Kavaliers, F.S. Prato [et al.] // Peptides. – 1998. – Vol. 19. – P. 333–342.
22. Wilder J. The law of initial values / J. Wilder // Ann. N.Y. Acad. Sci. – 1962. – Vol. 98. – P. 1211–1220.
23. Effects of extremely low frequency magnetic fields on pain thresholds in mice: Roles of melatonin and opioids / J.H. Jeong, K.B. Choi, B.C. Yi [et al.] // J. Auton pharmacol. – 2000. – Vol. 20. – P. 259–264.
24. Темуриянц Н.А. Модификация стресс-фактором реакций крыс на действие слабых переменных магнитных полей / Н.А. Темуриянц, А.В. Михайлов, В.И. Малыгина // Биофизика. – 1995. – Т. 40, №5. – С. 969–973.
25. Леви М.Н. Физиология и патофизиология сердца // М.Н. Леви, П.Ю. Мартин // М.: Медицина, 1988. – Т. 2. – С. 3.

Костюк О.С. Модифікація змін ноціцепції наземних молюсків *Helix albescens* при дії низькоінтенсивних електромагнітних полів слабким електромагнітним екрануванням / О.С. Костюк, К.М. Туманянц // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 2. – С. 84–92.

Показано, що слабке електромагнітне екранування модифікує зміни ноціцепції молюсків *Helix albescens*, зумовлені дією низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надвисокої частоти (42,2 ГГц, ЩПП – 10 мВт/см²) і змінного магнітного поля наднизькочастотного діапазону (8 Гц, індукція 50 нТл): стадія гіпералгезії стає більш виражена і тривала, антиноціцептивний ефект знижується на 12,64% і 27,9% відповідно.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання надвисокої частоти, змінне магнітне поле наднизької частоти, електромагнітне екранування, ноціцепція, молюски.

Kostyuk A. Modification changes in nociception of land snails *Helix albescens* in actions of low-intensity electromagnetic fields of weak electromagnetic shielding / A.S. Kostyuk, K.N. Tumanyants // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 2. – P. 84–92.

It is shown that weak electromagnetic shielding modifies the changes in nociception of snails *Helix albescens* caused by the action of low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency (42.2 GHz, 10 mW/cm²) and variable magnetic field of ultra-low frequency (8 Hz, induction of 50 nT): hyperalgesia is more pronounced and prolonged, and the antinociceptive effect is reduced by 12.64% and 27.9% respectively.

Keywords: electromagnetic radiation of extremely high frequency, variable magnetic field of ultra-low frequency, electromagnetic shielding, nociception, snails.

Поступила в редакцію 19.05.2012 г.