

УДК 577.4:57.04:57.033:57.034

## МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ КАК ФАКТОР МОДУЛЯЦИИ И СИНХРОНИЗАЦИИ ИНФРАДИАННЫХ БИОРИТМОВ У ЖИВОТНЫХ

© 2009 г. В.С. Мартынюк<sup>1</sup>, Н.А. Темурьянц<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина;

<sup>2</sup> Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Украина

С целью проверки гипотезы о синхронизирующем влиянии электромагнитных полей природного происхождения проведены исследования влияния магнитного поля (МП) частотой 8 Гц на инфранианную ритмику показателей физиологических и метаболических процессов у животных. Показано, что воздействие МП изменяет параметры временной организации энергетических физиологических и метаболических процессов в организме животных в инфранианном диапазоне, при этом для отдельных процессов происходит частичное нивелирование биоритмических различий между индивидуально-типологическими группами организмов. Это, во-первых, указывает на общность системных механизмов реакции организма животных на действие данного фактора, а во-вторых, свидетельствует о синхронизирующем влиянии ежедневного воздействия магнитных полей крайне низких частот на популяцию организмов с исходно разными биоритмическими типами. Делается вывод о том, что устойчивые вариации электромагнитного фона, в том числе и природного происхождения, могут быть датчиком времени биоритмов в широком диапазоне периодов.

*Ключевые слова:* магнитные поля крайне низких частот, инфраниантные биоритмы, модуляция и синхронизация биоритмов.

### Введение

Биологические ритмы – это фундаментальное свойство живых организмов, которое обеспечивает их адаптацию к циклически меняющимся условиям внешней среды. В биоритмологическом аспекте нормальное состояние организма представляет собой оптимальное соотношение взаимосвязанных ритмов физиологических и метаболических функций организма и их соответствие колебаниям условий среды обитания. Анализ изменений этих ритмов и их согласования или рассогласования помогает глубже понять механизмы адаптационных реакций и их нарушения, которые приводят к развитию патологических процессов [Степанова, 1977; Емельянов, 1986; Гамбурцев и др., 2008].

Эндогенная природа широкого ряда биологических ритмов убедительно показана еще в ранних биоритмологических исследованиях [Дан, Ашофф, 1984; Уинфри, 1990; Гласс, Мэки, 1991]. Однако между живой системой и окружающей средой имеются сложные взаимосвязи, поэтому все еще продолжается дискуссия об эндогенной и экзогенной природе некоторых ритмов, например многосуточных, окологодных и многолетних [Степанова, 1977; Комаров, Рапопорт, 2000; Бреус и др., 2002; Ривин, 2004; Мартынюк, 2008]. Воздействия периодически меняющихся факторов внешней среды проявляются, прежде всего, в синхронизации или десинхронизации биоритмов, то есть в установлении соответствующих фазовых и частотных соотношений функций организма с окружающей средой.

У разных организмов в зависимости от условий обитания синхронизирующее влияние оказывают разные экзогенные факторы. Это особенно важно в отношении онтогенетического развития организма, когда в процессе онтогенеза у него формируется система временного согласования функций. Какова значимость внешних периодичностей воздействий для формирования структуры биологических ритмов в организме? Можно ли путем периодического воздействия слабым, но экологически значимым фактором стабилизировать или изменить временную упорядоченность процессов в организме? Эти вопросы представляют чрезвычайно важное теоретическое и практическое значение.

У живых организмов наиболее детально изучена суточная периодичность [Гласс, 1991], которая синхронизируется одним из главных геофизических периодов – суточным циклом изменения освещенности. Однако вопросы о датчиках времени для внутрисуточных (ультрадианных) и многосуточных (инфранианных) биоритмов, а также для биоритмов с более длительными периодами остаются без ответа. Так, например, для указанных биоритмов в качестве датчиков времени предполагаются вариации гравитации, вызванные движением Луны вокруг Земли [Дубров, 1990; Гедерим, 2001; Василик, Василега, 2004]. Однако ряд исследователей в качестве датчиков времени биоритмов рассматривают вариации природного электромагнитного фона, которые генерируются космо- и геофизическими процессами [Василик, Галицкий, 1985; Ли, Власова, 1987; Темурьянц и др., 1992а; Бреус и др., 2002; Бреус, Рапопорт, 2003; Александров, 2005; Владимирский, 2006; Мартынюк и др., 2006, 2008]. Основной причиной этих вариаций являются метеорологические процессы [Степанюк, 2002] и изменения состояния магнито- и ионосферы Земли, зависящие от солнечной активности [Владимирский, Темурьянц, 2000; Мартынюк и др., 2008].

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния переменного МП частотой 8 Гц на инфранианную ритмику физиологических процессов у белых крыс, выполненных с целью верификации «электромагнитной гипотезы» возникновения инфранианных биоритмов у животных.

### Материалы и методы

Изучение биологических эффектов магнитного поля крайне низкой частоты (МП КНЧ) осуществлялось на белых беспородных крысах. Объектом исследований были 120 белых крыс-самцов массой 180–250 г в возрасте 5–7 мес. Такой выбор обусловлен тем, что, с одной стороны, эти животные наиболее часто используются в качестве объекта для проведения массовых медико-биологических исследований, а с другой, – их экспериментально установленной чувствительностью к воздействию слабых МП КНЧ различных диапазонов [Темурьянц и др., 1992б; Темурьянц, 1999].

Каждая экспериментальная группа включала в себя три подгруппы животных с разными индивидуально-типологическими (конституциональными) особенностями, выявляемыми в тесте «открытого поля». Этот методический прием позволил провести дифференцированный анализ системных реакций организма животных на действие исследуемого фактора и выявить основные интегральные характеристики организма, коррелирующие с его высокой чувствительностью и реактивностью.

«Открытое поле» представляло собой площадку размером 90×90 см, расчерченную на квадраты и ограниченную барьером высотой 30 см. Во время опыта «открытое поле» равномерно освещалось лампой накаливания мощностью 60 Вт, расположенной в центре площадки на высоте 100 см от поверхности поля. Животное помещалось на середину площадки, и в течение 2 мин регистрировалась его двигательная активность (горизонтальная – по количеству пересеченных квадратов; вертикальная – по количеству подъемов на задние лапы), а также груминг и уровень дефекации и уринации. На основании данных о двигательной активности составлялись следующие подгруппы: животные с низкой (НА), средней (СА) и высокой (ВА) активностью. При этом выделенные подгруппы животных характеризовались близким уровнем груминга и дефекации, различие между которыми носило недостоверный характер. В каждую из экспериментальных подгрупп, соответствующих разному уровню активности в «открытом поле», входило по 20 особей.

В течение месяца каждый день в одно и то же время суток у животных определяли показатели энергетического обмена в нейтрофилах и лимфоцитах (активность  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы и сукцинатдегидрогеназы), а также активность отдельных звеньев антибактериальной системы иммунных клеток (активность пероксидазы, щелочной фосфатазы и уровень катионных белков) согласно рекомендациям [Kaplow, 1955; Нарциссов, 1969]. Данные показатели широко используются для оценки состояния неспецифической резистентности организма человека и животных, так как ферментный статус лимфоцитов и нейтрофилов адекватно отражает функциональное состояние различных органов и систем организма [Нарциссов, 1969; Нарциссов и др., 1992].

Импульсное МП частотой 8 Гц (меандр) создавали с помощью колец Гельмгольца. Выбор данной частоты обусловлен ее геофизической значимостью (основная «шумановская» резонансная частота ионосферного волновода, интенсивность которой меняется в зависимости от солнечной активности), а также ее высокой биологической активностью. Вектор напряженности создаваемого поля был параллелен геомагнитному полю. Ежедневная экспозиция животных в переменном магнитном поле составляла 3 ч (с 9.00 до 12.00 по местному времени). Данная экспозиция близка к длительности геомагнитных бурь и использовалась авторами ранее при физиологических и биофизических исследованиях [Темурьянц, Грабовская, 1992; Темурьянц и др., 1992; Мартынюк, 1992, 1995; Мартынюк и др., 2001; Темурьянц и др., 2007; Мартынюк, 2008].

Сигналы генерировались с помощью выпускаемого серийно генератора Гб-28, позволяющего создавать магнитные поля отдельных установленных частот и амплитуд. Импульсы магнитного поля имели прямоугольную форму со сменной полярностью за один период колебаний (меандр). Индукция создаваемого магнитного поля контролировалась микротесламетром Г-79; величина индукции магнитного поля устанавливалась равной 5 мкТл. Магнитные поля такой интенсивности относятся к категории «крайне слабых»: они характеризуются чрезвычайно низкими значениями энергии и не вызывают тепловых эффектов при взаимодействии с веществом. Следует отметить, что в обычных условиях минимальные уровни электромагнитного фона в лаборатории, где проводились исследования, в диапазоне частот 20–20000 Гц составляют порядка

20–200 нТл. Таким образом, экспериментально создаваемое воздействие было на 2–3 порядка выше по амплитуде, чем интенсивность фоновых МП. Это позволяло регистрировать реальный и воспроизводимый ответ организма животных на экспериментально предъявляемый электромагнитный стимул.

Математическая обработка коротких временных рядов физиологических данных проводилась с помощью косинор-анализа, основанного на модели временного ряда как аддитивной смеси полезного сигнала и шума, где сигнал имеет форму косинусоиды с определенными параметрами. Существующие алгоритмы косинор-анализа часто применяются в биоритмологических исследованиях [Емельянов, 1986; Halberg, 2007]. Авторами разработан модифицированный алгоритм косинор-анализа, подробно описанный в работах [Григорьев и др., 2005; Мартинюк, 2008]. Обработка включала следующие основные этапы.

1. С помощью авторской компьютерной программы косинор-анализа для всех физиологических процессов каждого из животных экспериментальной группы были получены данные, характеризующие точность вписывания для каждого из периодов в диапазоне от 2.2 до 30 сут с шагом 0.1 сут. Таким образом, точность оценки выявляемых периодов была алгоритмически задана в пределах 0.1 сут. Точность вписывания косинусоид оценивалась как обратная величина суммы квадратичных отклонений реальных значений биологического показателя от теоретически вписанной косинусоиды с заданным периодом.

2. Определялись периоды, являвшиеся локальными максимумами в каждой из кривых точности вписывания косинусоид.

3. Данные обо всех выделенных таким образом периодах изменений физиологических показателей животных данной группы суммировались и нормировались; в итоге получалось распределение вероятности выявления каждого из периодов (в процентах) в пределах от 2.2 до 30 сут в инфрадианной ритмике исследуемого массива биологических процессов в анализируемой группе животных. Анализ распределения выявленных периодов позволил установить узкие диапазоны, в которых значения отдельных периодов можно было рассматривать как распределение случайных реализаций конкретного периода с соответствующими математическим ожиданием, дисперсией и ошибкой средней величины.

4. Периоды, вероятность выявления которых не превышала 20 %, в дальнейшем не анализировались. При биологических исследованиях в качестве пороговой величины для выделения значимых результатов часто выбирают 20 % встречаемости.

5. Полученные значения периодов заносились в соответствующие таблицы в качестве основных периодических составляющих инфрадианной ритмики исследуемой группы животных.

6. Вычислялись среднеарифметические значения периодов ( $M$ ), стандартные ошибки ( $m$ ) и другие статистические показатели на интервалах между выделенными периодами и проводился анализ достоверности различий между статистическими выборками экспериментальных данных.

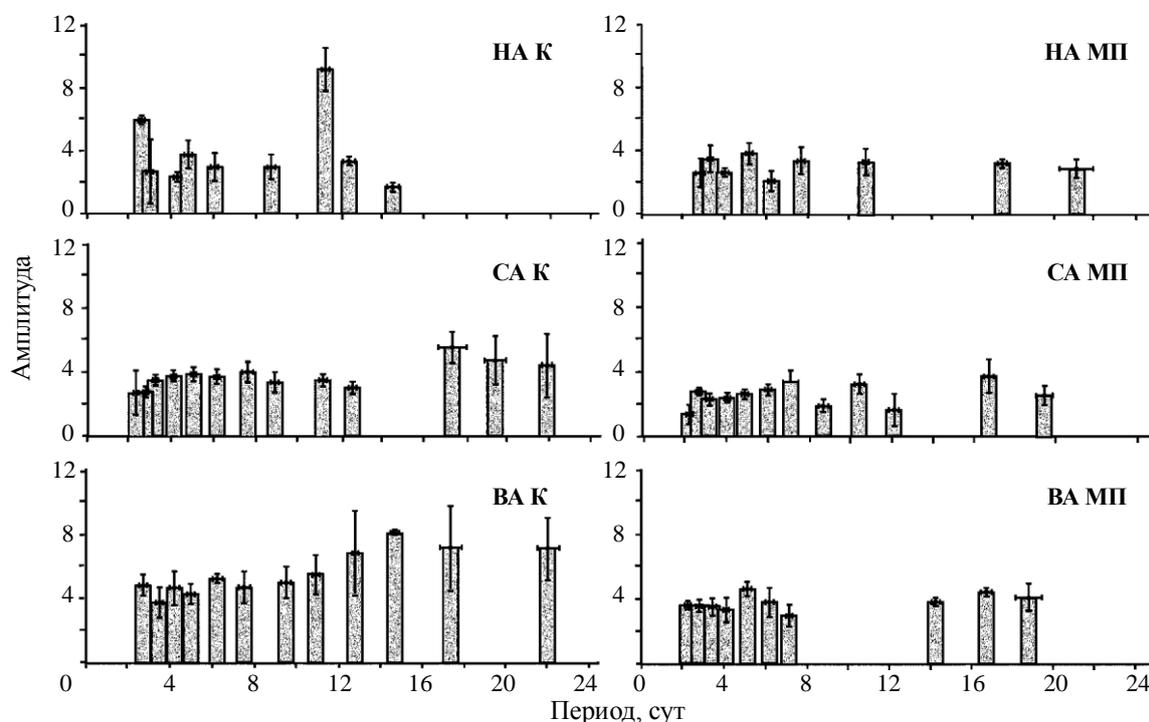
## Результаты и обсуждение

Анализ динамики средних значений уровня горизонтальной активности животных в «открытом поле» в течение 32 сут показал, что основные компоненты поведения животных в «открытом поле» при повторном тестировании сильно угасают, поэтому

дальнейшее тестирование животных прекращалось. Это связано, в первую очередь, с привыканием животных к тестовой обстановке. В ходе эксперимента у животных подгрупп НА и СА угасание исследовательского поведения наступало уже при следующем повторном тестировании, тогда как у животных подгруппы ВА угасание происходило позднее. Экспозиция животных в переменном магнитном поле частотой 8 Гц ускоряла угасание поведения у животных с высокой активностью (подгруппа ВА) и замедляла у животных с низкой активностью (подгруппа НА).

Результаты исследований показали, что при длительном ежедневном тестировании животных в условиях их привыкания к экспериментальной обстановке имела место колебательная динамика показателей поведения. Данный факт указывает на то, что исследовательское поведение в «открытом поле» не угасает полностью, а показатели поведения остаются на ритмически меняющемся фоновом уровне. При этом в группах животных с разными индивидуально-типологическими особенностями могут отмечаться выраженные квазипериодические всплески активности, отражающие, на наш взгляд, особенности временной организации физиологических процессов в инфранианном (многосуточном) диапазоне. Таким образом, в проведенных экспериментах авторы реально имели дело с биологическими ритмами инфранианного диапазона.

Косинор-анализ интегральных ритмов горизонтальной активности в «открытом поле» показал наличие набора (спектра) основных периодических составляющих как в контрольных, так и экспериментальных (подвергавшихся воздействию магнитного поля) группах животных (рис. 1). При этом в контрольных группах структура спектра периодов данного показателя более проста у животных с низкой активностью (всего 9 периодов), чем у средне- и высокоактивных животных (12-13 периодов). Одновременно с этим характер распределения периодов и их амплитуд тоже существенно различен для



**Рис. 1.** Основные периоды и их амплитуды в интегральном ритме горизонтальной активности интактных животных в «открытом поле» (слева) и при воздействии магнитного поля частотой 8 Гц (справа). Здесь и далее: НА, СА, ВА – подгруппы животных, соответственно, с низкой, средней и высокой активностью в «открытом поле», К – контроль, МП – воздействие магнитным полем

разных групп животных. У животных с низкой активностью практически отсутствовали периоды длительностью более двух недель, тогда как у более активных животных 2–3-недельные периоды присутствовали. У животных с низкой активностью доминировали по амплитуде околотрехдневный и 1.5-недельный периоды, а у животных со средней и высокой активности – 2–3-недельные.

Ежедневное трехчасовое воздействие магнитного поля модифицировало динамику поведенческих реакций. В динамике показателя в отдельных временных точках имели место достоверные отличия индексов поведения относительно контрольных значений, составляющие от десятка процентов до нескольких раз (как, например, на 11-е сутки эксперимента). Характер динамики горизонтальной активности животных в «открытом поле» позволил обнаружить у животных разных индивидуально-типологических групп некоторый синхронизм, который более четко устанавливается при биоритмологическом анализе.

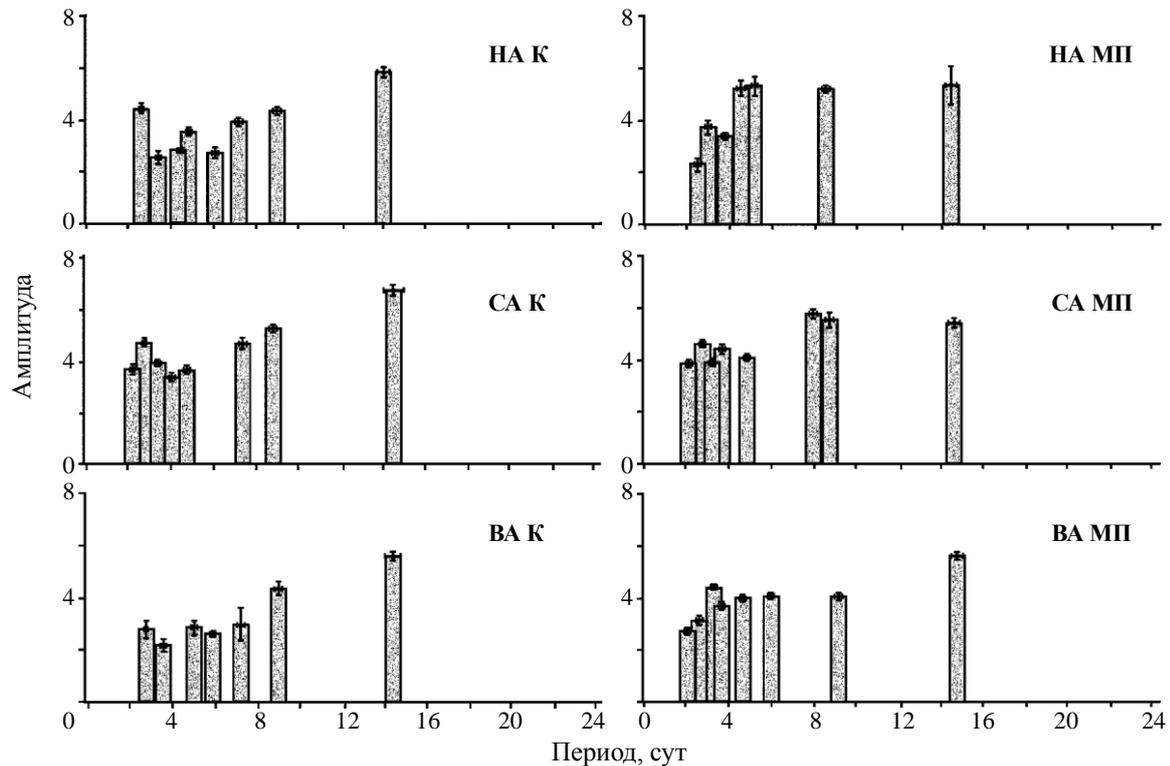
Анализ структуры спектров выявил причину такого синхронизма. Как видно (см. рис. 1), распределение периодов и амплитуд у животных с разными индивидуально-типологическими особенностями, подвергшихся воздействию магнитного поля, имеет в определенной степени сходный характер. Во-первых, можно выделить два основных «кластера» периодов в диапазонах 2–8 сут и 14–22 сут, а, во-вторых, амплитуды выявленных периодов близки, что не позволяет говорить о доминирующих периодах, как в спектрах у контрольных животных.

Анализ фаз выявленных периодов показал, что воздействие магнитного поля у животных с разными индивидуально-типологическими особенностями приводит не только к появлению близких периодов в интегральных ритмах поведенческих реакций, но и в некоторой степени к согласованию их фазовых характеристик. Вследствие таких сдвигов в структуре биоритмов процессов, контролирующих поведение животных, наблюдается уменьшение различий между разными индивидуально-типологическими группами по исследуемым показателям. При этом более выраженные сдвиги параметров временной организации исследуемых процессов отмечены у животных с низкой и высокой активностью в «открытом поле».

Сходные закономерности были выявлены и при анализе интегральных ритмов вертикальной двигательной активности как одного из компонентов исследовательского поведения – и в этом случае имели место «кластеризация» коротких периодов и соответствующие фазовые сдвиги.

Обнаруженные факты свидетельствуют о том, что ежедневное воздействие магнитного поля частотой 8 Гц оказывает синхронизирующее действие на временную организацию нейрональных процессов, контролирующих поведение животных. Это подтверждает выводы, сделанные ранее на основе результатов исследования внутрисуточных (ультрадианных) ритмов в головном мозге и крови животных [Мартынюк, 1992, 1995].

Исследования активности одного из ключевых ферментов энергетического обмена – сукцинатдегидрогеназы в лимфоцитах, – результаты которых представлены на рис. 2, показали, что активность данного фермента может существенно и в широких пределах меняться во времени. Верхняя граница нормы может превышать нижние значения более, чем в 20 раз. Подобные колебания активности сукцинатдегидрогеназы в лимфоцитах, по всей видимости, являются следствием работы иерархической сети естественных механизмов регуляции процессов в организме, функционирующих по принципу обратных связей и характеризующихся сложной структурой временной организации. Общий синхронный характер изменений во времени данного показателя у животных разных индивидуально-типологических групп, содержащихся в вивариях раздельно, вероятнее

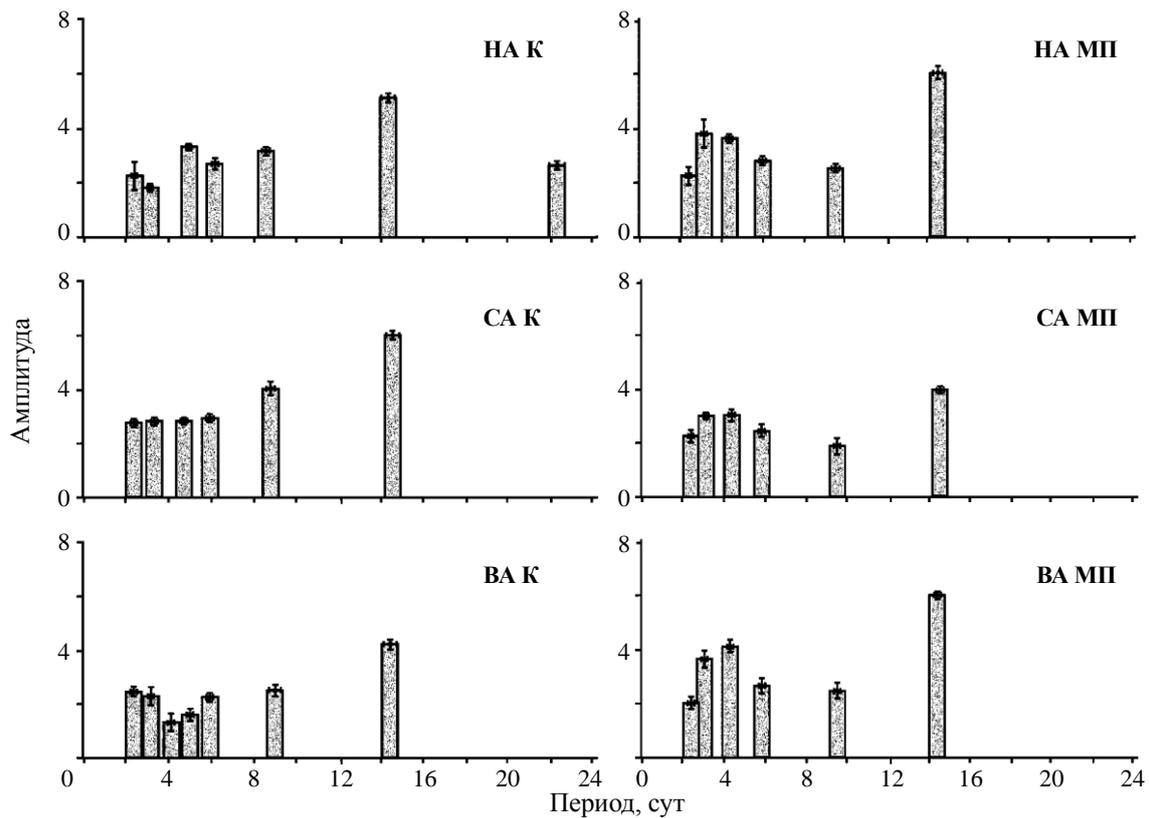


**Рис. 2.** Основные периоды и их амплитуды в интегральном ритме активности сукцинатдегидрогеназы в лимфоцитах у интактных животных (слева) и при воздействии магнитного поля частотой 8 Гц (справа). (Обозначения те же, см. рис. 1)

всего, обусловлен взаимодействием организма животных с внешними факторами, которые практически невозможно устранить (например, такими, как метеорологические и гелиогеофизические, контролируемые «космической погодой») [Григорьев, 2005].

Как видно на рис. 2, интегральная ритмика активности сукциантдегидрогеназы у всех животных контрольной группы была в основном сформирована высокоамплитудным двухнедельным периодом (около 14 сут) и периодом около 9 сут. Именно данное обстоятельство обуславливает общее сходство интегральных ритмов в разных индивидуально-типологических группах. Различия между ними в основном определяются набором более коротких периодов разной длительности.

Воздействие магнитного поля приводило к небольшому сдвигу околodвухнедельного периода (14–15 сут) и «кластеризации» коротких периодов в области значений 2–5 сут. Следует напомнить, что подобная «кластеризация» коротких периодов имела место и в ритме исследовательского поведения животных (см. рис. 1). В то же время период в окрестности 9 сут сохраняется во всех индивидуально-типологических группах. Данные факты можно рассматривать как свидетельство вынужденной синхронизации исследуемых процессов вследствие ежедневного воздействия магнитного поля. Однако, хотя указанные изменения и сопровождалось достоверными изменениями фаз рассматриваемых периодов, выявленные фазовые сдвиги по-разному проявлялись в разных индивидуально-типологических группах. Поэтому заметной синхронизации, которая имела место в динамике поведения животных, в данном метаболическом звене не происходило. Тем не менее, синхронизирующее действие переменного магнитного поля в лимфоцитарном звене в действительности имело место, и это особенно хорошо проявляется при анализе динамики активности  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы.



**Рис. 3.** Основные периоды и их амплитуды в интегральном ритме активности  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы в лимфоцитах у интактных животных (слева) и при воздействии магнитного поля частотой 8 Гц (справа). (Обозначения те же, см. рис. 1)

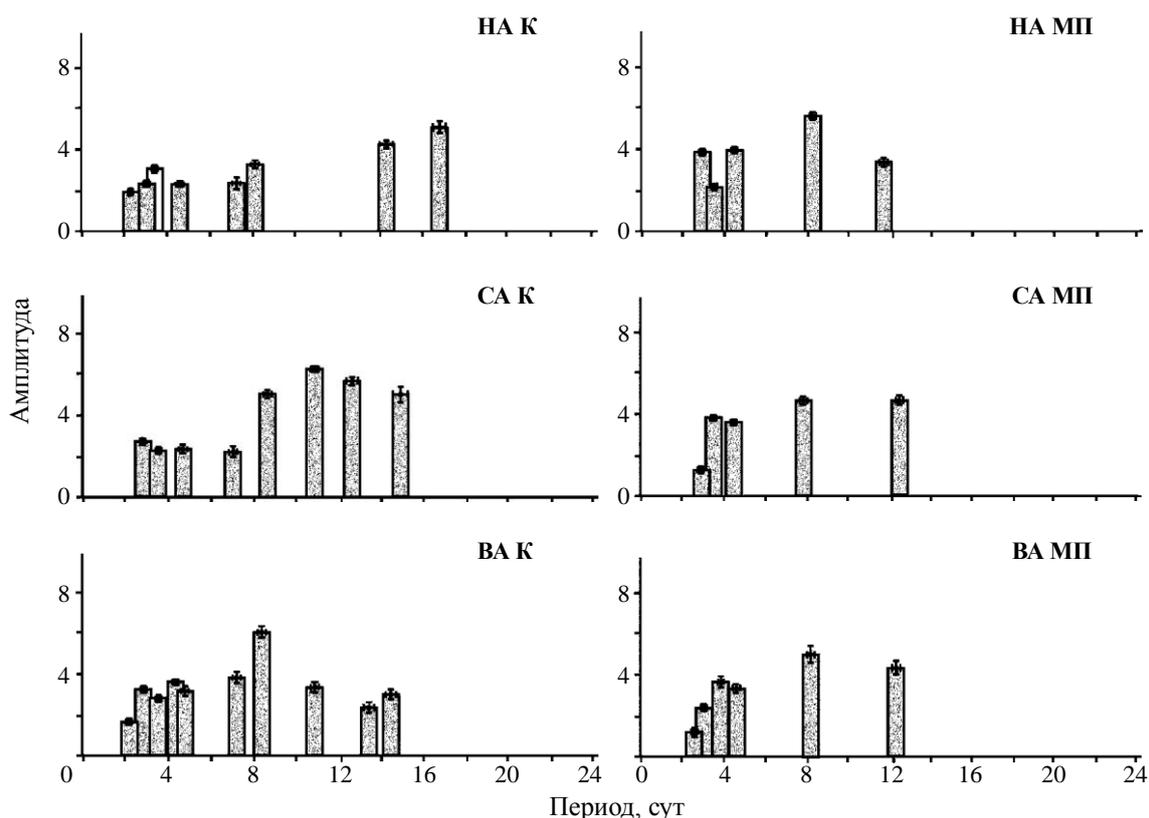
У интактных животных всех трех индивидуально-типологических групп временная динамика активности  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы имела определенные отличия. Основные различия касались времени и амплитуды небольших всплесков активности данного фермента. Это приводило к тому, что набор основных периодов, которые формируют интегральный ритм, несколько отличался у животных разных групп (рис. 3). Ежедневное воздействие переменного магнитного поля уменьшало указанные различия и в динамике рассматриваемого показателя, и в спектре периодов. При этом у животных разных групп спектр становился практически одинаковым как по количеству и величинам основных периодов (во всех группах по 6 периодов с близкими значениями), так и по амплитудному распределению (рис. 3).

Используя терминологию теории колебаний, можно сказать, что в результате воздействия магнитного поля осуществляется перекачка мощности колебаний в основном на короткие периоды, образующие группу в диапазоне от 2 до 6 сут с максимумом около 3–4 сут. При этом околodвухнедельные периоды (14.5–15.0 сут) сохраняются, что указывает на их относительную устойчивость. Такая устойчивость может быть вызвана влиянием периодических факторов гелиогеофизической природы, связанных, например, с солнечной активностью и изменением знака межпланетного магнитного поля [Бреус и др., 2003; Фараоне и др., 2005; Зенченко и др., 2006; Зенченко, Мерзлый, 2008].

Анализ структуры биологического ритма активности  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы в лимфоцитах в инфранидном диапазоне периодов показывает, что анаэробное звено энергетического обмена в этих клетках более чувствительно к действию переменного магнитного поля по сравнению с аэробным, а у животных с низкой активно-

стью в «открытом поле» происходят более глубокие перестройки временной организации метаболических процессов по сравнению с более активными животными. Таким образом, теоретические представления о синхронизирующем действии магнитных полей крайне низкой частоты на организм человека и животных, которые были ранее экспериментально доказаны для ультрадианного диапазона периодов [Мартынюк, 1992, 1995], находят новое экспериментальное подтверждение в инфрадианном диапазоне.

Анализ динамики активности сукцинатдегидрогеназы в нейтрофилах показал, что в этих клетках активность данного фермента ритмически менялась, как и другие исследуемые показатели; однако достоверная корреляция этих изменений с активностью данного фермента в лимфоцитах не прослежена. Это указывает на относительную автономность механизмов регуляции активности лимфоцитарного и нейтрофильного звеньев иммунной системы организма. Косинор-анализ показал сложную ритмическую организацию активности сукцинатдегидрогеназы в нейтрофилах (рис. 4). Однако ежедневное воздействие МП КНЧ упрощает структуру интегрального ритма данного показателя и, как и в предыдущих случаях, делает ее близкой по набору периодов и характеру распределения амплитуд в разных индивидуально-типологических группах животных, что доказывает чувствительность энергетического обмена нейтрофилов к действию исследуемого фактора. При этом по данному показателю трудно выделить группу животных, у которых происходят более существенные перестройки временной организации аэробного звена энергетического обмена нейтрофилов.



**Рис. 4.** Основные периоды и их амплитуды в интегральном ритме активности сукцинатдегидрогеназы в нейтрофилах у интактных животных (слева) и при воздействии магнитного поля частотой 8 Гц (справа). (Обозначения те же, см. рис. 1)

Следует отметить, что воздействие МП КНЧ изменяло динамику показателей, характеризующих бактерицидную активность иммунных клеток (активность пероксидазы,

щелочной фосфатазы и уровень катионных белков), однако его синхронизирующее воздействие было выражено более слабо, а в ряде случаев и вовсе не выявлялось.

Таким образом, анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что воздействие МП КНЧ изменяет параметры временной организации физиологических процессов в организме животных в инфранианном диапазоне, при этом для отдельных процессов происходит частичное нивелирование различий между индивидуально-типологическими группами организмов. Это, во-первых, указывает на общность системных механизмов реакции организма животных на действие данного фактора, а, во-вторых, свидетельствует о синхронизирующем влиянии ежедневного воздействия МП КНЧ на популяцию организмов с исходно разными биоритмическими типами.

Явление синхронизации биологических ритмов между собой и с внешними ритмозадающими факторами является фундаментальным свойством биологических систем. Под синхронизацией понимается подстройка ритмов осциллирующих процессов за счет слабого взаимодействия между ними, причем случай подстройки биологической ритмики к внешним датчикам времени относится к случаю синхронизации периодических колебаний факторами окружающей среды. Следует отметить, что при наших исследованиях период трехчасового воздействия МП КНЧ составлял 24 ч, поэтому логично предположить, что экспериментальное синхронизирующее воздействие осуществлялось на уровне физиологических систем, контролирующих суточные биоритмы.

Как известно, управление суточной ритмикой процессов в организме осуществляют ядра гипоталамуса и эпифиз. Эти структуры центральной нервной системы (ЦНС) воспринимают и преобразуют внешние ритмозадающие сигналы и, в первую очередь, уровень освещенности [Максимович, 2002]. Совсем недавно были установлены механизмы регуляции суточной активности ядер гипоталамуса через меланопсинсодержащие ганглионарные клетки сетчатки глаза [Doyle et al., 2006]. Фотоиндуцированные импульсы по аксонам ганглионарной клетки поступают непосредственно в супрахиазматические ядра гипоталамуса и модулируют их активность. В свою очередь, активность эпифиза контролируется ядрами гипоталамуса через симпатическое звено вегетативной нервной системы.

Многочисленные литературные данные, а также результаты наших собственных исследований показывают, что эпифиз и гипоталамус являются «магниточувствительными» структурами ЦНС [Холодов, Щишло, 1979; Мартынюк, Мартынюк, 2001; Темурьяни, Шехоткин, 1999]. Ингибирующее влияние на эпифиз оказывают сигналы, поступающие из гипоталамуса через шейный ганглий симпатической нервной системы [Максимович, 2002]. При этом действие МП КНЧ подавляет активность эпифиза, что сопровождается снижением концентрации в крови основного гормона эпифиза – мелатонина [Kato, Shigemitsu, 1996; Pflugger, 1997; Burch et al., 1999]. Такая реакция на действие МП КНЧ наиболее выражена в темное время суток, когда функциональная активность эпифиза максимальна. Вероятнее всего, она связана с индуцированным МП увеличением импульсной активности нейронов супрахиазматических ядер, контролирующих работу эпифиза. Однако нельзя исключить, что МП КНЧ оказывает непосредственное влияние на клетки эпифиза, изменяя их активность. Такое прямое влияние показано в исследованиях *in vitro* отдельными авторами [Lerchl et al., 1991], однако в дальнейшем результаты этих исследований не были однозначно воспроизведены.

Таким образом, изменения временной организации, выявленные в наших исследованиях, можно объяснить тем, что периодическое действие МП КНЧ изменяет суточный характер импульсной активности нейронов супрахиазматических ядер путем сдвига фаз максимумов и/или минимумов суточного ритма или же путем внесения дополни-

тельной периодической составляющей. При этом происходит перестройка во всех других диапазонах биологических ритмов, т.е. в диапазоне ультрадианных [Мартынюк, 1992, 1995], циркадианных [Wever, 1973] и инфрадианных ритмов [Темурьянц и др., 1992б]. Используемое в эксперименте МП КНЧ имело параметры, превышающие фоновые уровни электромагнитных вариаций. Поэтому у животных разных индивидуально-типологических групп параметры временной организации, в том числе и в ультрадианном диапазоне, подстраивались к новому периодическому экспериментальному воздействию, что и приводило к нивелированию различий между экспериментальными группами животных.

Эти факты, с одной стороны, доказывают справедливость теоретических предположений о том, что устойчивые вариации электромагнитного фона, в том числе и имеющие природное происхождение, могут выступать в качестве датчика времени биоритмов в широком диапазоне периодов. С другой стороны, они позволяют объяснить феномен антистрессорного действия магнитного поля частотой 8 Гц, который был обнаружен в работе [Татков, 2004]. Как известно, в условиях стресса происходят существенные изменения в структуре биологических ритмов [Степанова, 1997; Татков, 2004; Антикаева и др., 2008], которые приводят к развитию «внешнего» и «внутреннего» десинхроноза.

Полученные авторами экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что в основе антистрессорных эффектов периодического воздействия МП КНЧ лежит уменьшение выраженности десинхроноза у подвергавшихся стрессу животных. Это в свою очередь доказывает, что в условиях нарушения структуры биоритмов, в том числе и вследствие утраты функций внутренними водителями ритмов, МП КНЧ могут выступать в роли внешнего синхронизирующего фактора. И в зависимости от физиологического состояния и характера периодичности могут усиливать или уменьшать степень согласования или рассогласования биоритмов с вариациями природных факторов. Данное обстоятельство позволяет рекомендовать использование МП КНЧ в качестве «мягкого», т.е. не обладающего повреждающим действием, средства для коррекции биоритмов при различных видах физиологического и патологического десинхроноза. Одновременно с этим становится понятным, почему в биологических ритмах практически всегда присутствуют периоды, которые обнаруживаются в динамике геомагнитных индексов [Мартынюк, 1998, 2005].

В последние десятилетия существенно возрос уровень вариаций электромагнитных полей (ЭМП) техногенного происхождения в среде обитания. Основная антропогенная нагрузка искусственного электромагнитного фона в современных условиях обитания приходится на электрические и магнитные поля в диапазонах КНЧ, СНЧ, НЧ, а также СВЧ и КВЧ. Бытовые и промышленные установки, системы мобильной связи, радиовещания и радиолокации генерируют импульсы, имеющие бесконечное число гармоник, а значит, охватывающие большинство диапазонов частот – от крайненизких до гипервысоких. Показано, что использование мобильных телефонов уменьшает выделение мелатонина и увеличивает вероятность возникновения раковых заболеваний [Burch *et al.*, 2003], а излучение от бытовых электроприборов является фактором риска возникновения болезни Альцгеймера [Feychting *et al.*, 2003].

Однако в подавляющем большинстве исследований влияния как слабых, так и мощных ЭМП на биосистемы не учитываются их воздействия на биоритмы организма и их связь с факторами среды обитания. Воздействующий фактор не рассматривается как суперпозиция природных и искусственных факторов, не учитывается вклад природной компоненты ЭМП, а также индивидуально-типологические свойства организма и его

исходное физиологическое состояние. Поэтому теоретические и методологические аспекты, развиваемые в данной работе, могут быть весьма полезны при решении вопросов оценки биологического действия ЭМП в широком диапазоне частот, включая генерируемые мобильными телефонами. В то же время, биоритмологический подход в определенной степени делает принципиально возможным научно-обоснованный прогноз состояния организма и его функциональных систем в зависимости от гелиогеофизических показателей, для которых в настоящее время существуют методы прогноза в диапазоне от нескольких дней до нескольких лет.

### Заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что у животных разных индивидуально-типологических групп периодическое ежедневное воздействие магнитного поля крайне низкой частоты (МП КНЧ) оказывает синхронизирующее действие на инфрадианные (многосуточные) ритмы физиологических процессов. При этом наиболее выраженная синхронизация характерна для энергетических процессов в иммунных клетках организма животных. Синхронизирующее действие магнитного поля на уровне популяции животных проявляется, в первую очередь, в виде нивелирования различий между подгруппами животных по количеству и длительности периодов в спектре биоритмов. Эти факты, с одной стороны, доказывают возможность синхронизации биоритмов устойчивыми вариациями электромагнитного фона, в том числе и природного происхождения, а с другой, – позволяют глубже понять природу и биологические механизмы ряда биоэлектромагнитных феноменов, в том числе и на уровне временной организации физиологических и метаболических процессов.

### Литература

- Александров В.В.* Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. 716 с.
- Антикаева О.И., Гамбурцев А.Г., Галичий В.А., Степанова С.И.* Использование биоритмологического опыта при прогнозировании состояния биологических и геодинамических систем // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 1. С. 32 – 52.
- Бреус Т.К., Рапопорт С.И.* Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты. М.: Советский спорт, 2003. 192 с.
- Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шебзухов К.В.* Хроноструктура биоритмов сердца и внешней среды. М.: Изд-во РУДН, 2002. 220 с.
- Василик П.В., Галицкий А.К.* Ритмы изменения свойств воды как фактор формирования биологических ритмов // Кибернетика и вычислительная техника. 1985. Вып. 66. С. 11 – 19.
- Василик П.В., Василега А.Г.* Особенности изменения массы морских свинок как индикатор флуктуаций неравномерности вращения Земли, обусловленных влиянием Луны тела // Геофизические процессы и биосфера. 2004. Т. 3, № 1. С. 58 – 62.
- Владимирский Б.М.* Электромагнитные поля среды обитания, «биолокация» и хоминг // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5, № 1. С. 5 – 17.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А.* Влияние солнечной активности на биосферу-атмосферу. М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. 374 с.
- Гамбурцев А.Г., Чибисов С.М., Стрелков Д.Г.* Вариации артериального давления и частоты сердечных сокращений по данным многосуточного мониторинга и их вероятная связь с

- внешними воздействиями // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 2. С. 53 – 66.
- Гедерим В.В., Соколовский В.В., Гориков Э.С., Шаповалов С.Н., Трошичев О.А.* Периодические изменения некоторых гематологических показателей, характеризующих процесс адаптации в организме человека, и вариации гравитационного поля // Биофизика. 2001. Т. 46. С. 833 – 834.
- Гласс Л., Мэки М.* От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.: Мир, 1991. 248 с.
- Григорьев П.Е.* Связь инфранианной ритмики физиологических процессов у животных с вариациями гелиогеофизических факторов. Дис. ... канд. биол. наук (03.00.02). Симферополь, 2005. 141 с.
- Григорьев П.Е., Мартинюк В.С., Темурьянц Н.А.* О связи активности дегидрогеназ с гелиогеофизическими факторами // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4, № 1/2. С. 71 – 75.
- Дан С., Ашофф Ю.* Биологические ритмы. М.: Мир, 1984. Т. 2. С. 180 – 188.
- Дубров А. П.* Лунные ритмы у человека. М.: Медицина, 1990. 160 с.
- Емельянов И.П.* Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Статистический анализ и моделирование. Новосибирск: Наука, 1986. 184 с.
- Зенченко Т.А., Мерзлый А.М., Кужевский Б.М.* Эффекты смены полярности межпланетного магнитного поля в динамике авиационных происшествий / Материалы Международной конференции «Космическая погода: ее влияние на человека и биологические объекты», Москва, 17–19 февраля 2005. М., 2006. С. 46 – 47.
- Зенченко Т.А., Мерзлый А.М.* Связь динамики авиационных событий с гелиофизическими процессами // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 2. С. 27 – 38.
- Комаров Ф.И., Рапопорт С.И.* Хронобиология и хрономедицина. М.: Триада-Х, 2000. 488 с.
- Ли А.В., Власова И.Г.* Роль магнитного поля в формировании биоритмов центральной нервной системы / Современные аспекты биоритмологии. М.: Изд-во РУДН, 1987. С. 91 – 97.
- Максимович А.А.* Структура и функции пинеальной железы позвоночных // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2002. Т. 38, № 1. С. 3 – 13.
- Мартинюк В.С.* Вплив магнітних полів наднизької частоти на організм людини і тварин: Дис. ... д-ра біол. наук (03.00.02). Київ, 2008. 437 с.
- Мартынюк В.С.* К вопросу о синхронизирующем действии сверхнизкочастотных магнитных полей на биологические системы // Биофизика. 1992. Т.37, № 4. С. 569 – 573.
- Мартынюк В.С.* Временная организация живых организмов и проблема воспроизводимости результатов магнитобиологических исследований // Биофизика. 1995. Т. 40, № 5. С. 925 – 927.
- Мартынюк В.С.* Внутрисуточные гео- и гелиофизически значимые периоды в интегральном ритме двигательной активности животных // Биофизика. 1998. Т. 43, № 5. С. 789 – 796.
- Мартынюк В.С.* Связь динамики электрических характеристик организма человека с вариациями космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т.4, № 1. С. 53 – 61.
- Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б.* Влияние экологически значимого переменного магнитного поля на метаболические процессы в головном мозге животных // Биофизика. 2001. Т. 46, № 5. С. 876 – 880.
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А.* Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т.5, № 1. С. 5 – 23.
- Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М.* У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. Киев: Издатель В.С. Мартынюк, 2008. 179 с.

- Нарциссов Р.Н.* Применение п-нитротетразоля фиолетового для количественного цитохимического определения дегидрогеназ лимфоцитов человека // Архив анатомии, гистологии, эмбриологии. 1969. № 8. С. 73.
- Нарциссов Р.П., Шищенко В.М., Петричук С.В.* Влияние факторов внешней среды на ферментный статус лейкоцитов крови человека // Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. Т. 2. С. 27 – 33.
- Ривин Ю.Р.* Пульс здорового человека и геомагнитная активность // Геофизические процессы и биосфера. 2004. Т. 3, № 2. С. 46 – 56.
- Степанова С.И.* Актуальные проблемы космической биоритмологии. М.: Наука, 1977. 230 с.
- Степанюк И.А.* Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. 214 с.
- Татков О.Г.* Хронобиологические аспекты адаптации: десинхронозы // Воен.-мед. журн. 2004. № 6. С. 49 – 52.
- Темурьянц Н.А.* Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений: Автореф. ... д-ра биол. наук. М., 1999. 44 с.
- Темурьянц Н.А., Грабовская Е.Ю.* Реакция крыс с разными конституциональными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей крайне низких частот // Биофизика. 1992. Т. 37, № 4. С. 817 – 820.
- Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В.* Современные представления о механизмах электромагнитных воздействий // Вестник физиотерапии и курортологии. 1999. Т. 5, № 1. С. 8 – 13.
- Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г.* Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наук. думка, 1992а. 188 с.
- Темурьянц Н.А., Макеев В.В., Малыгина В.Н.* Влияние слабых ПемПп КНЧ на инфранианную ритмику симпатoadреаловой системы крыс // Биофизика. 1992б. Т. 37, № 4. С. 653 – 655.
- Темурьянц Н.А., Мартынюк В.С., Малыгина В.И.* Состояние симпатoadреналовой системы при изолированном и комбинированном с гипокинезией действием переменного магнитного поля сверхнизкой частоты // Физика живого. 2007. Т. 15, № 2. С. 40 – 48.
- Уинфри А.Т.* Время по биологически часам. М.: Мир, 1990. 208 с.
- Фараоне П., Конрадов А.А., Зенченко Т.А., Владимирский Б.М.* Гелиофизические эффекты в ежедневных показателях жизнедеятельности бактерий // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4, № 1/2. С. 89 – 97.
- Холодов Ю.А., Щишло М.А.* Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.
- Burch J.B., Reif J.S., Yost M.G.* Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of a melatonin metabolite in human // Neurosci. Lett. 1999. Vol. 266, N 3. P. 209 – 212.
- Burch J.B., Reif J.S., Noonan C.W., Ichinose T., Bachand A., Koleber T.L., Yost M.G.* Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users // Abstr. Bioelectromagnetics Society Annual Meeting. Wailea, 2003. P. 120.
- Doyle S.E., Castrucci A.M., McCall M., Provencio I., Menaker M.* Nonvisual light responses in the *Rpe65* knockout mouse: Rod loss restores sensitivity to the melanopsin system // PNAS. 2006. Vol. 103, N 27. P. 10432 – 10437.
- Feychting M., Jonsson F., Pedersen N.L., Ahlbom A.* Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease // Abstr. . Bioelectromagnetics Society Annual Meeting. Wailea, 2003. P. 121.
- Halberg F.* Challenges from «60 Years of Translational Chronobiology» // Uchenye Zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta. 2007. Т. 20, N.1. P.107 – 122.
- Kaplow L.S.* A histochemical procedure for localizing and evaluation leukocyte alkaline phosphatase activity in smears of blood and marrow // Blood. 1955. N 10. P. 1023 – 1029.

- Kato M., Shigemitsu T.* Effects of exposure to 50 Hz magnetic field on melatonin in rats. In.: Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields. New-York: Kluwer-Plenum, 1996. 258 p.
- Lerchl A., Reiter R.J., Howes K.A., Nanaka K.O., Stokan K.A.* Evidence that extremely low frequency Ca<sup>2+</sup>-cyclotron resonance fields depress pineal melatonin synthesis in vitro // *Neurosci. Lett.* 1991. Vol. 124, N 2. P. 213 – 215.
- Pflugger D.H.* Melatonin – an indicator for environmental and pharmacological effects – studies on exposure to low frequency magnetic fields, smoking and coffee consumption // *Phil. Nat. Facultat. Bern: University of Bern Publisher*, 1997. P. 88 – 90.
- Wever R.A.* Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies // *Int. J. Biometeorol.* 1973. 17, N 3. P. 227 – 232.

### *Сведения об авторах*

**МАРТЫНЮК Виктор Семенович** – доктор биологических наук, профессор кафедры биофизики Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, Украина. Тел.: +380506535592; e-mail: mavis@science-center.net

**ТЕМУРЬЯНЦ Наталья Арменаковна** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, Украина; e-mail: timur@crimea.edu

## **EXTREMELY LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS AS A FACTOR OF MODULATION AND SYNCHRONIZATION OF INFRADIAN BIORHYTHMS IN ANIMALS**

**V.S. Martynyuk<sup>1</sup>, N.A. Temuryants<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Vladimir Vernadsky Taurida National University, Ukraine

**Abstract.** With the purpose of verification of hypothesis about synchronizing influence of the electromagnetic fields of natural origin the influence of the magnetic field (MF) with frequency 8 Hz on infradian rhythms of physiological and metabolic processes rats was researched. It was shown that influence of MF changes the parameters of time organization of physiologic and metabolic processes in organism of animals in the infradian range of periods. For separate indices MF-influence realized to disappearance of biorhythmic distinctions between the individual-typological groups of organisms. It, at first, specifies on general system mechanisms of reaction of organism of animals on the action of this factor, and, secondly, testifies to synchronizing influence of daily influence extremely low frequency magnetic fields on population of organisms with initial different biorhythmotypes. The conclusion is done that steady variations of electromagnetic background, including natural, can be a timer for biorhythms in the wide range of periods.

*Keywords:* extremely low frequency magnetic fields, infradian biorhythms, modulation and synchronization of biorhythms.