

УДК 615.849.11:595.123:57.034

ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНАРИЙ *DUGESIA TIGRINA* В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Ярмолюк Н.С.

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

Выявлена инфрадианная ритмика скорости движения планарий *Dugesia tigrina*, которая включает следующие периоды: $\approx 2^d,4$; $\approx 2^d,7$; $\approx 3^d,2$; $\approx 3^d,7$; $\approx 4^d,3$; $\approx 5^d,8$; $\approx 9^d,1$; $\approx 11^d,6$; $\approx 12^d,8$. Обнаружено, что электромагнитное экранирование вызывает изменения инфрадианной ритмики скорости движения планарий, которые выражаются в изменениях спектров мощности и сдвиге фаз выделенных ритмов.

Ключевые слова: инфрадианная ритмика, скорость движения, электромагнитное экранирование, *Dugesia tigrina*.

ВВЕДЕНИЕ

Для доказательства важной экологической роли электромагнитных полей (ЭМП) естественного происхождения существует, по меньшей мере, три принципиально различных типа экспериментов:

- 1) воздействие на биообъект искусственно созданным ЭМП с параметрами, близкими к естественным;
- 2) опыты с экранированием от внешних ЭМП с регистрацией определенных показателей у животных опытной и контрольной групп;
- 3) сопоставление изменений функционального состояния биообъекта с параметрами естественных ЭМП [1].

Опыты с экранированием имеют и важное прикладное значение, так как оно широко распространено в естественных и производственных условиях, но мало изучено. В связи с этим возникает необходимость в изучении биологического действия ЭМЭ.

В последние годы для решения актуальных проблем физиологии и биофизики все чаще применяются беспозвоночные животные, что отвечает современным этическим требованиям. На плоских червях (планариях) изучена не только феноменология электромагнитных воздействий, но и некоторые механизмы их действия [2, 3]. Однако подавляющее большинство этих работ выполнено на регенерирующих планариях, тогда как интактные планарии используются в экспериментах нечасто. Между тем, в настоящее время разработаны способы регистрации функционального состояния планарий, позволяющие оценить не

только процесс их регенерации. Таким показателем является скорость движения. Исследование этого показателя при ЭМЭ представляет интерес и по той причине, что согласно современным данным электромагнитные факторы различных параметров изменяют аппарат движения клетки – реснички, жгутики [4, 5], изменяют структуру основного белка ресничек – тубулина [6], изменяют локомоторную активность планарий [7].

Кроме того, показано, что одним из характерных расстройств, вызываемых действием ЭМП различных параметров, является изменение временной организации биологических систем [8]. В связи с изложенным, целью исследования является изучение влияния ЭМЭ на инфрадианную ритмику скорости движения интактных планарий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использована лабораторная бесполовая раса планарий *Dugesia tigrina*, условия ее содержания и кормления описаны в более ранних работах [9].

Для экспериментов отбирали животных длиной $\approx 9 \pm 1$ мм, у которых движение осуществлялось за счет ресничек, а не мускулатуры [10]. Во время опыта манипуляции проводили с помощью пипетки.

Для достижения цели исследования была проведена серия эксперимента в июне 2009 года. Через три-четыре дня после кормления планарий отбирали для опыта и перед воздействием рассаживали по одной в стаканчики с 20 мл воды. Животных делили на две группы по 15 особей в каждой. Первую группу составил биологический контроль, регенерация у них протекала без каких-либо дополнительных воздействий. Животных второй группы содержали в экранирующей камере в течение тридцати дней по 23 часа в сутки. Ежедневно в течение одного часа (всегда в одно и тоже время с 10 до 11 час.) проводили фиксацию изображения для определения скорости движения планарий.

Для определения скорости движения (СД) планарий видеоизображения движущихся в воде червей регистрировались с частотой 30 кадров в одну секунду. Скорость движения планарий вычислялась отношением пройденного ею пути ко времени в одну секунду. Путь измерялся наложением двух участков одного видеоряда с соответствующей разницей во времени. Контрастирование проводилось при помощи стандартной операции «вычитания» для двух изображений (рис. 1) [11].

Эффективность воздействия ЭМЭ определяли путем вычисления коэффициента эффективности ($K_{эф}$). Каждое из измеряемых значений СД как в опыте ($СД_э$), так и в контроле ($СД_к$) является результатом усреднения измерений на 15 животных. Изменение скорости движения в эксперименте по сравнению с контролем определялось по формуле:

$$K_{эф} = \frac{(СД_э - СД_к) \pm (\delta_э + \delta_к)}{СД_к \pm \delta_к} \cdot 100\% ,$$

где $СД_к$ и $СД_э$ – скорости движения в контрольной и экспериментальной группах, $\delta_{э,к}$ – стандартные ошибки измерений в опыте и контроле.

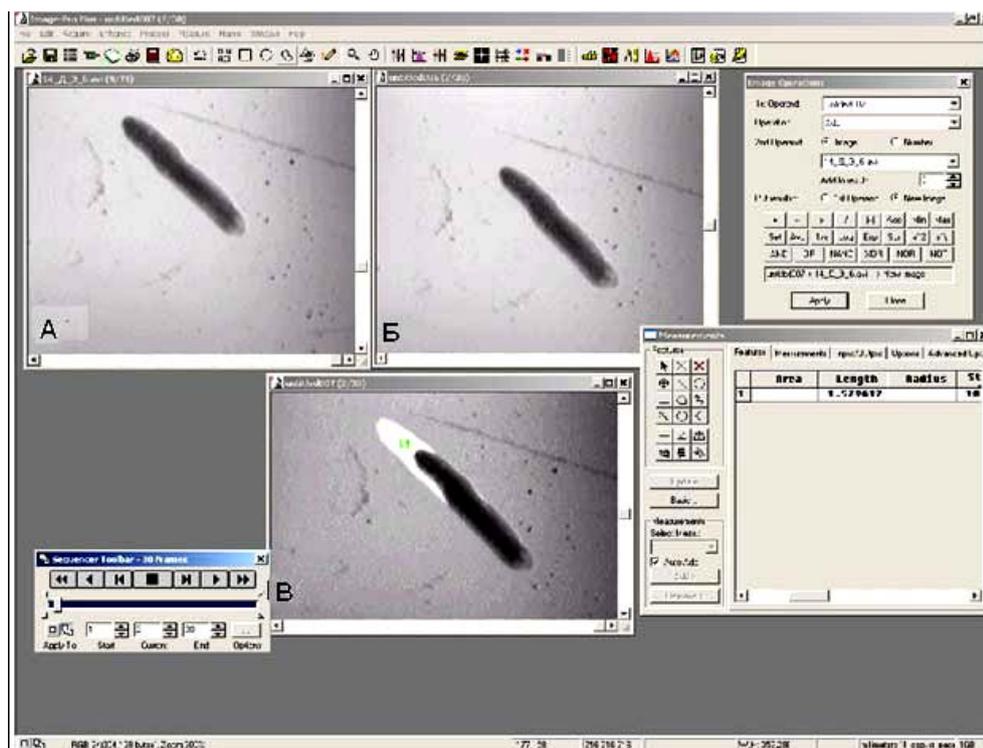


Рис. 1. Пример вычисления скорости движения планарии. (А, Б – участки видеоряда с разницей в одну секунду; В – результат наложения этих видеорядов при помощи покадрового вычитания изображений).

Ослабление электромагнитного поля достигалось применением экранирующей камеры, которая представляет собой комнату размером 2х3х2 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 области частот от 150 Гц до 100 кГц происходит слабое экранирование, тогда как на частоте больше 1 МГц имело место полное ослабление.

Проверка полученных данных на закон нормального распределения позволила применить параметрический метод в статистической обработке и анализе материала

исследования, поэтому вычисляли среднее значение исследуемых величин и ошибку средней. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента. За достоверную принимали разность средних при $p < 0,05$. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel [12].

В качестве метода нахождения спектральных характеристик изучаемых показателей для каждой планарии отдельно, использовали преобразование Фурье для вычисления периодических составляющих и программу косинор-анализа (решение систем линейных уравнений методом Крамера) для выявления фазовых характеристик.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что скорость движения интактных планарий колеблется от $0,9094 \pm 0,08$ мм/с до $2,1268 \pm 0,09$ мм/с. Эти данные согласуются с данными И.В. Денисенковой и др. [7], согласно которым СД интактных планарий в среднем составляет 1,23-1,25 мм/с. Согласно исследованиям Н.А. Демцун [13], скорость движения регенерирующих планарий в летний период колеблется от 1,0382 мм/с до 2,3471 мм/с. То есть у регенерирующих планарий СД несколько больше, чем у интактных.

В условиях ЭМЭ в первые 15 суток наблюдения имеет место возрастание скорости движения животных: уже начиная с первых суток эксперимента, наблюдается достоверное увеличение изучаемого показателя относительно контрольных значений \approx на 23% ($p < 0,01$). В последующие два дня наблюдается снижение эффективности ЭМЭ, однако этот результат не был статистически достоверным. Начиная с четвертых суток, характерно достоверное увеличение изучаемого показателя относительно интактных животных, такая ситуация наблюдалась 12 суток, когда максимальная стимуляция отмечалась на девятые сутки $\approx 30\%$ ($p < 0,001$), а минимальная на 13-е – $\approx 4\%$ (рис. 2).

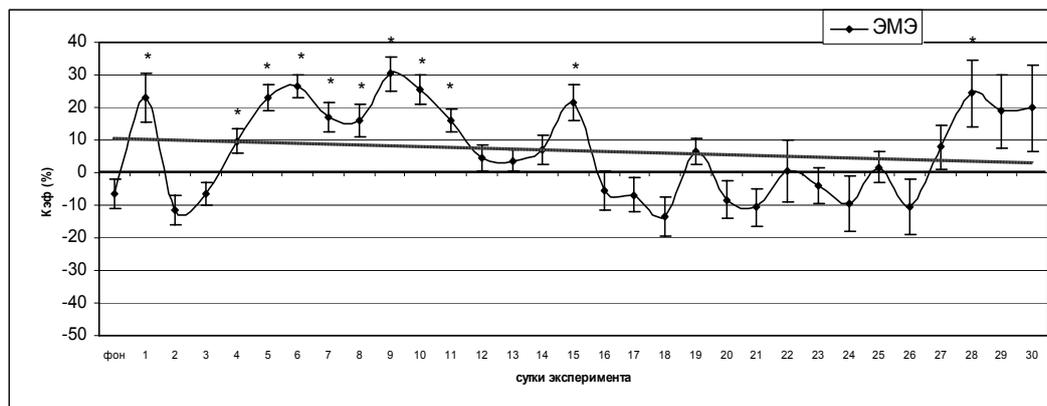


Рис.2. Динамика коэффициента эффективности ЭМЭ.

Примечание: Р – достоверность различий при сравнении с данными фонового дня:

* – ($p < 0,001$); ** – ($p < 0,01$); *** – ($p < 0,05$)

Начиная с 16-х суток эксперимента, наблюдается тенденция к снижению $K_{эф}$, значение которого варьируется от $\approx -13\%$ (на 18-е сутки) и приближается к нулю на 22-е сутки, но в этот период изменения СД были статистически не достоверны. К заключительным срокам эксперимента, а именно с 27-х суток, $K_{эф}$ вновь возрастает и достигает своего максимума на 28-е сутки и составил 24% ($p < 0,05$) (рис. 2).

Таким образом, можно отметить, что в летний сезон, ЭМЭ приводит к фазовым изменениям СД планарий. Так, в первой половине экспериментальных наблюдений имеет место стимуляция СД планарий, находящихся в условиях ЭМЭ, тогда как во второй половине этот эффект пропадает.

Как показали результаты проведенных исследований, ЭМЭ приводит и к изменениям инфранианной ритмики СД планарий.

Анализируя динамику СД с помощью преобразования Фурье, у интактных планарий были выявлены следующие периоды: $\approx 2^d,4 \pm 0,003$; $\approx 2^d,7 \pm 0,004$; $\approx 3^d,2 \pm 0,003$; $\approx 3^d,7 \pm 0,003$; $\approx 4^d,3 \pm 0,003$; $\approx 5^d,8 \pm 0,003$; $\approx 9^d,1 \pm 0,003$; $\approx 12^d,8 \pm 0,003$. Амплитуды выделенных ритмов колебались от $0,021 \pm 0,003$ усл.ед. до $0,031 \pm 0,003$ усл.ед. Доминирующим ритмом являлся $\approx 12^d,8 \pm 0,003$ (рис. 3). Инфраниантный ритм такой продолжительности выявлен в деятельности различных физиологических систем у позвоночных [1, 14-17], а также у беспозвоночных – регенерирующих планарий [18] и моллюсков [19].

Сопоставляя наши данные с литературными, можно отметить, что в летний сезон в СД регенерирующих планарий выявлялось только пять периодов: $\approx 2^d,1$; $\approx 2^d,5$; $\approx 3^d,0$; $\approx 3^d,7$; $\approx 5^d,1$, доминирующим периодом являлся период $\approx 5,1$ суток с амплитудой 0,228 усл.ед. [18], а тогда как нами в СД интактных планарий выявлялось семь периодов: $\approx 2^d,4 \pm 0,003$; $\approx 2^d,7 \pm 0,004$; $\approx 3^d,2 \pm 0,003$; $\approx 3^d,7 \pm 0,003$; $\approx 4^d,3 \pm 0,003$; $\approx 5^d,8 \pm 0,003$; $\approx 9^d,1 \pm 0,003$; $\approx 12^d,8 \pm 0,003$, доминирующим ритм был $\approx 12^d,8 \pm 0,003$ с амплитудой $0,031 \pm 0,003$ усл.ед. Таким образом, результаты экспериментов принципиально совпадают, но выявлен и ряд различий. Эти различия возможно связаны с неодинаковым периодом наблюдения в этих исследованиях. В наших экспериментах наблюдение велось в течение 30-ти суток, а Н.А. Демцун [18] изучала СД регенерирующих планарий только 14 дней. Известно, что при увеличении периода наблюдения точность выявления периодов повышается.

В группе животных, подвергающихся влиянию ЭМЭ, выделялись такие периоды: $\approx 2^d,4 \pm 0,004$; $\approx 2^d,7 \pm 0,003$; $\approx 3^d,2 \pm 0,002$; $\approx 4^d,3 \pm 0,003$; $\approx 5^d,8 \pm 0,003$; $\approx 11^d,6 \pm 0,004$. Амплитуды выделенных ритмов колебались от $0,02 \pm 0,004$ усл.ед. до $0,047 \pm 0,004$ усл.ед. Доминирующий ритм в этой группе $\approx 11^d,6 \pm 0,004$ (рис. 3).

Таким образом, при сравнении спектров инфраниантных ритмов интактных животных и планарий, подвергавшихся воздействию ЭМЭ, наблюдаются некоторые различия. Так, в контрольной группе выявляется восемь периодов, тогда как в группе планарий, подвергшихся ЭМЭ было выявлено всего шесть периодов. Периоды $\approx 3^d,7 \pm 0,003$; $\approx 9^d,1 \pm 0,003$ и $12^d,8 \pm 0,003$ характерны лишь для интактных животных, а $\approx 11^d,6 \pm 0,004$ выявляется только у экспериментальной группы (рис. 3). Таким образом, ЭМЭ перестраивает спектры выявляемых периодов СД планарий.

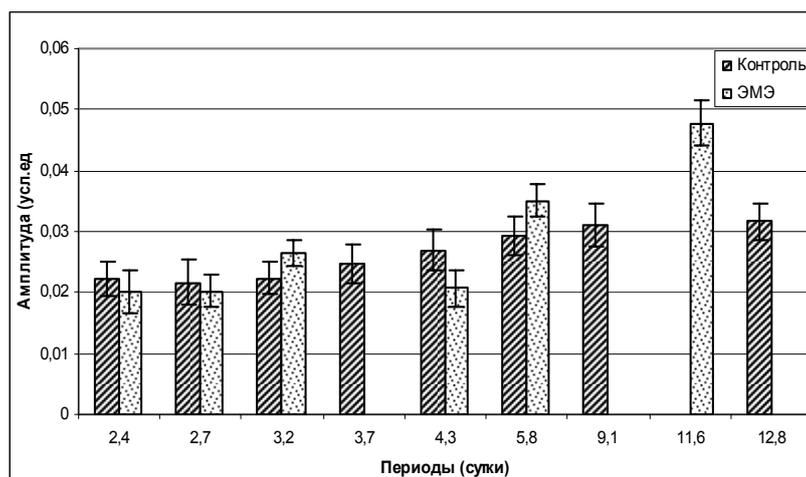


Рис. 3. Спектры мощности средней скорости движения контрольной и экспериментальной групп животных.

Метод косинор-анализа позволил выявить во всех выделенных периодах определенные фазовые соотношения между данными контрольной и экспериментальной групп. Можно заметить, что в периодах $\approx 2^d,7$ и $\approx 4^d,3$ наблюдался достоверный сдвиг фаз на $262,44^\circ$ ($p < 0,05$) и $219,07^\circ$ ($p < 0,05$) соответственно. Тогда как во всех остальных выделенных периодах наблюдается только тенденция к сдвигу: $\approx 2^d,4$ на $48,63^\circ$, в $\approx 3^d,2$ на $-335,66^\circ$, в $\approx 5^d,8$ на $17,58^\circ$. В периоде $3^d,2$ зафиксирован максимальный сдвиг фаз на $335,66^\circ$ относительно показателей контрольной группы животных (рис. 4).

Таким образом, длительное электромагнитное экранирование приводит к значительным изменениям во временной организации планарий *Dugesia tigrina*. А именно наблюдается изменение спектров мощности и определенные сдвиги фаз.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что в условиях ЭМЭ скорость движения интактных планарий изменяется фазно. I фаза – 1-15-е сутки регистрируется ее возрастание, с 16-х наблюдается стабилизация СД до уровня фоновых данных. Эти данные не согласуются с результатами И.В. Денисенковой и др. [7], которые в условиях гипомангнитного поля (экспериментальная установка состояла из трех пар катушек Гельмгольца диаметром 40 см, которые записывались от управляемых стабилизированных источников тока, система ориентировалась с севера на юг и не содержала материалов, искажающих магнитное поле) обнаружили снижение СД планарий. Эти различия, возможно, связаны с применением неодинаковых методов ослабления МП, в наших экспериментах использовалась экранирующая камера, подробно описанная в главе материалы и методы, а И.В. Денисенкова и др. использовали кольца Гельмгольца.

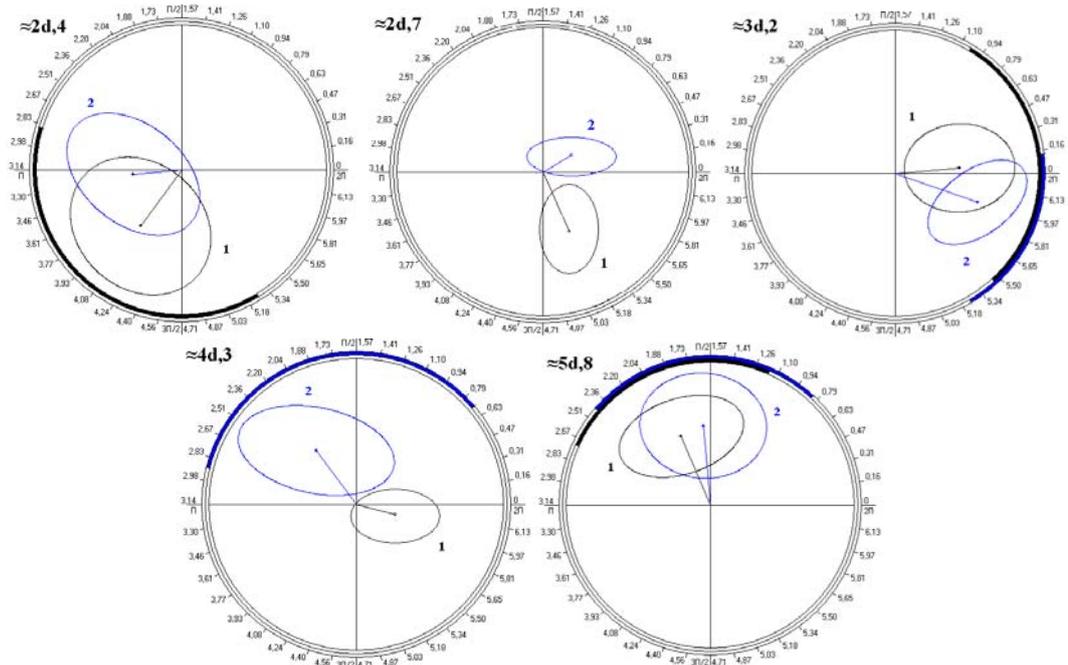


Рис. 4. Соотношение фаз биоритмов скорости движения контрольной (1) и экспериментальной (2) групп животных.

Кроме того, нами обнаружено, что ЭМЭ вызывает изменения инфрадианной ритмики СД планарий. Эти данные находятся в полном соответствии с результатами других исследований, обнаруживших, что изменения временной организации являются одним из характерных расстройств, вызываемых ЭМЭ. Так, Ю.И. Бородин и др. (1990) [20] обнаружили, что двухнедельное пребывание инбредных мышей в гипомагнитной камере, ослабляющей постоянное магнитное поле Земли в 10^4 раз, вызывает выраженный десинхроноз циркадианных ритмов лимфоидной системы. В свою очередь R.A. Wever [21] описал удлинение циркадианных ритмов у людей при их длительном пребывании в бункерах. В наших исследованиях изменения временной организации при экранировании, обнаруживаются и для ритмов другого диапазона – инфрадианных.

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют об изменении динамики и инфрадианной ритмики СД планарий в условиях ЭМЭ. То есть, в условиях ослабления естественного ЭМП различных диапазонов, изменения соотношения интенсивностей постоянного МП Земли и ЭМП различных диапазонов, деятельность биологических систем модифицируется. Эти данные должны расцениваться как доказательство важной экологической роли ЭМП естественного происхождения.

ВЫВОДЫ

1. В летний сезон года, ЭМЭ приводит к изменению динамики скорости движения планарий *Dugesia tigrina*. В первой половине экспериментальных наблюдений характерна стимуляция СД планарий, находящихся в условиях ЭМЭ, тогда как во второй половине – эффект пропадает.
2. Выявлена инфрадианная ритмика скорости движения планарий *Dugesia tigrina*, которая включает в себя такие периоды: $\approx 2d,4$; $\approx 2d,7$; $\approx 3d,2$; $\approx 3d,7$; $\approx 4d,3$; $\approx 5d,8$; $\approx 9d,1$; $\approx 11d,6$; $\approx 12d,8$.
3. Электромагнитное экранирование вызывает изменение инфрадианной ритмики скорости движения планарий *Dugesia tigrina*, что выражается в изменении спектров мощности и сдвигах фаз выделенных периодов.

Список литературы

1. Темуриянц Н.А. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире / Темуриянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. // Киев. Наукова Думка, 1992. – 188 с.
2. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia tigrina* в качестве тест-системы / В.В. Леднев, Л.К. Сребницкая, Е.Н. Ильясова [и др.] // Биофизика. – 1996. – Т.41, вып. 4. – С. 815–825.
3. Новиков В.В. Биологические эффекты слабых и сверхслабых магнитных полей: авторефер. дис... докт. биол. наук. / В.В. Новиков – Москва, 2005. – 43 с.
4. Sandodze V. Effect of hipomagnetic fields on motility of the ependimal cells in vivi / V. Sandodze, I.K. Swnidze, E.V. Didimona // Radiats Biol. Radioecol. – 1995. – Vol. 1. – P. 19–22.
5. Truta Z. Zero magnetic field influence on in vitro human spermatozoa cells behavior / Z. Truta, S. Neamtu, V. Morariu // Romanian J. Biophys. – 2005. – V. 15. – P. 73–79.
6. Tubulin assembly is disordered in a hypogeomagnetic field / Dong Liang Wang, Xing Sheng Wang, Rong Xiao [et al.] // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2008. – V. 376. – P. 363–368.
7. Денисенкова И.В. Стимулированная локомоторная активность планарии *Dugesia tigrina* в естественном магнитном поле и при его компенсации / И.В. Денисенкова, Г.М. Пискунова, Н.К. Чемерис // Вестник новых медицинских технологий – 1997. – Т.4, № 4. – С. 56–60.
8. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты / Б.М. Владимирский // Проблемы космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 166–173.
9. Демцун Н.А. Динамика скорости движения планарий, регенерирующих в условиях электромагнитного экранирования / Н.А. Демцун, Н.А. Темуриянц, М.М. Баранова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 2. – С. 24–32.
10. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных: приспособление и среда / К. Шмидт-Ниельсен – М: «Мир», 1982. – Т.2. – С. 555–643.
11. Патент № 98095 Украины МПК51 А 01 К 61/00. Способ определения скорости движения интактных и регенерирующих планарий / Темуриянц Н.А., Баранова М.М., Демцун Н.А.; заявитель и правообладатель Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. – № U 200908540; заявл.: 13.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.
12. 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.
13. Темуриянц Н.А. Динамика скорости движения планарий *Dugesia tigrina*, регенерирующих в условиях электромагнитного экранирования в различные сезоны года / Н.А. Темуриянц, Н.А. Демцун, М.М. Баранова // Физика живого. – 2009. – Т. 17, № 1. – С. 112–118.
14. Стригун Л.М. Биоритмы дегидрогеназ и гелиобиологические связи / Л.М. Стригун // Циклы природы и общества. – 1996. – № 2. – С. 143–149.
15. Чиркова Э.Н. Современная гелиобиология / Чиркова Э.Н. – М.: «Гелиос», 2005. – 250 с.

16. Шабатура Н.Н. Механизм происхождения инфрадианных биологических ритмов / Н.Н. Шабатура // Успехи физиол. наук. – 1989. – Т. 20, № 3. – С. 83–103.
17. Чуюн Е.Н. Нейроиммуноэндокринные механизмы адаптации к действию низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты: автореф. дисс. ... доктора биол. наук: 03.00.13 «Физиология человека и животных» / Е.Н. Чуюн – Симферополь, 2004. – 417 с.
18. Демцун Н.А. Особенности инфрадианной ритмики скорости движения регенерирующих планарий в различные сезоны года / Н.А. Демцун // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 41–49.
19. Костюк А.С. Изменение инфрадианной ритмики болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при электромагнитном экранировании / А.С. Костюк, Н.А. Темурьянц // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 87–94.
20. Бородин Ю.И. Реакция циркадианных ритмов лимфоидной системы на глубокое экранирование от геомагнитного поля Земли / Ю.И. Бородин, А.Ю. Летягин // Бюллетень экологической биологии и медицины. – 1990. – № 2. – С. 191–193.
21. Wever R.A. The circadian system of man: Results of experiments under temporal isolation / R.A. Wever // New-York: Springer, 1979. – 276 p.

Ярмолюк Н.С. Инфрадіанна ритміка швидкості руху планарій *Dugesia tigrina* в умовах електромагнітного екранування / Н.С. Ярмолюк // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 200-208.

Виявлена інфрадіанна ритміка швидкості руху планарій *Dugesia tigrina*, яка включає наступні періоди: $\approx 2^d, 4$; $\approx 2^d, 7$; $\approx 3^d, 2$; $\approx 3^d, 7$; $\approx 4^d, 3$; $\approx 5^d, 8$; $\approx 9^d, 1$; $\approx 11^d, 6$; $\approx 12^d, 8$. Показано, що електромагнітне екранування викликає зміни інфрадіанної ритміки швидкості руху планарій, які виражаються в змінах спектрів потужності і зсуві фаз виділених ритмів.

Ключові слова: інфрадіанна ритміка, швидкість руху, електромагнітне екранування, *Dugesia tigrina*.

Yarmolyuk N.S. Electromagnetic shielding changes infradian rhythmicity speeds of planarian *Dugesia tigrina* / N.S. Yarmolyuk // Scientific Notes OF Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – V.23 (62). – № 2. – P. 200-208.

Revealed infradian rhythmicity speeds of planarians *Dugesia tigrina*, which includes the following periods: $\approx 2^d, 4$; $\approx 2^d, 7$; $\approx 3^d, 2$; $\approx 3^d, 7$; $\approx 4^d, 3$; $\approx 5^d, 8$; $\approx 9^d, 1$; $\approx 11^d, 6$; $\approx 12^d, 8$. It is shown that the electromagnetic shielding causes changes infradian rhythmicity speeds of planarians, which are expressed in changes of power spectra and phase shift of the beat.

Keywords: infradian rhythmicity, speed, electromagnetic shielding, *Dugesia tigrina*.

Поступила в редакцію 18.05.2010 г.