

ДИНАМИКА И ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ТЕМПЕРАТУРНОЙ/БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОЛЛЮСКА *HELIX* В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Поступила 19.06.10

Измеряли характеристики температурной/болевого (т/б-) чувствительности моллюсков *Helix albescens* (порог и латентный период поведенческой реакции избегания) в условиях теста “горячая пластинка”. Как было обнаружено, ослабление (экранирование) фонового электромагнитного поля, а также действие низкоинтенсивных электромагнитных излучений крайних частотных диапазонов обуславливали двухфазные изменения этих характеристик в пределах 21-дневного периода наблюдения с различными выраженностью и продолжительностью фаз – начального увеличения ноцицептивной чувствительности (гипералгезия), после чего развивался анагетический эффект с последующим возвращением изучаемых показателей к исходному уровню. Низкоинтенсивные электромагнитные воздействия также вызывали изменения инфрадианной ритмики т/б-чувствительности моллюсков, что выражалось в изменении спектров и сдвигах фаз выделенных ритмов, а также тенденции к изменению их амплитуд.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температурная/болевая чувствительность, моллюски, инфрадианная ритмика, электромагнитное экранирование, переменное магнитное поле сверхнизкой частоты, электромагнитное излучение крайне высокой частоты.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач современной экологической физиологии является исследование феноменологии и механизмов действия электромагнитных полей (ЭМП), обладающих различными параметрами [1]. Это связано как с потребностью определения влияния таких полей на процессы жизнедеятельности, так и с необходимостью изучения последствий пребывания различных организмов в условиях воздействия данных полей. Последний аспект имеет очевидное практическое значение.

В ходе изучения эффектов действия любого фактора всегда остро стоит вопрос о выборе объекта исследования. При этом следует иметь в виду, что многие эксперименты (особенно связанные с болевыми воздействиями) на высших животных (в частности, млекопитающих) в настоящее время не

приветствуются научной общественностью по этическим причинам [2]. Кроме того, такие исследования весьма трудоемки и дороги. Таким образом, в тех случаях, когда это целесообразно, предпочтение отдается использованию клеточных тест-систем, а также беспозвоночных животных, в частности моллюсков (как морских, так и наземных).

Как было показано [3], в ноцицептивные реакции различных организмов, вызываемые действием электромагнитных раздражителей, в существенной степени вовлечена опиоидная система, активность которой тесно коррелирует с состоянием болевой чувствительности. Эффекты действия ЭМП у различных животных часто оцениваются по изменению латентных периодов (ЛП) реакций на ноцицептивную стимуляцию [4]. В ряде работ было обнаружено, что упомянутые эффекты блокировались антагонистом эндо- и экзогенных опиоидов налоксоном; эти эффекты также сравнивались с анагетическими влияниями, вызываемыми введением морфина [5–7]. В доступной литературе имеются сообщения о тестировании болевой чувстви-

¹ Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь (АР Крым, Украина).
Эл. почта: timur@crimea.edu (Н. А. Темуриянц).

тельности моллюсков *Cepaea nemoralis* [3], *Helix aspersa* [8], слизней *Arion alter* [9], морских зайцев *Aplysia californica* [10] и ряда других.

Одним из аспектов изучения эффектов слабых магнитных полей (МП) является выяснение влияния таких полей на временную организацию активности различных биологических систем, в частности ритмику подобной активности [11, 12]. У моллюсков хорошо выражены циркадианная ритмика [13, 14], а также ритмика, связанная с приливами и отливами (у морских видов) [15]. В то же время инфрадианная ритмика жизненных процессов у моллюсков практически не изучена.

В связи с этим целью нашего исследования явилось выяснение особенностей динамики и инфрадианной ритмики температурной/болевой (т/б-) чувствительности сухопутных моллюсков *Helix albescens*, а также изменений данных характеристик при экранировании животных от влияний фоновых МП и действию слабых переменных ЭМП различных частотных диапазонов.

МЕТОДИКА

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

Было проведено шесть серий экспериментов на равноценных группах моллюсков по 20 особей в каждой.

Животные первой (контрольной) группы находились в стандартных лабораторных условиях при естественных освещенности, влажности и температуре воздуха 22 ± 2 °С. Животных второй группы каждый день помещали на 23 ч в светоизолированную камеру, экранирующую влияния фоновых МП. Моллюски третьей группы ежедневно в течение 3 ч подвергались воздействию переменного магнитного поля (ПеМП) сверхнизкой частоты (СнЧ). Животные четвертой группы каждый день в течение 30 мин подвергались действию электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ). Кроме того, исследовали пятую и шестую группы моллюсков, которых подвергали мнимому воздействию ПеМП СнЧ и ЭМИ КВЧ соответственно (“плацебо”) указанной выше продолительно-

сти и в тех же внешних условиях, однако генераторы МП были отключены от сети питания.

Ослабление фонового ЭМП (поля Земли, а также полей, создаваемых промышленными источниками) во второй группе достигалось применением экранирующей камеры размером $2 \times 3 \times 2$ м, изготовленной из железа “динамо”. Коэффициент экранирования постоянной составляющей МП, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, по вертикальной составляющей равнялся 4.375, а по горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких частот (от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0.2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области СнЧ измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – с использованием индукционного метода. 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 не превышал 10 нТл/Гц^{0.5}. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц был порядка 3. В области частот от 150 Гц до 100 кГц экранирование было относительно слабым. На частотах свыше 1 МГц наблюдалось полное ослабление.

В третьей экспериментальной группе использовали вертикальное линейно-поляризованное МП (магнитная индукция 50 нТл) с гармоническими колебаниями с частотой 8 Гц. Опытная установка включала в себя катушки индуктивности диаметром 1 м и низкочастотный генератор. Для контроля характеристик гармонических колебаний использовали одноканальный лучевой осциллограф.

Источником ЭМИ КВЧ в четвертой группе служил генератор “Явь-1” (длина волны 7.1 мм, плотность потока мощности 10 мВт/см²). Во время воздействия ЭМИ КВЧ моллюски находились в темноте в стеклянных емкостях (аквариумах). Рупор генератора подводили ко дну последних, причем животные находились непосредственно над рупором.

Все исследования были проведены с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента.

О состоянии т/б-чувствительности животных судили по порогу (П) и ЛП реакции избегания (РИ) в тесте “горячая пластинка”. Обычно в подобных экспериментах другими авторами использовались металлические пластинки, обладающие высокой теплопроводностью и нагреваемые горячей водой [16, 17]. Значительная тепловая инерция по-

добных элементов не позволяет измерять параметры РИ с достаточной точностью. Мы создали специальную установку [18], в которой нагреваемым элементом являлась стеклянная пластинка, на нижнюю поверхность которой с применением метода напыления в вакууме был нанесен проводящий слой из нитрида титана. Такая конструкция позволяла при пропускании тока через этот слой легко изменять температуру пластинки. В настоящих экспериментах применяли нагрев верхней поверхности пластинки, на которой находился моллюск, со скоростью изменения температуры $0.667\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Поведение моллюска регистрировалось с помощью видеокамеры. Одновременно на каждом кадре регистрировали значения температуры (измеряемой при помощи миниатюрного термодатчика) и времени, высвечиваемые на индикаторном табло, которое располагалось на одном из краев пластинки. Как проявление РИ рассматривался отрыв моллюском передней части ноги от субстрата (поверхности пластинки). Поскольку этот поведенческий феномен наблюдался при значительно более низких значениях температуры, чем в исследованиях других авторов (см. ниже), мы предпочитаем использовать термин “температурная/болевая чувствительность” (т/б-чувствительность), а не “болевая чувствительность”, как в упомянутых работах.

В условиях настоящих экспериментов начальная температура поверхности пластинки равнялась $24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а скорость ее нагрева, как указывалось выше, – $0.667\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Очевидно, что в данном случае термин “ЛП РИ” должен рассматриваться с определенными оговорками (как, впрочем, и в большинстве случаев использования методики “горячая пластинка”), поскольку измеряемое значение ЛП включает в себя время нагрева пластинки до температуры, при которой термическое воздействие приобретает качество ноцицептивного (т. е. до значения П), и собственно “физиологический” ЛП РИ.

Регистрацию показателей РИ проводили у каждого животного ежедневно, в третьей и четвертой группах – после очередного воздействия электромагнитного фактора в интервале 11.00–13.00 ч на протяжении 21 дня.

Эффект воздействия тестируемых факторов на параметры т/б-чувствительности оценивался по коэффициенту эффективности ($K_{\text{эф}}$). Каждое из измеряемых значений $K_{\text{эф}}$ как в опыте ($K_{\text{э}}$), так и в контроле ($K_{\text{к}}$) являлось результатом усреднения данных измерения на 20 животных:

$$K_{\text{эф}} = \frac{(K_{\text{э}} - K_{\text{к}}) \pm (\sigma_{\text{э}} + \sigma_{\text{к}})}{(K_{\text{к}} \pm \sigma_{\text{к}})} \cdot 100\%,$$

где $K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности, $K_{\text{э}}$ – значение характеристики т/б-чувствительности в соответствующей экспериментальной группе, $K_{\text{к}}$ – значение этой характеристики в контрольной группе животных, $\sigma_{\text{э}}$ и $\sigma_{\text{к}}$ – среднеквадратические отклонения измерений в опыте и контроле соответственно. Таким образом, отрицательные значения $K_{\text{эф}}$ свидетельствовали о развитии состояния относительной гипералгезии (значения П и ЛП ниже, чем в группе контроля), а положительные – о состоянии гипоалгезии.

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью параметрических статистических методов, применимость которых была показана проверкой соответствия распределений полученных данных нормальному закону. Вычисляли средние значения исследуемых величин и ошибку среднего. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали *t*-критерий Стьюдента. Оценивалась достоверность различий показателей т/б-чувствительности между группами (P_1), а также между исходными значениями и данными, полученными в каждом дне эксперимента в пределах групп (P_2). Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с применением программы “Microsoft Excel” [19]. В качестве основного метода анализа продолжительности периодов вариации и амплитудно-фазовых характеристик исследуемых показателей использовали быстрое преобразование Фурье и программу косинор-анализа (решение систем линейных уравнений по методу Крамера), что обеспечивало достаточно полное представление о структуре физиологических ритмов [20].

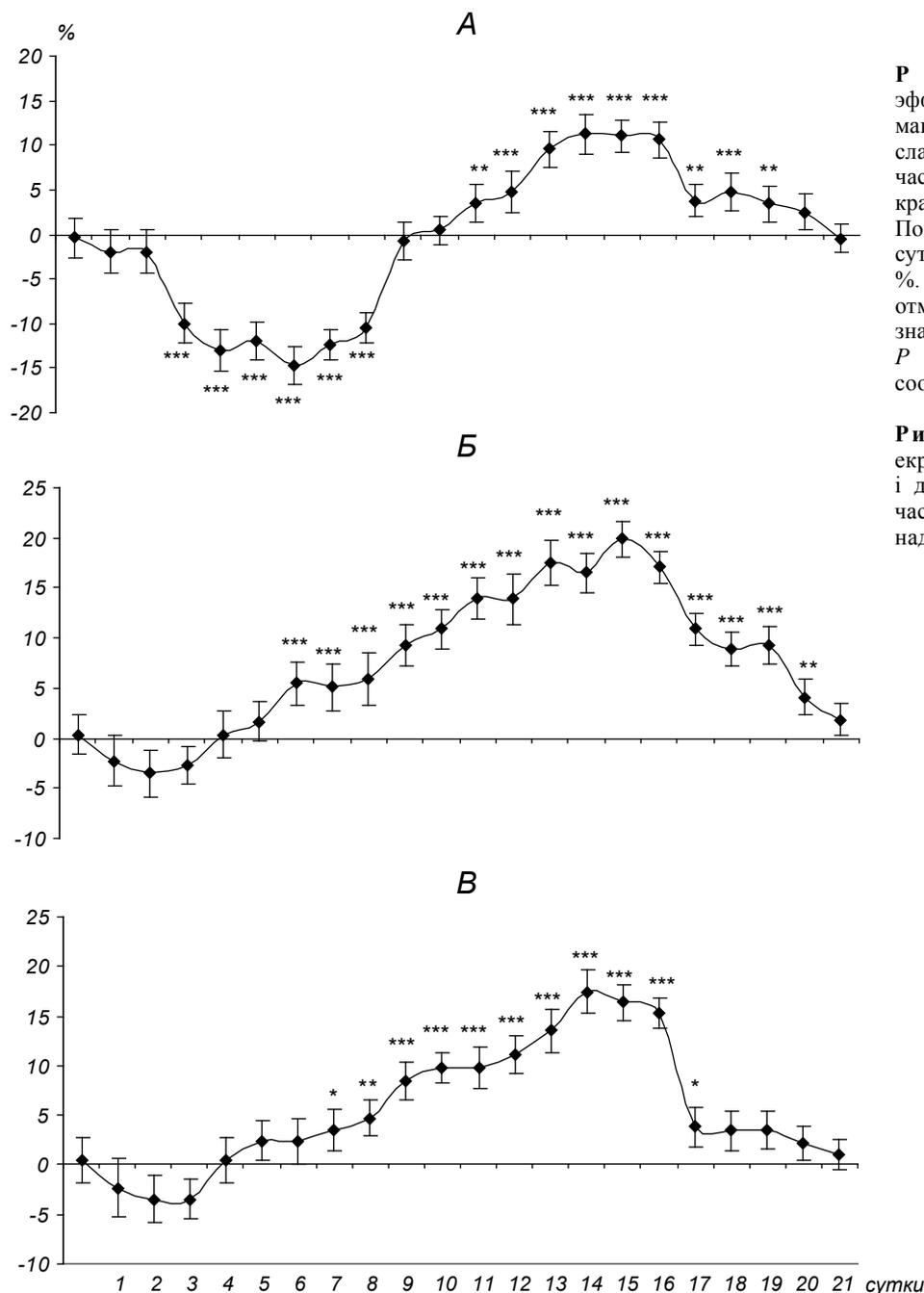
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений свидетельствовали о том, что П РИ у интактных контрольных животных при использованном режиме нагрева пластинки варьировал от 30.39 до $30.69\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ЛП – от 9.71 до 10.16 с , в среднем $30.52 \pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $9.89 \pm 0.02\text{ с}$ соответственно. В динамике изменений параметров т/б-чувствительности интактных моллюсков в течение 21-суточного периода наблюдений прослеживалась периодическая составляющая.

В литературе приводились сведения о величине ЛП РИ на ноцицептивное раздражение у улиток других видов. У моллюсков *Cerata nemoralis* данный показатель при температуре 40.0 ± 0.2 °C составлял 4.8–6.5 с [17], что заметно меньше значений, зарегистрированных нами. Это, очевидно, прежде всего связано с тем, что в упомянутой работе ЛП измерялся в условиях температуры 40 °C, тогда как в наших опытах – при воздействии ми-

нимальной термостимуляции, приводящей к развитию РИ. Возможно, указанные различия были в какой-то мере также обусловлены различной конструкцией “горячей пластинки” и видовыми различиями используемых в эксперименте улиток.

Анализ динамики показателей т/б-чувствительности *Helix albescens* при действии различных электромагнитных факторов выявил некоторые общие закономерности их изменений. И ослабление



Р и с. 1. Динамика коэффициента эффективности ($K_{эф}$) экранирования магнитного поля – МП (А) и воздействий слабого переменного МП сверхнизкой частоты (Б) и электромагнитного поля крайне высокой частоты (В). По оси абсцисс – время наблюдения, сутки; по оси ординат – значения $K_{эф}$, %. Одной, двумя и тремя звездочками отмечены случаи достоверности отличий значений $K_{эф}$ от исходного (нулевого) с $P < 0.05$, $P < 0.01$ и $P < 0.001$ соответственно.

Р и с. 1. Динаміка коефіцієнта ефективності екранування магнітного поля – МП (А) і дій слабого змінного МП наднизької частоти (Б) та електромагнітного поля надвисокої частоти (В).

фонового ЭМП в результате экранирования, и воздействия ПеМП СнЧ и ЭМИ КВЧ вызывали изменения т/б-чувствительности моллюсков, которые в целом могут быть охарактеризованы как двухфазные.

Начальная фаза изменений параметров т/б-чувствительности в условиях экранирования (вторая группа) характеризовалась снижением П и ЛП РИ в течение первых–девятых суток наблюдения (рис. 1, А). Достоверные сдвиги $K_{эф}$ наблюдались начиная с третьего дня, а максимальное отрицательное значение $K_{эф}$ было отмечено на шестые сутки, когда оно составляло -14.7% ($P_2 < 0.001$). Эти изменения отражали заметное увеличение чувствительности моллюсков к ноцицептивной термической стимуляции.

Вторая фаза отражала повышение П т/б-чувствительности относительно исходного уровня. После девятых суток эксперимента $K_{эф}$ приобретал положительный знак и достигал максимального значения (11.2%) на 14-е сутки исследования ($P_2 < 0.001$). В этот период чувствительность моллюсков к термической стимуляции явно снижалась, т. е. развивался аналгетический эффект. В последующие дни (с 16-ых по 21-е сутки) данный эффект ослабевал, и $K_{эф}$ практически возвращался к исходному нулевому уровню.

Динамика параметров т/б-чувствительности моллюсков, подвергнутых действию ПеМП СнЧ (третья группа), заметно отличалась от таковой в группах интактных животных и “плацебо”. В среднем значения П РИ составляли 31.00 ± 0.11 °С, ЛП – 10.63 ± 0.16 с. В наиболее общем виде динамика показателей т/б-чувствительности в данной группе также могла рассматриваться как двухфазная, но начальная стадия, соответствующая состоянию относительной гипералгезии, была выражена значительно слабее, чем во второй группе. В первые трое суток исследования отмечалась тенденция к снижению упомянутых показателей. Наибольшее отрицательное значение $K_{эф}$ при этом было зарегистрировано на вторые сутки эксперимента, когда оно составляло -3.5% ; данный сдвиг по сравнению с контролем был, однако, недостоверным (рис. 1, В). В последующие же сроки значения П и ЛП РИ возрастали, и начиная с шестых суток изменения по сравнению с контролем становились высокодостоверными.

Данный эффект (гипоалгезия) длился до конца периода наблюдения (17 суток) и был максимально выраженным на 15-е сутки эксперимента ($K_{эф}$ в

этот период достигал 19.9% ; $P_2 < 0.001$). В последующие сроки отмечалось постепенное возвращение показателей т/б-чувствительности к исходному уровню, что свидетельствует об утрате аналгетического эффекта ПеМП.

Анализ параметров т/б-чувствительности в четвертой группе (включавшей в себя животных, которые ежедневно подвергались 30-минутному воздействию ЭМИ КВЧ) также выявил двухфазные изменения, весьма сходные с таковыми в предыдущей экспериментальной группе.

В течение первых трех суток наблюдения П и ЛП РИ особой данной группы несколько снижались относительно исходных значений, достигая минимальных значений на второй день (30.28 ± 0.14 °С и 9.53 ± 0.21 с соответственно). Таким образом, П снижался почти на 1, а ЛП – на 4.2%. $K_{эф}$ достигал максимального отрицательного значения (-3.5%) на третьи сутки (рис. 1, В), но эти сдвиги, как и в третьей группе, не достигали уровня достоверности. Начиная с четвертых-пятых суток наблюдения знак $K_{эф}$ изучаемых показателей изменялся на противоположный, и значение коэффициента постепенно возрастало. Это свидетельствовало о снижении чувствительности к боли, т. е. о развитии относительного аналгетического эффекта.

Максимальная интенсивность действия ЭМИ КВЧ регистрировалась на 14-е сутки эксперимента, когда $K_{эф}$ составлял 17.4% ($P_2 < 0.001$). Это примерно на 35% больше, чем в условиях экранирования (вторая группа), но на 14% меньше, чем $K_{эф}$ в третьей группе животных, подвергнутых действию слабых ПеМП СнЧ. Последующий период наблюдений характеризовался возвращением значений П и ЛП к исходному уровню, причем особенно резко $K_{эф}$ уменьшался в интервале 16–17 дней (рис. 1, В).

Полученные нами данные о развитии двухфазных изменений т/б-чувствительности в условиях действия электромагнитных факторов в целом согласуются с результатами исследований других авторов на иных животных. Так, в определенной степени сходные изменения были обнаружены у мышей линии CD1 при их пребывании по 1 ч в день в течение 10 суток в экранирующем боксе из μ -металла, что ослабляло статическое МП до 1 мТл, а ПеМП с частотой 0–100 Гц – в 125 раз [6]. Ноцицептивная чувствительность возрастала по сравнению с контролем и исходными значениями на первые-вторые сутки эксперимента (I фаза); затем на пятые сутки развивался аналгетический эффект, после чего па-

параметры болевой чувствительности возвращались к исходному уровню.

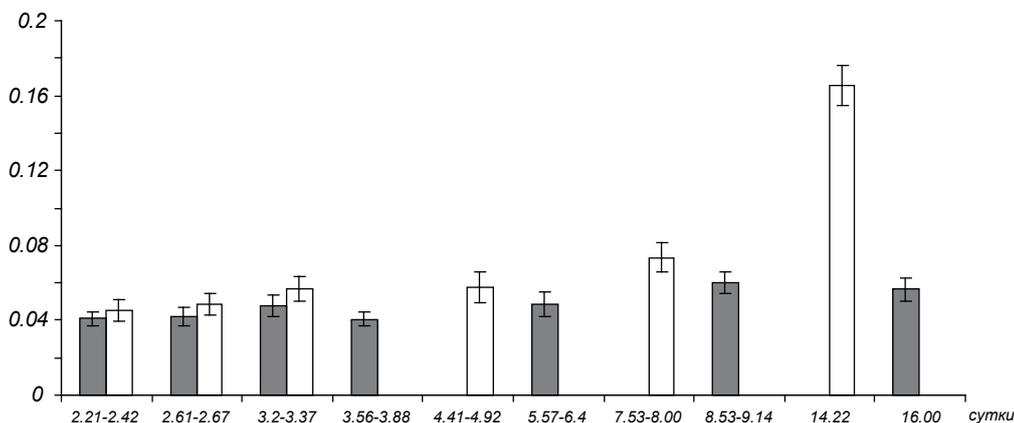
Холерисом и соавт. [21] также были описаны фазные изменения болевой чувствительности у мышей линии C57, находившихся по 2 ч ежедневно в течение 10 дней в μ -боксе. Подобные изменения болевой чувствительности возникали у мышей разных линий (CD1 и C57) и у мышей одной и той же линии, но в различных географических районах (Италия и Канада). Следует заметить, что ограничение подвижности животных (стресс-фактор) обуславливало развитие стрессиндуцированной анальгезии у мышей только в Канаде, но не в Италии; данное явление может быть связано с некоторыми генетическими различиями мышей линии CD1, разводимых в этих странах [22]. Таким образом, эффект изменения болевой чувствительности в условиях экранирования ЭМП и при действии ЭМИ в общем достаточно легко и устойчиво воспроизводим.

Сравнение динамики параметров т/б-чувствительности у моллюсков, которые подвергались действию электромагнитных факторов с различными параметрами, свидетельствует как о некотором сходстве, так и о заметных различиях наблюдаемых эффектов. Все три воздействия обуславливали двухфазные изменения П и ЛП РИ, однако стадия гипералгезии (I фаза) была наиболее выраженной и продолжительной в группе животных, подвергнутых экранированию. Анальгетический эффект при действии слабых ПемП СнЧ развивался примерно на сутки позже, чем в случае влияния ЭМИ КВЧ, но был выражен больше, чем в остальных группах.

В инфрадианной ритмике параметров т/б-чувствительности моллюсков, подвергнутых действию электромагнитных факторов, также выявлялись определенные изменения. В динамике исследуемых показателей обнаруживались ритмические составляющие. Результаты спектрального анализа Фурье в контрольной группе животных показали наличие набора инфрадианных ритмов со следующими периодами: $\approx 2.3^d$, $\approx 2.64^d$, $\approx 3.3^d$, $\approx 3.7^d$, $\approx 6.0^d$, $\approx 8.8^d$ и $\approx 16.0^d$. Подобные ритмы в деятельности различных биологических систем хорошо известны [23]; они также были отмечены в динамике П болевых реакций, определяемой в электростимуляционных тестах у интактных крыс [24]. Многодневная ритмика была описана и при исследовании скорости роста одноклеточной морской водоросли *Acetabularia mediteranea* [25], а также динамики жизнедеятельности ряда изолированных клеток (в частности, миоцитов).

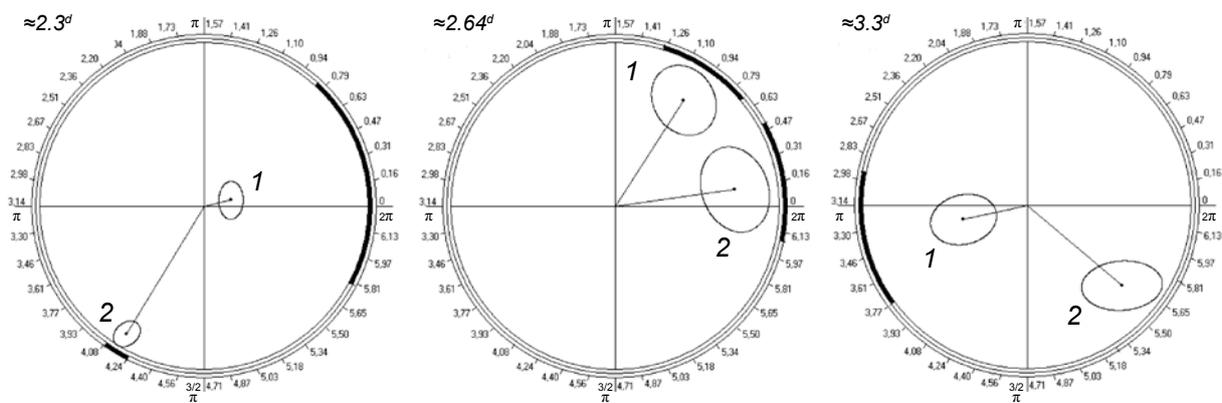
Анализ спектров мощности вариаций П и ЛП РИ у моллюсков свидетельствует о близости периодов их колебаний к частотам изменений гео- и гелиофизических факторов [26]. Этот факт служит дополнительным аргументом в пользу гипотезы [27] о том, что регулярно повторяющиеся изменения параметров внешней среды, включая МП, используются (в отсутствие крупномасштабных спорадических возмущений) организмами в качестве пейсмекеров для синхронизации биологических ритмов в широком диапазоне периодов.

Сравнение инфрадианной ритмики значений П и ЛП в интактной (первой) группе и во второй груп-



Р и с. 2. Спектры мощности инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной (первой) группе и второй группе моллюсков, находившихся в условиях электромагнитного экранирования (темные и светлые столбики соответственно). По горизонтали – период вариаций, сутки; по вертикали – амплитуда компонентов спектра, усл. ед.

Р и с. 2. Спектри потужності інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній (першій) групі та другій групі моллюсків, що знаходилися в умовах електромагнітного екранування (темні й світлі стовпчики відповідно).



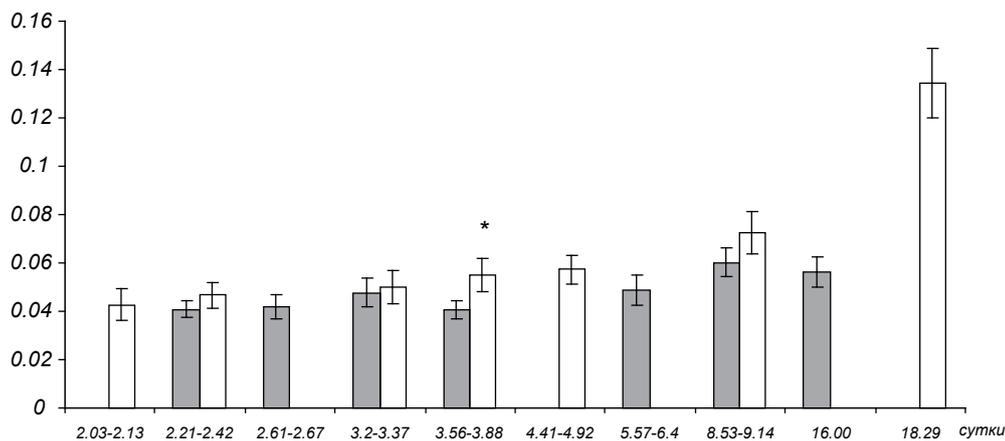
Р и с. 3. Косинорограммы инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной первой группе (1) и во второй группе моллюсков, находившихся в условиях электромагнитного экранирования (2). Слева сверху указана длительность выделенных периодов спектра (сутки).

Р и с. 3. Косинорограми інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній першій групі (1) і в другій групі моллюсків, що знаходилися в умовах електромагнітного екранування (2).

пе моллюсков, подвергнутых экранированию, показало, что в результате ослабления МП изменяется структура спектра данной ритмики за счет появления новых и исчезновения ранее определенных периодов (рис. 2). Во второй группе был зарегистрирован набор следующих периодов: $\approx 2.3^d$, $\approx 2.64^d$, $\approx 3.3^d$, $\approx 4.7^d$, $\approx 7.8^d$ и $\approx 14.22^d$, причем доминирующим ритмом оказался последний из них ($\approx 14.22^d$). Спектры мощности вариаций П и ЛП полностью совпадали.

Как показали результаты косинор-анализа, экранирование МП вызывало также заметные фазовые сдвиги большинства обнаруженных компонентов спектра инфрадианной ритмики П и ЛП РИ, вызываемой термостимуляцией, по сравнению с близкими компонентами спектра в контрольной группе моллюсков (рис. 3).

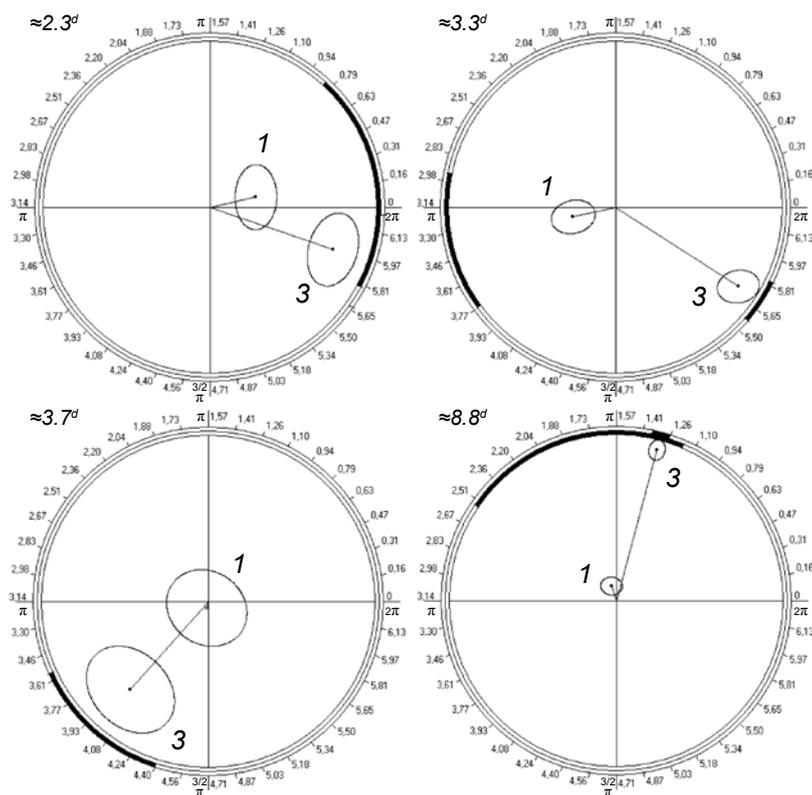
Сопоставление инфрадианной ритмики показателей т/б-чувствительности у интактных животных и моллюсков, подвергнутых воздействию слабых



Р и с. 4. Спектры мощности инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной первой группе и в третьей группе моллюсков, подвергнутых воздействию слабых переменных магнитных полей сверхнизкочастотного диапазона (темные и светлые столбики соответственно).

Звездочкой указан случай достоверных межгрупповых различий ($P < 0.05$). Обозначения те же, что и на рис. 2.

Р и с. 4. Спектри потужності інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній першій групі та в третій групі моллюсків, що зазнали дії слабких змінних магнітних полів (темні й світлі стовпчики відповідно).



Р и с. 5. Косинорограммы инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной первой группе (1) и в третьей группе моллюсков, находившихся в условиях действия слабых переменных магнитных полей сверхнизкой частоты (3).

Р и с. 5. Косинорограми інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній першій групі (1) і в третій групі моллюсків, що знаходилися в умовах дії слабких змінних магнітних полів наднизької частоти (3).

ПеМП СнЧ (первая и третья группы соответственно), показало, что количество периодов в спектрах вариаций П и ЛП в этих группах одинаково (рис. 4). В третьей группе отсутствовали периоды $\approx 2.64^d$, $\approx 6.0^d$ и $\approx 16.00^d$, но появлялись новые ритмы: “короткие” – $\approx 2.1^d$ и $\approx 4.7^d$ и более длинный – $\approx 18.29^d$.

Доминирующим ритмом был последний из упомянутых ($\approx 18.29^d$). Вариации с периодом, близким к 3.7 суток, были достоверно более выраженными ($P_1 < 0.05$), чем в интактной группе моллюсков.

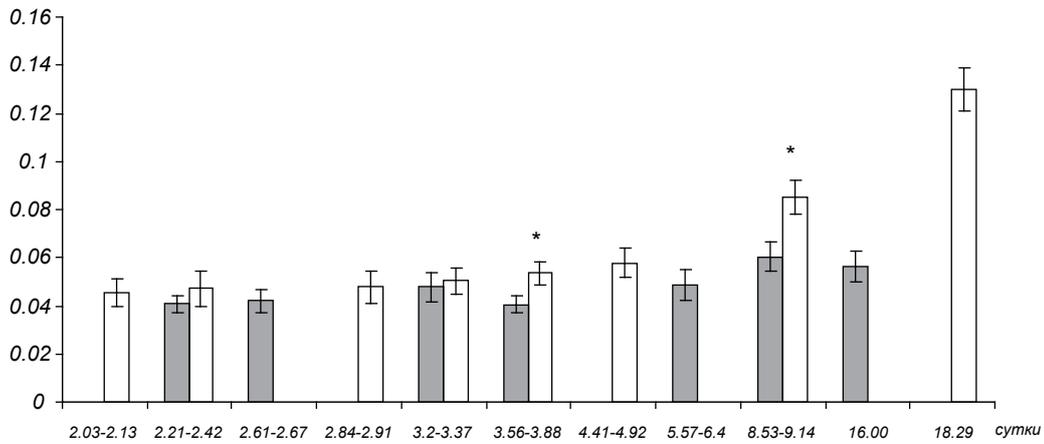
Интегральные ритмы, рассчитанные с помощью спектрального анализа, полностью совпадали с таковыми, определенными с использованием косинор-анализа, однако последний выявил определенные фазовые сдвиги вариаций ЛП по сравнению с наблюдаемыми в контрольной группе моллюсков (рис. 5).

Анализ фазовых взаимоотношений изменений П и ЛП во всех выделенных периодах спектра инфрадианной ритмики показал, что они различаются только на 1–2 град, т. е. синхронизированы в высокой степени показателей. Следует упомянуть, что, например, хорошее совпадение фаз выделенных инфрадианных ритмов было обнаружено для некоторых биохимических показа-

телей лимфоцитов крови (активности сукцинат- и α -глицерофосфатдегидрогеназ) [28, 29]. Очевидно, что совпадение фаз вариаций сопряженных физиологических процессов является необходимым условием гомеостаза во всех биологических системах.

Полученные нами данные об изменениях инфрадианной ритмики под влиянием модуляции характеристик МП в целом согласуются с имеющимися литературными данными. Так, было показано, что слабое ПеМП с частотой 8 Гц изменяло многодневную ритмику функционирования симпатoadренальной системы у крыс [30], активности окислительно-восстановительных ферментов в лимфоцитах [28] и нейтрофилах [31]. Воздействие ПеМП (частота 60 Гц, индукция 0–2.5 мТл) изменяло циркадианную ритмику П РИ у мышей [24, 32].

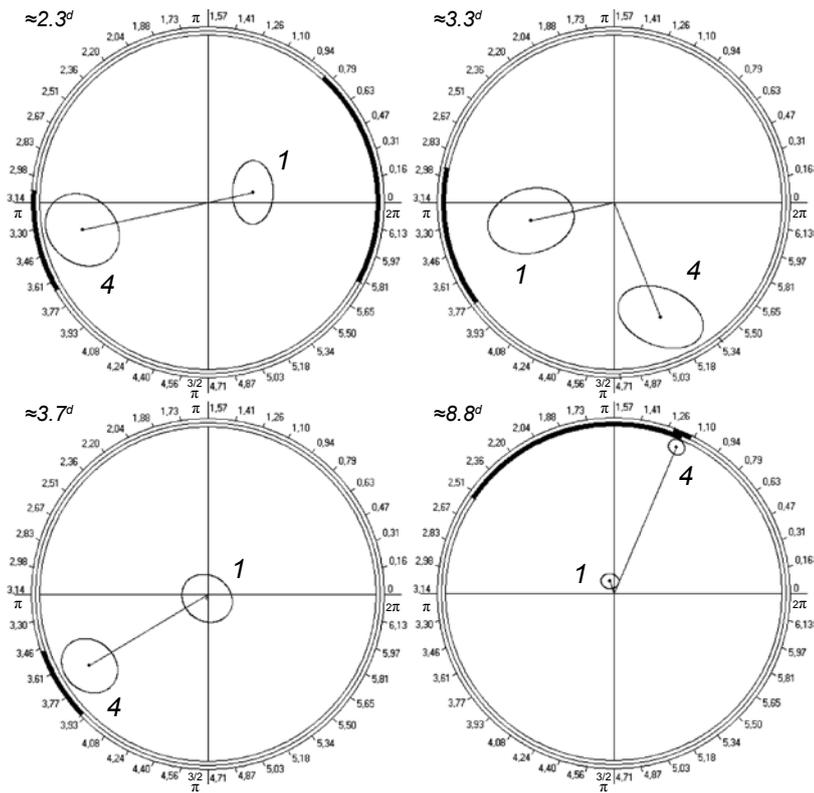
Ослабление МП также заметно изменяет ритмические процессы в биологических системах. Так, у людей, долго находящихся в пещерах (естественное экранирование), удлинялись циркадианские ритмы различных физиологических процессов [33]. Двухнедельное пребывание инбредных мышей в гипомангнитной камере, ослабляющей постоянное МП Земли в 10^4 раз, существенно десинхронизировало



Р и с. 6. Спектры мощности инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной первой группе и в четвертой группе моллюсков, подвергнутых воздействию электромагнитного поля крайне высокой частоты (темные и светлые столбики соответственно).

Звездочкой указаны случаи достоверности межгрупповых различий ($P < 0.05$). Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

Р и с. 6. Спектри потужності інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній першій групі та в четвертій групі моллюсків, що зазнали дії електромагнітного поля надвисокої частоти (темні й світлі стовпчики відповідно).



Р и с. 7. Косинорограммы инфрадианных вариаций латентного периода реакции избегания в контрольной первой группе (1) и в четвертой группе моллюсков, находившихся в условиях действия электромагнитного поля крайне высокой частоты (4).

Р и с. 7. Косинорограммы інфрадіанних варіацій латентного періоду реакції уникання в контрольній першій групі (1) і в четвертій групі моллюсків, що знаходилися в умовах дії електромагнітного поля надвисокої частоти (4).

циркадианные ритмы функционирования лимфодной системы [34].

Сравнительный анализ ритмических изменений показателей т/б-чувствительности в контрольной первой группе и в четвертой группе моллюсков,

подвергавшихся систематическому воздействию ЭМИ КВЧ, свидетельствовал о том, что указанный фактор также изменяет временную организацию проявлений этой чувствительности. Структура спектра в четвертой группе почти полностью со-

впадала с таковой в третьей группе, т. е. у моллюсков, подвергнутых действию слабых ПемП СнЧ. Единственным отличием было появление нового периода ($\approx 2.87^d$; рис. 6). Периоды порядка 3.7 и 8.8 суток оказались существенно более выраженными ($P_1 < 0.05$), чем в первой группе интактных моллюсков (рис. 6). Результаты косинор-анализа фазовых соотношений вариаций ЛП РИ в упомянутых группах животных иллюстрируются рис. 7.

Следовательно, воздействие ЭМИ КВЧ также в определенной степени изменяет инфрадианную ритмику значений П и ЛП РИ у моллюсков *Helix albescens*. Эти изменения выражаются в фазовых сдвигах выделенных ритмов и тенденции к изменению амплитуд ряда компонентов их спектра. Однако фазовые взаимоотношения величин П и ЛП во всех периодах сохраняются.

Данные о способности ЭМИ КВЧ низкой интенсивности влиять на инфрадианную ритмику в различных биологических системах, полученные в нашем исследовании, сопоставимы с опубликованными ранее результатами. Низкоинтенсивные ЭМИ КВЧ вызывают амплитудно-фазовые изменения инфрадианной ритмики активности нейтрофилов и лимфоцитов крови [24] и характеристик биологически активных точек у человека [35]. В опытах на крысах была показана способность ЭМИ КВЧ изменять инфрадианную ритмику П РИ, определяемую в электростимуляционном тесте [24].

Таким образом, анализ полученных данных показал, что ослабление МП, обусловленное экранированием, более существенно изменяет структуру инфрадианной ритмики т/б-чувствительности моллюсков, чем влияние переменных МП крайних частотных диапазонов. После экранирования в спектре инфрадиантных вариаций П и ЛП РИ, индуцированной термостимуляцией, появлялись три новых периода и исчезали два, а также происходил существенный сдвиг фаз в выделенных спектрах. Воздействия ЭМИ КВЧ и ПемП СнЧ обуславливали в целом весьма сходные изменения спектров мощности вариаций П и ЛП РИ, однако при действии ПемП сверхнизкочастотного диапазона отмечались большие фазовые сдвиги, чем при действии ЭМИ КВЧ.

Основываясь на полученных нами результатах, можно заключить, что в число факторов, способных влиять на временную организацию функционирования различных биологических систем, входят низкоинтенсивные электромагнитные излучения. Экспериментальное воздействие таких факторов или модуляция их фоновой интенсивно-

сти вызывает заметные изменения инфрадианной ритмики т/б-чувствительности моллюсков *Helix albescens*, что выражается в изменении спектров мощности вариаций показателей этой чувствительности и амплитудно-фазовых взаимоотношений в таких спектрах.

Н. А. Темурьянц¹, А. С. Костюк¹, К. Н. Туманянц¹

ДИНАМІКА ТА ІНФРАДІАНА РИТМІКА ТЕМПЕРАТУРНОЇ/БОЛЬОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ МОЛЮСКА *HELIX* В УМОВАХ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

¹ Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

Резюме

Виміряли характеристики температурної/больової (т/б-) чутливості молюсків *Helix albescens* (поріг і латентний період поведінкової реакції уникання) в умовах тесту "гаряча пластинка". Як було виявлено, послаблення (екранування) фонового електромагнітного поля, а також дія низькоінтенсивних електромагнітних випромінювань крайніх частотних діапазонів зумовлювали двофазні зміни цих характеристик у межах 21-денного періоду спостереження з різними вираженістю і тривалістю фаз – початкового збільшення ноцицептивної чутливості (гіпералгезія), після чого спостерігався розвиток аналгетичного ефекту з поверненням досліджуваних показників до вихідного рівня. Низькоінтенсивні електромагнітні впливи також здатні викликати зміни інфрадианної ритміки т/б-чутливості молюсків, що відбивалось у зміні спектрів та зміщеннях фаз виділених ритмів, а також у тенденції до зміни їх амплітуд.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В. Н. Бинги, А. В. Савин, "Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы", *Успехи физиол. наук*, **173**, № 3, 265-300 (2003).
2. "Закон України "Про захист тварин від жорстокого поводження" від 21.02.2006 № 3447-IV", *Відомості ВР України*, № 27, 990 (2006).
3. M. Kavaliers and K.-P. Ossenkopp, "Opioid systems and magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*," *Biol. Bull.*, **180**, 301-309 (1991).
4. F. S. Prato, J. J. L. Carson, K.-P. Ossenkopp, et al., "Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function," *FASEB J.*, **9**, 807-814 (1995).
5. M. Kavaliers and K.-P. Ossenkopp, "Exposure to rotating magnetic fields alters morphine-induced behavioural responses in two strains of mice," *Neuropharmacology*, **89**, 440-443 (1984).
6. F. S. Prato, J. A. Robertson, D. Desjardins, et al., "Daily repeated magnetic field shielding induces analgesia in CD-1 mice," *Bioelectromagnetics*, **26**, No. 2, 109-117 (2005).

7. M. Achaval, M. A. P. Penha, A. Swarowsky, et al., "The terrestrial Gastropoda *Megalobulimus abbreviatus* as a useful model for nociceptive experiments. Effects of morphine and naloxone on thermal avoidance behavior," *Brazil. J. Med. Biol. Res.*, **38**, No. 1, 73-80 (2005).
8. M. K. Leung and G. B. Stefano, "Comparative neurobiology of opioids in invertebrates with special attention to senescent alterations," *Prog. Neurobiol.*, **28**, 131-159 (1987).
9. L. M. Dalton and P. S. Widdowson, "The involvement of opioid peptides in stress-induced analgesia in the slug *Arion ater*," *Peptides*, **10**, 9-13 (1989).
10. E. T. Walters and M. T. Erickson, "Directional control and the functional organization of defensive responses in *Aplysia*," *J. Comp. Physiol., Ser. A*, **159**, 339-351 (1986).
11. Н. А. Агаджанян, А. А. Башкирова, И. Г. Власова, "О физиологических механизмах биологических ритмов", *Успехи физиол. наук*, **18**, № 4, 80-104 (1987).
12. Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц, В. С. Мартынюк, *Космическая погода и наша жизнь*, Фрязино, из-дво Век (2004).
13. P. G. Sokolove, G. M. Beiswanger, D. J. Prior, et al., "A circadian rhythm in the locomotor behaviour of the giant garden slug *Limax miximus*," *J. Exp. Biol.*, **66**, 47-64 (1977).
14. L. P. Zann, "Relationships between intertidal zonation and circatidal rhythmicity in littoral gastropods," *Marine Biol.*, **18**, 243-250 (1973).
15. K. P. Rao, "Tidal rhythmicity of rate of water propulsion in *Mytilus* and its modifiability by transplantation," *Biol. Bull.*, **106**, 353-359 (1954).
16. F. S. Prato, M. Kavaliers, and A. W. Thomas, "Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions," *Bioelectromagnetics*, **21**, 287-301 (2000).
17. F. S. Prato, M. Kavaliers, and J. J. L. Carson, "Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents," *Bioelectromagnetics*, **17**, 123-130 (1996).
18. В. Г. Вишневецкий, А. С. Костюк, Н. А. Темурьянц, "Установка для определения параметров болевой чувствительности наземных моллюсков", *Физика живого*, **17**, № 2, 174-178 (2009).
19. С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич, *Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel*, Модмон, Киев (2000).
20. И. П. Емельянов, *Формы колебания в биоритмологии*, Наука, Новосибирск (1976).
21. E. Choleris, Del Seppia, A. W. Thomas, et al., "Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice," *Proc. Biol. Sci. Roy. Soc. (London, Canada)*, **269**, 193-201 (2002).
22. F. Cirulli, L. De Acetis, and L. E. Alleva, "Assessment of pain in rodents by using standard laboratory techniques: an ethological perspective aimed at reducing suffering," in: *Progress in the Reduction, Refinement and Replacement of Animal Experimentation*, M. Balin, A. M. Zeller, and M. E. Halden (eds.), Elsevier, Amsterdam (2000), pp. 1127-1135.
23. Н. Н. Шабатура, В. Г. Ткачук, В. А. Федько и др., "Период инфрадианных ритмов интенсивности физиологических процессов в организме человека", *Физиол. журн. УССР*, **33**, № 2, 10-16 (1987).
24. Е. Н. Чуян, Э. Р. Джелдубаева, *Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения*, ДИАПИ, Симферополь (2006).
25. H. G. Schweiger, S. Berger, and H. Kretschmer, "Evidence for a circaseptan and a circasemiseptan growth response to light/dark cycle shifts in nucleated and enucleated *Acetabularia* cells, respectively," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA Cell Biol.*, **83**, 8619-8623 (1983).
26. R. P. Kane, "Power spectrum analysis of geomagnetic indices (English)," *Proc. Ind. Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)*, **95**, No. 1, 1-12 (1986).
27. Б. М. Владимирский, "Солнечно-земные связи в биологии и явлении "захвата" частоты", в кн.: *Проблемы космической биологии*, Т. 43, Наука, Москва (1982), с. 166-173.
28. А. В. Шехоткин, *Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфрадианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомизированных крыс*, Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Симферополь (1995).
29. L. Strigun, E. Chirkova, G. Grigoreva, et al., "Chronobiological analysis of peripheral lymphocyte dehydrogenase activities in rats with Walker 256 carcinosarcoma (English)," *Anti-Cancer Drugs*, **2**, 305-310 (1991).
30. Н. А. Темурьянц, В. Б. Макеев, В. И. Малыгина, "Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфрадианную ритмику симпатoadреналовой системы крыс", *Биофизика*, **37**, № 4, 653-655 (1992).
31. Н. А. Темурьянц, В. А. Минко, Е. И. Нагаева, "Особенности инфрадианной ритмики бактерицидных систем нейтрофилов крови крыс с различными индивидуальными особенностями и ее изменение при воздействии ПемП СНЧ", *Геофиз. процессы и биосфера*, **4**, № 1/2, 31-39 (2005).
32. Yoon Mee Choi, Ji Hoon Jeong, Jeong Soo Kim, et al., "Extremely low frequency magnetic field exposure modulates the diurnal rhythm of the pain threshold in mice," *Bioelectromagnetics*, **24**, 206-210 (2003).
33. R. A. Wever, *The Circadian System of Man: Results of Experiments Under Temporal Isolation*, Springer, New York (1979).
34. Ю. И. Бородин, А. Ю. Летягин, "Реакция циркадианных ритмов лимфоидной системы на глубокое экранирование от геомагнитного поля Земли", *Бюл. эксперим. биологии и медицины*, **2**, 191-193 (1990).
35. В. С. Мартынюк, Н. А. Темурьянц, О. Б. Московчук, "Корреляция биофизических параметров биологически активных точек и вариаций гелиогеографических факторов", *Биофизика*, **46**, № 5, 905-909 (2000).