

УДК 591.471.24:613.168

ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФАКТОРОВ НА ИНФРАДИАННУЮ РИТМИКУ НОЦИЦЕПЦИИ НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ

Костюк А.С.

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

Показано, что слабые электромагнитные факторы различной интенсивности изменяют инфрадианную ритмику параметров ноцицепции наземных моллюсков *Helix albescens*, что выражается в перестройке спектров мощности вариаций исследуемых показателей и амплитудно-фазовых взаимоотношений в спектрах. Длительное пребывание животных в условиях слабого электромагнитного экранирования приводит к рассогласованию ритмов, увеличению разности фаз между периодами, что свидетельствует о развитии десинхроноза. Дополнительное воздействие переменного магнитного поля частотой 8 Гц индукцией 50 нТл на моллюсков, находящихся в экранирующей камере, оказывает синхронизирующее влияние на многодневную ритмику параметров ноцицепции, уменьшая разность фаз между периодами и делая спектр выделяемых периодов близким к его составу, выявленному у интактных животных.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, переменное магнитное поле сверхнизкой частоты, инфрадианная ритмика, ноцицепция, моллюски.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем экологической физиологии и биофизики является изучение временной организации биологических систем, которая является важной характеристикой состояния живой материи [1, 2]. Особое значение исследование этой проблемы имеет для изучения действия слабых электромагнитных факторов, которые могут выступать как датчики времени в широком диапазоне периодов [3, 4].

Известно, что роль электромагнитных сигналов в ритмической организации биологических систем может быть изучена в экспериментах с электромагнитным экранированием (ЭМЭ) [5-7], а также с активным воздействием переменного магнитного поля (ПеМП). Наибольший интерес в этом плане представляют ПеМП сверхнизкой частоты (СНЧ), интенсивность которых в естественных условиях наиболее высока по сравнению с интенсивностью поля других частотных диапазонов [8]. Важно также то, что ПеМП этого диапазона используется не только как датчик времени биологических ритмов [9, 10], но и как носитель прогностической информации о предстоящих землетрясениях [11, 12] и изменениях погоды [13, 14], а также как агент, ответственный за реализацию солнечно-земных связей [15, 16]. Изменения ритмики различных процессов под влиянием этих факторов изучены недостаточно.

Ранее нами было показано, что в условиях действия слабых электромагнитных факторов развиваются фазные изменения параметров ноцицепции моллюсков [17]. Однако совершенно не изучено их влияние на инфранианную периодичность этого показателя. Поэтому целью исследования явилось изучение влияния слабых электромагнитных факторов на инфранианную ритмику (ИР) параметров ноцицепции наземных моллюсков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы наземные моллюски *Helix albescens*, применение которых соответствует всем этическим нормам [18], предъявляемым к научным экспериментам.

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.

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). Животных второй группы (ЭМЭ) каждый день помещали на 23 часа в экранирующую камеру на протяжении 21 дня. Моллюски третьей группы (ПеМП) ежедневно в течение трех часов подвергались воздействию ПеМП частотой 8 Гц. Четвертую группу (ПеМП+ЭМЭ) составили животные, которые находились в экранирующем объеме по 23 часа в сутки и дополнительно подвергались трехчасовому воздействию ПеМП КНЧ. Кроме того, присутствовала пятая группа моллюсков, которых подвергали «мнимому» воздействию ПеМП СНЧ («плацебо»).

Ослабление электромагнитного поля достигалось применением экранирующей камеры, подробные характеристики которой описаны в наших предыдущих работах [19].

ПеМП частотой 8 Гц и индукцией 50 нТл создавалось катушками Гельмгольца (диаметр 1 метр) и генератора ГРМ-3. Выбранная частота 8 Гц является фундаментальной частотой ионосферного волновода [20]. 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 [21, 22] распространить сделанные выводы на достаточно широкий диапазон интенсивностей ПеМП. Кроме того, учитывали, что для такой интенсивности поля физиологические эффекты надежно воспроизводятся [21]. В нашем исследовании применяли многократные ежедневные трехчасовые экспозиции ПеМП. Именно такова средняя продолжительность геомагнитных возмущений на данной частоте [8].

Подробное описание экспериментальной установки для определения параметров ноцицепции наземных моллюсков представлено в наших предыдущих работах [23].

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

проводились на свету. Таким образом, животные находились в условиях свет-темнота 1:23 ч.

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 [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ИР порога (П) и латентного периода (ЛП) у моллюсков контрольной 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.

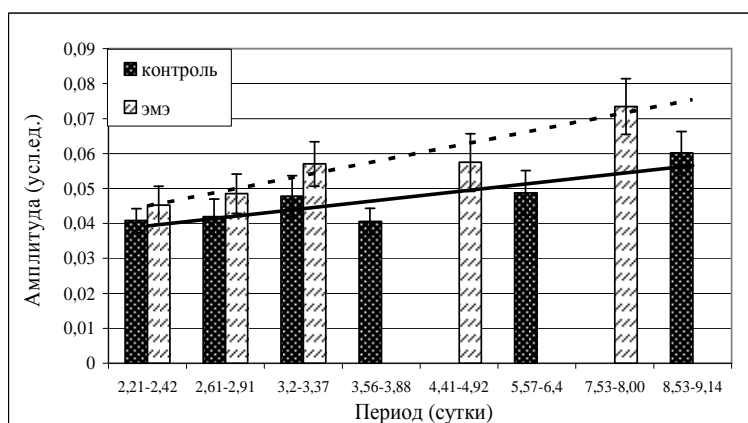


Рис. 1. Спектры периодов инфранианых ритмов латентного периода ноцицептивной реакции у интактных моллюсков и у животных, находившихся в условиях экранирования.

Ритмы такой же или близкой продолжительности выявлены в деятельности различных физиологических систем позвоночных животных и человека на всех уровнях организации [25], а также в динамике болевого порога, определенного в тесте электростимуляции, у интактных крыс [26]. Многодневная ритмика описана и для скорости роста одноклеточной морской водоросли *Acatubularia mediterranea* [27], для многих изолированных клеток: миоцитов, энуклеированных клеток и т.д.

Изучение фазовых взаимоотношений параметров ноцицепции во всех выделенных периодах спектра ИР показал, что они достоверно не отличались друг от друга, что свидетельствовало о высокой степени синхронизации ритмов различной продолжительности (рис. 2). По-видимому, такое малое различие фаз является необходимым условием гомеостаза.

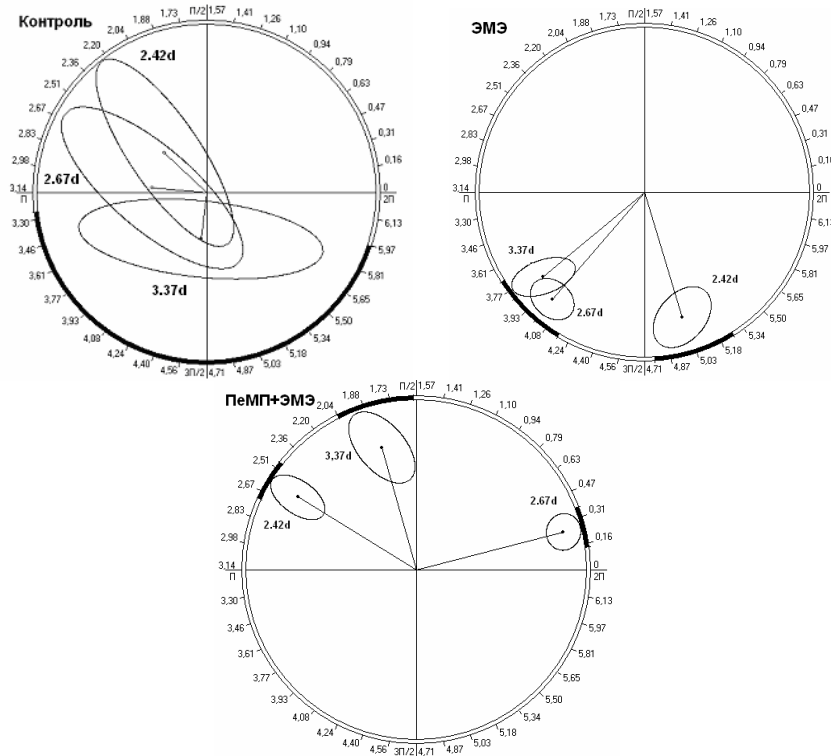


Рис. 2. Косинорограммы совпадающих периодов (радианы) латентного периода ноцицептивной реакции интактных моллюсков, животных, находящихся в условиях электромагнитного экранирования, а также моллюсков, дополнительно подвергнутых воздействию ПемП СНЧ в экранирующей камере.

Таким образом, результаты наших исследований значительно дополняют литературные сведения о временной организации физиологических систем моллюсков данными об инфрадианной периодичности. В настоящее время у этих животных в деятельности различных систем обнаружены ритмы различной продолжительности: ультрадианные ритмы кардиоактивности и движения створок черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. с периодами 10, 25, 30 и 40 мин [28], циркадианная ритмика этих же показателей [29], ритмика локомоторной активности [30, 31]; синтеза мелатонина [32], активности ноцицептивной системы [33]. Описаны и ритмы более продолжительные – приливно-отливные ритмы открытия раковины *Mytilus edulis* [34], лунные – в ориентационных эффектах

животных [35], сезонные, а также 11-летний период в темпах роста раковин мидий Граяна, связанный с солнечной активностью [36].

Как свидетельствуют проведенные исследования, ЭМЭ вносило изменения в ИР параметров ноцицепции моллюсков, выражающиеся в сужении спектра выделяемых периодов. Спектральный анализ выявил набор инфраничных ритмов у животных, находившихся в экранирующей камере, состоящий из следующих периодов: $\approx 2,21^d$; $\approx 2,67^d$; $\approx 3,37^d$; $\approx 4,57^d$; $\approx 7,53^d$ (рис. 1), т.е. не обнаруживались периоды продолжительностью $\approx 3,76$; $\approx 6,40$ и $\approx 9,14$ суток, характерные для спектра интактных моллюсков, но появлялись новые ритмы $\approx 4,57^d$ и $\approx 7,53^d$. Кроме того, во всех совпадающих периодах амплитуды при ЭМЭ превышали таковые у интактных моллюсков.

Проведение косинор-анализа выявило изменения фаз в сравниваемых группах во всех совпадающих периодах. Так, в периодах $\approx 2,42^d$ и $\approx 2,67^d$ фазы ЭМЭ запаздывали относительно фаз контроля на 150° и 55° соответственно, а в периоде $\approx 3,37^d$ опережали фазы группы интактных животных на 43° (рис. 2).

Анализ фазовых соотношений между выделенными ритмами параметров ноцицепции в пределах одной группы моллюсков, находящихся в экранирующей камере, показал достоверные различия на 57° ($p_1 < 0,05$) и 67° ($p_1 < 0,05$) в периодах $\approx 2,67^d$ и $\approx 3,37^d$ соответственно относительно периода продолжительностью $\approx 2,42$ суток (рис. 2). Следовательно, длительное пребывание моллюсков в условиях слабого ЭМЭ приводит к рассогласованию ритмов, т.е. развитию десинхроноза.

Другими авторами подобное явление обнаружено для ритмики других диапазонов. Так, двухнедельное пребывание инбредных мышей в гипомагнитной камере, ослабляющей постоянное МП Земли в 10^4 раз, вызывает выраженный десинхроноз циркадианных ритмов лимфоидной системы [37], а R. Wever [38] выявил изменения циркадианного ритма кардиореспираторной системы у добровольцев, находившихся в экранирующем бункере.

Обнаруженные нами изменения ИР могут быть связаны с ослаблением внешних датчиков времени, обусловленным экранированием.

Анализ результатов настоящего исследования показал, что ежедневная трехчасовая экспозиция моллюсков в ПеМП СНЧ также вызывает изменения ИР параметров ноцицепции.

Сопоставление ИР показателей ноцицепции у интактных моллюсков и животных, подвергнутых трехчасовому воздействию ПеМП частотой 8 Гц, позволило выявить следующие особенности. Количество выделяемых периодов у моллюсков при действии ПеМП 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 подчеркнуть, что с увеличением периода амплитуды ритмов группы моллюсков, подвергнутых воздействию ПеМП СНЧ, возрастали, достигая максимального значения в доминирующем ритме $\approx 8,53^d$, когда амплитуда была равна $0,073 \pm 0,009$ усл.ед. В периоде $\approx 3,88$ суток выявлено достоверное повышение амплитуды на 34,15% ($p_1 < 0,05$) относительно интактной группы моллюсков (рис. 3). Таким образом, ПеМП частотой 8 Гц вызывает развитие десинхроноза.

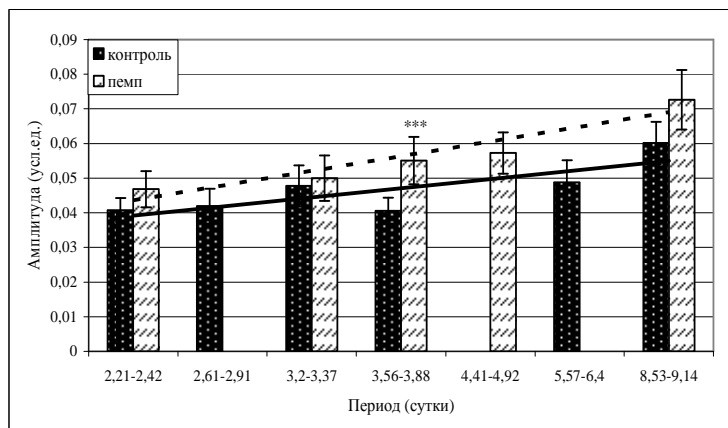


Рис. 3. Спектры периодов инфрадианных ритмов латентного периода ноцицептивной реакции у интактных моллюсков и у животных при воздействии переменного магнитного поля.

Примечание: * – достоверность различий между группами: *** – ($p < 0,05$).

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

Как свидетельствуют данные литературы, ПеМП частотой 8 Гц существенно влияют на параметры внутрисуточной и многодневной ритмики многих физиологических процессов у мышей и крыс [39], а также в зависимости от физиологического состояния организма может оказывать синхронизирующее или десинхронизирующее действие [40], поддерживая в состоянии готовности защитные резервы организма, его адаптационные способности.

Воздействие слабых ПеМП на моллюсков, находящихся в экранирующем объеме, также приводило к изменению ритмических процессов ноцицепции. Число спектров выделяемых у животных данной группы совпадало с таковым у интактных животных, однако, вместо выявляемого ритма $\approx 9,14^d$ в контрольной группе, обнаруживался восьмисуточный период. Амплитуды ритмов в спектрах исследуемых показателей имели тенденцию к повышению с увеличением длины периодов, колеблясь от 0,042 до 0,090 усл.ед. Исключение составил период $\approx 3,88^d$, когда амплитуда в группе ПеМП+ЭМЭ была больше на 39,02% ($p_1 < 0,05$) значений интактной группы моллюсков.

Сравнительный анализ ритмических процессов показателей ноцицепции моллюсков при действии ЭМЭ и животных, которые были помещены в экранирующий объем и одновременно подвергались воздействию слабых ПеМП СНЧ, показал, что при комбинированном действии факторов изменения ИР носили несколько другой характер. Спектры исследуемых показателей у животных экспериментальных групп различались тремя периодами: в группе

ПеМП+ЭМЭ отсутствовал период $\approx 4,57^d$, характерный для моллюсков при экранировании, но выявлялись два новых периода $\approx 3,88^d$ и $\approx 5,57^d$ (рис. 4).

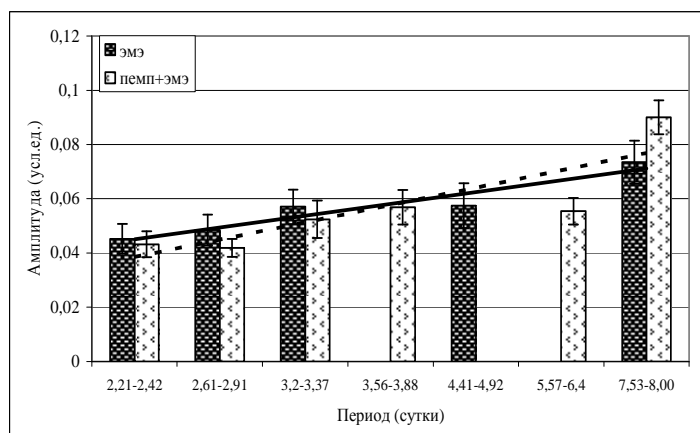


Рис. 4. Спектры периодов инфрадианных ритмов латентного периода ноцицептивной реакции моллюсков при действии электромагнитного экранирования, а также при воздействии переменного магнитного поля на животных, находившихся в условиях экранирования (ПеМП+ЭМЭ).

Кроме того, фаза периода $\approx 2,42^d$ практически нормализовалась при комбинированном действии факторов. Так, разность фаз данного периода между группой ПеМП+ЭМЭ и интактными моллюсками составила 13° , тогда как по сравнению с ЭМЭ фазовый сдвиг был 138° (рис. 2). Фаза периода $\approx 2,67^d$ при совместном влиянии слабого экранирования и ПеМП 8 Гц сдвинулась несколько меньше: на 160° и 214° относительно контроля и ЭМЭ соответственно, т.е. рассогласование ритмов было выражено меньше. Следовательно, дополнительное воздействие на моллюсков ПеМП частотой 8 Гц, находящихся в условиях слабого экранирования, корректирует изменения ИР, вызванные ЭМЭ.

Слабое воздействие ПеМП СНЧ оказывает, вероятно, синхронизирующее влияние на моллюсков, подвергнутых экранированию, делая спектр выделяемых периодов близким к составу периодов, выявленному у интактных моллюсков.

Таким образом, характер влияния ПеМП на ИР существенно зависит от исходного состояния организма. Если ПеМП действует на животных, у которых имеет место десинхронизация любого генеза, наблюдается восстановление исходной временной организации системы, при этом слабые МП выступают в роли внешнего синхронизирующего фактора. Так, у крыс с гипокинетическим стрессом, сопровождающимся развитием десинхронизации, нормализация ИР симпатoadренальной системы наблюдалась уже после однократных воздействий ПеМП частотой 8 Гц [41]. Такие же результаты получены при исследовании влияния ПеМП на эпифизэктомированных крыс [42].

Эти данные находятся в полном соответствии с результатами R. Wever, F.S. Prato, которые успешно применили низкочастотные ПеМП для коррекции

различных экранообусловленных расстройств [43, 44]. Так, F.S. Prato et al. (2009) добились нормализации ноцицептивной чувствительности животных, находившихся в экране, применением ПеМП частотой 120 Гц [44]. R. Wever (1973) нормализовал циркадианный ритм ряда физиологических показателей у добровольцев, находящихся в экранирующем бункере, дополнительным воздействием на них ПеМП частотой 10 Гц [43].

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

ВЫВОДЫ

1. Изменения ИР параметров ноцицепции наземных моллюсков *Helix albescens* под влиянием слабых электромагнитных факторов различной интенсивности заключается в перестройке структуры спектров, амплитудно-фазовых взаимоотношений.
2. Длительное пребывание животных в условиях слабого ЭМЭ, а также трехчасовое воздействие ПеМП СНЧ на моллюсков приводит к рассогласованию ритмов, т.е. развитию десинхроноза.
3. Дополнительное воздействие ПеМП СНЧ на моллюсков, находящихся в экранирующей камере, оказывает синхронизирующее влияние на ИР параметров ноцицепции, повышая согласованность ритмов и делая спектр выделяемых периодов близким к его составу, выявленному у интактных животных.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А. Биоритмы, спорт, здоровье / Н.А. Агаджанян, Н.Н. Шабатура – М.: Физкультура и спорт, 1989. – 208 с.
2. Ашофф Ю. Биологические ритмы / Ашофф Ю. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
3. Космос и биологические ритмы / [Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. и др.] – Симферополь, 1995. – 206 с.
4. Владимирский Б.М. Космические ритмы: в магнитосфере-ионосфере, в атмосфере, в среде обитания; в биосфере-ноосфере, в земной коре / Владимирский Б.М., Нарманский В.Я., Темурьянц Н.А. – Симферополь, 1994. – 173 с.
5. Asashima M. Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt, *Cynops pyrrhogaster* / M. Asashima, K. Shimada, C.J. Pfeiffer // *Bioelectromagnetics*. – 1991. – Vol. 12 (4). – P. 215–224.
6. Копанев В.И. О биологическом действии на организм гипогеомагнитной среды / В.И. Копанев, Г.Д. Ефименко, А.В. Шакула // *Известия АН СССР серии биология*. – 1979. – № 3. – С. 342–353.
7. Volpe P. Interaction of zero-frequency and oscillating magnetic fields with biostructures and biosystems / P. Volpe // *Photochemistry and Photobiology*. – 2003. – Vol. 2. – P. 637–648.
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. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты / Б.М. Владимирский // *Проблемы космич. биологии*. – 1982. – Т. 43. – С. 166–173.
10. Деряпа П.Р. Проблемы медицинской биоритмологии / Деряпа П.Р., Мошкин Н.П., Посный В.С. – М.: Медицина, 1985. – 208 с.
11. Рикитаки Т. Предсказание землетрясений / Т. Рикитаки. – М.: Мир, 1979. – 338 с.

12. Гогатишвили Л.М. Геомагнитные предшественники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций / Л.М. Гогатишвили // Геомагнетизм и аэрономия. – 1984. Т. 24, № 4. – С. 697–700.
13. Reiter R. Meteorologie und Elektrizität der Atmosphäre / R. Reiter. – Leipzig.: Akad. Verl., 1960. – 383 s.
14. Бокша В.Т. Медицинская климатология и климатотерапия / В.Т. Бокша, Б.В. Богущая. – Киев: Здоровье, 1980. – 260 с.
15. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности влияющих на процессы в биосфере / Б.М. Владимирский // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. – М.: Наука, 1971. – С. 126–141.
16. Космическая экология / В.Г. Сидякин, Н.А. Темуриянц, В.Б. Макеев, Б.М. Владимирский. – К: Наукова думка, 1985. – 176 с.
17. Костюк А.С. Динамика болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при действии низкоинтенсивных электромагнитных излучений крайних частотных диапазонов / А.С. Костюк, К.Н. Туманянц // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2010. – Т. 23 (62), №2. – С. 116–122.
18. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 18 марта 1986 г., глава III, статья 6.
19. Темуриянц Н.А. Особенности регенерации планарий *Dugesia tigrina* и ноцицепции моллюсков *Helix albescens* в условиях слабого электромагнитного экранирования / Н.А. Темуриянц, Н.А. Демцун, А.С. Костюк, Н.С. Ярмолюк // ГПиБ – 2011. – Т. 10, № 4. – С. 66-80.
20. Schumann W.O. Über die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre / W.O. Schumann // Naturwissenschaft. – 1982. – Vol. 7a. – P. 250–254.
21. Темуриянц Н.А. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире / Темуриянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г.. – Киев: Наукова думка, 1992. – 187 с.
22. Макеев В.Б. Исследование частотной зависимости биологической эффективности магнитного поля в диапазоне геомагнитного поля (0,01-100 Гц) / В.Б. Макеев, Н.А. Темуриянц // Пробл. космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 116–128.
23. Патент 48094 Україна, МПК51 А 01 К 61/00. Пристрій реєстрації параметрів больової чутливості наземних молосків / Темуриянц 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.
24. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии / Емельянов И.П. – Новосибирск: Наука, 1976. – 127 с.
25. Шабатура Н.Н. Механизм происхождения инфраничных биологических ритмов / Н. Н. Шабатура // Успехи физиологических наук. – 1989. – Т. 20. – № 3. – С. 83-103.
26. Чуюн Е.Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е.Н. Чуюн, Э.Р. Джелдубаева // Монография. – Симферополь: "Диайпи". – 2006. – 458 с.
27. Schweiger H.G. Evidence for a circaseptan and a circasemiseptan growth response to light/dark cycle shifts in nucleated and enucleated *Acetabularia* cells, respectively / H.G. Schweiger, S. Berger, H. Kretschmer // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Cell Biology. – 1983. – Vol. 83. – P. 8619-8623.
28. Ультраничные ритмы кардиоактивности и движения створок черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. / С.В. Холодкевич, Т.В. Кузнецова, А.В. Иванов [и др.] // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 8. – С. 163–167.
29. Циркадный ритм в движении створок и кардиоактивности двустворчатых моллюсков – существенные характеристики при оценке функционального состояния организмов / Т.В. Кузнецова, В.В. Трусович, А.С. Куракин [и др.] // Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию со дня основания Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, 7-9 декабря, 2010 г. : сборник докл. – Санкт-Петербург-Колтуши, 2010. – С. 156.
30. Circadian oscillators and photoreceptors in the gastropod, *Aplysia* / M.E. Lickey, G.D. Block, D.J. Hudson [et al.] // Photochemistry and Photobiology. – 1976. – Vol. 23. – P. 253–273.
31. Zann L.P. Relationships between intertidal zonation and circatidal rhythmicity in littoral gastropods / L.P. Zann // Marine Biology. – 1973. – Vol. 18. – P. 243–250.

32. Melatonin 5- methoxytryptophol (5-ML) in nervous and / or neurosensory structures of a gastropod mollusc (*Helix aspersa* maxima): synthesis and diurnal rhythms / A. Blanc, B. Vivien Roels, P. Pevet [et al.] // General and comparative endocrinology. – 2003. – Vol. 131, I.2. – P. 168–175.
33. Kavaliers M. Day–night rhythms of opioid and non-opioid stress-induced analgesia: differential inhibitory effects of exposure to magnetic fields / M. Kavaliers, K.P. Ossenkopp // Pain. – 1988a. – Vol. 32. – P. 223–229.
34. Rao K.P. Tidal rhythmicity of rate of water propulsion in *Mytilus* and its modifiability by transplantation / K.P. Rao // Biological Bulletin. – 1954. – Vol. 106. – P. 353–359.
35. Brown F.A. A «compass – direction effect» for snails in constant conditions, and its lunar modulation / F. Brown, N.M. Webb // Biol. Bull. – 1960. – Vol. 119. – P. 307.
36. Золотарев В.Н. Многолетние ритмы роста раковин мидии Граяна / В.Н.Золотарев // Экология. – 1974. – № 3. – С. 76–80.
37. Бородин Ю.И. Реакция циркадианных ритмов лимфоидной системы на глубокое экранирование от геомагнитного поля Земли / Ю.И. Бородин, А.Ю. Летягин // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 1990. – №2. – С. 191–193.
38. Wever R.A. The circadian system of man: Results of experiments under temporal isolation / R.A. Wever // New-York: Springer, 1979. – 276 p.
39. Мартынюк В.С. Внутрисуточные гео- и гелиофизически значимые периоды в интегральном ритме двигательной активности животных / В.С. Мартынюк // Биофизика. – 1998. – Т. 43, № 5. – С. 789–796.
40. Григорьев П.Е. О связи активности дегидрогеназ с гелиогеофизическими факторами / П.Е. Григорьев, В.С. Мартынюк, Н.А. Темуриянец // Геофизические процессы и биосфера. – 2005. – Т. 4, № 1/2. – С. 71–75.
41. Темуриянец Н.А. Влияние слабых ПемП КНЧ на инфранианную ритмику симпатoadреаловой системы крыс / Н.А. Темуриянец, В.В. Макеев, В.Н. Малыгина // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 653–655.
42. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфранианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомированных крыс : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.13. «Физиология человека и животных» / А.В. Шехоткин – Симферополь, 1995. – 25 с.
43. Wever R.A. Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies / R.A. Wever // Int. J. Biometeorol. – 1973. – Vol. 17, No. 3. – P. 227–232.
44. Introduction of a sinusoidal magnetic field into a hypogeomagnetic environment: effect on nociceptive behavior in CD-1 mice / F.S. Prato, D. Desjardins-Holmes, J.A. Robertson [et al.] // Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, June 14–19, 2009 – Davos, Switzerland, 2009. – P. 12–5.

Костюк О.С. Вплив слабких електромагнітних факторів на інфрадіанну ритміку ноціцепції наземних молюсків / О.С. Костюк // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 4. – С. 111–121.

Показано, що слабкі електромагнітні фактори різної інтенсивності змінюють інфрадіанну ритміку параметрів ноціцепції наземних молюсків *Helix albescens*, що виражається в перебудові спектрів потужності варіацій досліджуваних показників і амплітудно-фазових взаємин у спектрах. Тривале перебування тварин в умовах слабого електромагнітного екранування призводить до неузгодженості ритмів, збільшення різниці фаз між періодами, що свідчить про розвиток десинхронозу. Додатковий вплив змінного магнітного поля частотою 8 Гц індукцією 50 нТл на молюсків, що знаходяться в екрануючій камері, надає синхронізуючий вплив на багатоденну ритміку параметрів ноціцепції, зменшуючи різницю фаз між періодами і роблячи спектр періодів близьким до його складу, виявленому у інтактних тварин.

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

Kostyuk A.S. Influence of weak electromagnetic factors on infradian rhythmicity of nociception of land snail / A.S. Kostyuk // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 4. – P. 111-121.

It was shown that weak electromagnetic factors of varying intensity change infradian rhythmicity parameters of nociception of land snail *Helix albescens*, which was reflected in the restructuring of the power spectrum of variations of indices and amplitude-phase relations in the spectra. The weak long-term electromagnetic shielding of animals leads to a mismatch of rhythms, increase the phase difference between the periods, indicating the development of desynchronization. Additional exposure to a variable magnetic field 8 Hz induction 50 nT on snails in the shielding chamber, has a synchronizing effect on the parameters of multi-day rhythmicity of nociception, reducing the phase difference between the periods and by making spectrum allocation periods close to its composition, found in intact animals.

Keywords: electromagnetic shielding, variable magnetic field of low frequency, infradian rhythmicity, nociception, snails.

Поступила в редакцию 13.11.2012 г.