

УДК 577.35 : 75.033 : 537.868 : 573.22

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ВЛИЯНИЯ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

© 2012 г. В.С. Мартынюк¹, Ю.В. Цейслер¹, Н.А. Темурьянц²

¹ Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев, Украина;

² Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Украина

Обзор посвящен проблеме интерференции механизмов биологического действия электромагнитных полей природного и искусственного происхождения на разных уровнях организации живого. Обсуждается проблема специфичности и неспецифичности ответа организма человека и животных на действие электромагнитных полей на клеточном и организменном уровне.

Ключевые слова: электромагнитные поля, интерференция механизмов биологического действия.

PACS 91.25.fd

Введение

Одним из достижений науки конца XX в. явилось признание того факта, что слабые электромагнитные поля (ЭМП) являются экологически значимым фактором, влияющим на многие биологические процессы. На живые организмы постоянно воздействует природный электромагнитный фон, динамика параметров которого контролируется солнечной активностью и космической погодой в околоземном пространстве, а также метеорологическими и гидро-литосферными процессами [Бруцек, 1980; Мирошниченко, 1981; Владимирский, Темурьянц, 2000]. Частотно-амплитудный и экспозиционный диапазон природных ЭМП весьма широк, однако интерес представляет полоса крайне низких частот (КНЧ) в диапазоне 10^{-3} – 10^3 Гц. При этом вариации электромагнитного поля ионосферного волновода с центральной частотой 8 Гц, а также разнообразные геомагнитные пульсации магнито- и ионосферного происхождения являются одними из наиболее важных составляющих природного электромагнитного фона Земли [Мирошниченко, 1981; Темурьянц и др., 1992; Степанюк, 2002; Cherry, 2002, 2003; Александров, 2005; Клейменова, 2007]. В то же время к диапазону КНЧ приурочено максимальное

электромагнитное «загрязнение» окружающей среды, связанное с техногенной деятельностью человека [Пресман, 1968; Григорьев, 1997; Тихонов и др., 1997]. Важное экологическое значение имеют не только основные промышленные (50–60 Гц) и коммуникационные (70–80 Гц) частоты, но также и шумовые частоты электротранспорта (до 10–20 Гц) и резонансные частоты ионосферного волновода, возбуждаемые электромагнитными волнами техногенного происхождения [Заботин, Жбанков, 1999].

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что природные вариации электромагнитного фона в широком диапазоне периодов являются одними из главных физических посредников, определяющих связь биологических явлений с гео- и космофизическими процессами. Однако эта на первый взгляд простая идея длительное время вызывает жаркие дискуссии, а ее экспериментальное доказательство, как показывает анализ данных литературы, является нетривиальной междисциплинарной задачей.

В решении данного вопроса прослеживаются два основных подхода. Первый подход базируется на сопоставлении рядов наблюдений биологических параметров и рядов динамики космо- и геофизических процессов. Именно этот подход позволил А.Л. Чижевскому и его последователям [Чижевский, 1995; Владимирский, Темурьянц, 2000] обнаружить связь биологических, социальных и физико-химических процессов с солнечной активностью. В этом методическом подходе достаточно информативным является сопоставление данных спектрального анализа временных рядов биологических и гео-космофизических данных [Мартынюк, 2005]. Ретроспективный анализ литературы показывает весь спектр мнений по этому вопросу: от отрицания феномена связи как такового до безоговорочного его принятия. Однако на данный момент большинство исследователей соглашается с тем, что влияние геофизических процессов и процессов, происходящих в ближнем космосе, на биосферу в принципе есть, а поэтому необходимо изучать не только природу и механизмы такого влияния, но и причины его отсутствия, отмеченного в отдельных работах. Важно отметить, что в последнее время проводятся исследования, которые позволяют понять причины плохой сопоставимости данных разных исследователей [Клейменова, Козырева, 2008; Зенченко и др., 2009, 2010].

Второй подход основывается на экспериментальном изучении механизмов биологической активности электромагнитных полей и излучений в широком диапазоне частот. Этот подход более сложен, так как требует взаимопонимания специалистов совершенно разных сфер научной деятельности: физики, биологии, экологии и медицины. Тем не менее уже накоплен огромный массив экспериментальных данных, убедительно доказывающих биологическую активность слабых магнитных полей (МП) КНЧ порядка 10^{-4} – 10^{-6} Тл. Имеются отдельные работы, которые показывают достоверное влияние МП КНЧ с индукцией в диапазоне 10^{-8} – 10^{-12} Тл [Qin et al., 2005], что свидетельствует о крайне высокой чувствительности живых организмов к данному фактору. Биологические эффекты МП КНЧ обнаружены на всех уровнях организации живых систем. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что под действием МП КНЧ изменяется поведение человека [Сидякин, 1986; Сидякин и др., 1995; Tokalov, Gutzeit, 2004], электрическая активность его нервной и других электрически активных тканей [Bell et al., 1992, 1994; Бреус и др., 2002], активность разных звеньев нейроэндокринной [Темурьянц и др., 1992; Гаркави и др., 1998, 1990; Темурьянц, Шехоткин, 1999] и иммунной [Темурьянц, Михайлов, 1988; Думанский, Ногачевская, 1992; Темурьянц, Шехоткин, 1999] систем, метаболическая активность различных органов и тканей [Евтушенко и др., 1978; Чернышева, 1987; Колодуб, 1989], активность отдельных звеньев внутриклеточной сигнализации [Goodman, Henderson, 1988; Craviso et al., 1995; Lyburdy, Eckert, 1995], синтез белков и нуклеиновых кислот в клетках [Goodman et al.,

1983; Goodman, Henderson, 1986; Blank, Goodman, 2001; Lin et al., 2001]. Электромагнитное экранирование вызывает также заметные изменения активности биологических процессов [Темурьянц и др., 2008]. Имеются теоретические и экспериментальные данные о влиянии МП КНЧ на структурно-функциональные свойства белков и нуклеиновых кислот [Фесенко и др., 1997; Новиков и др., 1999]. Однако, несмотря на обилие доказательств биологической активности МП КНЧ, исследователи отмечают, что результаты, полученные в разное время разными учеными, трудно сопоставимы между собой и часто имеют противоречивый характер, что существенно затрудняет понимание как первичных, так и системных механизмов действия МП КНЧ [Бинги, 2002]. Кроме того, в литературе крайне редко рассматривается вопрос об «интерференции» возможных первичных механизмов действия данного физического фактора и их интегрировании на клеточном и организменном уровне.

Анализ обширной литературы в области электромагнитной биологии и результаты собственных исследований свидетельствуют о том, что эффекты МП КНЧ, близких по своим характеристикам к электромагнитным полям природного и техногенного происхождения, проявляются на всех уровнях организации живых организмов. При этом МП КНЧ как всепроникающий фактор одновременно действует на все клетки и ткани организма, поэтому на разных уровнях организации синхронно реализуются разноуровневые эффекты, которые на системном уровне реализуются в виде неспецифических адаптационных реакций. Такие неспецифические реакции проявляются как на клеточном, так и на организменном уровне.

Следует также отметить еще одну важную особенность влияния электромагнитных факторов на живые системы. В большинстве экспериментальных исследований регистрируют ответ клетки или многоклеточного организма в пределах физиологической нормы реакции, т.е. в тех пределах, в которых осуществляется обычные реакции на другие неповреждающие раздражители. И лишь только при относительно сильном и длительном воздействии электромагнитных факторов регистрируются патологические нарушения, которые носят неспецифический характер. Поэтому очень часто исследователи задаются вопросом: может ли воздействие ЭМП на живые организмы носить какой-либо специфический характер? Если да, то в чем и на каких уровнях организации проявляется эта специфичность? Ответ на данный вопрос невозможен без понимания механизмов действия электромагнитных полей на молекулярном, клеточном и организменном уровнях.

Первичные механизмы действия МП КНЧ

На данном этапе развития электромагнитной биологии имеется ряд теоретических представлений о первичных механизмах биологического действия слабых МП КНЧ [Бинги, 2002]. Однако рассмотрение механизмов действия МП КНЧ на клеточном уровне уже требует учета «интерференции» разных механизмов на молекулярном уровне, которые могут одновременно реализовываться в клетке. Анализ литературных данных и результаты собственных исследований авторов позволили интегрировать современные представления о механизмах действия слабых МП КНЧ на молекулярном и клеточном уровнях в виде схемы.

Среди предлагаемых в настоящее время механизмов влияния МП КНЧ на первичном молекулярном уровне наибольший интерес вызывают так называемые резонансные и водные механизмы.

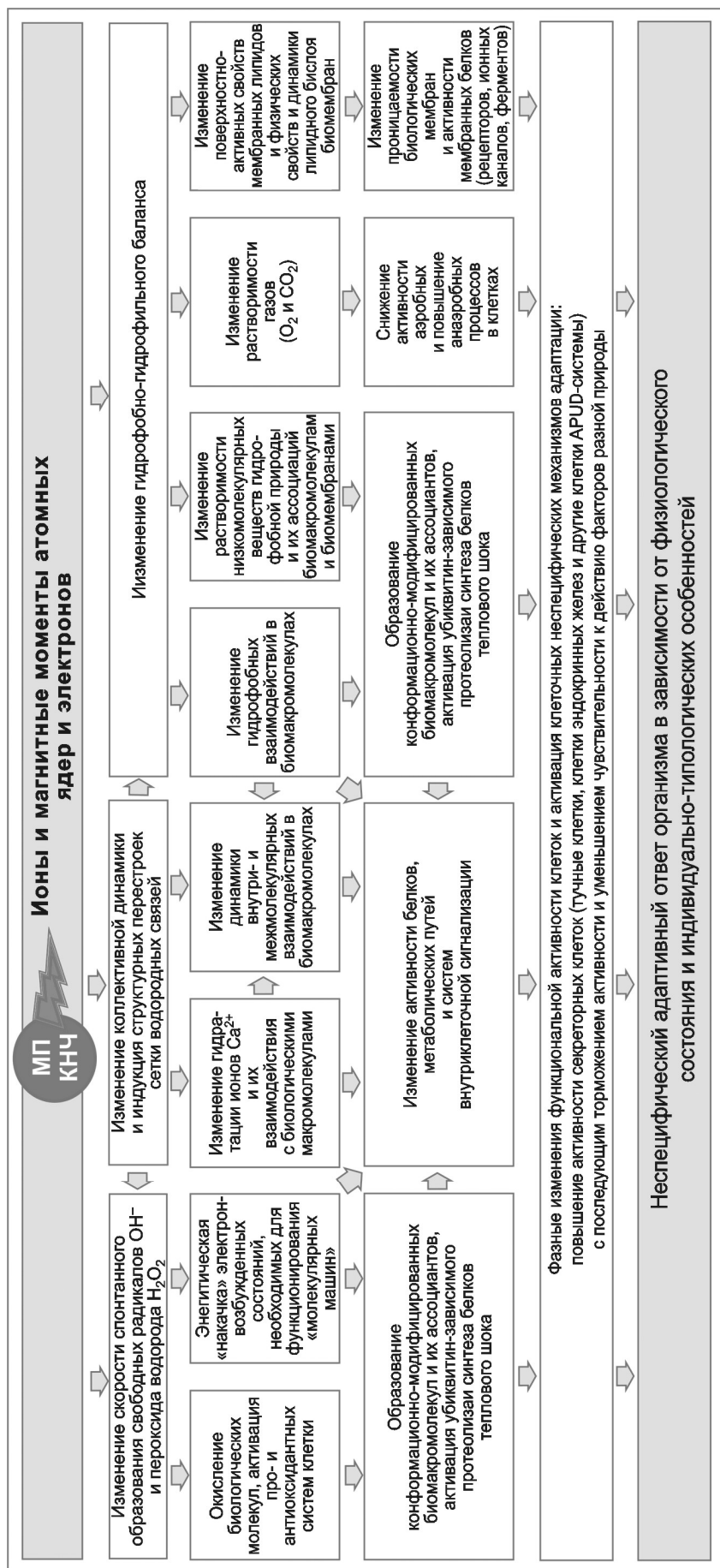


Схема интерференции основных механизмов действия магнитных полей крайне низких частот на физико-химическом, молекулярном и клеточном уровне. Пояснения см. в тексте

Ион-резонансные механизмы

Суть «ион-резонансных» гипотез заключается в том, что «мишенями» действия МП КНЧ являются биологически важные ионы. Гипотезы основаны на экспериментальных результатах. Установлено, что для некоторых моделей биологических процессов максимальные магнитобиологические эффекты наблюдаются на частотах, формально совпадающих с частотами циклотронного резонанса в геомагнитном поле для таких биологически важных ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ и др. [Леднев и др., 1996; Белова и др., 2010]. Было предложено несколько вариантов теоретической интерпретации того, каким образом МП КНЧ оказывает влияние на взаимодействие ионов с белками и приняты попытки их экспериментальной проверки [Blackman et al., 1994; 1995; Леднев и др., 1996].

Итоги дискуссии по этому вопросу показывают, что предлагаемые теоретические объяснения с классической физической точки зрения недостаточно корректны, а наблюдаемые в эксперименте магнитобиологические эффекты могут быть объяснены на основе явлений квантовой интерференции [Бинги, 2002, 2004] и разных видов спиновой конверсии [Дроздов и др., 2010]. При этом явно просматривается общность известных резонансных явлений, характерных для магнитных моментов атомных ядер и электронных орбиталей, и «ионных резонансов», что явно указывает на общую квантовую природу наблюдаемых явлений [Захаров, 2010]. Рассмотрение этой проблемы с позиций квантовой физики позволяет не только по-новому увидеть физическую суть «ион-резонансных» и других явлений, но и открывает гораздо более широкие перспективы для теоретического объяснения магнитобиологических эффектов [Бинги, 2002].

Указанные выше теоретические построения не объясняют всего разнообразия известных магнитобиологических эффектов. Это в первую очередь связано с тем, что ионы и все другие компоненты живых систем, которые могут выступать в качестве мишеней действия МП КНЧ, «работают» в особой по своим свойствам конденсированной среде – в воде.

Влияние МП КНЧ на физико-химические свойства воды, водных растворов и коллоидных систем

Суть «водных» гипотез состоит в том, что первичным акцептором слабых электромагнитных полей является водная фаза, фрактальная квазикристаллическая структура которой реально находится в метастабильном состоянии и постоянно меняется вследствие спонтанного протекания в ней свободнорадикальных процессов и спонтанных перестроек пространственной организации водородных связей [Бинги, 1998; Бецкий и др., 2003; Акопян, Айрапетян, 2005]. Именно такое метастабильное динамичное состояние является ключевым фактором чувствительности водной фазы к слабым МП КНЧ. При этом факторы, которые структурируют воду, т.е. способствуют образованию кластеров и клатратных полостей, повышают чувствительность водной фазы к электромагнитным воздействиям [Colic, Morse, 1998]. Воздействие факторов разной природы, в том числе и МП КНЧ, изменяет динамику структурных перестроек [Калинина и др., 2003; Холмогоров и др., 2003; Черников, 1990а, б, 2003], что приводит к изменению структуры водных кластеров и более крупных водных «конструкций» разной природы [Пономарев, Фесенко, 2000; Лобышев и др., 2003; Смирнов и др., 2004; Мартынюк, Нижельская, 2009]. Учитывая тот факт, что вода является своеобразной матрицей, которая определяет организацию поверхности биомолекул и их пространственную структуру в целом [Bullienkov, 1998; Лобышев и др., 2003], а также является одним из

факторов, определяющих микро- и макромасштабную динамику молекулярных конструкций [Кяйверяйнен, 1980, 1989], МП-индуцированные изменения динамики водной фазы должны приводить к соответствующим изменениям динамики внутримолекулярных сегментов белковых молекул [Ильина и др., 1979; Кяйверяйнен, 1989; Слесарев, Шабров, 2006] и, как следствие, к изменению структурно-функциональных свойств белков.

В литературе рассматривается еще один биологически важный, опосредованный через воду канал влияния МП КНЧ на живые системы. Речь идет о влиянии электромагнитных полей на стабильность ионов Ca^{2+} в водных системах. Данные ионы являются одними из универсальных внутриклеточных мессенджеров в разных путях клеточной сигнализации и регулируют широкий спектр внутриклеточных процессов. Повышение концентрации свободного Ca^{2+} в клетке переводит ее, как правило, в активное функциональное состояние. Давно известно, что ионы Ca^{2+} относятся к классу ионов, которые понижают структурную температуру воды, т.е. ионы Ca^{2+} способствуют стабилизации сети водородных связей, являясь ионными структураторами воды [Привалов, 1968; Кисловский, 1989, 2005]. Учитывая тот факт, что структурирующие вещества повышают чувствительность водных систем к действию слабых электромагнитных факторов [Colic, Morse, 1998], а также крайне важную биологическую роль ионов кальция как «информационного посредника» в системе клеточной регуляции, становится понятным, почему биологические эффекты ЭМП очень часто напрямую связаны с состоянием этих ионов в клетке.

Весьма важным является также тот факт, что во многих экспериментальных исследованиях показан резонансный ответ биосистем на действие МП КНЧ, который формально реализуется на частотах циклотронного резонанса ионов Ca^{2+} . Это доказывает, что одной из мишеней действия МП КНЧ в биологических системах являются физико-химические и молекулярно-биологические процессы, определяющие концентрацию свободных ионов Ca^{2+} и, вероятно, устойчивость их гидратной оболочки. Поэтому нельзя исключить, что повышенная биологическая активность МП на «циклотронных» частотах связана не с влиянием данного фактора на состояние ионов Ca^{2+} в белковых центрах связывания, а с воздействием на стабильность гидратной оболочки ионов Ca^{2+} и клатратов, стабилизируемых гексааквакомплексами этих ионов, и тем самым на соотношение свободной и связанной с биомолекулами формы данного иона [Кисловский, 1989, 2005].

Основываясь на идеях, развиваемых Л.Д. Кисловским [Кисловский, 1989, 2005], можно предположить, что динамическая структура воды в клетке, находящейся в функционально неактивном состоянии, такова, что не позволяет ионам кальция образовывать устойчивую гидратную оболочку, в результате чего равновесие сдвинуто в сторону ассоциации ионов Ca^{2+} с биомакромолекулами. Однако, если воздействие МП КНЧ индуцирует в воде структурные перестройки, разрушая структурный «мотив» функционально неактивного состояния, то ионы Ca^{2+} гидратируются, переходят в свободное состояние и способствуют формированию нового структурного функционально-активного «мотива» в динамической структуре воды. При этом, если МП КНЧ воздействует на биологический объект, находящийся в функционально активном состоянии, что «запечатлено» в динамической структуре воды, то может иметь место обратный процесс, т.е. ионы Ca^{2+} будут терять гидратную оболочку и переходить в связанное состояние, тем самым переключая клетку в неактивное (или другое) функциональное состояние. Таким образом, данная гипотеза в определенной степени позволяет объяснить феномены активирующего и нормализующего («антистрессорного») действия МП КНЧ [Гаркави и др., 1990; 1998; Темурьянц, 1992; Темурьянц и др., 1992; Темурьянц,

Шехоткин, 1999], которые невозможно объяснить на основе идеи об ионных резонансах. Работы В.В. Леднева и сотр. [Белова и др., 2003] показывают возможность влияния магнитных полей, формально настроенных на «ионный параметрический резонанс» в геомагнитном поле, на водные растворы карбоната кальция, что, на наш взгляд, подтверждает справедливость «водных» гипотез.

На предложенной нами схеме показано, что МП-индуцированные изменения динамической структуры воды приводят к изменению гидрофобно-гидрофильного баланса в водных системах, которое проявляется в изменении растворимости неполярных веществ (как правило, в сторону снижения) в воде и их взаимодействия с биомакромолекулами (как правило, в сторону усиления) [Мартынюк, Шадрина, 1999; Мартынюк и др., 2003; Martyniuk, Tseysler, 2006]. Сдвиг гидрофобно-гидрофильного баланса сказывается на изменении гидрофобных взаимодействий в макромолекулярных структурах, что, вероятно, является одной из основных причин динамических конформационных перестроек в белках, которые зарегистрированы авторами [Мартынюк и др., 2004; Martyniuk et al., 2004], а также другими исследователями [Serpensu, Tsong, 1983; Фесенко и др., 1997; Швецов и др., 1998; Антропов, Максимов, 1999; Новиков и др., 1999]. При этом в экспериментальных моделях, в которых проводится нагрузка биомакромолекул низкомолекулярными гидрофобными веществами, эффекты влияния МП КНЧ на структурные характеристики существенно выше [Martyniuk, Tseysler, 2006]. Учитывая тот факт, что ряд веществ, использующихся в живых системах в качестве сигнальных и регуляторных (стероидные гормоны, внутриклеточный мессенджер диацилглицерол и др.), проявляют выраженные гидрофобные свойства, можно ожидать самые разнообразные функциональные изменения как со стороны отдельных клеток, так и со стороны целых органов и функциональных систем многоклеточного организма.

Как известно, газы, в том числе и кислород, растворяются в воде по гидрофобному механизму [Кантор, Шиммель, 1984]. При этом газы находятся как в истинно растворенном состоянии, так и в виде нанопузырьков и их фрактально организованных агрегатов [Bunkin et al., 2009]. Неудивительно, что перестройки динамической структуры воды, индуцированные действием ЭМП, приводят к снижению растворимости воздуха и уменьшению концентрации кислорода и углекислого газа в клетках и межклеточной среде [Сташков, Горохов, 1998; Емец, 2000]: на такие изменения клетки отвечают активацией анаэробных процессов. Видимо, поэтому многие исследователи отмечали повышение активности гликолитических реакций и увеличение продукции молочной кислоты в разных тканях [Евтушенко и др., 1970, 1978; Колодуб, 1989]. Одновременно с этим снижение концентрации углекислого газа тоже может приводить к нежелательным эффектам, особенно если это относится к процессам поддержания кислотно-щелочного баланса крови и процессам сопряженной регуляции транспорта кислорода и углекислого газа в крови. Следует отметить и тот факт, что газовая фаза в водной среде играет важную роль в структурной организации и функции биологических макромолекул [Пивоваренко, Мартынюк, 2009; Шаталов, 2009; Doshi et al., 2010].

Индукцированные действием МП КНЧ изменения гидрофильно-гидрофобного баланса сказываются и на проявлении поверхностно-активных свойств фосфолипидов и других веществ природного происхождения [Панова и др., 1998; Мартынюк, Панов, 2001; Martyniuk, Panov, 2004]. Такие изменения, видимо, вызывают изменения проницаемости мембран [D'Inzeo et al., 1993; Ramundo-Orlando et al., 1995] и их гидрофильности и гидрофобности [Fesenko, Gluvstein, 1995]. С другой стороны, при таких изменениях физико-химических свойств мембран можно ожидать Ca^{2+} -независимой стимуляции спонтанной секреции содержимого цитоплазматических гранул вследствие их слияния с

плазматической мембраной. При этом повышение проницаемости мембран для ионов Ca^{2+} и/или их переход в свободное состояние будет дополнительно стимулировать Ca^{2+} -зависимые пути регуляции секреции. Такой комбинированный (зависимый и независимый от ионов Ca^{2+}) механизм действия МП КНЧ, видимо, является доминирующим в секреторных клетках [Мартынюк, Абу Хада, 2001, 2003; Мартынюк и др., 2001а], которые выделяют различные биологически активные вещества и участвуют в формировании генерализованного ответа на организменном уровне. Совокупность этих клеток в организме человека и животных рассматривают в качестве отдельной функциональной системы диффузно распределенных клеточных элементов – APUD-системы [Лукьянчиков, 2005]. Она играет важную роль в механизмах действия МП КНЧ на региональном (тканевом) и организменном уровнях.

Влияние МП КНЧ на генерацию активных форм кислорода

Согласно литературным данным имеется еще один канал влияния МП КНЧ на биологические процессы, опосредованный через структурные перестройки воды. Он связан с тем, что указанные структурные перестройки в областях взаимодействия кластеров сопровождаются разрывом ковалентных связей в молекуле воды и генерацией атомов водорода и OH^{\bullet} -радикалов [Voeikov, 2006]. Считается, что вероятность непосредственного влияния слабых (менее 100 мкТл) МП КНЧ на рекомбинацию свободных радикалов крайне мала, поэтому биологические эффекты данного фактора будут определяться в основном изменениями скорости генерации свободных радикалов. Однако последние исследования показывают принципиальную возможность МП КНЧ влиять и на рекомбинацию радикальных пар, при этом такое влияние носит немонотонный характер и зависит от частоты и амплитуды МП [Шигаев и др., 2003].

Модуляция продукции свободных радикалов в воде и их рекомбинации при действии МП КНЧ, которая была показана еще в работах Дж. Пиккарди [Пиккарди, 1967], должна индуцировать изменение активности перекисного окисления биологических молекул и, соответственно, активности анти- и прооксидантных систем в клетке. Вполне вероятно, что наблюдаемые в эксперименте изменения в состоянии тиол-дисульфидного обмена и процессов перекисного окисления липидов [Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б., 2001б; Мартынюк и др., 2001; Мартынюк, Кучина, 2004] в определенной степени связаны с указанным механизмом влияния МП КНЧ. Экспериментальные данные о МП-индуцированном ускорении гидролиза белков в водных растворах [Швецов и др., 1998; Новиков и др., 1997, 2000; Новиков, 2005] могут быть объяснены МП-индуцированным повышением продукции свободных радикалов в воде. Одновременно с этим увеличение количества разрывов ДНК при экспозиции клеток в МП КНЧ [Testa et al., 2004] также может быть объяснено активацией свободнорадикальных процессов.

В последнее время отдельные исследователи [Blank, Goodman, 1995; Voeikov, 2006] рассматривают спонтанную генерацию активных форм кислорода в воде как естественный и необходимый процесс, обеспечивающий энергетическую «накачку» метастабильного состояния воды. Такая энергетическая накачка осуществляется за счет воздействия на воду и водные системы разнообразных факторов, в том числе и МП КНЧ. В то же время подчеркивается, что энергия электронного и вибронного возбуждения в воде, генерируемая в реакциях рекомбинации радикальных пар, используется «молекулярными машинами» для осуществления своих рабочих циклов. В связи с этим предполагается, что МП КНЧ, оказывая влияние на генерацию свободных радикалов в воде, опосредованно влияет на внутримолекулярную динамику «молекулярных машин» –

белков, тем самым повышая или понижая их функциональную активность. Логично предположить, что характер и направленность таких изменений должны зависеть в первую очередь от природы белка и его исходного структурного состояния.

Образование модифицированных форм белков

МП-индуцированные изменения гидрофобных взаимодействий в биомакромолекулах и связывания неполярных молекул с биополимерами и мембранами, изменения свойств липидного бислоя и продукции свободных радикалов приводят к появлению в клетке структурно-модифицированных форм белков (см. схему). При этом вероятность возникновения МП-индуцированных структурных модификаций существенно повышается в условиях функциональной нагрузки белков [Martynyuk, Tseysler, 2006], при которой они испытывают естественные конформационные перестройки [Кяйверяйнен, 1980, 1989]. Такое воздействие МП КНЧ приводит не только к образованию конформационно-модифицированных макромолекул, но и белковых агрегатов, что, с одной стороны, активирует систему убиквитин-зависимого протеолиза белков, а с другой – запускает синтез белков теплового шока [Blank, Goodman, 1995; Goodman et al., 1995; Tokalov, Gutzeit, 2004], которые, как известно, в клетке выполняют защитную функцию посредством их ассоциации с биомакромолекулами и представляют собой одно из важных звеньев в неспецифических механизмах клеточной адаптации [Hinault, Goloubinoff, 2007]. Это объясняет повышенную устойчивость клеток организма к действию стресс-факторов и ионизирующей радиации после предварительной их экспозиции в магнитном поле [Копылов, Троицкий, 1982; Кудряшов и др., 2006] и усиление повреждающего действия факторов при их одновременном воздействии с МП КНЧ [Копылов, Троицкий, 1982; Томашевская и др., 1999; Kouyama et al., 2005; Кудряшов и др., 2006].

Таким образом, анализ литературных данных и результатов собственных исследований позволяет сделать вывод, что для объяснения и понимания специфических и неспецифических механизмов действия МП КНЧ «водные» гипотезы являются более универсальными. Однако следует помнить, что в иерархии уровней организации биологических процессов это гипотезы «второго», т.е. физико-химического, уровня. «Водные» гипотезы могут объяснить дистанционное воздействие ЭМП и биологическую активность омагниченных растворов [Ильина и др., 1979; Huib, Bakker, 1999; Бинги, 2003; Слесарев, Шабров, 2006], поэтому данное направление исследований следует рассматривать как одно из наиболее интересных и перспективных в современной электромагнитной биологии.

Биологические механизмы действия МП КНЧ

В нижней части приведенной ранее схемы показано, что указанный выше комплекс МП-индуцированных изменений со стороны разных процессов и их интерференция приводят к генерализированной реакции клеток, которая зависит как от функциональной специализации клеток, так и от их функционального состояния (покой, активность или стресс), определяющего, будет ли происходить функциональная активация клетки или же подавление ее активности при одновременной активации комплекса клеточных неспецифических адаптационных реакций.

Литературные данные показывают, что выраженность и направленность указанных эффектов зависит от частоты МП КНЧ; при этом «частотные эффекты», в свою очередь, зависят от амплитуды как переменной, так и постоянной компоненты МП, на фо-

не которой осуществляется воздействие переменной компонентой. Вероятно, можно говорить о частотно-амплитудной «специфичности» действия МП КНЧ. Это, с одной стороны, существенно расширяет спектр возможных биологических эффектов, а с другой – создает серьезные проблемы с воспроизводимостью экспериментальных результатов, получаемых разными исследовательскими коллективами.

Таким образом, понимание специфичности действия МП КНЧ усложняется тем, что в клетке одновременно реализуются все перечисленные выше механизмы, и какой из этих механизмов вносит наибольший вклад в генерализованную реакцию зависит от функциональной специализации клетки, ее исходного физиологического состояния, частотно-амплитудных и экспозиционных характеристик магнитополевого воздействия. Этим объясняется большое количество эффектов МП КНЧ, полученных на разных молекулярных и клеточных моделях, которые трудно сопоставлять и теоретически интерпретировать, что вызывает справедливые замечания со стороны ученых-теоретиков.

Несмотря на «многоканальность» воздействия МП КНЧ на молекулярном и физико-химическом уровне, генерализованная специфика клеточной реакции на действие этого фактора зависит от структурно-функциональной специализации клеток. Можно выделить ряд клеточных элементов организма, которые демонстрируют более высокую чувствительность и реактивность на действие МП КНЧ [Темурьянц, Шехоткин, 1999; Мартынюк, Абу Хада, 2001, 2003]. Практически все они относятся к группе клеток APUD-системы.

Клетки APUD-системы как сенсоры МП КНЧ

Как известно, APUD-система наряду с нервной и эндокринной системами представляет собой особую интегративную систему регуляции организма, которая состоит из особых клеток-апудоцитов, расположенных повсеместно в тканях и обладающих специфическими ультраструктурными и цитохимическими свойствами. Особенностью ультраструктуры апудоцитов является наличие цитоплазматических, связанных с клеточной оболочкой микрогранул, заполненных биоактивными субстанциями. Цитохимическая специфика этих клеток заключается в способности поглощать и расщеплять моноамины, точнее, 5-гидрокситриптофан и L-дигидроксифенилаланин, из которых при помощи L-дофадекарбоксилазы и других ферментов синтезируются биогенные амины и пептидные гормоны. Именно эти цитохимические свойства отражены в аббревиатуре APUD (amine precursor uptake and decarboxylation). В русскоязычной литературе эта система получила название диффузной нейроиммунноэндокринной системы (ДНИЭС).

APUD-система соединяет нервную, эндокринную и иммунную системы в единый комплекс с дублирующими и отчасти взаимозаменяемыми структурами и функциями. Ее физиологическая роль – регуляция фактически всех биологических процессов на всех уровнях – от субклеточного до системного [Лукьянчиков, 2005]. APUD-систему составляет около 60 типов клеток, обнаруживаемых в ЦНС (гипоталамусе, мозжечке), железах внутренней секреции (гипофизе, эпифизе, щитовидной железе, островках поджелудочной железы, надпочечниках, яичниках), в тимусе и лимфатических узлах, желудочно-кишечном тракте, легких, почках и мочевых путях, параганглиях, плаценте и соединительной ткани. К клеткам APUD-системы относят тучные клетки, тироциты, эндокринные клетки желудочно-кишечного тракта, хромафинные клетки надпочечников, нейросекреторные клетки гипоталамуса, пинеалоциты эпифиза, паратироциты паращитовидных желез, лейкоцитарные гранулоциты, а также эндокриноциты аденогипофиза, плаценты, поджелудочной железы, респираторного дерева, почек, кожи и дру-

гих органов и тканей. Одной из особенностей этих клеток является расположение около кровеносных сосудов, среди клеток, находящихся в составе эпителия и соединительной ткани. Апудоциты синтезируют широкий спектр медиаторов и тканевых гормонов (гистамин, серотонин, мелатонин, адреналин, норадреналин, ДОФА), в том числе и пептидной (соматотропный гормон, цитокины, АКТГ, АДГ, эндорфины, энкефалины, фактор некроза опухоли и многие другие) и стероидной (тестостерон, прогестерон, эстрогены) природы. В норме секреция данных веществ апудоцитами осуществляется под действием внешних стимулов.

Наши исследования показали высокую чувствительность тучных клеток к действию ЭМП как в условиях *in vivo*, так и *in vitro* [Мартынюк, Абу Хада, 2001, 2003]. В то же время имеются данные об ЭМП-индуцированном изменении функциональной активности пинеалоцитов [Lerchl *et al.*, 1991], клеток мозгового вещества надпочечников [Goodman, Henderson, 1988], гранулярных лейкоцитов [Nordenson *et al.*, 1984], клеток гипоталамуса [Боголюбов *и др.*, 1992], гипофиза [Мороз, 1984] и клеток щитовидной железы [Воронцова *и др.*, 1999].

Таким образом, при воздействии МП КНЧ на целый организм каждая ткань и орган реагирует в соответствии с клеточным представительством в них APUD-системы и характером распределения ее клеточных элементов. Так, в соединительной ткани в межклеточном пространстве, а также в условиях *in vitro* повышается активность тучных клеток [Мартынюк, Абу Хада, 2003]. Учитывая широкий спектр биологической активности веществ, которые выделяют тучные клетки, происходит запуск каскада реакций, приводящих в конечном итоге к изменению водно-солевого, энергетического, трофического и газотранспортного баланса в тканях. Такое развитие событий должно приводить в первую очередь к повышению функциональной нагрузки на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы. Вероятно, именно по этой причине во время геомагнитных возмущений и бурь, вызванных изменением космической погоды, а также в периоды быстрых изменений атмосферной динамики, сопровождающихся электромагнитными всплесками [Александров, 2005], повышается риск развития гипертонических кризов, инсультов и нарушений работы сердца [Птицына *и др.*, 1998; Бреус *и др.*, 2002; Атьков *и др.*, 2006]. Развитие указанного комплекса изменений тканевого гомеостаза в ЦНС в ответ на изменение электромагнитного фона приводит к снижению внимания и, как следствие, к повышению риска авиационных и дорожных происшествий [Сидякин, 1986; Зенченко *и др.*, 2006].

В иммунной системе действие МП КНЧ приводит к прямой активации полиморфноядерных лейкоцитов [Темурьянц, Михайлов, 1988], что в конечном счете отражается на показателях неспецифической резистентности [Темурьянц, Михайлов, 1988; Темурьянц, 1992; Темурьянц, Шехоткин, 1999]. МП-индуцированная активация клеток мозгового вещества надпочечников приводит к повышению уровня катехоламинов в крови [Craviso *et al.*, 1995]. Магниточувствительность апудоцитов желудочно-кишечного тракта практически не изучена, однако логично предположить, что эти клетки также отвечают стереотипной реакцией на действие МП КНЧ. Таким образом, МП-индуцированные функциональные изменения в разных органах и тканях являются сигналом для ЦНС об изменении гомеостаза; в ответ на это в организме активируется гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система и запускается сложный комплекс неспецифических адаптационных реакций, направленный на ограничение или модификацию функциональной активности одних функциональных систем и повышение активности других. Поэтому на организменном уровне практически нет серьезных оснований ожидать специфических реакций на действие МП КНЧ.

Характер развивающихся неспецифических адаптационных изменений зависит как от параметров МП КНЧ (частота, амплитуда и экспозиция), так и от исходного физиологического состояния [Гаркави и др., 1990, 1998; Темурьянц, 1992; Темурьянц и др., 1992а, б] и индивидуально-типологических особенностей [Темурьянц, Грабовская, 1992; Темурьянц и др., 1995; Темурьянц, Шехоткин, 1999] организма человека и животных. Вероятно, именно по этой причине обнаруживается разная реакция организма человека на геомагнитные возмущения в летние и зимние месяцы [Клейменова, Козырева, 2008], так как в эти периоды года адаптационные возможности организма сильно различаются. При этом кратковременное и короткопериодическое воздействие МП КНЧ на организменном уровне вызывает неспецифические адаптационные реакции «активации» и «тренировки» [Гаркави и др., 1989, 1990; Темурьянц, 1992], а сильное и длительное воздействие данного фактора в сочетании с другими воздействиями приводит к развитию функциональных изменений по типу стресс-реакции по Селье [Измеров и др., 1996].

Индукционные механизмы и стохастический резонанс в живых системах

Рассмотренный выше каскад биологических механизмов действия МП КНЧ не исключает другие пути влияния данного фактора на многоклеточные организмы. Так, на организменном уровне вполне возможна реализация индукционных механизмов. Физической основой для их реализации является сложная система электропроводящих контуров в организме человека и животных, в которых в соответствии с законом Фарадея меняющееся во времени магнитное поле генерирует электрическое поле, которое в электропроводящем контуре приводит к появлению электродвижущей силы (ЭДС). Возможность такого влияния детально проанализирована в работе [Птицына и др., 1998]. Нервная, сердечно-сосудистая и лимфатическая системы организма являются ярким примером такой трехмерной системы электропроводящих контуров. При вариациях потока магнитной индукции в таких контурах возникают переменные электродвижущие силы (ЭДС) в области крайне низких частот, которые акцептируются нейронами. Согласно расчетам величина наведенной ЭДС в электрическом поле 1 В/м в электропроводящем контуре клеточных размеров составляет 10^{-4} В [Бинги, 2002]. Это очень малая величина, поэтому усиление сигнала можно обеспечить повышением числа витков в контуре или увеличением его размеров. Такое усиление в организме человека и животных вполне возможно, если учесть, что реальные линейные размеры нервных, лимфатических и сосудистых электропроводящих контуров, соединенных последовательно и параллельно, могут составлять от нескольких миллиметров или сантиметров до нескольких метров. В таком случае значения наведенной ЭДС могут достигать уровня десятка милливольт, что уже достаточно для пороговой деполяризации мембраны нейрона и развития потенциала действия.

Дополнительное усиление сверхслабых ЭДС, наводимых природными и техногенными МП КНЧ, может осуществляться по механизму стохастического резонанса. Явление стохастического резонанса состоит в перераспределении спектра мощности динамической переменной метастабильной системы под действием слабой детерминированной силы на фоне аддитивного шума [Benzi et al., 1981]. Показано, что данный механизм может реализовываться на уровне нейрональных сетей с целью усиления слабых сигналов [Kruglikov, Dertinger, 1994] или в ансамблях ионных каналов, локализованных в биологических мембранах [Bezrukov, Vodjanov, 1997; Galvanovskis, Sandbiom, 1997]. Его суть заключается в том, что на случайные колебания какого-либо параметра, например подпороговые колебания мембранного потенциала, дополнительно накладыва-

вается периодический слабый электрический сигнал, возникающий, например, в результате реализации индукционных механизмов. В результате такого наложения повышается вероятность возникновения флуктуаций мембранного потенциала порогового уровня и формирования потенциала действия. Чем сильнее накладываемый на подпороговые флуктуации периодический сигнал, тем выше вероятность возникновения потенциала действия. При этом важным моментом является то, что роста чувствительности такой системы к слабому периодическому воздействию можно добиться и повышением уровня ее внутреннего шума.

Следует отметить, что в нервной системе имеется еще один надежный способ усиления слабых электрических подпороговых флуктуаций мембранного потенциала. Это широко известный механизм пространственно-временной суммации потенциалов подпорогового уровня. Поэтому сложная трехмерная система «электропроводящих контуров» организма может функционировать как высокочувствительный датчик МП КНЧ с высоким коэффициентом усиления. Вполне вероятно, что по такому индукционно-стохастически-резонансному принципу функционирует «магнитный компас» у птиц и животных, который позволяет им эффективно ориентироваться в пространстве [Diego-Rasilla et al., 2005]. При этом становятся понятными причины дезориентации птиц во время всплесков геомагнитной активности [Shreiber, Rossi, 1979]. Поскольку геомагнитные импульсы характеризуются разной полярностью и разным вращением плоскости поляризации, то результирующий геомагнитный вектор, положение которого отслеживает магнитонавигационная система мозга птиц, все время колеблется, в результате чего траектория полета птиц становится более хаотической, а на перелет затрачивается больше времени.

Механизм стохастического резонанса может быть успешно применен и для объяснения индивидуально-типологических особенностей реакций организма на действие МП КНЧ. Дело в том, что важной особенностью данного механизма является то, что шум, который всегда имеет место в физических и биологических системах (например, подпороговые колебания мембранного потенциала), является одним из факторов, повышающих чувствительность «магнитного биодетектора». В биологических системах уровень шума может регулироваться параметрически (например, регуляция спонтанного выделения квантов нейромедиатора в синаптическую щель или активности моноаминоксидаз, регулирующих концентрацию неймедиаторов в синаптической щели). Это позволяет организму изменять диапазон чувствительности к МП КНЧ, что имеет важное значение для адаптации организма к изменениям во внешней среде обитания. Но активность молекулярных и клеточных систем, осуществляющих параметрическую регулировку шума, также меняется под действием МП КНЧ. В этом случае можно ожидать интерференцию механизмов разной природы, реализуемых на разных уровнях организации, в результате чего происходит дополнительное усиление или ослабление входящего сигнала или компенсация эффектов. Соответственно можно ожидать либо выраженную чувствительность и реактивность организма на действие МП КНЧ, либо слабую реакцию, либо отсутствие какого-либо эффекта.

Необходимо отметить, что экспериментальные данные убедительно свидетельствуют о зависимости реакции организма животных на действие МП КНЧ от его индивидуально-типологических особенностей [Темурьянц и др., 1995; Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б., 2001; Мартынюк и др., 2001б]. Показано, что животные с низкой активностью в «открытом поле» активнее реагируют на действие МП КНЧ. Одна из причин такой чувствительности, вероятно, связана с более высокой возбудимостью отделов ЦНС, которые отвечают за формирование отрицательных эмоций страха и тревоги. Такие особенности организации процессов в ЦНС, в свою очередь, определяют характер ней-

роиммунноэндокринной регуляции в организме. Можно предположить, что у низкоактивных в «открытом поле» животных в нейрональных структурах мозга, отвечающих за указанные эмоции, уровень «шума» более высокий, что обеспечивает высокую чувствительность данных отделов ЦНС к действию разнообразных факторов, приносящих дополнительный сигнал, в том числе и МП КНЧ. Вероятно, соответствующий гормональный фон, характерный для данной группы животных, а именно повышенный базовый уровень стресс-гормонов в крови [Коплик и др., 1995а, б], дополнительно способствует поддержанию повышенной возбудимости разных отделов их головного мозга и, соответственно, высокой чувствительности к действию МП КНЧ.

Следует отметить, что для рассматриваемых системных механизмов действия МП КНЧ, вероятно, не существует принципиальных различий в том, какой сигнал вносится – периодический или шумоподобный. Сравнительный анализ данных литературы и собственных исследований по влиянию импульсного МП КНЧ частотой 8 Гц и МП со сложным спектром показывают, что на системном уровне в целом развивается сходная однотипная неспецифическая реакция, проявление которой в большей степени зависят от индивидуально-типологических особенностей животных, чем от частотных характеристик МП [Мартынюк и др., 2001а, б]. Тем не менее окончательный ответ на данный вопрос давать пока рано. Эта проблема представляет большой теоретический и практический интерес и требует комплексного изучения.

Синхронизирующее действие МП КНЧ

С сожалением приходится констатировать, что современные геомагнитные индексы не отражают спектральный состав геомагнитных вариаций, хотя этот вопрос обсуждается и даже предпринимаются попытки его решения [Клейменова, Козырева, 2008], поскольку, несмотря на стереотипность ответных реакций на организменном уровне, спектральный состав действующего МП КНЧ может иметь большое значение для структуры биологических ритмов. Нами в ранних исследованиях была обнаружена частотная зависимость изменений ультрадианной ритмики метаболических показателей [Мартынюк, 1992а, б]. В этих исследованиях были обнаружены и эффекты синхронизации метаболических процессов в ультрадианном диапазоне биоритмов. В последующем был проведен цикл работ с целью подтверждения синхронизирующего влияния МП КНЧ, близкого по частотным характеристикам к природным вариациям в диапазоне резонансных частот ионосферного волновода, на биологические ритмы в инфрадианном диапазоне [Григорьев и др., 2004; Temuryants et al., 2004, 2006]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что синхронизирующее влияние МП КНЧ проявляется и в инфрадианном диапазоне [Мартынюк, Темурьянц, 2009]. При этом по результатам исследований установлено явление импринтинга ритмической организации геогелиофизических процессов в структуре биоритмов организма, которое может быть объяснено именно влиянием вариаций МП КНЧ природного происхождения [Григорьев, Мартынюк, 2003].

Общие выводы и рекомендации

Таким образом, гипотеза, рассматривающая устойчивые вариации природного электромагнитного фона в качестве датчиков времени биологических ритмов [Темурьянц и др., 1992а; Владимирский, Темурьянц, 2000], получила новое экспериментальное подтверждение. Тем не менее на данный момент проблема влияния магнитных полей на

биологические ритмы далека от полного разрешения. В частности, остаются плохо изученными вопросы зависимости параметров биоритмов от частоты и амплитуды МП, экспозиции и периодичности воздействия. Основываясь на современных представлениях о процессах синхронизации в физических и биологических системах [Ликовский и др., 2003], можно ожидать наличие сложных частотно-амплитудных режимов синхронизации разнообразных биологических процессов в широком диапазоне периодов [Мартынюк и др., 2004]. При этом весьма важным является всестороннее изучение интерференции магнитнополевых эффектов на разных уровнях организации биологических ритмов.

Принимая во внимание сложность механизмов биологического действия электромагнитных полей на живые системы на разных уровнях организации, становится ясно, что перед исследователями, которые ведут поиск корреляций процессов в организме человека и животных с гео- и космофизическими процессами, стоит очень сложная задача. Во-первых, в таких исследованиях необходимо учитывать функциональное состояние организма (норма, активация, стресс, патология), его конституциональные особенности, а также особенности внутрисуточной, суточной и многосуточной временной организации изучаемых биологических процессов. Во-вторых, общепринятые геомагнитные индексы не всегда эффективны при изучении корреляций космофизических и биосферных процессов, поэтому актуальной задачей является разработка новых специальных электромагнитных индексов, характеризующих электромагнитную обстановку в диапазонах частот, соответствующих, например, ионным и магнитным резонансам, важных для живых систем. К таким диапазонам следует отнести диапазоны 1–7 (ион-циклотронные резонансы ионных форм низкомолекулярных органических веществ – аминокислот, биогенных аминов и др.); 7–20 (ион-циклотронные резонансы Cu^{2+} , Cu^+ , Zn^{2+} , Cl^- , K^+ , OH^-); 20–40 (ион-циклотронные резонансы Na^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}); 600–800 Гц (ион-циклотронный резонанс H^+). Вероятно, следует также обратить внимание на диапазоны магнитного резонанса протонов в геомагнитном поле 1.8–2.2 кГц и электронного парамагнитного резонанса 1–2 МГц для активных форм кислорода $\text{O}_2^{\cdot-}$, OH^{\cdot} и органических радикалов. В настоящее время такие индексы отсутствуют, однако важно отметить, что первые попытки их установления уже имеются [Клейменова, Козырева, 2008]. При этом понятно, что такие новые индексы должны быть региональными, а это требует создания специальной сети электромагнитного мониторинга. Вероятно, за основу может быть принята система регионального мониторинга шумановских резонансов, разработанная томскими исследователями, с открытым доступом к данным (режим доступа в Интернете: <http://sosrff.tsu.ru/>).

Литература

- Акопян С.Н., Айрапетян С.Н. Исследование удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний // Биофизика. 2005. Т. 50, № 2. С. 265–270.
- Александров В.В. Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2005. 716 с.
- Антропов Г.М., Максимов Г.В. Исследование действия переменного магнитного поля на связывание O_2 гемоглобином // Материалы Второй международной конференции «Электромагнитные поля и здоровье человека», Москва, 20–24 сентября 1999 г. М., 1999. С. 130–131.
- Атьков О.Ю., Рогоза А.Н., Рябыкина Н.В., Бреус Т.К., Рапопорт С.И. Эффекты геомагнитной активности у кардиологических больных // Материалы Международной конференции

- «Космическая погода: ее влияние на человека и биологические объекты», Москва, 17–19 февраля 2005 г. М., 2006. С. 14–15.
- Белова Н.А., Ермаков А.М., Знобищева А.В., Сребницкая Л.К., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на регенерацию планарий и гравитационную реакцию растений // Биофизика. 2010. Т. 55, вып. 4. С. 704–709.
- Белова Н.А., Сребницкая Л.К., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на свойства некоторых водных систем // Тезисы докладов 3-го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 1–4 июля 2003 г. СПб., 2003. С. 5–6.
- Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Необычайные свойства воды в слабых электромагнитных полях // Биомед. технологии и радиоэлектроника. 2003. № 1. С. 37–43.
- Бинги В.Н. Дефекты структуры жидкой воды в магнитном и электрическом полях // Биомед. радиоэлектроника. 1998. № 2. С. 7–16.
- Бинги В.Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. М.: МИЛТА, 2002. 592 с.
- Бинги В.Н. Биологические эффекты электромагнитных полей нетеплового уровня: Проблема понимания и социальные последствия // Физика взаимодействия живых объектов с окружающей средой. М., 2004. С. 43–69.
- Боголюбов В.М., Сидоров В.Д., Першин С.Б. и др. Функциональные изменения гипоталамуса под влиянием ЭМП ультравысокой частоты // Вопр. курортологии, физиотерапии и ЛФК. 1992. № 1. С. 3–7.
- Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и внешней среды. М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2002. 220 с.
- Бруцек А. Солнечная и солнечно-земная физика: Иллюстрированный словарь терминов. М.: Мир, 1980. 312 с.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу–атмосферу. М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. 374 с.
- Воронцова З.А., Должанов А.Я., Зуев В.Г. Йодирование аминокислот коллоида щитовидной железы при воздействии электромагнитного фактора // Материалы Второй международной конференции «Электромагнитные поля и здоровье человека», Москва, 20–24 сентября 1999 г. М., 1999. С. 54.
- Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. М.: ИММЕДИС, 1998. 656 с.
- Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов: Изд-во Рост. ун-та, 1990. 224 с.
- Григорьев П.Е., Мартынюк В.С. Вариации индексов космической погоды и инфрадианные ритмы физиологических процессов // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2003. Т. 16 (55), № 4. С. 43–49.
- Григорьев П.Е., Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А. Влияние переменного сверхнизкочастотного магнитного поля на синхронизацию ритмики физиологических процессов с электромагнитным фоном // Таврич. мед.-биол. вестник. 2004. Т. 7, № 1. С. 154–158.
- Григорьев Ю.Г. Человек в электромагнитном поле // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. Т. 37, № 4. С. 690–702.
- Дроздов А.В., Нагорская Т.П., Масюкевич С.В., Горшков Э.С. Квантово-механические аспекты эффектов слабых магнитных полей на биологические объекты // Биофизика. 2010. Т. 55, вып. 4. С. 740–749.
- Думанский Ю.Д., Ногачевская С.И. Гигиеническая оценка влияний ЭМП высокой частоты на состояние иммунной реактивности организма // Гигиена и санитария. 1992. № 5. С. 34–37.

- Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Френкель С.А.* Нарушение обмена веществ при воздействии импульсного МП НЧ на организм // Гигиена труда. 1970. № 6. С. 70–76.
- Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская Н.С., Максименко В.Н.* Влияние импульсного ЭМП низкой частоты на организм. Киев: Здоровья, 1978. 132 с.
- Емец Б.Г.* Дегазация воды с помощью освещения бытовой электролампой накаливания // Журн. техн. физики. 2000. Т. 70, вып. 1. С. 134–135.
- Заботин Н.А., Жбанков Г.А.* Нерегулярная структура ионосферы как источник сильных вариаций фонового декаметрового излучения // Геомагнетизм и аэрономия. 1999. Т. 39, № 5. С. 57–61.
- Захаров С.Д.* О возможном фундаментальном единстве магнитобиологических «резонансов» // Биофизика. 2010. Т. 55, вып. 4. С. 626–630.
- Зенченко Т.А., Мерзлый А.М., Бреус Т.К.* Характерные типы реакций на действие земной и космической погоды у здоровых людей и больных с артериальной гипертензией // Методы нелинейного анализа в кардиологии и онкологии: Физические подходы и клиническая практика. М., 2010. Вып. 2. С. 141–155.
- 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 г. М., 2006. С. 46–47.
- Зенченко Т.А., Мерзлый А.М., Поскотинова Л.В.* Методика оценки индивидуальной метеоро- и магниточувствительности организма человека и ее применение на различных географических широтах // Экология человека. 2009. № 10. С. 3–11.
- Измеров Н.Ф., Монахов А.Б., Артамонова В.Г. и др.* Профессиональные болезни. М.: Медицина, 1996. Т. 2. 250 с.
- Ильина С.А., Бакаушина Г.Ф., Гайдук В.И., Храпко А.М., Зиновьева Н.Б.* О возможной роли воды в передаче воздействия излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты // Биофизика. 1979. Т. 26, № 3. С. 513–518.
- Калинина Н.А., Силинская И.Г., Бочек А.М.* Использование метода светорассеяния поляризованного света для характеристик корреляционных параметров структуры воды // Тезисы докладов 3-го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 1–4 июля 2003 г. СПб., 2003. С. 14.
- Кантор Ч., Шиммель П.* Биофизическая химия. М.: Мир, 1984. Т. 1. С. 260–268.
- Кисловский Л.Д.* О роли критических явлений при фазовых переходах второго рода в процессах самоорганизации неравновесных систем биосферы // Пробл. космической биологии. 1989. Т. 65. С. 129–145.
- Кисловский Л.Д.* Вселенная в капле воды. М.: Белые Альвы, 2005. 144 с.
- Клейменова Н.Г.* Геомагнитные пульсации // Модель космоса. Т. 1. Физические условия в космическом пространстве / Под ред. проф. М.И. Панасюка. М.: Изд-во КДУ, 2007. С. 611–626.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В.* Магнитные бури и инфаркты: Всегда ли бури опасны? // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 3. С. 5–24.
- Колодуб Ф.А.* Информативность некоторых биохимических показателей при оценке влияния переменных магнитных полей низкой и промышленной частот // Гигиена и санитария. 1989. № 10. С. 21–23.
- Коплик Е.В., Ганнушкина И.В., Антелова А.Л., Баранчикова М.В., Судаков К.В.* Прогностические поведенческие критерии и особенности мозгового кровотока у крыс с различной устойчивостью к эмоциональному стрессу // Физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 1995а. Т. 81, № 9. С. 35–39.

- Коплик Е.В., Салиева Р.М., Горбунова А.В. Тест открытого поля как прогностический критерий устойчивости к эмоциональному стрессу у крыс линии Вистар // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. 1995б. Т. 45, № 4. С. 775–781.
- Копылов А.М., Троицкий М.А. Влияние магнитных полей на радиорезистентность мышей // Радиобиология. 1982. Т. 22, № 5. С. 687–690.
- Кудряшов Л.В., Лобкаева Е.П., Александров Р.С., Девяткова Н.С. Использование методики расчета магнитного поля при исследовании радиопротекторного эффекта действия импульсного вихревого магнитного поля // Тезисы докладов 4-го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 3–7 июля 2006 г. СПб., 2006. С. 115.
- Кяйверяйнен А.И. Динамическое поведение белков в водной среде и их функции. Л.: Наука, 1980. 272 с.
- Кяйверяйнен А.И. Крупномасштабная динамика белковых молекул и их взаимодействие в водной среде: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук (в форме науч. доклада). Л., 1989. 53 с.
- Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Рождественская З.Е., Климов А.А., Белова Н.А., Триас Х.П. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia tigrina* в качестве тест-системы // Биофизика. 1996. Т. 41, № 4. С. 815–825.
- Лобышев В.И., Соловей А.Б., Бульенков Н.А. Компьютерный модульный дизайн параметрических структур воды // Биофизика. 2003. Т. 48, № 6. С. 1011–1021.
- Лукьянчиков В.С. АПУД-теория в клиническом аспекте // Рос. мед. журн. 2005. Т. 13, № 26. С. 1808–1811.
- Мартынюк В.С. Влияние слабых переменных магнитных полей инфранизких частот на временную организацию физиологических процессов: Автореф. ... канд. биол. наук. Симферополь, 1992а. 16 с.
- Мартынюк В.С. К вопросу о синхронизирующем действии магнитных полей инфранизких частот на биологические системы // Биофизика. 1992б. Т. 37, № 4. С. 669–673.
- 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 // Геофиз. процессы и биосфера. 2005. Т. 4, № 1. С. 53–61.
- Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Ш.Х. Реакция тучных клеток на действие переменных магнитных полей в условиях *in vitro* // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2001. Т. 14 (53), № 2. С. 3–7.
- Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Ш.Х. Реакция тучных клеток на действие морфина и магнитного поля в условиях *in vitro* // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2003. Т. 16 (55), № 1. С. 28–34.
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофиз. процессы и биосфера. 2004а. Т. 3, № 4. С. 91–97.
- Мартынюк В.С., Кучина Н.Б. Влияние ПемП со сложным спектром на процессы перекисного окисления и антиоксидантную систему в разных тканях у белых крыс // Таврич. мед.-биол. вестник. 2004. Т. 7, № 1. С. 159–165.
- Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б. Влияние экологически значимого переменного магнитного поля на метаболические процессы в головном мозге животных // Биофизика. 2001б. Т. 46, № 5. С. 876–880.
- Мартынюк В.С., Нижельская А.И. Возникновение диссипативных структур при воздействии ЭМИ КВЧ на систему «вода–краситель» // Физика живого. 2009. Т. 17, № 1. С. 105–111.

- Мартынюк В.С., Панов Д.А.* Поверхностно-активные свойства природных фосфолипидов в различных физиологических средах // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. 2001. Т. 15 (54), №1. С. 46–49.
- Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А.* Магнитные поля крайне низкой частоты как фактор модуляции и синхронизации инфраничных биоритмов у животных // Геофиз. процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 1. С. 36–50.
- Мартынюк В.С., Шадрина О.Г.* Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на растворимость бензола в воде и растворах белка // Биомед. радиоэлектроника. 1999. № 2. С. 61–65.
- Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Ш.Х., Ибрагимова Н.Д.* Реакция тучных клеток на действие хромогликата натрия и переменного магнитного поля в условиях *in vitro* // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2001а. Т. 14 (53), № 3. С. 117–120.
- Мартынюк В.С., Овечкина З.А., Мартынюк С.Б., Кучина Н.Б.* Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на метаболические процессы в печени животных с разными индивидуально-типологическими особенностями // Биофизика. 2001б. Т. 46, № 5. С. 915–918.
- Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В., Калиновский П.С.* Влияние переменного магнитного поля на спектральные характеристики альбумина при его взаимодействии с гидрофобными лигандами // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2003. Т. 16 (55), № 3. С. 8–12.
- Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В., Калиновский П.С.* Влияние электромагнитного поля крайне низкой частоты на конформационное состояние сывороточного альбумина при его насыщении хлороформом // Таврич. мед.-биол. вестник. 2004б. Т. 7, № 1. С. 86–90.
- Мирошниченко Л.И.* Солнечная активность и Земля. М.: Наука, 1981. 143 с.
- Мороз В.В.* Функциональное состояние гипофизарно-надпочечниковой системы при действии низкочастотных переменных магнитных полей // Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных переменных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. С. 34–40.
- Новиков В.В.* Биологические эффекты слабых и сверхслабых магнитных полей: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2005. 43 с.
- Новиков В.В., Кувичкин В.В., Фесенко Е.Е.* Влияние слабых комбинированных постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на собственную флуоресценцию ряда белков в водных растворах // Биофизика. 1999. Т. 44, № 2. С. 224–230.
- Новиков В.В., Швецов Ю.П., Фесенко Е.Е.* Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей: Протеолиз белка-ингибитора ДНКазы I в водном растворе под влиянием комбинированного действия слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на резонанс ионов полярных аминокислот // Биофизика. 1997. Т. 42, № 3. С. 746–750.
- Новиков В.В., Кувичкин В.В., Новикова Н.И., Фесенко Е.Е.* Влияние слабых магнитных полей на свойства ряда белков и полиаминокислот образовывать комплексы с ДНК // Биофизика. 2000. Т. 45, № 2. С. 240–244.
- Панова Э.П., Алексашкин И.В., Мартынюк В.С., Кацева Г.Н.* Влияние магнитных полей на физико-химические свойства гликозидов // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. 1998. Т. 12 (51), № 2. С. 89–93.
- Пивоваренко Ю.В., Мартынюк В.С.* Зависимость терморезистентности и растворимости ДНК от содержания воздуха в водных растворах // Физика живого. 2009. Т. 17, № 1. С. 54–55.
- Пиккарди Дж.* Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 96 с.
- Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю.* Синхронизация: Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 496 с.

- Пономарев О.А., Фесенко Е.Е. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях // Биофизика. 2000. Т. 45, № 3. С. 389–398.
- Пресман А.С. Электромагнитное поле и живая природа. М.: Наука, 1968. 310 с.
- Привалов П.Л. Вода и ее роль в биологических системах // Биофизика. 1968. Т. 13, № 1. С. 163–177.
- Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И., Юччи Н., Тясто М.И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168, № 7. С. 776–790.
- Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. Киев: Наук. думка, 1986. 160 с.
- Сидякин В.Г., Сташков А.М., Янова Н.П. и др. Физиологические механизмы регуляции зоосоциального поведения крыс при воздействии ЭМП НЧ // Физиол. журн. им. Сеченова. 1995. Т. 81, № 4. С. 21–31.
- Слесарев В.И., Шабров А.В. Бесконтактное взаимодействие водных систем // Тезисы докладов VI Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 3–7 июля 2006 г. СПб., 2006. С. 45.
- Смирнов А.Б., Лапшин В.Б., Бальшиев А.В., Попов П.И., Лебедев И.М., Сыроешкин А.В. Кооперативное анизотропное движение дисперсной фазы в водных растворах // Электронный журнал «Исследовано в России». 2004. Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/039.pdf>
- Сташков А.М., Горохов И.Е. Гипоксическое и антиокислительное биологическое действие многодневного применения слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты // Биофизика. 1998. Т. 43, № 5. С. 807–810.
- Степанюк И.А. Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. 214 с.
- Темурьянц Н.А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений: Автореф. ... д-ра биол. наук. М., 1992. 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., Михайлов А.В. Влияние переменного магнитного поля инфранизкой частоты на функциональную активность нейтрофилов в крови крыс с ограниченной подвижностью // Биофизика. 1988. Т. 33, № 5. С. 863–866.
- Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В. Современные представления о механизмах электромагнитных воздействий // Вест. 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., Демцун Н.А., Мартынюк В.С. Особенности регенерации планарий *Dugesia tigrina* при их электромагнитном экранировании в различные сезоны года // Физика живого. 2008. № 2. С. 85–91.
- Темурьянц Н.А., Макеев В.В., Малыгина В.Н. Влияние слабых ПчМП КНЧ на инфранидную ритмику симпатoadреаловой системы крыс // Биофизика. 1992б. Т. 37, № 4. С. 653–655.
- Темурьянц Н.А., Чуян Е.Н., Шехоткин А.В. Инфранидная ритмика функционального состояния нейтрофилов и лимфоцитов крови крыс с различными индивидуальными особенностями // Биофизика. 1995. Т. 40, № 5. С. 1121–1125.
- Тихонов М.Н., Кудрин И.Д., Довгуша В.В., Довгуша Л.В. Электромагнитная среда и человек // Вопр. охраны окружающей среды. 1997. № 11. С. 55–84.
- Томашевская Л.А., Думанский В.Ю., Бездольная И.С. Биологические эффекты и гигиеническая оценка сочетанного действия электромагнитного поля 50 Гц и ионизирующей радиации //

- Материалы Второй международной конференции «Электромагнитные поля и здоровье человека», Москва, 20–24 сентября 1999 г. М., 1999. С. 72–73.
- Фесенко Е.Е., Новиков В.В., Швецов Ю.П. Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей: Регуляция межмолекулярных взаимодействий в водном растворе ДНК, ДНКазы 1 и белка ингибитора под влиянием комбинированного действия слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на резонанс ионов полярных аминокислот // Биофизика. 1997. Т. 42, № 3. С. 742–745.
- Холмогоров В.Е., Халюмов А.И., Кочнев И.Н., Лехтлаан-Тыниссон Н.П. Метастабильные состояния в жидкой воде, индуцированные сверхслабым низкочастотным магнитным полем: проявления в ИК–спектре и в излучении // Тезисы докладов 3-го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 1–4 июля 2003 г. СПб., 2003. С. 17.
- Черников Ф.Р. Влияние некоторых физических факторов на колебания светорассеяния в воде и водных растворах биополимеров // Биофизика. 1990а. Т. 35, № 5. С. 711–715.
- Черников Ф.Р. Сверхмедленные колебания светорассеяния в жидкостях разного типа // Биофизика. 1990б. Т. 35, № 5. С. 717–721.
- Черников Ф.Р. Экспериментальные исследования структурных флуктуаций в различных средах // Тезисы докладов Международной крымской конференции «Космос и биосфера». Партеит, 2003. С. 31.
- Чернышева О.Н. Влияние переменного магнитного поля промышленной частоты на состав липидов в печени крыс // Укр. биохим. журн. 1987. Т. 59, № 3. С. 91–94.
- Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. М.: Мысль, 1995. 767 с.
- Шаталов В.М. Дегазация биожидкостей как механизм биологического действия слабых электромагнитных полей // Биофиз. вестник. 2009. Вып. 23 (2). С. 120–128.
- Швецов Ю.П., Новиков В.В., Фесенко Е.Е., Чернов А.П., Иванов В.А. Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей: Инактивация *in vitro* рекомбинантной обратной транскриптазы вируса Рауса при комбинированном действии слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на резонанс ионов полярных аминокислот // Биофизика. 1998. Т. 43, № 6. С. 977–980.
- Шигаев А.С., Сусак И.П., Пономарёв О.А., Кубарев С.И., Кубарева И.С., Фесенко Е.Е. Влияние слабого магнитного поля низкой частоты на величину вероятности рекомбинации радикальных пар // Математика. Компьютер. Образование: Сб. трудов X Международной конференции / Под общ. ред. Г.Ю. Ризниченко. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. Т. 3. С. 296–307.
- Bell G., Marino A.A., Chesson A.L. Frequency-specific blocking in the human caused by electromagnetic fields // Neureport. 1994. V. 5. P. 510–512.
- Bell G., Marino A.A., Chesson A.L., Struve F.A. Electrical states in rabbit brain can be altered by light and electromagnetic fields // Brain Res. 1992. V. 570. P. 307–315.
- Benzi R., Sutera A., Vulpiani A. The mechanism of stochastic resonance // J. Phys. 1981. V. 14. P. L453–L457.
- Bezrukov S.M., Vodyanov I. Stochastic resonance at the single-cell level // Nature. 1997. V. 388. P. 632–633.
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E. Empirical test of a parametric resonance model for magnetic field interaction with PC-12 cells // Bioelectromagnetics. 1994. V. 15. P. 239–260.
- Blackman C.F., Benane S.G., House D.E. Frequency-dependent interference by magnetic fields of nerve growth factor – induced neurite outgrowth in PC-12 cells // Bioelectromagnetics. 1995. V. 16. P. 387–395.

- Blank M., Goodman R.* Electromagnetic stimulation of biosynthesis: a hypothesis // Abstracts of 17th Annual meeting of BEMS, Boston, June 18–22, 1995. Boston, 1995. P. 181–182.
- Blank M., Goodman R.* Electromagnetic initiation of transcription at specific DNA sites // *J. Cellular Biochemistry*. 2001. V. 81, N 4. P. 689–692.
- Bullienkov N.A.* Three possible branches of determine modular generalization of crystallography // *Fields Institute Monograph*. 1998. V. 10. P. 67–133.
- Bunkin N.F., Suyazov N.V., Shkirin A.V., Ignatiev P.S., Indukaev K.V.* Nanoscale structure of dissolved air bubbles in water as studied by measuring the elements of the scattering matrix // *J. Chem. Physics*. 2009. V. 130. P. 134308-1–134308-12
- Cherry N.* Schumann resonances and their plausible biophysical effects // *Natural Hazards*. 2002. V. 26. P. 279–330.
- Cherry N.* Schumann resonance and sunspot relations to human health effects in Thailand // *Natural Hazards*. 2003. V. 29, N 1. P. 1–11.
- Colic M., Morse D.* Mechanism of the long-term effects of electromagnetic radiation on solution and suspended colloids // *Lanmuir*. 1998. V. 14, N 4. P. 783–787.
- Craviso G.L., Chatterjee I., Williams D.C., Publicover N.G.* 60 Hz electromagnetic fields cause a rise in intracellular calcium and stimulation of catecholamine secretion in isolated adrenal chromaffin cells // Abstracts of 17th Annual meeting of BEMS, Boston, June 18–22, 1995. Boston, 1995. P. 121.
- Diego-Rasilla F.J., Luengo R.M., Phillips J.B.* Magnetic compass mediates nocturnal homing by the alpine newt, *Triturus alpestris* // *Behav. Ecol. Sociobiol.* 2005. V. 58. P. 361–365.
- D'Inzeo G., Calli I., Palombo A. et al.* Further investigation on nonthermal effects referring to the interaction between ELF MF and transmembrane ionic fluxes // *Bioenerg. and Biochem.* 1993. V. 30. P. 93–102.
- Fesenko E.E., Gluvstein A.Ya.* Changes in the state of water, induced by radiofrequency electromagnetic fields // *FEBS Lett.* 1995. V. 367. P. 53–55.
- Galvanovskis J., Sandbiom J.* Amplification of electromagnetic signals by ion channels // *Biophys. J.* 1997. V. 73. P. 3056–3065.
- Goodman R., Bassett C.A., Henderson A.S.* Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription // *Science*. 1983. V. 220. P. 128–130.
- Goodman R., Henderson A.S.* Sine waves enhance cellular transcription // *Bioelectromagnetics*. 1986. V. 7. P. 23–27.
- Goodman R., Henderson A.S.* Exposure of salivary gland cells to low frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis // *J. Nat. Acad. Sci. USA*. 1988. V. 85. P. 3928–3932.
- Goodman R., Lin H., Jin M., Blank M.* Stimulation of transcripts by sequential applied electromagnetic fields: Feedback control // Abstracts of 17th Annual meeting of BEMS, Boston, June 18–22, 1995. Boston, 1995. P. 6.
- Hinault M.-P., Goloubinoff P.* Molecular crime and cellular punishment: Active detoxification of misfolded and aggregated proteins in the cell by the chaperone and protease network // *Molecular aspects of the stress response: chaperones, membranes and networks*. N.Y.: Springer, 2007. 201 p. (Ser. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. V. 594.)
- Huib F.V., Bakker R.S.* Resonant intramolecular transfer of vibrational energy in liquid water // *Nature*. 1999. V. 402. P. 507–509.
- Koyama S., Nakahara T., Sakurai T., Komatsubara Y., Isozumi Y., Miyakoshi J.* Combined exposure of ELF magnetic fields and x-rays increased mutant yields compared with x-rays alone in pTN89 plasmids // *J. Radiat. Res.* 2005. V. 46, N 2. P. 257–264.
- Kruglikov I.L., Dertinger H.* Stochastic resonance as a possible mechanism of amplification of weak electric signals in living cell // *Bioelectromagnetics*. 1994. V. 15. P. 539–547.

- Lerchl A., Reiter R.J., Howes K.A., Nanaka K.O., Stokan K.A.* Evidence that extremely low frequency Ca^{2+} -cyclotron resonance fields depress pineal melatonin synthesis in vitro // *Neurosci. Lett.* 1991. V. 124, N 2. P. 213–215.
- Lin H., Blank M., Rossol-Haseroth K., Goodman R.* Regulating genes with electromagnetic response elements // *J. Cell. Biochemistry.* 2001. V. 81, N 1. P. 143–148.
- Lyburdy R.P., Eckert V.* Receptor-ligand binding during calcium signal transduction as an interaction site for ELF magnetic fields // Abstracts of 17th Annual meeting of BEMS, Boston, June 18–22, 1995. Boston, 1995. P. 59.
- Martynyuk V.S., Panov D.A.* Surfactant properties of natural phospholipids in media treated with extremely low frequency magnetic field // *Biophysics.* 2004. V. 49, N 1. P. 23–25.
- Martynyuk V.S., Tseysler Yu. V.* The hydrophobic-hydrophilic balance in water solution of protein as the possible target for extremely low frequency magnetic fields // *Coherent systems in biology.* Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer, 2006. P. 105–122.
- Martynyuk V.S., Kalinovskiy P.S., Tseysler Yu.V.* Influence of 8 Hz magnetic fields on the binding of chloroform with proteins // *Biophysics.* 2004. V. 49, N 1. P. 17–22.
- Nordenson I., Mild K.H., Nordstrom S., Sweins A., Birke E.* Clastogenic effects in human lymphocytes of power frequency electric fields: in vivo and in vitro studies // *Radiat. Environ. Biophys.* 1984. V. 23, N 3. P. 191–201.
- Qin C., Evans J.M., Yamanashi W.S., Scherlag B.J., Foreman R.D.* Effects on rats of low intensity and frequency electromagnetic field stimulation on thoracic spinal neurons receiving noxious cardiac and esophageal inputs // *Neuromodulation.* 2005. V. 8, N 2. P. 79–85.
- Ramundo-Orlando A., Gattei P., Mossa G., Palombo A., D'Inzeo G.* Theoretical and experimental studies on bilayer permeability alterations induced by ELF MF // Abstracts of 17th Annual meeting of BEMS, Boston, June 18–22, 1995. Boston, 1995. P. 50–51.
- Doshi R., Day Ph. J.R., Carampin P., Blanch E., Stratford I. J., Tirelli N.* Spectrophotometric analysis of nucleic acids: Oxygenation-dependent hyperchromism of DNA // *Analytical and Bioanalytical Chemistry.* 2010. V. 396. P. 2331–2339.
- Serpensu E.N., Tsong T.Y.* Stimulation of a ouabain-sensitive Rb^{+} uptake in human erythrocytes with an electric field // *J. Membrane Biol.* 1983. V. 74. P. 191–201.
- Shreiber B., Rossi O.* Observation of homing behavior of pigeons during geomagnetic storm of solar origin // *Monit. Zool. Ital.* 1979. V. 13, N 2-3. P. 215–216.
- Temuryants N.A., Martynyuk V.S., Villoresi G., Ptitsina N.G.* Biological response in mice to magnetic fields generated by electric transport // Abstracts of 21th Annual meeting of BEMS. Long Beach, California (USA), June 20–24, 1999. Long-Beach, 1999. P. 215.
- Temuryants N.A., Martynyuk V.S., Chuyan E.N., Minko V.F., Brusil I.A.* Changes in the infradian rhythmicity of blood lymphocyte dehydrogenases in rats exposed to an extremely low frequency variable magnetic field // *Biophysics.* 2004. V. 49, N 1. P. 17–22.
- Temuryants N.A., Chuan E.N., Martynyuk V.S.* Influence of electromagnetic fields of extremely different frequency diapason on infradian rhythms of the physiological processes // *Biophotonics and coherent systems in biology.* Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer, 2006. P. 191–202.
- Testa A., Cordelli E., Stronati L., Marino C, Lovisolo G.A., Fresegna A.M., Conti D., Villani P.* Evaluation of genotoxic effect of low level 50 Hz magnetic fields on human blood cells using different cytogenetic assays // *Bioelectromagnetics.* 2004. V. 25, N 8. P. 613–619.
- Tokalov S.V., Gutzeit H.O.* Weak electromagnetic fields (50 Hz) elicit a stress response in human cells // *Environ. Res.* 2004. V. 94, N 2. P. 145–151.
- Voikov V.L.* Fundamental role of water in bioenergetics // *Biophotonic and coherent systems in biology.* N.Y.: Springer, 2006. P. 89–104.

Сведения об авторах

МАРТЫНЮК Виктор Семенович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Украина, 01601, г. Киев, ул. Владимирская, д. 64. Тел.: +3-8-050-653-55-92. E-mail: mavis@science-center.net

ЦЕЙСЛЕР Юлия Вадимовна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт физиологии им. акад. Петра Богача УНЦ «Институт биологии» Киевского национального университета им. Тараса Шевченко. Украина, 01601, г. Киев, ул. Владимирская, д. 64. Тел.: +3-8-050-981-84-83. E-mail: yuliya.tseysler@gmail.com

ТЕМУРЬЯНЦ Наталья Арменаковна – доктор биологических наук, профессор, Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. Украина, 95007, г. Симферополь, пр-кт Вернадского, д. 4. E-mail: timur@crimea.edu

**INTERFERENCE OF MECHANISM OF WEAK EXTREMELY
LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS INFLUENCE
ON MAN AND ANIMALS**

V.S. Martynyuk¹, Yu.V. Tseyslyer¹, N.A. Temuryants²

¹Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine

²Vladimir Vernadsky Taurida National University, Simferopol, Ukraine

Abstract. Review is devoted to the problem of interference between the mechanisms of biological action of electromagnetic fields of natural and artificial origin for the different levels of organization of life. We discuss the problem of specificity and nonspecificity response of the human body and animals to the action of electromagnetic fields on cellular and organism level.

Keywords: electromagnetic fields, interference of mechanisms of biological action.