

УДК 591.471.24:613.168

**ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФАКТОРОВ,
ОБЛАДАЮЩИХ РАЗЛИЧНОЙ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ, НА
МНОГОДНЕВНУЮ РИТМИКУ НОЦИЦЕПЦИИ МОЛЛЮСКОВ
*HELIX ALBESCENS***

Темурьянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н.

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

Обнаружено, что переменное магнитное поле частотой 8 Гц и индукцией 50 нТл и электромагнитное излучение крайне высокой частоты (длина волны 7,1 мм; частота 42,2 ГГц, плотность потока мощности – 10 мВт/см²) изменяют инфранидную ритмику параметров ноцицепции наземных моллюсков *Helix albescens*, приводят к новой организации многодневной ритмики исследуемых показателей, выражающейся в перестройке структуры спектров, резком сдвиге фаз. Показано, что переменное магнитное поле сверхнизкой частоты создает новые условия синхронизации, вызывая тенденцию к рассогласованию, тогда как низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты приводит к выраженному рассогласованию упорядоченности многодневных ритмов.

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

ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературных данных о биологическом действии электромагнитных полей (ЭМП) различных параметров приводит к выводу о том, что они обладают неспецифическим действием. Комплекс изменений, вызываемых ими у биологических объектов различной степени сложности, можно объяснить с позиции мелатониновой теории действия ЭМП [1]. Априори эти изменения, возникающие при действии ЭМП, обладающих различной проникающей способностью, должны различаться. Этот вопрос специально не изучался, хотя имеет важное значение для развития представлений о механизмах действия электромагнитных раздражителей.

Для решения этих задач необходим выбор адекватных чувствительных к действию ЭМП показателей. Нами показано, что наиболее чувствительной к электромагнитным факторам временная организация, состояние которой оценивается по параметрам ритмики любого диапазона. Эти параметры изменяются даже тогда, когда не регистрируется изменений абсолютных значений исследуемого показателя [2].

В качестве объектов исследования в магнитобиологических исследованиях все чаще используются беспозвоночные животные [3, 4], что отвечает современным этическим требованиям [5]. У этих животных изучена инфранидная ритмика (ИР) различных показателей. В частности, нами ранее описана ИР ноцицепции моллюсков. В связи с изложенным целью настоящего исследования явилось

выяснение особенностей изменения ИР ноцицепции моллюсков под влиянием ЭМП, обладающих различной проникающей способностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы наземные моллюски *Helix albescens*. Животных содержали в светонепроницаемых стеклянных аквариумах при температуре $22^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, высокой влажности и избытке пищи. Для исследования отбирали половозрелых моллюсков, одинаковых по массе и размерам.

В экспериментах использовалось переменное магнитное поле (ПеМП) сверхнизкой частоты (СНЧ), обладающее высокой проникающей способностью, и электромагнитное излучение (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ), поглощаемое в поверхностных слоях кожного покрова.

ПеМП частота 8 Гц и индукцией 50 нТл является фундаментальной частотой ионосферного волновода [6]. Величину магнитной индукции выбирали с таким учетом, чтоб она была значительно выше интенсивности естественного ПеМП на данной частоте. Это позволило уменьшить эффекты неконтролируемых электромагнитных воздействий, а вследствие широкого «амплитудного окна» на этой частоте [2, 7] распространить сделанные выводы на достаточно широкий диапазон интенсивностей ПеМП. Кроме того, учитывали, что для такой интенсивности поля физиологические эффекты надежно воспроизводятся [2]. В нашем исследовании применяли многократные ежедневные трехчасовые экспозиции ПеМП. Именно такова средняя продолжительность геомагнитных возмущений на данной частоте [8]. ПеМП создавалось катушками Гельмгольца (диаметр 1 метр) и генератора ГРМ-3.

В настоящее время ЭМИ КВЧ широко применяется в медицинской практике, а в последние годы показано его присутствие в спектре естественного магнитного поля [9]. В качестве источника ЭМИ КВЧ использовали генератор «Явь-1» (длина волны 7,1 мм; частота 42,2 ГГц, плотность потока мощности – 10 мВт/см^2). 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, то есть воздействие осуществлялось на всю подошву.

Для решения поставленных задач было проведено несколько повторных серий экспериментов. В каждой серии животных делили на пять равноценных групп по 20 особей. Моллюски первой группы составили контроль (К). Животные второй группы (ПеМП) ежедневно в течение трех часов подвергались воздействию ПеМП частотой 8 Гц. Третью группу (ЭМИ КВЧ) составили животные, которые ежедневно в течение 30 минут подвергались воздействию ЭМИ КВЧ. Кроме того, присутствовала пятая и шестая группы моллюсков, которых подвергали «мнимому» воздействию ПеМП СНЧ и ЭМИ КВЧ («плацебо»). Все исследования были проведены с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента.

Подробное описание экспериментальной установки для определения параметров ноцицепции наземных моллюсков представлено в наших предыдущих работах [10].

Регистрацию показателей РИ проводили у каждого животного ежедневно в интервале 11:00-12:00 ч в течение 21 дня.

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью параметрических методов, целесообразность применения которых была показана проверкой полученных данных на закон нормального распределения. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента. Оценивалась достоверность различий исследуемых показателей между группами (p_1).

В качестве основного метода анализа продолжительности периодов и амплитудно-фазных характеристик ноцицепции использовали быстрое преобразование Фурье, обеспечивающее разложение временного ряда на конечное число элементарных периодических компонент, и программу косинор-анализа (решение систем линейных уравнений методом Крамера), дающие полное представление о структуре физиологических ритмов [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ИР порога (П) и латентного периода (ЛП) реакции избегания термического стимула у моллюсков интактной группы выявил следующие периоды: $\approx 2,42^d$; $\approx 2,67^d$; $\approx 3,37^d$; $\approx 3,76^d$; $\approx 6,40^d$ и $\approx 9,14^d$. Доминирующим ритмом в данном спектре являлся низкочастотный период продолжительностью $\approx 9,14$ суток с амплитудой $0,060 \pm 0,006$ усл.ед. (рис. 1). Экспоненциальная модель данных позволила выявить тенденцию к увеличению амплитуды с увеличением длины периода.

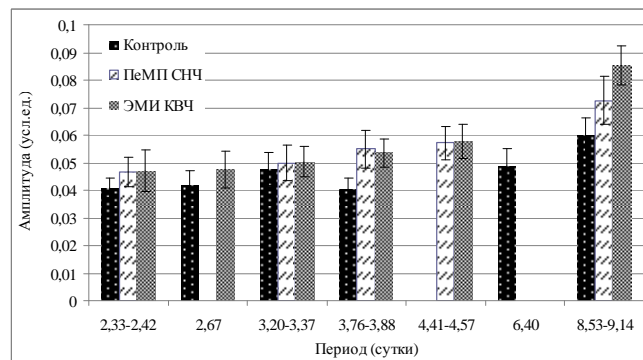


Рис. 1. Спектры периодов инфрадианных ритмов латентного периода ноцицепции интактных моллюсков и животных, подвергнутых воздействию переменного магнитного поля (PeMP СНЧ) и электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ).

Анализ результатов проведенного исследования показал, что ежедневное трехчасовое воздействие PeMP СНЧ на моллюсков вызывает изменения ИР параметров ноцицепции.

Сравнение ИР показателей ноцицепции у интактных моллюсков и животных, подвергнутых трехчасовому влиянию PeMP сверхнизкочастотного диапазона, позволило выявить следующие особенности. Количество выделяемых периодов у моллюсков при действии PeMP было меньшим, чем в контрольной группе. Спектр периодов характеризовался отсутствием периода $\approx 2,67^d$ и $\approx 6,14^d$, однако отмечено появление нового ритма $\approx 4,41^d$, не характерного для спектра интактных моллюсков.

Следует отметить, что с увеличением периода амплитуды ритмов группы моллюсков, подвергнутых воздействию ПеМП СНЧ, возрастали, достигая максимального значения в доминирующем ритме $\approx 8,53^d$ ($0,073 \pm 0,009$ усл.ед.). В периоде $\approx 3,88$ суток выявлено достоверное повышение амплитуды на 34,15% ($p_1 < 0,05$) относительно интактной группы моллюсков (рис. 1). Таким образом, ПеМП частотой 8 Гц вызывает развитие десинхроноза.

Проведение косинор-анализа выявило изменения фаз в сравниваемых группах во всех совпадающих периодах. Так, в периодах $\approx 2,42^d$, $\approx 3,76^d$ и $\approx 8,53^d$ фазы контрольной группы моллюсков запаздывали относительно фаз ПеМП СНЧ на 277° , 155° и 256° соответственно, а в периоде $\approx 3,37^d$ опережали фазы группы ПеМП на 56° (рис. 2).

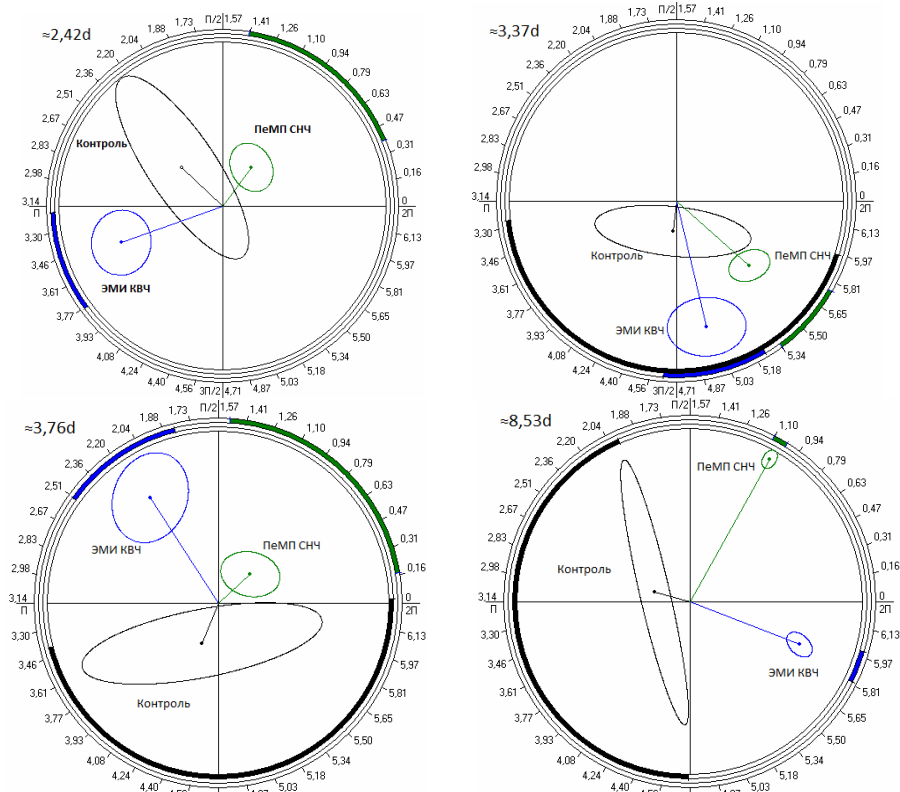


Рис. 2. Косинорограммы совпадающих периодов в спектрах (радианы) латентного периода ноцицептивной реакции интактных моллюсков, животных, подвергнутых воздействию переменного магнитного поля (ПеМП СНЧ) и электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ).

Таким образом, результаты настоящего исследования показали, что ежедневная трехчасовая экспозиция моллюсков в условиях ПеМП СНЧ вызывает изменения ИР параметров ноцицепции, наиболее ярко выражающиеся в сдвиге фаз.

Ежедневное 30-минутное воздействие на животных ЭМИ КВЧ также приводило к изменениям ИР параметров ноцицепции моллюсков. Как у животных

контрольной группы, так и при действии ЭМИ параметры ИР П и ЛП отличались лишь в пределах ошибки средней.

При сравнении наборов выявленных ритмов показателей ноцицепции у моллюсков, подвергавшихся действию ЭМИ КВЧ, с интактными животными выявлены определенные их различия. Если величина периодов сохранялась прежней, то состав спектров несколько менялся, а именно: появился период $\approx 4,9$ суток, не характерный для спектра интактных животных (рис. 1). Кроме того, переставал выявляться период длительностью $\approx 6,4$ суток, определявшийся в спектре моллюсков контрольной группы.

Таким образом, структура спектров ИР показателей ноцицепции у животных, подвергнутых действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, изменялась, хотя количество выявленных периодов оставалось прежним. Амплитуды выделенных ритмов колебались от 0,045 усл.ед. до 0,085 усл.ед., с увеличением длины периода они возрастали. Доминирующим периодом являлся околонедельный период $\approx 8^d,53$. Воздействие ЭМИ КВЧ привело к увеличению амплитуд периодов $\approx 3^d,76$ и $\approx 8^d,53$ ($p_1 < 0,05$ и $p_1 < 0,01$ соответственно) относительно таковых у интактных моллюсков.

Сравнительный анализ фазовых соотношений показателей ноцицепции моллюсков контрольной группы и животных, подвергнутых ЭМИ КВЧ, показал, что в трех из совпадающих периодах $\approx 2,42^d$, $\approx 3,37^d$ и $\approx 8,53^d$ фазы ЭМИ КВЧ запаздывали относительно фаз контроля на 63° , 21° и 174° соответственно, тогда как фазы периода продолжительностью $\approx 3,76$ суток опережали фазы группы интактных моллюсков на 236° (рис. 2).

Таким образом, низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ, также как и ПеМП СНЧ, вызывает достаточно выраженные изменения многодневной ритмики параметров ноцицепции у моллюсков. В обоих случаях наиболее яркие изменения ИР проявлялись в резком сдвиге фаз.

Полученные нами данные о способности ЭМИ КВЧ и ПеМП СНЧ изменять параметры временной организации физиологических систем согласуются с литературными сведениями.

В ходе исследования был проведен спектральный анализ П и ЛП РИ у моллюсков при «мнимом» воздействии ПеМП СНЧ и ЭМИ КВЧ («плацебо») для выяснения более точной оценки влияния слабых ПеМП и ЭМИ КВЧ на временную организацию моллюсков при термической стимуляции. При «мнимом» воздействии не было выявлено изменений структуры спектров. Они отличались от спектра интактной группы моллюсков.

Однако анализ фазовых взаимоотношений между ритмами различной продолжительности позволил выявить неодинаковый характер изменений ритмики, возникающий в результате сдвига фаз каждого выделенного ритма.

Вычисление межфазной разницы ритмов различной продолжительности у интактных животных выявило их очень низкую величину. Разница фаз колебалась от 0,265 до 1,532 радиан и из различия были не достоверны (рис. 3).

При действии ПеМП обнаруживается другая организация ИР. В этом случае фаза трех ритмов из четырех ($\approx 2,42^d$, $\approx 3,76^d$ и $\approx 8,53^d$) сдвигается вперед по отношению к данным контрольной группы, но разница между ними остается малой

(11° - 47°) (рис. 3). Столь малая разница фаз между выделенными периодами свидетельствует о синхронизации ритмов.

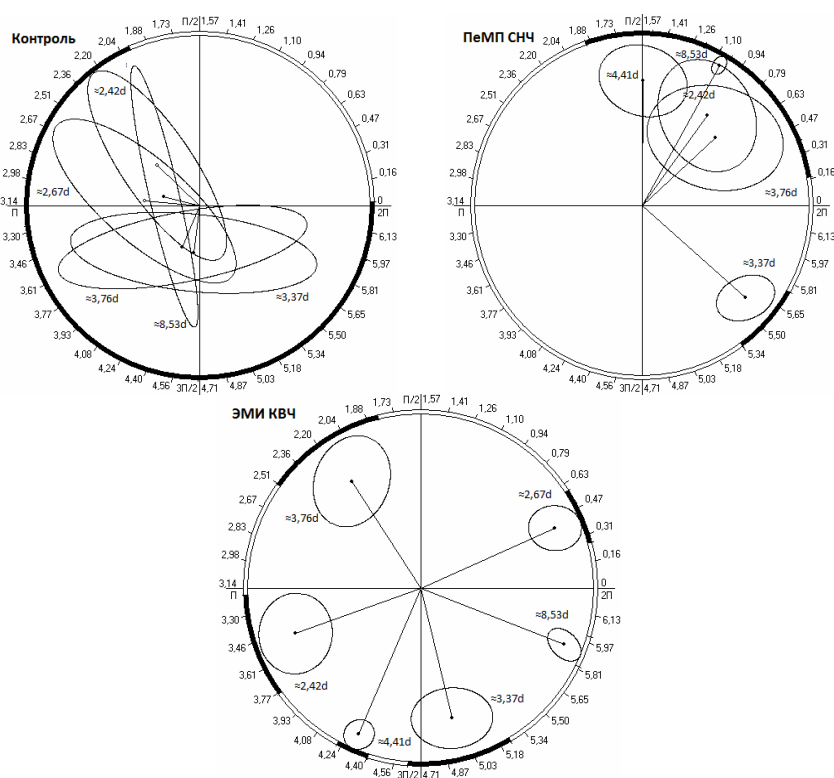


Рис. 3. Косинорограммы периодов (радианы) латентного периода ноцицепции интактных моллюсков, животных, подвергнутых воздействию переменного магнитного поля (ПеМП СЧ) и электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ).

Известно, что синхронизация является одним из важнейших факторов самоорганизации сложных систем, способствующим сохранению устойчивости системы [12, 13]. Степень синхронизации различна при разных состояниях и может быть использована для оценки устойчивости физиологических систем [14].

При действии ПеМП частотой 8 Гц степень синхронизации ниже, так как фаза ритма $\approx 3,37$ суток имеет выраженную задержку по сравнению с другими ритмами, следовательно, сверхнизкочастотное ПеМП вызывает тенденцию к рассогласованию ритмов.

Следует обратить внимание на то, что воздействие низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ на животных, напротив, сопровождалось ярко выраженной рассогласованностью ритмов. Так, разность фаз между всеми выделенными периодами была значительна: между ритмами $\approx 4,41$ и $\approx 8,53$ суток сдвиг составляет 92° , а максимального значения фазовая рассогласованность достигает между периодами $\approx 2,67^d$ и $\approx 3,37^d$ – 260° .

Согласно современным представлениям при различных патологических процессах наблюдается та или иная степень десинхроноза [15]. Таким образом, и при действии ЭМИ КВЧ наблюдается нарушение временной структуры, упорядоченность внутренних ритмов.

Следовательно, как при действии ПеМП, так и при действии ЭМИ КВЧ возникает новая организация ИР ноцицепции моллюсков. Эта организация неодинакова при действии слабых ЭМП, обладающих различной проникающей способностью. ЭМИ КВЧ не только сдвигает фазы, но и рассогласовывает ритмику, а ПеМП, помимо сдвига фаз, создает новые условия синхронизации.

С позиций биоритмологии адаптация должна рассматриваться как непрерывно текущий ритмический процесс, феноменом которого является единство адаптации и дезадаптации [16]. Таким образом, изменения исходной периодичности или десинхроноз, являющийся проявлением адаптационной реакции, мобилизует организм, тренирует его защитные механизмы и способствует развитию адаптации к изменяющимся условиям существования [16].

Таким образом, полученные нами экспериментальные данные дополняют сведения литературы о способности слабых электромагнитных факторов различной проникающей способности изменять параметры ИР ноцицепции моллюсков.

ВЫВОДЫ

1. Изменения ИР параметров ноцицепции наземных моллюсков *Helix albescens* под влиянием слабых электромагнитных факторов различной интенсивности заключаются в перестройке структуры спектров, резком сдвиге фаз, что приводит к новой организации многодневной ритмики ноцицепции моллюсков.
2. Трехчасовая экспозиция моллюсков в условиях ПеМП частотой 8 Гц вызывает сдвиг фаз, создает новые условия синхронизации ИР параметров ноцицепции, вызывая тенденцию к рассогласованию ритмов.
3. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ приводит к выраженному сдвигу фаз, рассогласованию всех выделенных ритмов.

Список литературы

1. Темурьянц Н.А. Магниточувствительность эпифиза / Н.А. Темурьянц, А.В. Шехоткин, В.А. Насилевич // Биофизика. – 1998. – Т. 43. – Вып. 5. – С. 761–765.
2. Темурьянц Н.А. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире / Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г.. – Киев : Наукова думка, 1992. – 187 с.
3. Шейман И.М. Слабые воздействия физических и химических факторов на морфогенетический процесс (у беспозвоночных) / И.М. Шейман, В.В. Новиков, Н.Б. Крещенко // Биофизика. – 2009. – Т. 54, № 6. – С. 1114–1119.
4. Prato F.S. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents / F.S. Prato, M. Kavaliers, J.J.L. Carson // Bioelectromagnetics. – 1996a. – Vol. 17 – P.123–130.
5. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 18 марта 1986 г., глава III, статья 6.
6. Schumann W.O. Uber die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphere / W.O. Schumann // Naturwissenschaft. – 1982. – Vol. 7a. – P. 250–254.

7. Макеев В.Б. Исследование частотной зависимости биологической эффективности магнитного поля в диапазоне геомагнитного поля (0,01-100 Гц) / В.Б. Макеев, Н.А. Темурьянц // Пробл. космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 116–128.
8. Polk G. Resonances of ears ionosphere cavity – extremely low frequency reception at Kingston / G. Polk, F. Fitchen, W.O. Schumann // Radio Propagation. – 1962. – Vol. 3 (66). – P. 313.
9. Авакян С.В. Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду / С.В. Авакян, Н.А. Воронин // Оптический журн. – 2006. – Т. 73, №4. – С.78–83.
10. Патент 48094 Україна, МПК51 А 01 К 61/00. Пристрій реєстрації параметрів больової чутливості наземних молюсків / Темур'янц Н.А., Вишневський В.Г., Костюк О.С., Макеев В.Б.; заявник та патентовласник Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського. – № U 200908538; заявл. 13.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.
11. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии / Емельянов И.П. – Новосибирск: Наука, 1976. – 127 с.
12. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем / Блехман И.И. – М., 1971. – 894 с.
13. Путилов А.А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе. Методологический очерк / Путилов А.А. – Новосибирск : Наука, 1987. – 143 с.
14. Владимирский Б.М. Влияние солнечной активности на биосферу – ноосферу (Гелиобиология от А.Л.Чижевского до наших дней) / Б.М. Владимирский, Н.А. Темурьянц. – М. : Изд-во МНЭПУ, 2000. – 374 с.
15. Ашофф Ю. Биологические ритмы / Ашофф Ю. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
16. Степанова С.И. Биоритмологические аспекты проблемы адаптации / Степанова С.И. – М. : Наука, 1986. – 244 с.

Темур'янц Н.А. Вплив слабких електромагнітних факторів різної проникаючої здатності на багатоденну ритміку ноціцепції молюсків *Helix albescens* / Н.А. Темур'янц, О.С. Костюк, К.М. Туманянц // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 234-241.

Виявлено, що змінне магнітне поле частотою 8 Гц і індукцією 50 нТл та електромагнітне випромінювання надвисокої частоти (довжина хвилі 7,1 мм; частота 42,2 ГГц, щільність потоку потужності – 10 мВт/см²) змінюють інфрадіанну ритміку параметрів ноціцепції наземних молюсків *Helix albescens*, призводять до нової організації багатоденної ритміки досліджуваних показників, що виражається в перебудові структури спектрів, різкому зрушенні фаз. Показано, що змінне магнітне поле наднизької частоти створює нові умови синхронізації, викликаючи тенденцію до неузгодженості, тоді як низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання надвисокої частоти призводить до вираженої неузгодженості впорядкованості багатоденних ритмів.

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

Temuryants N.A. Effect of weak electromagnetic factors with various penetrating ability at multiday rhythmicity of nociception of snails *Helix albescens* / N.A. Temuryants, A.S. Kostyuk, K.N. Tumanyc // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2013. – Vol. 26 (65), No. 1. – P. 234-241.

It is found that a variable magnetic field 8 Hz and 50 nT induction and electromagnetic radiation of extremely high frequency (7.1 mm, frequency of 42.2 GHz, the power flux density – 10 mW/cm²) change infradian rhythmicity parameters of nociception of land snail *Helix albescens*, lead to a new organization of a multi-day rhythmicity parameters, which was reflected in the restructuring of the spectrum, a sharp phase shift. It is shown that a variable magnetic field of low frequency creates new synchronization conditions, causing a tendency to mismatch, while the low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency leads to a significant disagreement order multi-day rhythms.

Keywords: variable magnetic field of low frequency, electromagnetic radiation of extremely high frequency, infradian rhythmicity, nociception, snails.

Поступила в редакцію 14.02.2013 г.