

УДК 591.471.24:613.168

ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОЛЛЮСКОВ *HELIX ALBESCENS* ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ

Костюк А. С., Темуриянц Н. А.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина,
e-mail: timur@crimea.edu*

Выявлена инфрадианная ритмика параметров болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens*, включающая следующие ритмы: $2^d, 1 \pm 0,13$; $2^d, 8 \pm 0,05$; $3^d, 2 \pm 0,04$; $5^d, 0 \pm 0,05$; $6^d, 4 \pm 0,1$; $7^d, 7 \pm 0,07$; $10^d, 8 \pm 0,09$; $12^d, 5 \pm 0,09$. Показано, что электромагнитное экранирование вызывает изменения инфрадианной ритмики болевой чувствительности моллюсков, которые выражаются в резком сдвиге фаз выделенных ритмов, а также тенденции к изменению их амплитуд.

Ключевые слова: инфрадианная ритмика, болевая чувствительность, электромагнитное экранирование, моллюски *Helix albescens*.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование эффективности ослабленного магнитного поля является актуальной проблемой биофизики. Выявлено, что при экранировании, ослабляющем не только статическое, но и переменное магнитное поле (ПеМП) различных диапазонов, изменяется состояние физико-химических систем [1], бактерий, изолированных клеток, клеточных культур [2]. В то же время действие этого фактора на животных и человека изучено не достаточно. Поэтому остро стоит вопрос об исследовании феноменологии этих влияний на человека и животных [3].

Показано, что одним из стойких и легко воспроизводимых эффектов слабых ПеМП, в том числе и ослабленных, является изменение болевой чувствительности [4]. В то же время перспективным для изучения эффектов ослабленного магнитного поля (МП) является исследование временной организации биологических систем, которая является важной характеристикой состояния живой материи [5, 6].

В магнитобиологических исследованиях широко используются моллюски, что отвечает современным этическим требованиям [7]. В частности, показано изменение болевой чувствительности у этих животных в ослабленном МП. Однако ритмика этих изменений в ослабленном МП, достигаемом экранированием, не изучена.

У моллюсков выявлена циркадианная ритмика [8, 9], а также ритмика, связанная с приливами и отливами [10], тогда как инфрадианная ритмика не исследована. В связи с вышеизложенным, целью данного исследования явилось

исследование инфранианной ритмики болевой чувствительности у моллюсков и ее изменений при электромагнитном экранировании (ЭМЭ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на наземных брюхоногих моллюсках *Helix albescens*, широко распространенных на территории Крымского полуострова и используемых в экспериментах для решения актуальных задач физиологии и биофизики. Сбор улиток производился в поле, вдали от предприятий, линий электропередач. Использовались половозрелые особи, одинаковые по массе и размерам. До эксперимента улитки не менее одной недели находились в активном состоянии.

Ослабление электромагнитного поля достигалось применением экранирующей камеры, которая представляет собой комнату размером 2 x 3 x 2 метра, изготовленную из железа «Динамо». Коэффициент экранирования постоянной составляющей магнитного поля, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составлял по вертикальной составляющей 4,375, по горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких (от $2 \cdot 10^{-4}$ Гц до 0,2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области сверхнизких частот измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – индукционным методом. Внутри камеры для частот выше 170 Гц и в области частот от $2 \cdot 10^{-3}$ до 0,2 Гц уровень спектральной плотности магнитного шума ниже $10 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$. Магнитное поле существенно проникает внутрь камеры на частотах 50 и 150 Гц и ниже $2 \cdot 10^{-3}$ Гц. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка 3.

В камере соблюдались затемненные условия.

Подробное описание экспериментальной установки для определения параметров болевой чувствительности, используемой в настоящем исследовании, представлено в наших предыдущих работах [11].

Для определения влияния ЭМЭ на параметры болевой чувствительности моллюсков делили на две равноценные группы по 20 особей в каждой. Животные обеих групп находились в условиях естественной освещенности (продолжительность фаз свет-темнота (L:D) составила 15:9 ч с восходом Солнца в 4:11 ч по местному времени и закатом в 19:10 ч), влажности и температуры воздуха ($t=22\pm 2^\circ\text{C}$). Животные первой группы – биологический контроль – находились в стандартных лабораторных условиях. Животные второй группы в течение одного часа помещались в экранирующую камеру в середине световой фазы (с 10:00 до 11:00 ч.), а остальное время суток находились в условиях, одинаковых с моллюсками интактной группы. Во время экранирования моллюсков второй группы животные контрольной группы находились в затемненных условиях. Регистрацию параметра болевой чувствительности проводили ежедневно у каждого животного после окончания экранирования (11:00-12:00 ч) на протяжении 30 дней.

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью параметрических методов, применение которых позволила проверка полученных данных на закон нормального распределения. Вычисляли среднее значение

исследуемых величин, ошибку средней. В качестве основного метода анализа продолжительности периодов и амплитудно-фазных характеристик исследуемых показателей был выбран косинор-анализ, обеспечивающий полное представление о структуре физиологических ритмов [12]. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента. За достоверную принимали разность средних при $p < 0,05$. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика параметров болевой чувствительности интактных моллюсков *Helix albescens*, а также животных, подвергнутых ЭМЭ описана нами ранее [14]. В динамике исследуемых показателей обнаружена ритмическая составляющая. С помощью косинор-анализа в динамике болевого порога (БП) и латентного периода (ЛП) болевой реакции выявлен набор инфрадианных ритмов, включающий ритмы со следующими периодами: $2^d, 1 \pm 0,13$; $2^d, 8 \pm 0,05$; $3^d, 2 \pm 0,04$; $5^d, 0 \pm 0,05$; $6^d, 4 \pm 0,1$; $7^d, 7 \pm 0,07$; $10^d, 8 \pm 0,09$; $12^d, 5 \pm 0,09$. Амплитуды выделенных ритмов колебались от 0,44 до 0,96 усл.ед. Доминирующие ритмы $2^d, 1$ и $10^d, 8$. Спектры мощности БП и ЛП полностью совпадали.

Инфрадианная ритмика, включающая ритмы такой же или близкой продолжительности, обнаружена в деятельности различных физиологических систем позвоночных животных и человека на всех уровнях организации [15-17], а также в динамике болевого порога, определенного в тесте электростимуляции, у интактных крыс [18]. Многодневная ритмика описана и для скорости роста одноклеточной морской водоросли *Acatubularia mediteranea* [19], для многих изолированных клеток: миоцитов, энуклеированные клетки и т.д.

Анализ спектров мощности БП и ЛП болевой реакции у моллюсков свидетельствует о близости периодов их колебаний к частотам гео- и гелиофизических факторов [20]. Этот факт служит дополнительным аргументом в пользу гипотезы [21] о том, что в отсутствие крупномасштабных спорадических возмущений организмы используют регулярно повторяющиеся изменения параметров внешней среды, включая ПемП, как пейсмейкер для синхронизации биологических ритмов в широком диапазоне периодов.

Анализ фазовых взаимоотношений БП и ЛП во всех выделенных периодах выявил их различия только на $1-2^\circ$, что свидетельствует о высокой степени синхронизации этих показателей. Достаточно высокое совпадение фаз выделенных инфрадианных ритмов обнаружено для сукцинат- и α -глицерофосфатдегидрогеназ лимфоцитов крови [22, 23]. Известно, что совпадение фаз сопряженных физиологических процессов является необходимым условием гомеостаза.

Таким образом, в динамике параметров болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* выделяются инфрадианные ритмы, которые являются важным компонентом временной организации биологических систем.

Как показали результаты проведенных исследований, ЭМЭ изменяет инфрадианную ритмику ЛП и БП моллюсков. Сравнение спектров мощности интактных животных и моллюсков, подвергнутых действию экранирования, не

выявило различий в их составе: спектр также состоял из восьми периодов, однако амплитуды выделенных ритмов имели тенденцию к изменению (рис. 1). В шести из восьми выделенных периодов отмечена тенденция к возрастанию амплитуд и эта тенденция наиболее заметна в доминирующих у интактных животных периодах – $\approx 2^d,1$ и $\approx 10^d,8$.

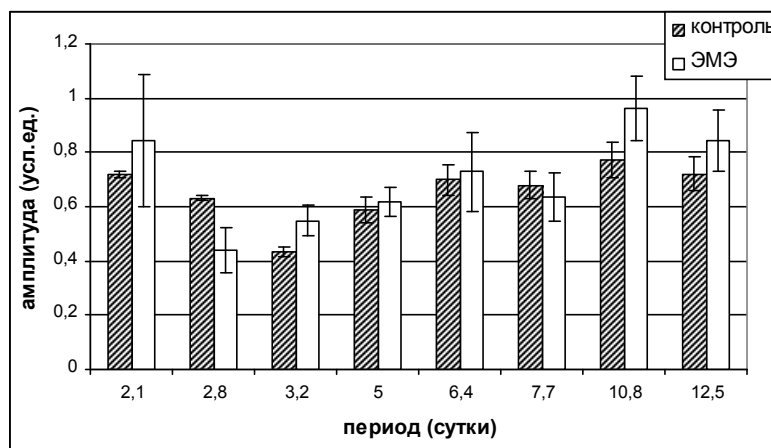


Рис. 1. Спектры мощности ЛП болевой реакции у моллюсков контрольной группы и группы животных, подвергнутых ЭМЭ.

Более выраженные изменения экранирование вызывает в фазовых сдвигах. Во всех выделенных периодах обнаружен одинаковый сдвиг фаз ЛП и БП: в периоде $2^d,1$ на $208,7^\circ$; в периоде $2^d,8$ – на $101,9^\circ$; в $3^d,2$ – на 275° ; в $5^d,0$ – на $56,21^\circ$; в $6^d,4$ – на $298,4^\circ$; в $7^d,7$ – на $113,7^\circ$; в $10^d,8$ – на $5,73^\circ$. В ритме $12^d,5$ зафиксирован максимальный фазовый сдвиг на 305° относительно показателей интактной группы животных. Поскольку сдвиг фаз ЛП и БП во всех периодах одинаковый, то взаимоотношения фаз между ними не изменялось – они полностью совпадали во всех периодах (рис. 2).

Таким образом, ЭМЭ модифицирует инфрадианную ритмику БП и ЛП у моллюсков *Helix albescens*. Эти изменения выражаются в резком сдвиге фаз выделенных ритмов, тенденция к изменению их амплитуд. Однако фазовые взаимоотношения между БП и ЛП во всех периодах сохранялись.

Полученные нами данные о способности ослабленного МП изменять инфрадианную ритмику согласуются с имеющимися литературными данными. Так, показано, что слабое ПемП частотой 8 Гц изменяет многодневную ритмику симпатoadреналовой системы у крыс [16], активности окислительно-восстановительных ферментов в лимфоцитах [22] и нейтрофилах [24]. Низкоинтенсивные электромагнитные излучения (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ) также вызывают амплитудно-фазные изменения инфрадианной ритмики активности нейтрофилов и лимфоцитов крови [18], биологически активных точек у человека [25]. В опытах на крысах показана способность ЭМИ КВЧ изменять

ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ БОЛЕВОЙ

инфрадианную ритмику болевого порога в тесте электростимуляции [18]. Показано также, что ПемП частотой 60 Гц индукцией 0-2,5 мТл изменяет циркадианную ритмику болевого порога у мышей [26].

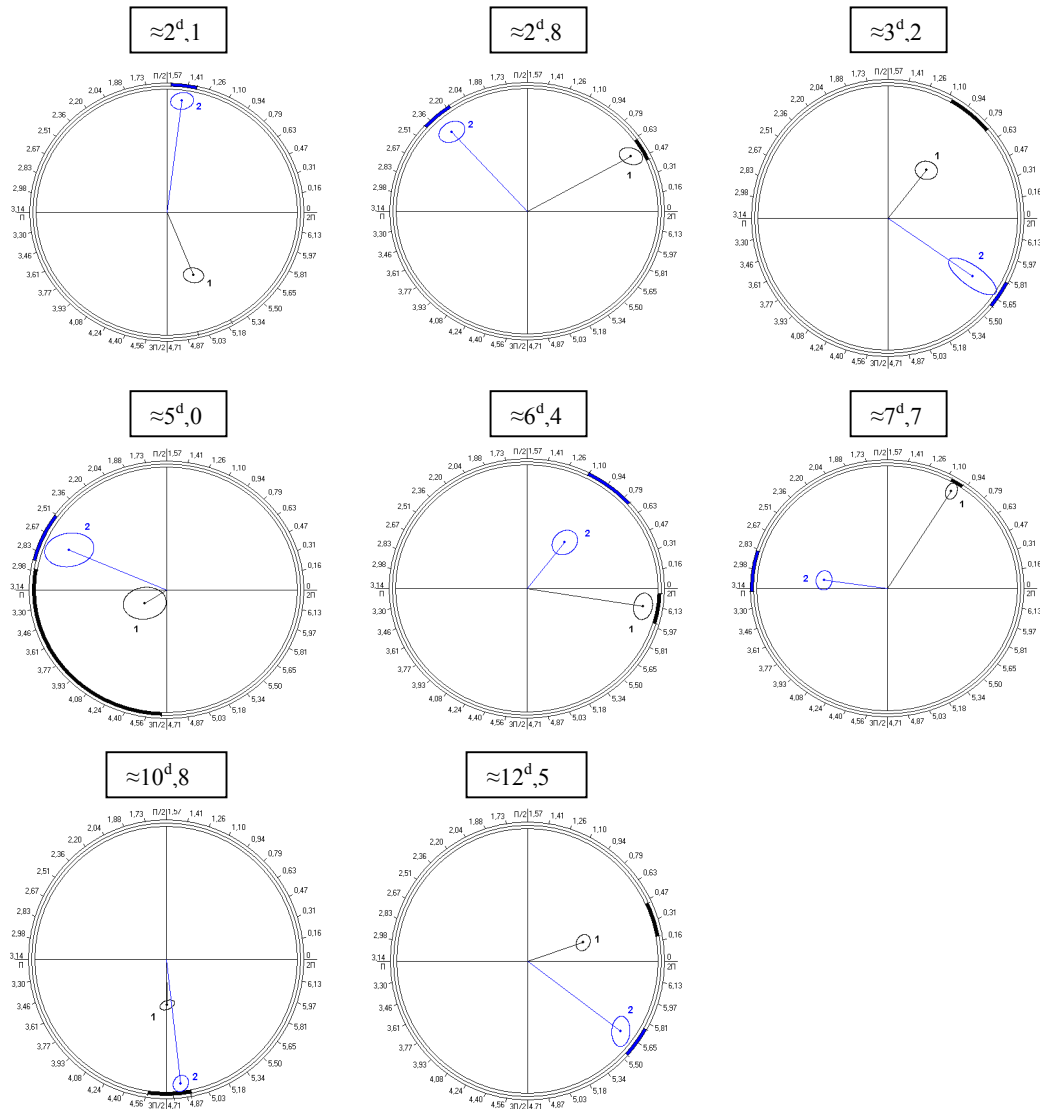


Рис. 2. Косинорограммы ЛП выделенных периодов у интактных моллюсков (1) и у животных, подвергнувших действию ЭМЭ (2).

Ослабленное МП также меняет ритмические процессы. Так, у лиц, долго находящихся в пещерах (естественных экранах), удлиняются циркадианские ритмы различных физиологических процессов [27].

Таким образом, ЭМЭ вызывает выраженные изменения инфрадианной ритмики БП и ЛП болевых реакций. Это больше выражено в резком смещении фаз всех выделенных ритмов, чем в изменении их амплитуд. По-видимому, такие изменения обеспечивают оптимальную адаптацию организма к изменяющимся условиям окружающей среды, создают условия сохранения гомеостаза.

Согласно Н. Агаджаняну и др. (1987) [5] именно такое динамическое взаимодействие организма с внешним миром и обеспечивает его стабильность и жизнеспособность.

Как свидетельствуют литературные данные изменения временной организации биологических систем могут вызвать различные факторы. Электромагнитные экраны, в зависимости от их свойств, могут ослаблять ПеМП в различных диапазонах, а также статическое, электрическое и магнитное поле. Дальнейшие исследования позволят выяснить какой именно фактор ответственен за обнаруженные изменения инфрадианной ритмики болевой чувствительности при ЭМЭ.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена инфрадианная ритмика параметров болевой чувствительности у моллюсков *Helix albescens*, включающая ритмы $2^d, 1 \pm 0,13$; $2^d, 8 \pm 0,05$; $3^d, 2 \pm 0,04$; $5^d, 0 \pm 0,05$; $6^d, 4 \pm 0,1$; $7^d, 7 \pm 0,07$; $10^d, 8 \pm 0,09$; $12^d, 5 \pm 0,09$.
2. Электромагнитное экранирование вызывает изменения инфрадианной ритмики болевой чувствительности у моллюсков, выражающееся в резком сдвиге фаз выделенных ритмов, тенденции к изменению их амплитуд.

Список литературы

1. Опалинская А.М. Влияние естественных и искусственных электромагнитных полей на физико-химические и элементарные биологические системы (экспериментальное исследование) / А. М. Опалинская, Л.П. Агулова // Изд. Томского ун-та. – 1984. – 190 с.
2. Павлович С.А. Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов / Павлович С.А. // Минск, изд. «Беларусь». – 1981. – 72 с.
3. Prato F.S. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgaesia in the land snail depending on field and light conditions / F.S. Prato, M. Kavaliers, A.W. Thomas // Bioelectromagnetics. – 2000. – Vol. 21 (4). – P. 287–301.
4. Kavaliers M. Day-night rhythms in the inhibitory effects of 60 Hz magnetic fields on opiate-mediated 'analgesic' behaviors of the land snail, *Cepaea nemoralis* / M. Kavaliers, K.-P. Ossenkopp, S. Lipa // Brain Res. – 1990. – Vol. 517. – P. 276–282.
5. Агаджанян Н.А. О физиологических механизмах биологических ритмов / Н.А. Агаджанян, А.А. Башкирова, И.Г. Власова // Успехи физиол. наук. – 1987. – Т. 18. – № 4. – С. 80–104.
6. Владимирский Б.М. Космическая погода и наша жизнь / Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А., Мартынюк В.С. – Фрязино, 2004. – 224 с.
7. Закон України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 21.02.2006 № 3447-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2006. – № 27. – С. 990.
8. Sokolove P.G. A circadian rhythm in the locomotor behaviour of the giant garden slug *Limax maximus* / P.G. Sokolove, G.M. Beiswanger, D.J. Prior [et al.] // J. of Experimental Biology. – 1977. – Vol. 66. – P. 47–64.
9. Zann L.P. Relationships between intertidal zonation and circatidal rhythmicity in littoral gastropods / L. P. Zann // Marine Biology. – 1973. – Vol. 18. – P. 243–250.
10. 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.

11. Установа для изучения болевой чувствительности наземных моллюсков *Helix albescens* / В.Г. Вишневский, А.С. Костюк, Н.А. Темуриянц [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61). – № 1. – С. 3–8.
12. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии / Емельянов И.П. – Новосибирск: Наука. – 1976. – 127 с.
13. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. – К.: Модмон, 2000. – 319 с.
14. Костюк А.С. Динамика болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* в условиях продолжительного электромагнитного экранирования / А.С. Костюк, Н.А. Темуриянц // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61). – № 3. – С. 75–82.
15. Шабатура Н.Н. Механизм происхождения инфрадианных биологических ритмов / Н.Н. Шабатура // Успехи физиологических наук. – 1989. – Т. 20. – № 3. – С. 83–103.
16. Темуриянц Н.А. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфрадианную ритмику симпатoadренальной системы крыс / Н.А. Темуриянц, В.Б. Макеев, В. И. Малыгина // Биофизика. – 1992. – Т. 37. – № 4. – С. 653–655.
17. Влияние геомагнитной и солнечной активности на сердечно-сосудистые и другие хроноэпидемиологии / Т.К. Бреус, С.Ж. Корнелиссен, С. Бинхам [и др.] // Хронобиология и хрономедицина и влияние гелиогеофизических факторов на организм человека. – М., 1992. – С. 146–191.
18. Чуян Е. Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е. Н. Чуян, Э. Р. Джелдубаева // Монография. – Симферополь: "Диалог". – 2006. – 458 с.
19. 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.
20. Kane R. P. Power spectrum analysis of geomagnetic indices (English) / R. P. Kane // Proc. Indian Acad. Sci (Earth Planet Sci). – 1986. – Vol. 95 (1) – P. 1–12.
21. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты / Б.М. Владимирский // Пробл. космич. биологии. – М.: Наука. – 1982. – Т. 43. – С. 166–173.
22. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфрадианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомированных крыс: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.13 СГУ. / А.В. Шехоткин – Симферополь, 1995. – 25 с.
23. Chronobiological analysis of peripheral lymphocyte dehydrogenase activities in rats with Walker 256 carcinosarcoma (English) / L. Strigun, E. Chirkova, G. Grigoreva [et al.] // Anti-Cancer Drugs. – 1991. – Vol. 2. – P. 305–310.
24. Темуриянц Н.А. Особенности инфрадианной ритмики бактерицидных систем нейтрофилов крови крыс с различными индивидуальными особенностями и ее изменение при воздействии ПемП СНЧ / Н.А. Темуриянц, В.А. Минко, Е.И. Нагаева // Геофизические процессы и биосфера. – 2005. – Т. 4. – № ½. – С. 31–39.
25. Мартынюк В.С. Корреляция биофизических параметров биологически активных точек и вариаций гелиогеографических факторов / В.С. Мартынюк, Н.А. Темуриянц, О.Б. Московчук // Биофизика. – 2000. – Т. 46. – № 5. – С. 905–909.
26. Extremely low frequency magnetic field exposure modulates the diurnal rhythm of the pain threshold in mice / Yoon Mee Choi, Ji Hoon Jeong, Jeong Soo Kim [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2003. – Vol. 24 – P. 206–210.
27. Wever R. A. The circadian system of man: Results of experiments under temporal isolation / Wever R. A. // New-York: Springer, 1979. – 276 p.

Костюк О.С. Зміна інфрадіанної ритміки больової чутливості молюсків *Helix albescens* при електромагнітному екрануванні / О.С. Костюк, Н.А. Темур'янц // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 87-94.

Виявлена інфрадіанна ритміка параметрів больової чутливості молюсків *Helix albescens*, що включає наступні ритми: $2^d, 1 \pm 0,13$; $2^d, 8 \pm 0,05$; $3^d, 2 \pm 0,04$; $5^d, 0 \pm 0,05$; $6^d, 4 \pm 0,1$; $7^d, 7 \pm 0,07$; $10^d, 8 \pm 0,09$; $12^d, 5 \pm 0,09$. Показано, що електромагнітне екранування викликає зміни інфрадіанної ритміки больової чутливості молюсків, які виражаються в різкому зрушенні фаз виділених ритмів, а також тенденції до зміни їх амплітуд.

Ключові слова: інфрадіанна ритміка, больова чутливість, електромагнітне екранування, молюски *Helix albescens*.

Kostyuk A.S. Electromagnetic shielding changes infradian rhythmicity of pain sensitivity of land snails *Helix albescens* / A.S. Kostyuk, N.A. Temuryants // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 87-94.

Revealed infradian rhythmicity parameters of pain sensitivity of land snails *Helix albescens*, which includes the following rhythms: $2^d, 1 \pm 0,13$; $2^d, 8 \pm 0,05$; $3^d, 2 \pm 0,04$; $5^d, 0 \pm 0,05$; $6^d, 4 \pm 0,1$; $7^d, 7 \pm 0,07$; $10^d, 8 \pm 0,09$; $12^d, 5 \pm 0,09$. It is shown that the electromagnetic shielding causes changes infradian rhythmicity of pain sensitivity of land snails, which are expressed in a sharp phase shift the rhythms, and the tendency to change their amplitudes.

Keywords: infradian rhythmicity, pain sensitivity, electromagnetic shielding, land snails *Helix albescens*.

Поступила в редакцію 28.11.2009 г.