



# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТАВРИЧЕСКОГО  
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
им. В. И. Вернадского

**Том 18 (57). № 1**  
**БИОЛОГИЯ, ХИМИЯ**

Симферополь  
2005

*Журнал основан в 1918 г.*

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**  
**ТАВРИЧЕСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**им. В.И. Вернадского**

**Том 18 (57) № 1:**  
***Серия «Биология, химия»***

***Таврический национальный университет  
им. В.И. Вернадского  
Симферополь, 2005***

ISBN 5-7763-9818-5

Свидетельство о регистрации -Серия КМ № 534  
от 23 ноября 1999 года

**Редакционная коллегия:**

Багров Н. В. – главный редактор  
Бержанский В. Н. – заместитель главного редактора  
Ена В. Г. – ответственный секретарь

**Редакционный совет серии «Биология, химия»**

**Биологические науки**

Юрахно М. В., доктор биологических наук, профессор, ТНУ  
(гл. редактор серии)  
Коренюк И. И., доктор биологических наук, профессор, ТНУ  
Бугара А. М., доктор биологических наук, профессор, ТНУ  
Сидякин В. Г., доктор биологических наук, профессор, ТНУ  
Темурьянц Н. А., доктор биологических наук, профессор, ТНУ  
(выпускающий редактор)  
Коношенко С. В., доктор биологических наук, профессор, ТНУ

**Химические науки**

Шульгин В. Ф., доктор химических наук, профессор, ТНУ  
(гл. редактор серии)  
Дрюк В. Г., доктор химических наук, профессор, ТНУ  
Земляков А. Е., доктор химических наук, профессор, ТНУ  
Федоренко А. Е., доктор химических наук, профессор, ТНУ  
Чирва В. Я., доктор химических наук, профессор, ТНУ

© Таврический национальный университет, 2005 г.

Подписано в печать 25.12.2004. Формат 60x84 <sup>2</sup>/<sub>3</sub> усл. изд. л. 11,25. Тираж 500. Заказ № 14/в.

Отпечатано в информационно-издательском отделе ТНУ.

Проспект Вернадского, 4, г. Симферополь, 95007

„Ученіс запискі Тавріського національного університета ім. В. І. Вернадського”

Науковий журнал. Серія «Біологія». Том 18 (57). №1.

Сімферополь, Таврійський національний університет ім. В.І.Вернадського, 2005

Журнал заснований у 1918 р.

Адреса редакції: вул. Ялтинська, 4, м. Сімферополь, 95007

Надруковано у інформаційно-видавничому відділі Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського. Проспект Вернадського, 4, м. Сімферополь, 95007

УДК 573.2; 577.3.

## СВЕРХСЛАБЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

*Белоусов Л.В.*

*1. Поиски связей между сверхслабыми излучениями (ССИ) и теорией поля в работах А.Г. Гурвича.*

Относительно недолгие и трудные в бытовом отношении годы пребывания А.Г. Гурвича в Таврическом университете (1919-1924) были для него временем необыкновенного творческого подъема. Одновременно с открытием ССИ (митогенетических лучей) ученый интенсивно продолжал начатые перед этим в Петербурге работы по теории эмбрионального поля; первая статья, где давалось само понятие поля и первая статья по митогенетическим лучам были написаны в Симферополе и появились в соседних номерах одного и того же журнала (Gurwitsch, 1922a, 1922b). Теория поля (эмбрионального, морфогенного, биологического, клеточного – как называл ее автор в разные периоды времени – Гурвич, 1944, 1991) была основным делом его жизни. Задачей этой теории было отыскание наиболее общих и, вместе с тем, конструктивных законов целостной пространственно-временной организации живых систем, и прежде всего – развивающихся зародышей. Работа 1922 года, содержащая один из первых набросков этой теории, опиралась на чисто морфологический материал – подмеченные автором геометрические закономерности развития сложноцветных и грибов. Ни о каких конкретных физико-химических агентах, которые могли бы участвовать в генерации или передаче «эмбрионального поля», речи в ней не шло.

Поэтому, хотя первые опыты на луковых корешках, выявившие наличие физических факторов лучевой природы, были далеко не случайными и вытекали из многолетних предыдущих исследований о факторах клеточных делений – никакой связи между ними и теорией эмбрионального поля Гурвич поначалу не усматривал. Первые 10-15 лет работы по ССИ ученый отдал широким экспериментальным поискам с привлечением всех технических возможностей тогдашней биофизики, биохимии и чистой физики. Понимая все значение открытого им круга явлений (в том числе и для медицины) и всю свою ответственность за развитие данного направления, он стремился изучать его с максимальной непредвзятостью, ни в коей мере не связывая себя и своих сотрудников собственными теоретическими интересами. Но, конечно, он всегда помнил о теории эмбрионального поля и не оставлял надежд развить ее и перенести с уровня макроморфологии на уровень молекулярных процессов именно путем анализа ССИ.



Такую возможность Гурвич увидел впервые в конце 1930-х годов, когда в его лаборатории было открыто явление так называемого деградиационного излучения (см. Гурвич и Гурвич, 1945, 1948). К этому уже было обосновано представление о свободно-радикальных процессах как энергетических источниках ССИ (см. подробнее Восйков, этот том). Однако затем были открыты источники излучений «вспышечного» характера, которые по всей видимости не могли быть связаны с продукцией свободных радикалов – излучение регистрировалось как реакция на резкое охлаждение живой ткани, механическое воздействие, или же действие переменного тока. Важно заметить, что все эти воздействия были нелетальными и их эффекты – обратимыми. В то же время, после первого такого воздействия образец был в течение некоторого времени рефрактерным к следующему, будь оно той же или другой природы. Такие излучения были названы деградиационными. В противоположность «спонтанным» излучениям свободно-радикальной природы они не подавлялись антиоксидантами (тушителями) и регистрировались на всех живых образцах кроме раковых тканей (особенно хорошо – на нервной, мозговой и мышечной ткани).

Исходя из эффективности как механических, так и подавляющих энергетический метаболизм (холодовых) воздействий Гурвич предположил, что деградиационное излучение связано с распадом в живой клетке пространственных ассоциаций молекул, которые в норме поддерживаются непрерывным притоком метаболической энергии. Гурвич назвал эти ассоциации «неравновесными молекулярными констелляциями» (НМК). Пока НМК поддерживаются – в них возможна миграция энергии и, как относительно редкое событие, суммация относительно малых квантов энергии метаболизма (например, 0,3-0,5 эВ, соответствующих энергии гидролиза одной молекулы АТФ) до уровня видимого и ультрафиолетового (УФ) излучения (УФ – порядка 5 эВ, то есть требующее сложения энергии гидролиза не менее десяти молекул АТФ). При разрушении НМК эта энергия высвобождается и регистрируется как раз в виде деградиационного ССИ.

Таким образом, если принять существование НМК, то надо признать и наличие неравновесной пространственной упорядоченности обширных коллективов молекул, не скрепленных какими-либо устойчивыми химическими связями. В общепринятой теперь терминологии Пригожина системы, подобные НМК, называются диссипативными. Другой, более точный современный термин для обозначения того же понятия – коллективно возбужденные комплексы (эксиплексы) (Li, 1992). Для Гурвича открытие НМК было указанием на то, что факторы поля работают не только на макроморфологическом, но и на молекулярном уровне, и что их можно изучать с помощью ССИ. Как мы постараемся показать, эти ожидания полностью подтвердились, но структура полей клеток и целых организмов оказалась гораздо сложнее, чем думалось вначале, и главные открытия на этом пути, может быть, еще впереди.

*2. Дальнейшая судьба теории поля. Разработка представлений о коллективных процессах.*

В течение долгого времени теория морфогенетического поля, за исключением немногих авторов (австрийский биолог П. Вейсс, английский эмбриолог

К. Уоддингтон и его ученик Б. Гудвин – см. Уоддингтон, 1964; Гудвин, 1979) была почти забыта. Большинству биологов казалось, что открытые Г. Шпеманом одновременно с крымскими работами Гурвича так называемые организационные центры зародышей (впоследствии названные индукторами) или же гены, экспрессия которых в ходе развития начала изучаться 30-40 лет тому назад, сами по себе могут обеспечить пространственно-временную организацию зародыша и взрослого организма. Постепенно, однако, все более множились примеры, показывающие, что между индукторами или генами с одной стороны и морфологическими результатами их действия с другой нет однозначного соответствия, и что гены или индукторы являются скорее орудиями клеток и целых организмов, нежели управляющими факторами. Пришло понимание того, что именно «морфогенетическое поле (а не гены или клетки) представляется основной единицей онтогенеза, и его изменение влечет за собой изменения в эволюции» (Gilbert et al., 1996; русский перевод: Гилберт с соавт., 1997). Вспомнили в этой связи и о работах А.Г. Гурвича (см. Belousov, 1997). Исключительно важную роль в этом повороте мышления имело становление и успешное развитие теории самоорганизации, пришедшей в биологию из физико-математических наук. В свете этой теории строгую формулировку и всеобщее признание приобрели как раз те представления, которые вкладывались в теорию морфогенетических полей – а именно, что закономерная и притом динамическая макроскопическая организация может возникнуть, при определенных значениях системных переменных (параметров) из исходно однородного или хаотического состояния.

С другой стороны, независимо от господствующих убеждений и даже вопреки им в молекулярной биологии и цитологии накопилось немало данных, показывающих, что динамическая организация клеток и многоклеточных коллективов носит целостный характер. Вот некоторые из них:

1. По клеткам и тканям зародышей и взрослых организмов, как по единому субстрату, могут распространяться на большие (по биологическим масштабам) расстояния волны возбуждения, например – волны кратковременного подъема концентрации  $[Ca^{2+}]_m$ . Важно, что это волны не диффузии, а релейного возбуждения лежащих по ходу волн клеточных структур (Jaffe, 1999).

2. Эти волны сопровождаются колебаниями, синхронизованными на большом протяжении – они могут охватывать не только данный организм в целом, но и популяцию организмов. Одновременно могут протекать колебания весьма различных периодов, причем часто выявляются кратные частоты (так называемые гармоники). Выдвинуто предположение об общих колебаниях ДНК, белков и водной фазы клеток с частотами порядка  $10^{11}$ - $10^{12}$  Гц (Webb, 1983). Максимально известный размах гармоник – от циркадных до секундных ритмов, что соответствует семидесяти трем октавам (Maе Wan Ho, 2004). Наличие гармоник в столь обширном диапазоне – признак так называемых когерентных систем. Привлечение из физики понятия когерентности следует рассматривать как новый и весьма важный этап в развитии представлений о морфогенетических полях.

3. Клетки могут воспринимать и усиливать исходно исключительно слабые воздействия за очень короткие промежутки времени. Например, клетки слухового

рецептора могут воспринимать механическую силу, не превышающую  $2 \times 10^{-13}$  N, вызванную растяжением филаментов в клетках рецептора всего на 0,04 нм, что меньше поперечника атома водорода (Alberts et al., 2002). В клетках зрительного рецептора одна молекула родопсина возбуждает в течение 1 с не менее чем 1600 молекул трансдуцина (Alberts et al., 2002). В нервно-мышечном синапсе не менее чем 1000 везикул, содержащих ацетилхолин, экзоцитируют в течение 1 с (Slawinski, 1988). Многократно описаны явно резонансные реакции клеток на электромагнитные поля весьма малой энергии (меньшей  $kT$ ), особенно в диапазоне миллиметровых волн (напр. Webb, 1983; Sitko & Tsviliy, 1997). Столь быстрое и масштабное усиление не может быть объяснено чисто диффузионными процессами (которые, по современным представлениям, даже для малых ионов ограничены в клетке дистанцией в несколько нанометров) и говорит в пользу когерентности, описываемой в терминах квантовой физики.

4. Клетки могут давать весьма специфические ответы (вплоть до экспрессии отдельных генов) на весьма неспецифические и «размытые» воздействия – такие, как наложение на целую клетку механических напряжений или, наоборот, их релаксацию. Так (Huang and Ingber, 2000), если выращивать клетки на сетчатых субстратах с ячейками разной величины (позволяющих или не позволяющих клетке растягиваться), то клетка либо экспрессирует специфические гены (в случае растяжения), либо в ней запускается программа апоптоза (в случае релаксации).

5. В эпителиальных клетках существуют электрические поля, полярность которых связана с полярностью клетки в целом, и инверсия которых внешними полями приводит к инверсии расположения клеточного ядра, аппарата Гольджи и элементов внеклеточного матрикса (Stern & MacKenzie, 1983).

Если для биологов вышеописанные характеристики живых систем связываются с идеями целостности и морфогенетических полей, то для исследователей, использующих физические подходы, они хорошо укладываются в уже знакомое нам понятие коллективных процессов в неравновесных системах. Можно сказать, что коллективные процессы в области молекулярных и надмолекулярных структур есть прямое продолжение макроморфологической целостности.

В современной физике и биофизике понятие коллективных процессов достаточно хорошо разработано. Одна из теорий коллективных процессов предложена Фрелихом (Fröhlich, 1968; Wu, 1994). Согласно этой теории трансмембранный потенциал клетки преобразует неупорядоченную тепловую энергию в когерентные электромагнитные волны с частотой  $10^{11}$ - $10^{12}$  Гц, что соответствует миллиметровым волнам. Подтверждением теории Фрелиха являются упоминавшиеся выше резонансные ответы клеток как раз в области миллиметровых волн.

Другое явление, с которым коллективные процессы необходимо связаны – медленная релаксация энергизованных макромолекул на немногих выделенных (механических) степенях свободы (Блюменфельд, 1974; Чернавский и Чернавская, 1999). Установлено, что в белковых молекулах химическая энергия запасается в виде механической (эластической), локализованной в неспирализованных частях. При этом на 5 нм длины приходится порядка 0,5 эВ. Время жизни метастабильного

состояния – от  $10^{-6}$  до  $10^3$  с, что весьма велико по сравнению с частотой собственных колебаний белковых молекул ( $10^{11}$ - $10^{12}$  Гц). Именно медленная релаксация препятствует беспорядочной диссипации химической энергии (ее полному переходу в тепло) и позволяет макромолекулам и ассоциациям макромолекул работать как электромеханические машины, то есть осуществлять направленную передачу механической и электрической энергии (на молекулярном – надмолекулярном уровне эти два вида энергии неразрывно связаны).

В клетке имеются структуры, позволяющие осуществить направленную передачу энергии за пределы энергизированной макромолекулы. Это, прежде всего, элементы цитоскелета – микрофиламенты и микротрубочки. Последние представляют собой цепочки диполей (электреты), по которым может направленно распространяться энергия в форме когерентных возбуждений и/или солитонов со скоростью порядка 8 м/с (Bistolfi, 1991).

С другой стороны, явление медленной и сверхмедленной релаксации химической энергии, если оно сочетается с достаточно быстрым оборотом генерирующих энергию реакций и с пространственной близостью последних, может обеспечить суммирование энергии химических реакций (как уже говорилось, для гидролиза АТФ это порядка 0,3-0,5 эВ) до уровня электронного возбуждения (1-5 эВ). Приведем несколько примеров, где такое явление возможно:

1. Гидролиз ацетилхолина (АХ) холинэстеразой протекает менее чем за 0,4 мс и высвобождает  $\approx 1,2$  эВ на молекулу (что соответствует длине волны 1000 нМ). Примерно  $10^6$  молекул АХ гидролизуются практически синхронно. «Следовательно, высока вероятность аккумуляции энергии по крайней мере 3-10 близко протекающих реакций до уровня электронного возбуждения» (Slawinsky, 1989).

2. При релаксации сверхспирализованной ДНК в течение  $10^{-2}$  с разматывается 9 витков и высвобождается 2 эВ, что соответствует нижнему триплетному состоянию (высвечивание в красной области спектра (Slawinsky, 1988)).

3. Известно, что сразу же после полимеризации мономеров актина в F-актин происходит гидролиз молекул АТФ, связанных с мономерами в отношении 1:1. Скорость полимеризации одной нити F-актина – от 10 до 1500 мономеров/с. Соответственно, среднее время гидролиза 10 молекул АТФ составит от  $10^{-1}$  с до  $6 \times 10^{-3}$  с. Если учесть, что нити F-актина расположены, как правило, не поодиночке, а тесными пучками, состоящими из нескольких десятков нитей, то данное время уменьшится по крайней мере на порядок. Значит, повысится и вероятность суммирования отдельных порций энергии гидролиза. Аналогичные рассуждения можно применить к полимеризации тубулина в микротрубочки, поскольку она также сопровождается гидролизом макроорга (ГТФ).

Таким образом, «живая клетка представляет собой уникальный ансамбль макромолекул, которые действуют как единое целое... Ее способность осуществить каждую из своих функций в заданный момент времени, с высокой скоростью и при температурах, которые следует считать низкими, позволяет приписать ей электродинамические свойства, аналогичные таковым твердотельных систем» (Webb, 1983). Клетку можно рассматривать как энергетический континуум с «макроскопическими векторными потоками» (Welch & Berry, 1983).



3. *Что может дать анализ ССИ для познания коллективных процессов в живых системах?*

В настоящее время существуют две точки зрения на природу ССИ живых организмов. Согласно первой из них, ССИ представляет собой «сброс энергии», метаболический шум, не несущий какой-либо «информации» (Журавлев, 2003). Согласно второй – ССИ, напротив, являются высокоупорядоченными (в том числе – когерентными) сигналами, несущими определенную информацию о биообъекте (Popp et al., 1992, 1994).

Заметим, что между обеими точками зрения нет столь глубоких противоположностей, как это кажется на первый взгляд. В настоящее время ясно, что все природные сигналы обладают шумовыми характеристиками. С другой стороны, и в шумовых процессах может существовать определенный порядок, примером чего является так называемый фликкер-шум (когда интенсивности низких частот преобладают над интенсивностями высоких).

Применительно к ССИ анализ шумовых компонент исключительно важен, но в этом направлении сделаны лишь самые первые шаги. Поэтому остановимся на других критериях, которые позволили бы рассматривать ССИ как индикаторы коллективных процессов и целостной структуры излучающих биообъектов. Эти критерии таковы:

1. Неаддитивность ССИ. Предположим, что некоторая часть биологического объекта излучает с интенсивностью  $A$ , а другая часть – с интенсивностью  $B$ . Спрашивается, как излучает объект в целом? Если интенсивность его ССИ, которую обозначим как  $(AB)$ , равна  $A + B$ , то можно говорить об аддитивности, то есть о том, что по критерию ССИ объект ведет себя как сумма своих частей. Если же  $(AB)$  существенно отличается от  $A + B$ , то между частями объекта существуют неаддитивные взаимодействия – они либо стимулируют, либо подавляют излучение друг друга. Особый интерес представляют такие случаи, когда часть  $A$  является биологически активной, а часть  $B$  – пассивной (например, это яйцевые оболочки или просто контейнер, в котором находится биообъект) и регистрируется  $(AB) < B$ . Тогда можно говорить об активном поглощении («отсасывании») энергии ССИ компонентом  $A$  из компонента  $B$ . Согласно (Dicke, 1954), такое явление называется субрадиацией и возможно при взаимодействии источников когерентного излучения, расположенных ближе длины излучаемых волн.

2. Концентрация ССИ на определенных выделенных частотах и связь частотных спектров с биологическими характеристиками объекта (например, со стадией развития, физиологическим состоянием и т.п.). Особый интерес могут представить спектры с богатым набором гармоник (кратных частот), указывающих на когерентные свойства объекта. Кроме того, существенный интерес представляет различие между узко- и широкополосными частотными спектрами. Первые указывают на присутствие индивидуальных, обособленных осцилляторов, а вторые – на связь между собой осцилляторов с близкими периодами. Различия такого рода выявляются автокорреляционным анализом спектров, о чем речь пойдет ниже.

3. ССИ деградиационного характера, то есть индуцированные разрушением (лучше всего – обратимым) внутриклеточных структур, а не спонтанно протекающими метаболическими процессами. В этих случаях можно говорить о

том, что высвобождается энергия электронного уровня, запасенная в этих структурах путем их коллективных возбуждений. В последние годы в этой области активно работает Я. Славинский (Slawinsky, 2003).

4. Наличие так называемой «задержанной» люминесценции (ЗЛ), которая может продолжаться от секунд до часов после прекращения засветки. В любом случае ЗЛ указывает на миграцию энергии электронного возбуждения по субстрату (Musumeci et al., 2000). Согласно (Popp & Li, 1993), гиперболическая форма кривой ЗЛ прямо указывает на когерентный характер излучения.

Рассмотрим экспериментальные данные, соответствующие этим пунктам.

#### **Неаддитивность ССИ и субрадиация (“photon sucking”).**

Такие примеры получены при измерениях ССИ куриных яиц (Белюсов с соавт., 1997) и популяций зародышей рыб и амфибий (Belousov et al., 2003). На куриных яйцах сравнивали интенсивности ССИ извлеченных из яиц желтков с зародышевыми дисками, целых яиц разных сроков инкубации и их скорлуп. Прежде всего, было обнаружено, что уровень ССИ целых яиц и их скорлуп сразу после засветки комнатным светом на 2 – 2,5 порядка превышает уровень ССИ изолированных желтков с зародышевыми дисками. Другие компоненты яйца (белок) сами по себе не излучают вовсе. Поэтому естественно было бы ожидать, что интенсивность ССИ целых яиц равна таковой их скорлуп. Однако это оказалось правильным только для неоплодотворенных яиц. Что касается развивающихся яиц, то на большинстве образцов 2 дней инкубации ССИ целых яиц существенно превышало ССИ их скорлуп, а для яиц 9 дней инкубации было справедливо обратное (Рис. 1А).

Иными словами, уровень ССИ целой макроскопической системы «яйцо + скорлупа» в обоих случаях существенно отличалось от простой суммы ССИ компонентов. Это подтверждается опытом, где изолированный и помещенный в кварцевую ювету желток с зародышем первого дня инкубации накрывался или нет кусочком скорлупы от своего яйца. Как видно на Рис. 1Б, ССИ «желток + скорлупа» было достоверно выше суммы ССИ обоих компонентов порознь. На основании этих данных можно заключить, что на стадии 1-2 дней инкубации развивающийся зародыш существенно нелинейным образом стимулирует излучение скорлупы, а на стадии 9 дней, наоборот, происходит субрадиация: зародыш как бы «отсасывает» часть ССИ своей скорлупы. Как уже говорилось, субрадиация или, согласно Поппу, «photon sucking» (отсасывание фотонов) указывает на взаимодействие близко расположенных источников когерентного излучения. Это принципиально новое квантовое явление, которое может иметь очень важное биологическое значение. Субрадиация регистрируется и при сравнении уровней ССИ зародышей амфибий на стадии нейрулы и их яичевых оболочек – последние немедленно после изоляции дают более высокий сигнал, нежели когда в них были заключены зародыши (Рис. 2А). (Для более ранних стадий развития характерны обратные отношения).

Замечательно, что и пустая нейлоновая излучает существенно больше (речь идет, конечно, о ЗЛ после засветки) нежели эта же сеточка, содержащая несколько десятков только что вылупившихся личинок вьюна (Рис. 2Б). Таким образом, зародыши могут «отсасывать фотоны» не только из собственных оболочек, но и из чужеродных контейнеров (по крайней мере, полимерных).





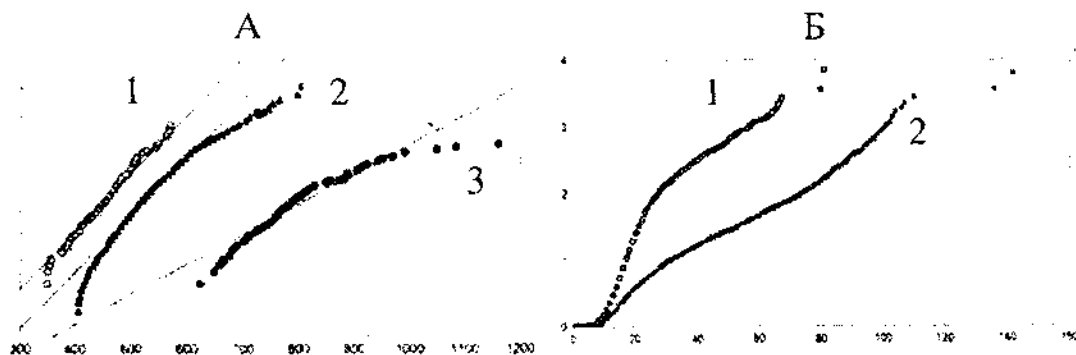


Рис. 2. Примеры неадекватности ССИ в развитии травяной лягушки (А) и вьюна (Б). Представлены кривые распределения интенсивностей ССИ в форме кумулянт. Горизонтальная ось – число импульсов ССИ за 5 с, вертикальная ось – число случаев. На А: 1 – ССИ контроля (кювета с водой); 2- ССИ зародышей на стадии нейрулы в желточных оболочках; 3 – ССИ желточных оболочек, снятых с этих зародышей. Видно, что [3] >> [2]. Б: 1 – ССИ от 62 только что выступившихся личинок вьюна, содержащихся в нейлоповой сеточке; 2 – ССИ от этой же пустой сеточки. Видно, что [2] >> [1].

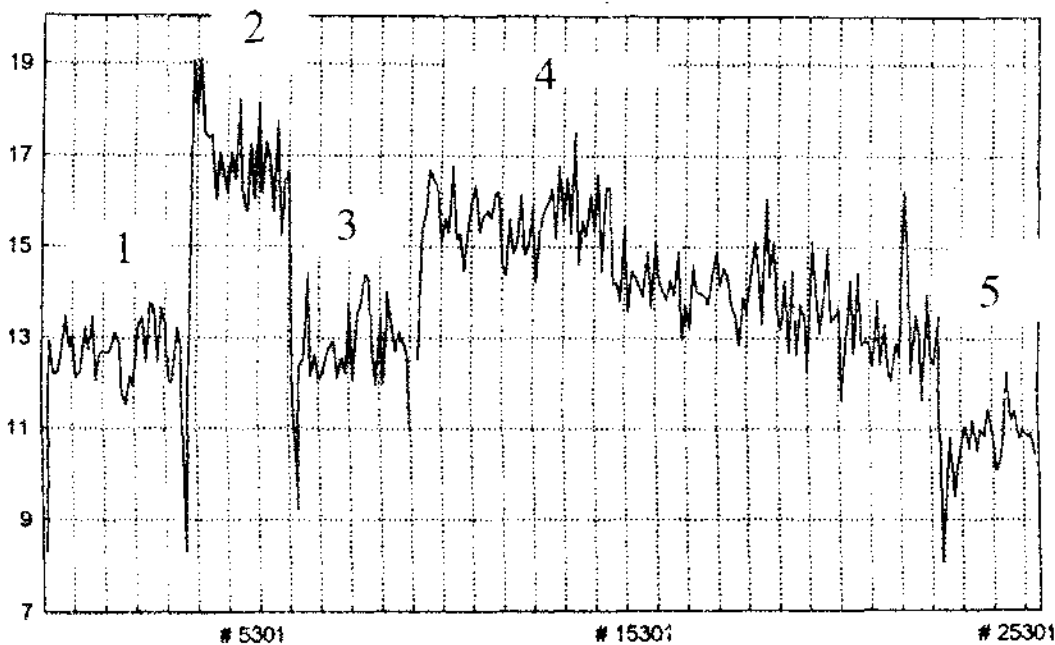


Рис. 3. Субрадиация при оптическом взаимодействии двух разновозрастных популяций зародышей вьюна. 1: сигнал ССИ от одной популяции (яйцеклетки через 30 мин после оплодотворения); 2: сюда поставлена кювета с зародышами на стадии постгастрюлы; 3: задняя кювета убрана; 4: задняя кювета снова поставлена; 5: снова убрана. Горизонтальная ось – время, мин; вертикальная ось – число импульсов за 0.5 с (Belousov et al., 2003).

Субрадиация проявляется также в экспериментах по оптическому взаимодействию двух популяций разновозрастных зародышей, помещенных в стоящие одна позади другой (относительно катода ФЭУ) кварцевые кюветы. Если в первый момент после установки задней кюветы совокупный сигнал существенно повышается (Рис. 3, участок 2, ср. с 1 и 3), то затем он начинает постепенно падать (участок 4), возвращаясь к исходному значению ССИ лишь одной передней кюветы. К этому времени интенсивность ССИ популяции зародышей в передней кювете становится существенно ниже исходной (отрезок 5). Постепенность падения сигнала на отрезке 4 весьма важна, так как она исключает чисто физические артефакты и говорит о том, что субрадиация опосредована относительно медленными биологическими взаимодействиями между популяциями. Эффекты субрадиации зарегистрированы также при латеральном оптическом взаимодействии двух популяций зародыша, симметрично установленных относительно катода ФЭУ. При отсутствии оптического взаимодействия между популяциями (кюветы разгорожены слоем черной фотобумаги) субрадиации не наблюдается (Belousov et al., 2003).

**Анализ Фурье-спектров ССИ развивающихся зародышей и клеточных культур.** Фурье-анализ ССИ зародышей вьюна разных стадий развития показал, что по крайней мере в диапазоне частот  $1^0 - 1^{-1}$  Гц они отличаются друг от друга и от контрольных образцов (Рис. 4). При этом наиболее интересны различия не по частотам индивидуальных спектральных максимумов, а по богатству гармоник и широте полос. Эти признаки хорошо отражаются на автокорреллограммах спектров (Рис. 4, средний столбец). Видно, что набор гармоник, а полосы наиболее узки в начале периода дробления яйцеклетки (второй ряд сверху). Это указывает на присутствие на данной стадии развития единого осциллятора с большим количеством гармоник (одна струна со многими обертонами). На последующей стадии развития такая система исчезает, а для еще более поздних стадий (два нижние ряда) характерны широкие плавные полосы, указывающие на взаимодействие многих осцилляторов с близкими частотами. Такое изменение характера спектров можно связать с дифференцировкой тканей зародыша и установлением нового типа интеграции, основанного на взаимодействии и взаимной подстройке многих осцилляторов, а не на доминировании единого пейсмейкера.

На монослойных клеточных культурах, содержащих несколько десятков тысяч фибробластов, кардиомиоцитов и клеток гиппокампа были также обнаружены характерные частотные спектры, отличающиеся от значительно более однородных спектров контрольных образцов (питательная среда без клеток) и клеток гепатомы (Рис. 5). При этом интенсивность ССИ клеточных культур во всяком случае не превышала таковой питательных сред без клеток. Можно предположить поэтому, что клетки сами по себе вовсе не являются источниками ССИ, но способны «канализировать» энергию ССИ питательных сред (источником которой являются окислительные процессы в смеси белков и углеводов) на определенных частотах, в большой мере синхронизированных в пределах всей популяции.

Так же как и в популяциях зародышей, спектры ССИ клеточных культур различаются не только по набору характерных частот, но и по своей структуре (широте полос и набору гармоник). Эти различия связаны с функциональным

## СВЕРХСЛАБЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

состоянием клеток. Так, если спектры интактных культур фибробластов не обладают выраженными гармониками и состоят из множества очень узких полос, почти не выходящих за пределы фоновых шумов (Рис. 6А), то через 10-20 мин после добавления к питательной среде фактора роста фибробластов FGF-1 в концентрации 0,05 мг/мл появляются широкие полосы, достоверно превышающие фон (Рис. 6 Б). Можно сказать, что в этот период времени отдельные осцилляторы концентрируются вокруг нескольких доминирующих частот. Между тем, клетки гиппокампа (ткань головного мозга) спонтанно проявляют сходную динамику (Рис. 6 В). Другие примеры изменения частотных спектров клеточных культур будут рассмотрены в следующем разделе.

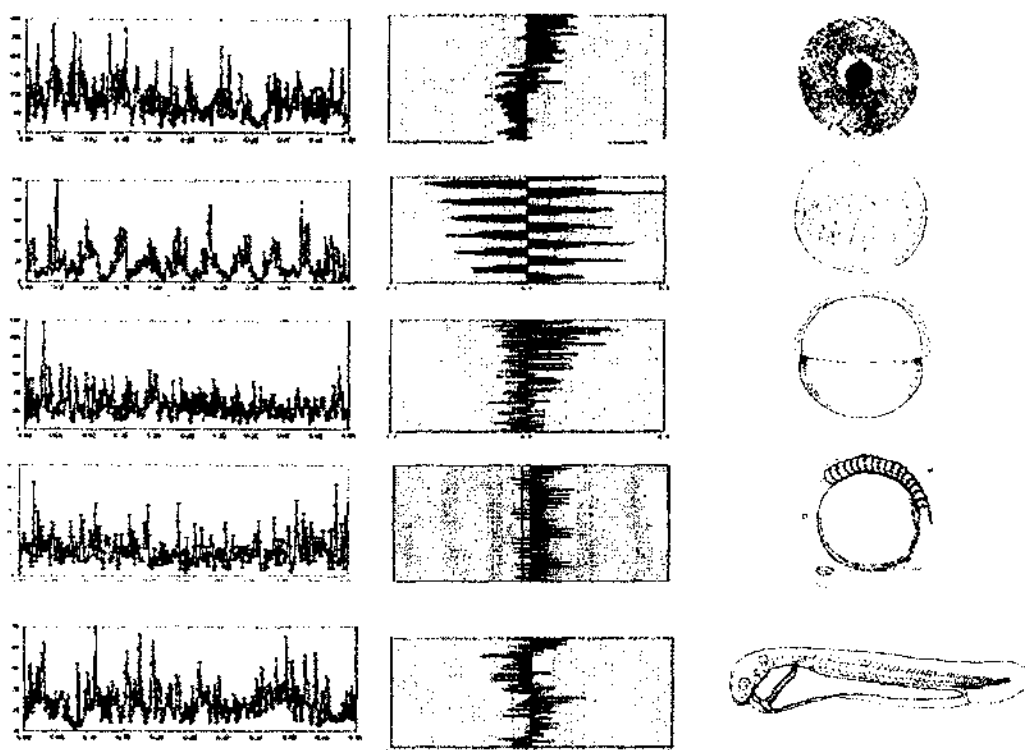


Рис. 4. Спектры Фурье ССИ зародышей вьюна на последовательных стадиях развития (левая колонка), автокоррелограммы этих спектров (средняя колонка) и рисунки соответствующих стадий (правая колонка). Сверху вниз: неоплодотворенные яйцеклетки, яйцеклетки 1 ч после оплодотворения (начало дробления), конец обрастания желтка бластодермой, стадия органогенеза и стадия личинки 1,5 дней после выклева. В спектрах Фурье по горизонтальной оси – частоты (полная шкала соответствует 1 Гц), по вертикальной оси – спектральные плотности.

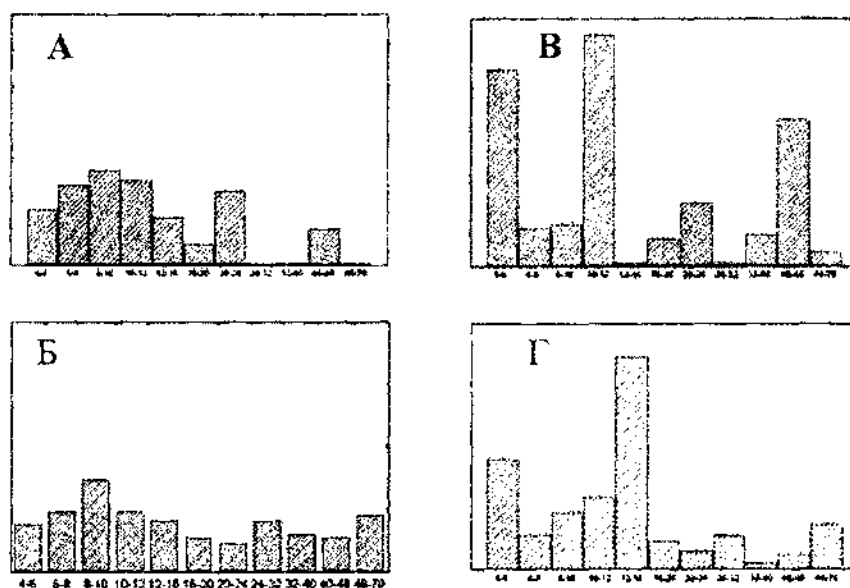


Рис. 5. Усредненные по характерным периодам спектры Фурье (периодограммы) питательной среды, не содержащей клеток (А), культуры кисток гепатомы (Б), мышинных фибробластов (В) и кардиомиоцитов (Г). Спектры в каждом случае получены путем сложения спектральных плотностей, соответствующих данным периодам, от 5 независимых образцов. ССИ каждого образца записывали в течение 800 с. Здесь и на последующих рисунках время накопления импульсов – 0,1 с. Горизонтальная ось – периоды, колонки слева направо: 4-6 с; 6-8 с; 8-10 с; 10-12 с; 12-16 с; 16-20 с; 20-24 с; 24-32 с; 32-40 с; 40-48 с; 48-70 с.

#### Излучения деградиционного характера.

*Механические воздействия на развивающиеся яйцеклетки.* Группу из нескольких десятков развивающихся яйцеклеток выюна располагали возле обращенной к катоду ФЭУ вертикальной стенки кварцевой кюветы и отгораживали от остального пространства кюветы вертикально поставленным покровным стеклом. После некоторого периода фоновой записи ССИ сдвигали покровное стекло, осторожно сжимая им яйцеклетки. После сжатия немедленно возобновляли регистрацию и наблюдали либо кратковременную вспышку, либо более длительный подъем ССИ (Рис. 7 А, Б). Как видно из рисунка, второй сеанс давления оказывал более слабое воздействие, а третий, как правило, вовсе не давал эффекта (интервал между давлениями составлял несколько минут). Имитация давления (воспроизведение всех условий опыта без давления), давление на неоплодотворенные яйцеклетки, а также на развивающиеся яйцеклетки, предварительно обработанные цитохалазином D (фактор, разрушающий слой микрофиламент) эффекта не давали. Можно предположить поэтому, что подъемы ССИ связаны, с обратимым разрушением кортикального цитоскелета.



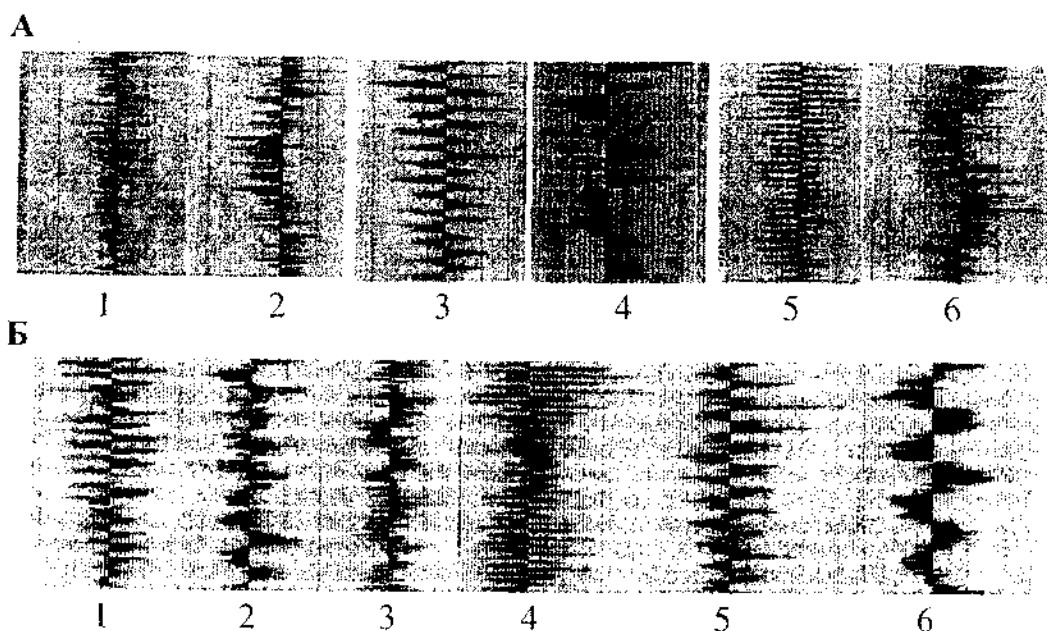


Рис. 6. Автокоррелограммы спектров Фурье intactных фибробластов (А, 1), фибробластов в последовательные десятиминутные периоды после добавления фактора роста FGF-1 (А, 2-6) и intactных клеток гиппокампа в последовательные десятиминутные периоды (Б, 1-6). Каждый график соответствует спектру, снятому в течение ~8 мин (5000 измерений).

*Воздействия на клеточные культуры.* ССИ деградационного типа от монослойных культур фибробластов и кардиомиоцитов индуцировали переносом на голодную среду (фосфатный буфер), резким охлаждением (смены среды, нагретой до  $37^{\circ}\text{C}$ , на среду при  $4^{\circ}\text{C}$ ) а также добавлением  $10\text{ мкг/мл}$  цитохалазина,  $10^{-4}\text{ M}$  колхицина или  $0,025\%$  трипсина (в использованной концентрации трипсин не разрушал клетки и не вызывал их отрыв от стенки кюветы, а лишь нарушал клеточные контакты и ассоциированные с контактами микрофиламенты). Таким образом, по крайней мере одна из мишеней для действия цитохалазина и трипсина была одной и той же. Оценивали как изменения уровня, так и перестройки колебательных режимов (спектров Фурье) ССИ.

Кратковременный подъем уровня ССИ наблюдали на культурах фибробластов и кардиомиоцитов в 5 из 8 опытов по резкому охлаждению питательной среды (уровень ССИ питательной среды, лишенной клеток, от температуры не зависел) (Рис. 7В). В 2 других случаях уровень ССИ, напротив, снизился, а в одном остался без изменений. Заметим, что после резкого охлаждения зародышей амфибий и куриных зародышей (в том числе поздних стадий развития) достоверного подъема ССИ зарегистрировать не удалось. Вопрос о «холодовом» деградационном излучении, таким образом, нуждается в дальнейших исследованиях. Более четкие



данные по возрастанию уровня ССИ получили после добавления к культурам фибробластов цитохалазина D и трипсина (Рис. 7Г, Д).

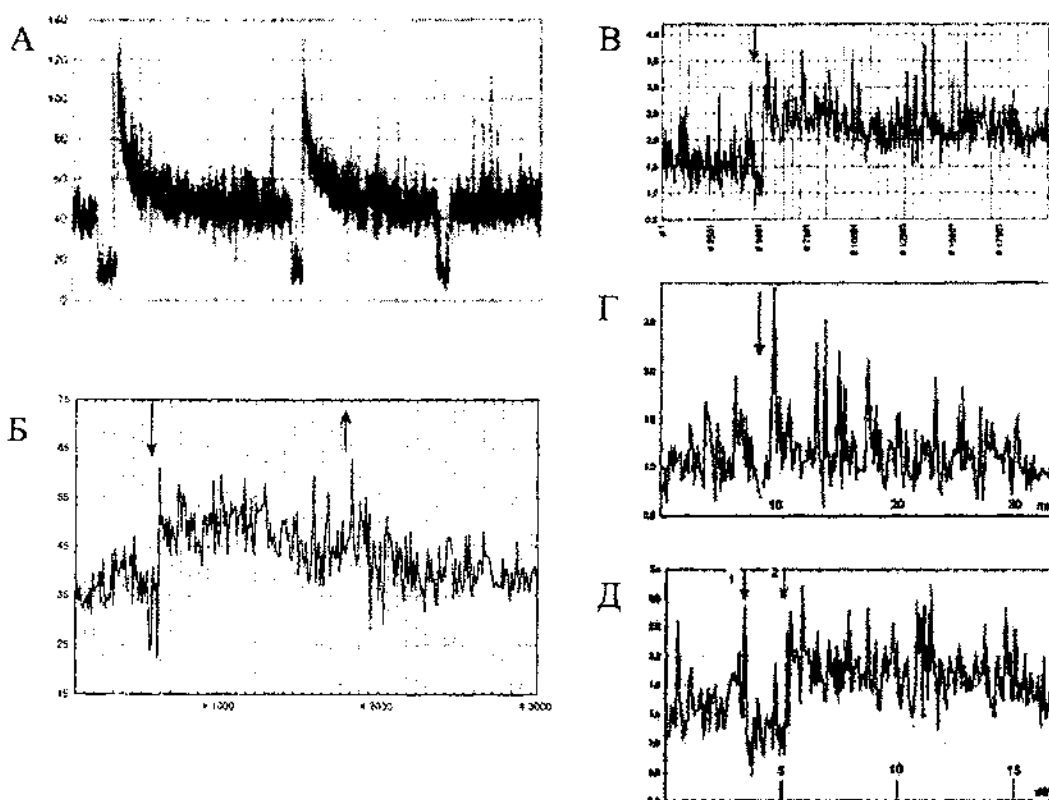


Рис. 7. Возрастание интенсивности ССИ при деградационных воздействиях.  
 А, Б: реакции развивающихся яйцеклеток вьюна на механическое давление. На Б стрелка вниз – начало, стрелка вверх – прекращение давления.  
 В: реакция монослойных культур фибробластов на резкое охлаждение (смена среды при 37<sup>0</sup>С на среду при 4<sup>0</sup>С; культура остается в термостате при 37<sup>0</sup>С).  
 Г и Д: реакция монослойных культур фибробластов на добавление соответственно цитохалазина D и трипсина в питательную среду. На В, Г стрелки означают начало воздействия. На Д стрелка 1 – начало отмыва в фосфатном буфере, стрелка 2 – добавление трипсина.

Практически все деградирующие воздействия приводили к возрастанию амплитуд колебаний интенсивности ССИ. Это относится и к механическому давлению. Резкое возрастание амплитуд колебаний наблюдали у культур кардиомиоцитов сразу же после смены питательной среды на голодную: в этих условиях появлялись три новых, кратных друг другу пика спектральной плотности (гармоники), соответствующих периодам 2, 100 и 200 с (Рис. 8 ср. А и Б). Возрастание амплитуд наблюдали также после добавления цитохалазина, колхицина или трипсина к культурам фибробластов. При этом спектральная

## СВЕРХСЛАБЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

плотность по большей части возрастала либо на тех же частотах, которые доминировали и до воздействий, либо на кратных им (гармоники) (Рис. 9, А-В). Таким образом деградирующие воздействия, скорее всего, активируют уже существовавшие в интактных клетках колебательные контуры. Можно предположить, что энергия деградационного ССИ высвобождается в результате разрыва этих контуров по их наиболее слабым звеньям.

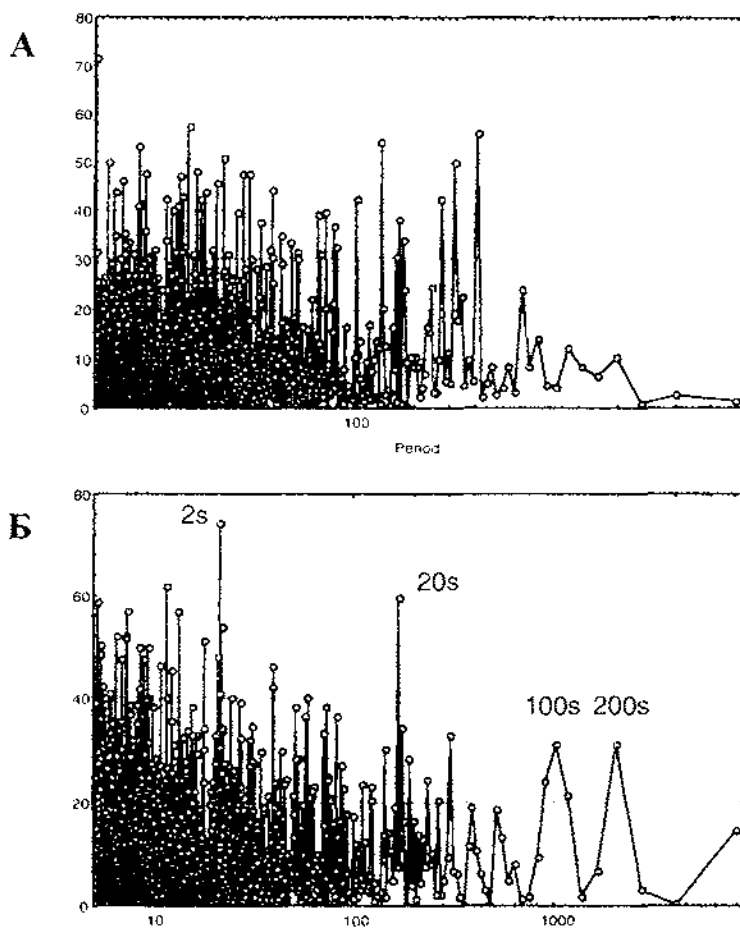


Рис. 8. Спектры Фурье (периодограммы) для культуры кардиомиоцитов в питательной среде (А) и той же культуры сразу после перенесения в голодную среду (фосфатный буфер) (Б). Видно появление трех новых максимумов на периодах 2, 100 и 200 с (гармоники). Периоды измерений ~ 7 мин.

### Задержанная люминесценция (ЗЛ).

ЗЛ после засветки в оптической области спектра, длящаяся от нескольких секунд до многих часов, наблюдается практически у всех биологических объектов, а также у многих небиологических кристаллической природы (Musumeci et al., 2000).

Зависимость ЗЛ развивающихся куриных яиц, а также их скорлуп от времени практически не отличается от гиперболической, тогда как у неоплодотворенных и особенно убитых нагреванием яиц она весьма далека от гиперболы (Белоусов с соавт., 1997). С другой стороны, кривые ЗЛ развивающихся яйцеклеток рыб и амфибий располагаются, как правило, между гиперболой и экспонентой. Для изолированных яйцевых оболочек они более крутые, нежели для яйцеклеток и зародышей в оболочках (Белоусов с соавт., 2002). Следовательно, можно думать, что оболочки легче «схватывают», но и легче отдают свет. ЗЛ клеточных культур продолжается не более нескольких секунд, но существенно превышает контрольные данные (пустая кювета с питательной средой). Вместе с тем, после обработки цитохалазином D значения ЗЛ падают до контрольного уровня. Это позволяет предположить участие микрофиламентов в задержке света. Проблема ЗЛ нуждается в дальнейших исследованиях.

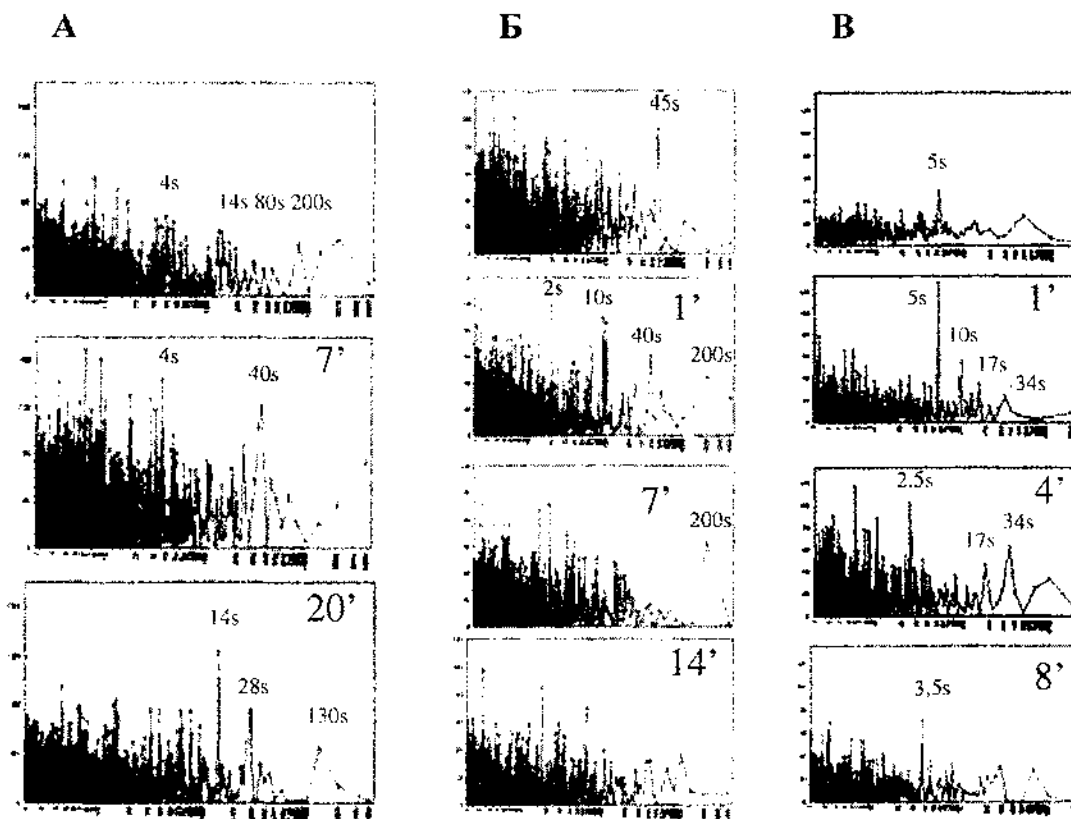


Рис. 9. Изменение спектров Фурье (периодограммы) культур фибробластов под действием цитохалазина D (А), колхицина (Б) и трипсина (В). Верхний ряд – спектры до воздействия. На других изображениях указано время в минутах после начала воздействий. Обозначены также периоды, соответствующие максимумам спектральной плотности. Видно, что

усиливаются преимущественно периоды колебаний, равные или кратные исходным максимумам.

#### 5. Обсуждение.

Изложенные выше данные показывают, что анализ ССИ можно использовать как почти неинвазивный (если не считать помещение объекта на время измерений в абсолютную темноту) и почти безинерционный способ выявления и изучения коллективных процессов в клетках, целых организмах и их популяциях. Даже далеко неполные и разрозненные сведения, накопленные к сегодняшнему дню, позволили обнаружить совершенно новые их коллективные свойства. В первую очередь имеется в виду неаддитивность (субрадиация, "photon sucking"). Выяснилось, что такие огромные по биологическим масштабам объекты, как целое куриное яйцо (включая его скорлупу), или оптически взаимодействующие популяции зародышей представляют собой, с точки зрения «фотонной экономики», одно целое. В это целое могут быть включены и «неживые» компоненты – не только яичные оболочки, но даже и состоящие из полимерных углеводородов контейнеры, в которые живые организмы помещены. Между живыми объектами и их непосредственным окружением устанавливаются такие электромагнитные взаимодействия, которые как бы включают последние в сферу влияния биообъекта. Здесь можно вспомнить о натурфилософских прозрениях от Гете («Все живое создает вокруг себя собственную атмосферу») до био-геосферных построений В.И. Вернадского.

Наличие характерных частотных спектров ССИ также говорит, в первую очередь, о крупномасштабных корреляциях – как в популяциях зародышей, так и в монослойных культурах, состоящих из десятков тысяч клеток. Анализ частотных спектров может дать совершенно новую информацию о прижизненном физиологическом состоянии объекта, рассматриваемом как множество осцилляторов. Наконец, анализ излучений деградационного типа (особенно вызванных действием более или менее специфических ингибиторов), в сочетании с анализом частотных спектров, может дать сведения о том, в каких конкретно надмолекулярных структурах клетки сосредоточена энергия электронного возбуждения. Обнаруженное на клеточных культурах сходство частотных спектров ССИ в норме и после деградационных воздействий может указывать на то, что между обоими типами ССИ нет принципиальных различий. Иными словами, «спонтанное» ССИ также может быть результатом коллективной разрядки электронно-возбужденных клеточных структур.

Нередко приходится слышать, что на ССИ приходится столь малая часть общей метаболической энергии клетки, что их анализ не может представлять особого интереса. Действительно, если мощность теплопродукции куриного яйца порядка  $3 \times 10^1 \text{ W}$  (Зотин и Зотина, 1993), то мощность его ССИ – порядка  $10^{-15} \text{ W}$ . Однако не следует забывать следующего. Во-первых, энергия электронного возбуждения – это, по сравнению с теплом, энергия высокого качества, способная к аккумуляции и направленной передаче без существенного рассеяния. Во-вторых, те сигналы, которые воспринимаются фотоумножителями, составляют, по всей видимости, лишь небольшую долю энергии высокого потенциала, которая может содержаться в

макромолекулах и надмолекулярных структурах. Биологически осмысленным было бы ее распространение в виде эстафеты безизлучательных переходов («фотобиохимия без света» по Cilento, 1988) при высвечивании фотонов на «стыках» этих цепей, или же на определенных фазах синхронизированных колебательных процессов. С другой стороны, высвеченные фотоны могут быть использованы для запуска других эстафетных, или цепных процессов (Гурвич и Гурвич, 1948).

Наличие ССИ в видимой и ультрафиолетовой областях спектра не только не исключает возможности излучений более длинноволновых диапазонов, но и повышает их вероятность, хотя бы в силу закона Стокса. В настоящее время почти не остается сомнений в том, что биологические объекты излучают в широком диапазоне от  $10^{15}$  до  $10^{11}$  Гц, и что эти излучения модулированы гораздо более низкими частотами ( $\leq 10^0$  Гц). Хотя со времени основополагающего крымского открытия А.Г. Гурвича прошло уже более 80 лет – мы стоим еще в самом начале исследований биологического значения этих сигналов и возможности их использования для анализа живых объектов и разумного воздействия на них.

#### Список литературы

1. Белоусов Л.В., Пони Ф.-А., Казакова Н.И. Сверхслабые излучения куриных яиц и зародышей: неаддитивное взаимодействие двух излучателей и устойчивая неравновесность // Онтогенез. – 1997. – Т. 28. – С. 377-388.
2. Белоусов Л.В., Бурзаков А.Б., Лучинская, П.Н. Статистические и частотно-амплитудные характеристики сверхслабых излучений яйцеклеток и зародышей вьюна в норме и при их оптических взаимодействиях. I. Характеристики сверхслабых излучений в нормальном развитии и оптическая роль яйцевых оболочек // Онтогенез. – 2002. – Т. 33 – С. 213-221.
3. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. – М.: Наука, 1974. – 336 с.
4. Гилберт С.Ф., Олиц Д.М., Рэф, Р.А. Новый синтез эволюционной биологии и биологии развития // Онтогенез. – 1997. – Т. 28. – С. 325-343.
5. Гудвин Б. Аналитическая физиология клеток и развивающихся организмов. – М.: «Мир». 1979. – 288 с.
6. Гурвич А.Г. Теория биологического поля. – М.: Сов. Наука, 1944. – 155 с.
7. Гурвич А.Г. Принципы аналитической биологии и теории клеточных полей. – М.: Наука, 1991. – 288 с.
8. Гурвич А.Г., Гурвич Л.Д. Митогенетическое излучение, физико-химические основы и приложения в биологии и медицине. – М.: Медгиз, 1945. – 283 с.
9. Гурвич А.Г., Гурвич Л.Д. Введение в учение о митогенезе. – М.: Изд-во ИЭМ, 1948. – 114 с.
10. Журавлев А.И. Квантовая биофизика животных и человека. – М.: МГАВМиБ, 2003. – 226 с.
11. Зотин А.И., Золина Р.С. Феноменологическая теория развития, роста и старения организма. – М.: Наука, 1993. – 364 с.
12. Уоддингтон К. Морфогенез и генетика. – М.: Мир, 1964. – 260 с.
13. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М. Белок-машина. Биологические макромолекулярные конструкции. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 250 с.
14. Alberts B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J.D. Molecular Biology of the Cell (4th edition). Garland Publishing, Inc., New York, London., 2002.
15. Belousov L.V. (additional commentary by J.M. Opitz and S.F. Gilbert) Life of Alexander G. Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields // Int.J.Dev.Biol. – 1997. – V 41/ – P. 771-779.
16. Belousov L.V. Exploring the dynamic background of the developmental processes and cell reactions with the use of an ultraweak photon emission // BioSystems. – 2003. – V. 68. – P. 199-212.



## СВЕРХСЛАБЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

17. Belousov L.V., Burlakov A.B. and Louchinskaia N.N. Biophotonic patterns of optical interactions between fish eggs and embryos // *Indian J. Exp. Biol.* - 2003. - V.41. - P. 424-430.
18. Bistolfi F. Biostructures and Radiation Order-Disorder. - Edizioni Minerva Medica, Torino, 1991.
19. Cilento G. Photobiochemistry without light // *Experientia.* - 1988. - V. 44. - P. 572-575.
20. Dicke R.H. Coherence in spontaneous radiation processes // *Phys. Rev.* - 1954. - V. 93. P. 99-110.
21. Fröhlich H. Long-range coherence and energy storage in biological systems // *Int. J. Quant. Chem.* - 1968. - V. 2. - P. 641-649.
22. Gilbert S.F., Opitz J.M., Raff R.A. Resynthesizing evolutionary and developmental biology // *Dev. Biol.* - 1996. - V.173. - P. 357-372.
23. Gurwitsch A. Ueber den Begriff des Embryonalen Feldes // *Arch. Entw.-Mech der Organismen.* - 1922a. - V. 51. P. 383-415.
24. Gurwitsch A. Ueber Ursachen der Zellteilung // *Arch. Entw.-Mech der Organismen.* - 1922a. - V.52. - P. 167-181.
25. Huang S., Ingber D.E. Shape-Dependent Control of Cell Growth, Differentiation, and Apoptosis: Switching between Attractors in Cell Regulatory Networks // *Experimental Cell Research.* - 2000. - V. 261(1). - P. 91-103.
26. Jaffe L.F. Organization of early development by calcium patterns // *BioEssays.* - 1999. - V.21. - P. 657-667.
27. Mac Wan Ho *Rainbow and the Worm*, 2004.
28. Li Ke-hsueh Coherent radiation from DNA molecules. In: *Recent Advances in Biophoton Research and its Applications* (F.-A. Popp, K.H. Li and Q. Gu eds), 1992. - P. 157-196.
29. Musumeci F., Scordino A., Triglia A. Delayed luminescence and structure of simple biological systems. In: *Biophotonics and Coherent Systems (Proceedings of the 2nd Alexander Gurwitsch Conference and Additional Contributions)* (L.Belousov, F.-A. Popp, V. Voeikov, R. van Wijk eds) Moscow University Press, Moscow, 2000. - P. 141-150.
30. Popp F.-A. Some essential questions of biophoton research and probable answers. In: *Recent Advances in Biophoton Research and its Applications* (F.-A. Popp, K.H. Li and Q. Gu eds), 1992. - P. 1-46.
31. Popp F.-A., Q. Gu & Ke-hsueh Li Biophoton emission: experimental background and theoretical approaches // *Modern Physics Letters* - 1994. - V. B.8. - P. 1269-1296.
32. Popp F.-A. & Ke-hsueh Li Hyperbolic relaxation as a sufficient condition of a fully coherent ergodic field // *Int. J. Theor. Physics.* - 1993. - V. 32. - P. 1573-1583.
33. Sitko S.P., Tsvilij V.P. Electrodynamic model of the human organism's electromagnetic frame // *Physic of the Alive.* - 1997. - V. 5. - P. 5-8.
34. Slawinski J. Luminescence research and its relation to ultraweak cell radiation // *Experientia.* - 1988. - V. 44. - P. 559-571.
35. Slawinski J. Photon emission from perturbed and dying organisms - the concept of photon cycling in biological systems. In: *Integrative Biophysics* (F.-A. Popp and L. Belousov eds), Kluwer Acad Publ, Dordrecht/Boston/London, 2003. - P. 307-330.
36. Stern C.D., MacKenzie D.O. Sodium transport and the control of epiblast polarity in the early chick embryo // *J. embryol. Exp. Morphol.* - 1983. - V.77. - P. 73-98.
37. Webb S.J. Nonlinear phenomena in bioenergetics and oncology as seen in 25 years of research with millimeter microwaves and Raman spectroscopy. In: *Coherent Excitations in Biological Systems* (H. Fröhlich and F. Kramer eds) Springer-Verlag, Berlin, 1983. - P. 549-566.
38. Welch G.R., M.N. Berry Long-range energy continua in the living cell: protochemical considerations. In: *Coherent Excitations in Biological Systems* (H. Fröhlich and F. Kramer eds) Springer-Verlag, Berlin, 1983. - P. 95-116.
39. Wu T.M. Fröhlich's theory of coherent excitation - a retrospective. In: *Bioelectrodynamics and Biocommunication* (Mac-Wan Ho, F.-A. Popp and U. Warnke eds), World Scientific, Singapore etc., 1994. - P. 387-410.

*Поступила в редакцию 25.11.2004 г.*



**УДК 577.1**

## **СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

*Войков В.Л., Чалкин С.Ф., Нилов С.Н.*

В ходе исследований собственного излучения различных биологических и других объектов сверх-низкой интенсивности с использованием высокочувствительных фотоэлектронных умножителей, мы в ряде случаев наблюдали, что значения темнового тока ФЭУ на одном и том же приборе, находящемся в первом приближении в одних и тех же физических условиях, могут меняться от одного дня к другому на десятки и сотни процентов. Попытки выявить причины этой нестабильности привели нас к выводу, что одним из факторов, который может оказывать влияние на значения темнового тока является влажность воздуха окружающей среды. В некоторые дни с повышенной влажностью атмосферы высокие значения темнового тока наблюдались значительно чаще, чем в более сухие дни. Удовлетворительного объяснения этой зависимости мы в тот период дать не смогли.

С другой стороны, при исследовании сверх-слабого свечения, сопровождающего протекание amino-карбонильной реакции в водном растворе метилглиоксала и глицина, при котором развивается автоколебательный режим излучения, продолжающийся в течение многих часов [1], мы обнаружили, что характер излучения (регулярность волн люминесценции, их периодичность) зависит от того, включен или выключен фотоумножитель, регистрирующий излучение [2]. Это указывало на возможность возникновения обратной связи между ФЭУ и объектом, излучение которого регистрируется этим ФЭУ. Удовлетворительного объяснения механизму возникновения такой обратной связи в тот момент времени нам предложить не удалось.

Возможность понимания, каким образом ФЭУ может реагировать на состояние воздуха, с которым контактирует его входное окно, а также причин возникновения обратной связи между ФЭУ и объектом, излучение которого он регистрирует, появилась при изучении особенностей работы нового сконструированного нами детектора одиночных фотонов. Этот детектор оснащен двумя фотоумножителями, окна которых обращены друг к другу и смотрят в камеру, состав воздуха в которой может контролироваться. В известных приборах, оснащенных двумя ФЭУ и предназначенных для регистрации вспышек излучения из объекта (например, в жидкостных сцинтилляционных счетчиках радиоактивности), подбирают ФЭУ, максимально близкие по своим характеристикам. Новый прибор, названный нами «Биотокс 7с» [3], оснащен двумя разными ФЭУ. Один из них чувствителен лишь к

## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

---

видимой области спектра (Вид-ФЭУ), другой, так называемый «солнце-слепой», регистрирует фотоны только в ультрафиолетовой и вакуумной УФ-области спектра (УФ-ФЭУ). При испытаниях этого прибора было обнаружено, что при включении УФ-ФЭУ и только при наличии оптического контакта между двумя ФЭУ интенсивность счета фотонов Вид-ФЭУ возрастает, причем интенсивность роста зависит от влажности воздуха в помещении. Помимо этого выяснилось, что и при отсутствии оптического контакта между двумя ФЭУ показания УФ-ФЭУ существенно возрастают, если в камеру помещена вода в открытом для испарения сосуде.

Целью настоящей работы было выяснение природы нового явления – влияния ФЭУ, чувствительного только в ультрафиолетовой области спектра на показания ФЭУ, чувствительного к фотонам в видимой области спектра. Было обнаружено, что это влияние является не прямым, а опосредовано парами воды в воздухе, заполняющем пространство между двумя ФЭУ, в которых развивается разветвленной зависимый от кислорода процесс с высоким квантовым выходом.

### **Материалы и методы.**

Блок-схема прибора «Бионокс 7с» представлена на рис. 1. Прибор оснащен двумя фотозлектронными умножителями – ФЭУ-101, обладающим максимальной чувствительностью в области 380-490 нм и практически нечувствительным к фотонам с  $\lambda < 300$  нм и ФЭУ-142, предназначенным для исследований в вакуумной ультрафиолетовой (до  $\lambda = 112$  нм) и ультрафиолетовой областям спектра. Относительная спектральная чувствительность ФЭУ-142 к фотонам с  $\lambda \geq 400$  нм менее 0,1%. Максимальная чувствительность (~10%) этого ФЭУ лежит в диапазоне 200-250 нм. Окна ФЭУ направлены друг на друга и расположены на расстоянии 5 см. Окно ФЭУ-101 выполнено из стекла (пропускание  $\lambda > 320$  нм), а ФЭУ-142 – из  $MgF_2$  (пропускание  $\lambda > 110$  нм). Диаметр окон обоих ФЭУ равен 1 см. Рабочее напряжение на ФЭУ-142 составляло 1700 в (допустимое напряжение – до 1700 в), а на ФЭУ-101 – 800 в (допустимое напряжение – до 880 в), Фотокатоды обоих ФЭУ заземлены.

Камера для образцов представляет собой выполненную из дюралюминия цилиндрическую гильзу с двумя отверстиями на противоположных стенках. В режиме регистрации излучения от образца, помещенного во внутреннюю полость гильзы, она повернута отверстиями к окнам ФЭУ; для смены образца гильзу поворачивают на  $90^\circ$  так, что окна ФЭУ закрываются сплошной стенкой гильзы для предотвращения их засветки. Поворот гильзы осуществляется светонепроницаемой крышкой, закрывающей камеру для образцов.

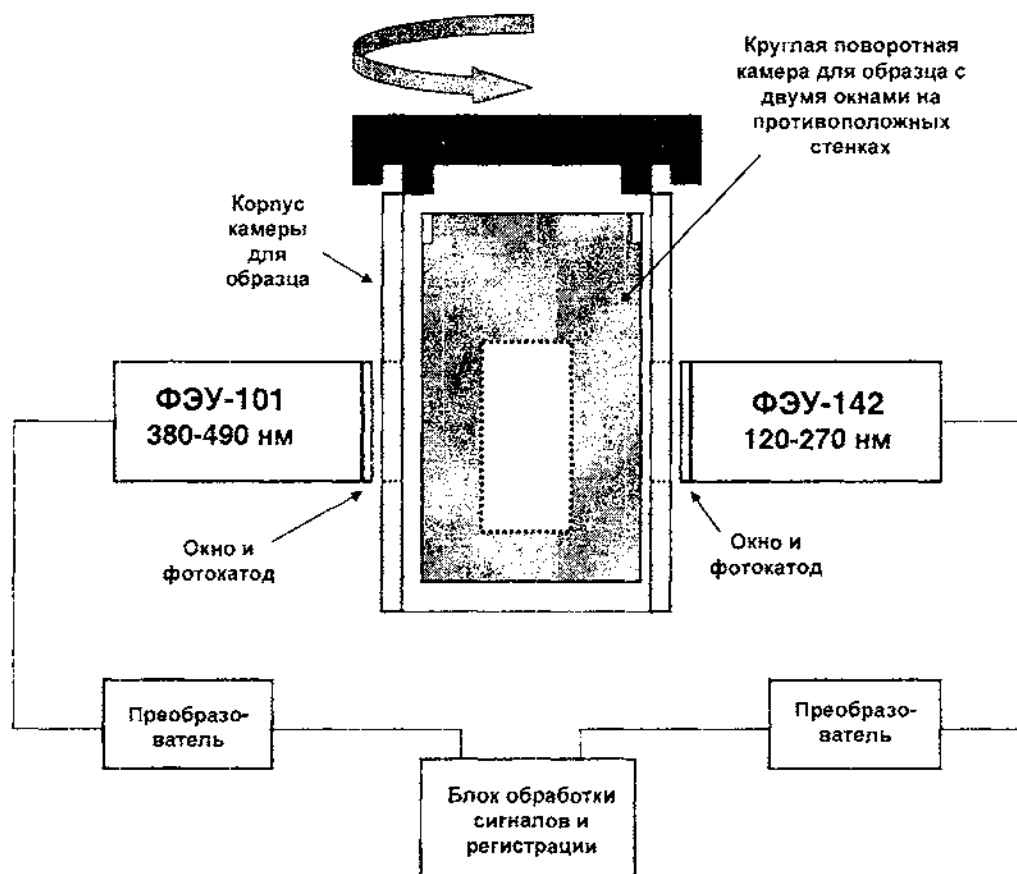


Рис. 1. Блок-схема прибора «Биотокс 7с».

Для измерения влажности и температуры воздуха в камере для образцов использовали светонепроницаемую крышку, в которую встраивали комбинированный зонд, присоединенный к сетевому микропроцессорному измерителю относительной влажности и температуры ИВТМ-7 МК-С (ОАО «Практик-НЦ», Москва, Зеленоград). В крышке также имеются отверстия для светонепроницаемых шлангов. Через шланги камеру продували газами, либо осушенными при их предварительном пропускании через колонну, заполненную 1 литром сухого силикагеля, либо увлажненными при пропускании через заполненную водой промывалку. В качестве газов использовали лабораторный воздух, либо баллонные газы азот, аргон или гелий (категории не ниже «высокой чистоты») по отдельности или в смеси с воздухом.

В ряде экспериментов на дно камеры вне поля видимости ФЭУ устанавливали чашечку с дистиллированной водой и регистрировали сигнал, одновременно снимаемый с обоих ФЭУ в течение длительного времени.

#### Результаты.

Как видно на Рис. 2, при включении УФ-ФЭУ счет фотонов Вид-ФЭУ возрастает более, чем в 3 раза при влажности воздуха в камере около 20%. Далее через камеру

## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

стали пропускать сухой воздух. Снижение влажности воздуха сопровождается одновременным уменьшением счета фотонов как Вид-ФЭУ, так и УФ-ФЭУ, причем интенсивность счета фотонов УФ-ФЭУ снижалась быстрее. При выключении тока сухого воздуха (отсчет времени 1500 сек), когда в камеру начал диффундировать более влажный лабораторный воздух, счет фотонов обонми ФЭУ стал возрастать.

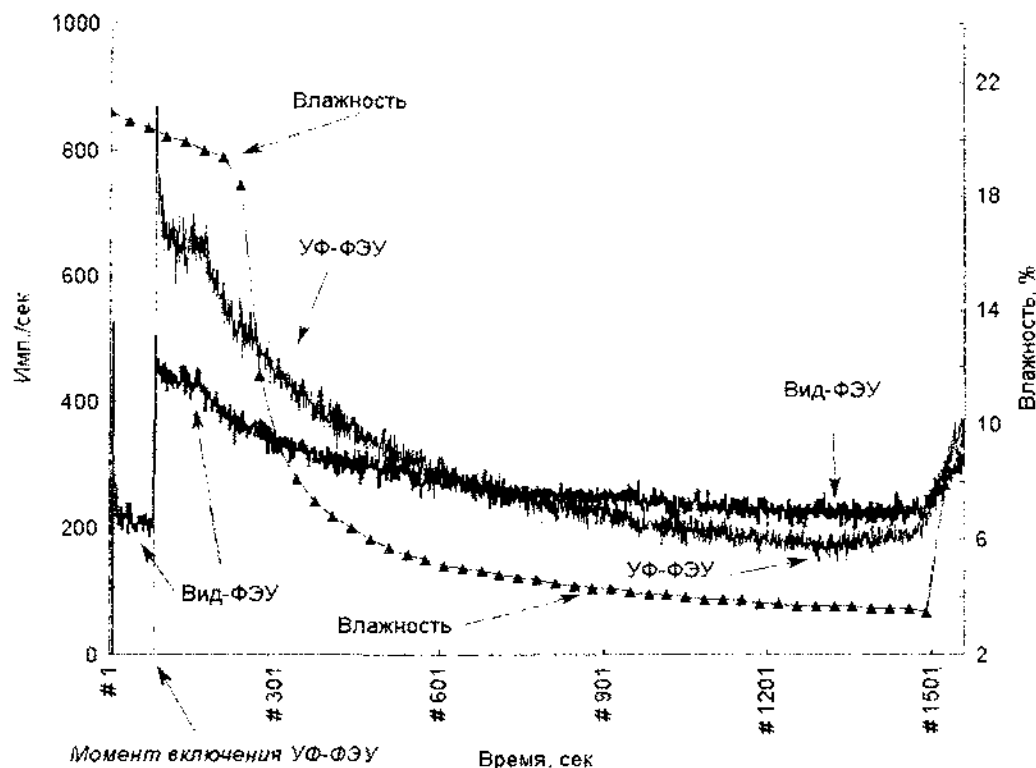


Рис. 2. Влияние влажности воздуха в камере для образцов на интенсивность счета фотонов Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ при наличии между ними оптического контакта. При выключенном УФ-ФЭУ влияния влажности воздуха на показания Вид-ФЭУ зарегистрировано не было.

При включении УФ-ФЭУ, находящегося в оптическом контакте с Вид-ФЭУ в условиях постоянной и умеренной (~20%) влажности воздуха в камере выход счета фотонов как УФ-ФЭУ на стационарный уровень, так и Вид-ФЭУ на новый уровень происходит не мгновенно (Рис. 3). При временном разрешении 30 мсек можно видеть, что после включения УФ-ФЭУ счет фотонов на нем выходит на стационарный уровень примерно через 300 мсек, а счет фотонов Вид-ФЭУ повышается до нового стационарного уровня примерно за 100 мсек (Рис. 3). При выключении УФ-ФЭУ счет фотонов Вид-ФЭУ возвращается к прежнему уровню за время не более 30 мсек (счет фотонов УФ-ФЭУ прекращается, естественно, немедленно).

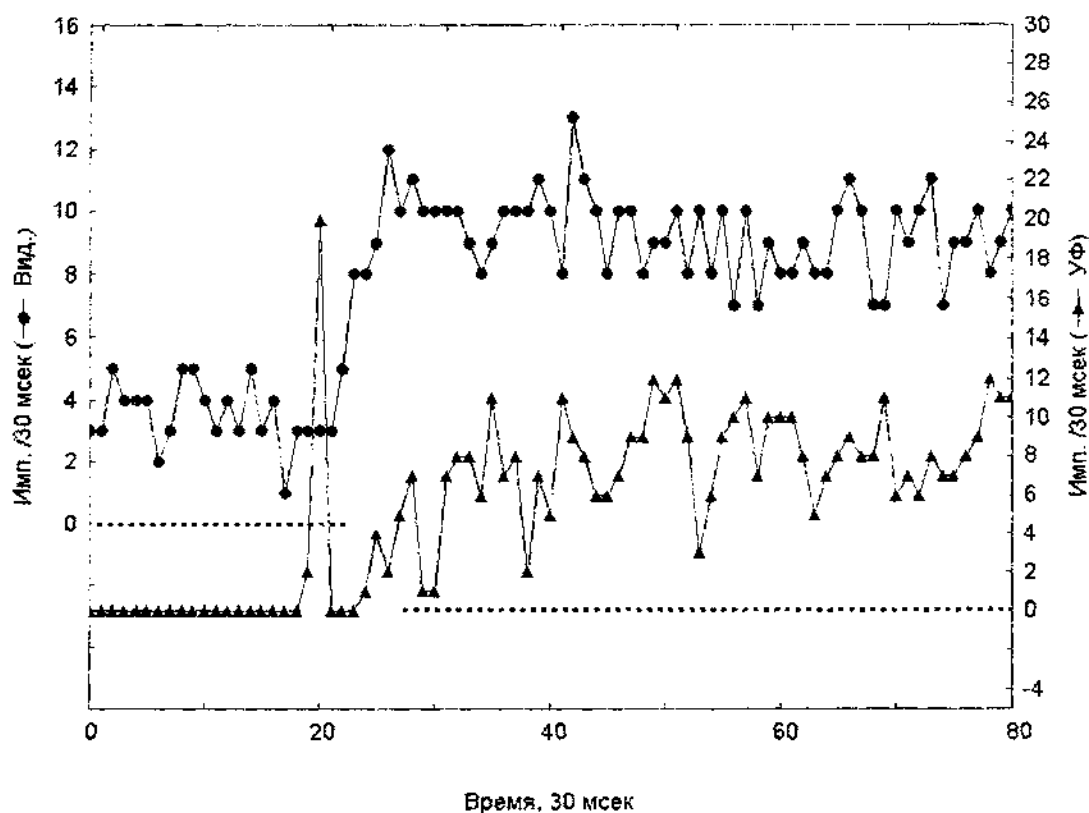


Рис. 3. Кинетика роста фотонов ФЭУ при включении УФ-ФЭУ при временном разрешении 30 мсек.

Счет фотонов Вид-ФЭУ возрастает как при включении УФ-ФЭУ (при открытом окне между ними), так и если УФ-ФЭУ уже включен, и между двумя ФЭУ устанавливаются оптический контакт (Рис. 4). При открывании окна между двумя работающими ФЭУ происходит также заметное снижение счета фотонов УФ-ФЭУ. Это снижение связано с изменением оптических условий вблизи окна УФ-ФЭУ. Положение внутренней дюралюминиевой гильзы с отверстиями (Рис. 1) относительно окна ФЭУ при закрытой шторке таково, что на расстоянии ~ 1 мм против окна ФЭУ располагается обладающая высокой отражательной способностью поверхность. При повороте гильзы, когда шторка открыта, окно УФ-ФЭУ «смотрит» в свободное пространство камеры для образцов. Дополнительные эксперименты показали, что если вблизи окна УФ-ФЭУ установить зеркало, то интенсивность счета фотонов может возрастать в зависимости от влажности воздуха на 200-300%. На расстоянии 1 см от окна ФЭУ зеркало уже не оказывает такого влияния. Если отверстие в гильзе закрыть черной бумагой, то это существенно не сказывается на счете УФ-фотонов в сравнении с открытым окном.



СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ  
УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

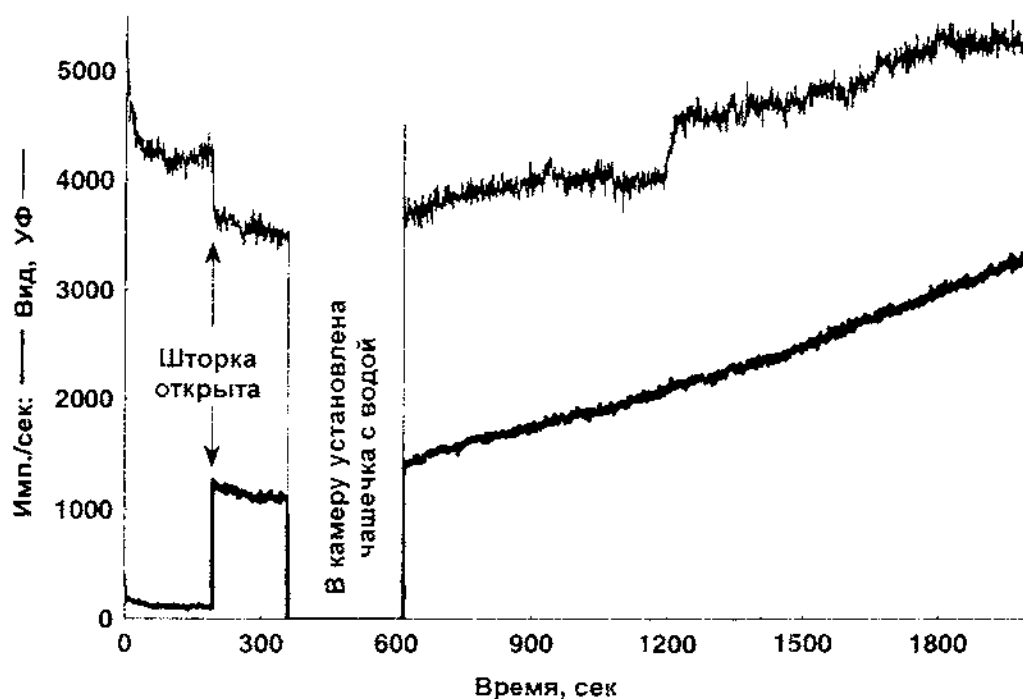


Рис. 4. Изменение счета фотонов Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ при установлении оптического контакта между ними. Нарастание счета фотонов при повышении влажности в камере.

На рисунке 4 показано также, что если на дно камеры установить чашечку с водой (вне поля «видимости» обоих ФЭУ), счет фотонов начинает возрастать. Была поставлена серия экспериментов, в которой влажность воздуха в камере быстро увеличивали, продувая через нее влажный воздух, пропущенный через промывалку с дистиллированной водой. В этих опытах камеру предварительно осушивали до значений влажности 1-2%. Результаты типичного эксперимента представлены на Рис. 5.

Видно, при глубоком осушении воздуха в камере интенсивность счета фотонов УФ-ФЭУ превышает таковую Вид-ФЭУ (ср. Рис. 2). Однако при повышении влажности скорость счета импульсов Вид-ФЭУ возрастает быстрее, чем УФ-ФЭУ и при влажности, превышающей 22-25%, когда счет фотонов обоими ФЭУ сравнивается, наблюдается заметное замедление нарастания счета фотонов УФ-ФЭУ при сохранении той же скорости роста счета фотонов Вид-ФЭУ. В результате интенсивность счета фотонов в видимой части спектра превышает таковую УФ-фотонов в 10 и более раз. Обращает на себя внимание, что при достижении определенной влажности воздуха в камере начинается период существенной нестабильности счета фотонов. В серии из 4-х опытов эта нестабильность возникала в диапазоне влажности от 65 до 75%. Особенно ярко нестабильность проявляется в видимой области спектра, где размах колебаний счета фотонов достигает десятков тысяч импульсов/сек. Интенсивность счета фотонов как в УФ- так и в видимой области спектра достигает максимума при максимальной влажности и далее



начинает снижаться, даже если влажность в течение некоторого времени не меняется. При варьировании влажности воздуха в камере счет фотонов обоими ФЭУ реагирует соответствующими изменениями интенсивности, и быстро снижается при осушении камеры.

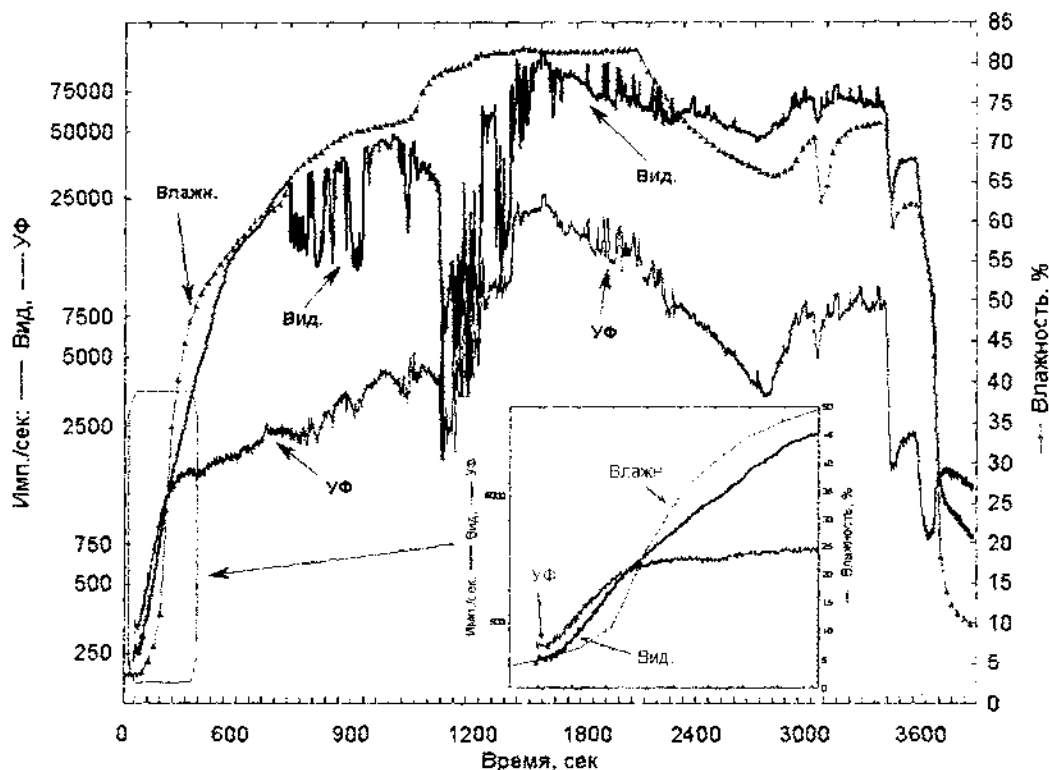


Рис. 5. Динамика изменения счета фотонов Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ при быстром увеличении влажности в камере продуваемой воздухом, пропущенным через промывалку с дистиллированной водой. Врезка – изменение счета фотонов на начальном этапе продувки камеры.

Относительные изменения счета фотонов Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ существенно зависели от состава газовой фазы при продувке камеры различными влажными газами. Так, с началом продувки камеры влажным азотом после ее предварительной просушки наблюдался резкий всплеск интенсивности счета фотонов как Вид-ФЭУ, так и УФ-ФЭУ, причем примерно через 5 мин после начала продувки, когда в камере установилась стабильно высокая влажность воздуха, произошло существенное снижение счета Вид-ФЭУ при сохранении высокого счета импульсов УФ-ФЭУ (рис. 6).

При последующей замене влажного азота на влажный воздух наблюдалось быстрое падение счета УФ-ФЭУ и резкий всплеск счета Вид-ФЭУ, что характерно для счета фотонов во влажном воздухе (ср. рис. 5). Повторная замена воздуха на азот и азота на влажный воздух сопровождалась теми же характерными

## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

изменениями счета фотонов этими двумя ФЭУ – снижение разницы в значениях счета УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ в атмосфере, обогащенной влажным азотом при повышении счета УФ-ФЭУ и снижении счета Вид-ФЭУ и обратная картина при продувке камеры обычным влажным воздухом.

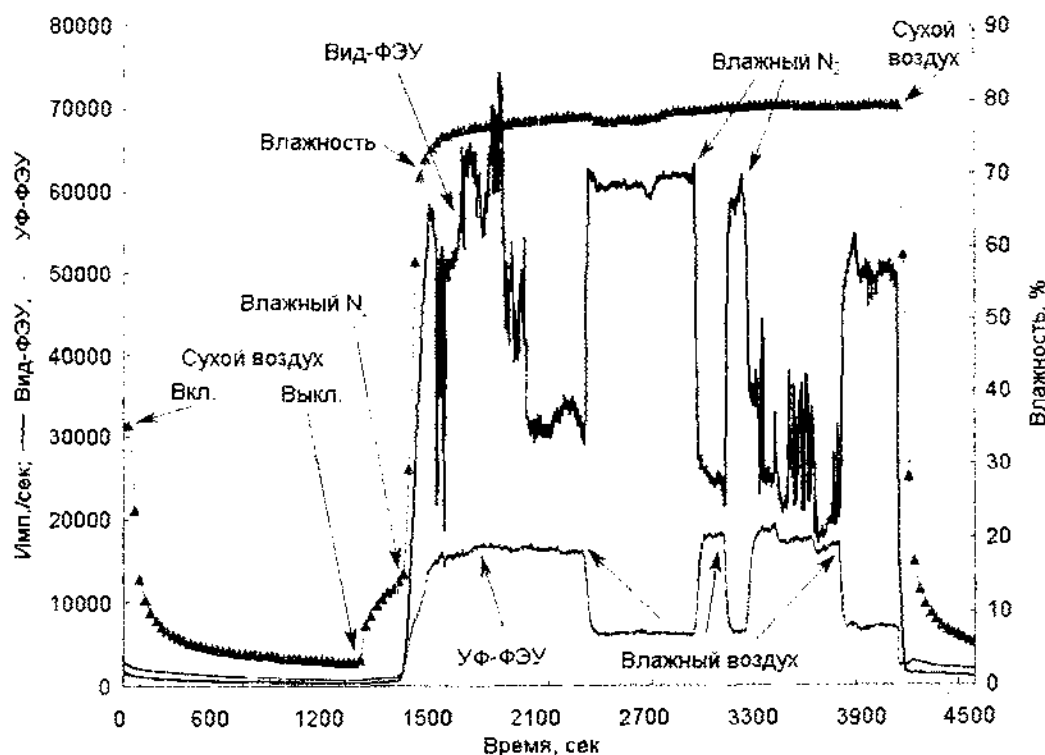


Рис. 6. Влияние перемежающейся продувки камеры влажным азотом и влажным воздухом на счет фотонов Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ.

Другая картина наблюдалась при продувке камеры гелием. При подаче в камеру гелия произошла чрезвычайно резкая вспышка УФ-фотонов, и счет импульсов УФ-ФЭУ достиг за 1,5 мин значений, превышающих 200 000 имп./сек с выбросами, достигавшими 3-3,5 сотен тысяч имп./сек (Рис. 7). При этом счет фотонов Вид-ФЭУ был существенно ниже, чем счет фотонов УФ-ФЭУ; его максимальные значения не превышали 70 000 имп./сек. Примерно через 2 мин после начала продувки камеры гелием возникла чрезвычайно сильная нестабильность счета фотонов. В течение 2-3 сек счет фотонов УФ-ФЭУ мог варьировать от 0 до 250 тысяч имп./сек. Столь же резкие вариации счета фотонов отмечались и для Вид-ФЭУ, хотя их амплитуда была в несколько раз меньше (см. врезку на Рис. 7).

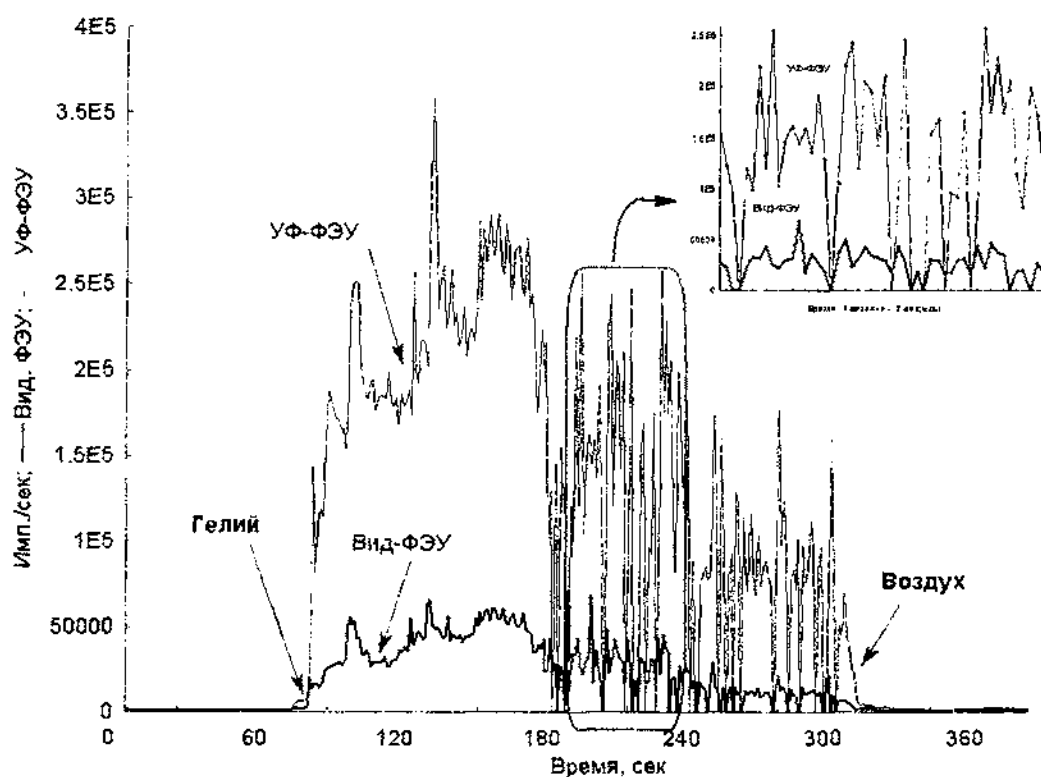


Рис. 7. Влияние продувки камеры гелием на счет фотонов УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ. Врезка – фрагмент временного ряда между 180 и 240 сек с растянутой шкалой времени. При выключенном УФ-ФЭУ повышение содержания в воздухе гелия не оказывало влияния на показания Вид-ФЭУ.

При продувке камеры аргоном наблюдалась картина, сходная с той, что и при продувке ее гелием – интенсивность счета УФ-ФЭУ повышалась до очень больших значений и существенно превышала интенсивность счета Вид-ФЭУ. В обоих случаях последующая продувка камеры сухим воздухом приводила к быстрому снижению счета фотонов обоими ФЭУ, а последующая ее продувка влажным воздухом сопровождалась развитием картины, сходной с той, что иллюстрирует Рис. 5.

Таким образом, при разном составе газов в камере для образца наблюдается совершенно разные картины счета фотонов УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ. Эффект газов обратим, однако полная обратимость наблюдалась только после тщательной продувки камеры сухим воздухом до того момента, когда счет фотонов УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ снижался до минимальных значений.

Представляло интерес исследовать динамические характеристики процессов, развивающихся и протекающих в течение длительного времени в газовой фазе камеры для образцов без дополнительных воздействий, таких как потоки воздуха при принудительном продувании камеры, изменение температуры и т.д. Результаты типичного эксперимента, в котором высокая влажность в камере поддерживалась за

## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

счет испарения воды из чашечки, установленной на дно камеры для образца, а запись счета Вид-ФЭУ и УФ-ФЭУ с разрешением 1 сек проводилась в течение более 20 часов, представлены на Рис. 8 А.

Процесс состоит из нескольких этапов. После открытия шторки между двумя ФЭУ (36 мин от установки в камеру чашечки с водой и начала регистрации) наблюдается резкий скачок интенсивности счета Вид-ФЭУ и небольшое первоначальное снижение счета УФ-ФЭУ (Рис. 8Б), как это было уже отмечено ранее (см. Рис. 4). Далее в течение 6-8 часов в среднем наблюдается рост интенсивности счета обоими ФЭУ, сопровождаемый появлением колебаний интенсивности счета Вид-ФЭУ и резкими непредсказуемыми скачками счета УФ-ФЭУ. Осцилляции интенсивности счета Вид-ФЭУ представлены в более крупном масштабе на рис. 8В, из которого видно, что несмотря на сильно нелинейный характер колебаний интенсивности счета, они в значительной мере упорядочены. На этом фрагменте видно, что импульсные всплески излучения в видимой области спектра (длительность 1-2 сек) за короткий период времени превращаются во всплески с релаксацией. На этом участке осцилляционный характер счета фотонов УФ-ФЭУ еще не столь очевиден, но он становится таковым на следующей стадии, которая начинается через 10-12 часов после начала эксперимента и характеризуется очень интенсивными и регулярными колебаниями счета Вид-ФЭУ.

Стабильность этого режима излучения видна на рис. 8Г. На этом этапе УФ-ФЭУ выключали на различные промежутки времени, начиная от 1 минуты (около отметки времени 63710 сек) и до 30 мин (около отметки времени 69800 сек). Выключение УФ-ФЭУ сопровождалось немедленным падением интенсивности счета фотонов Вид-ФЭУ, но после включения УФ-ФЭУ интенсивность счета фотонов Вид-ФЭУ не только скачкообразно возрастала, но и быстро восстанавливался тот же колебательный режим счета фотонов, который предшествовал выключению УФ-ФЭУ. Следует отметить, что время, которое требовалось для восстановления этого режима, не слишком сильно зависело от длительности периода, в течение которого УФ-ФЭУ был выключен. Т.е. состояние системы, включающей в себя газовую среду в камере для образцов вместе с другими элементами измерительного устройства (адсорбция субстанций на стенки камеры, окна ФЭУ) перешло в новое состояние в ходе сопровождающегося излучением процесса.

### **Обсуждение.**

В настоящей работе показано, что в детекторе одиночных фотонов, оснащенном двумя ФЭУ с разной спектральной чувствительностью, расположенных так, что окна УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ находятся на расстоянии 5 см друг против друга, наблюдается 2 необычных эффекта: влияние оптического контакта между двумя работающими ФЭУ на показания счета Вид-ФЭУ и сильная нестабильность счета УФ-ФЭУ. Оба эффекта существенно зависят от влажности воздуха, заполняющего пространство между двумя ФЭУ. При минимальной влажности первый эффект слабо выражен, а второй практически отсутствует, а с увеличением влажности воздуха степень их выраженности становится очень яркой. В доступной нам литературе сведений о подобного рода явлениях обнаружить не удалось.

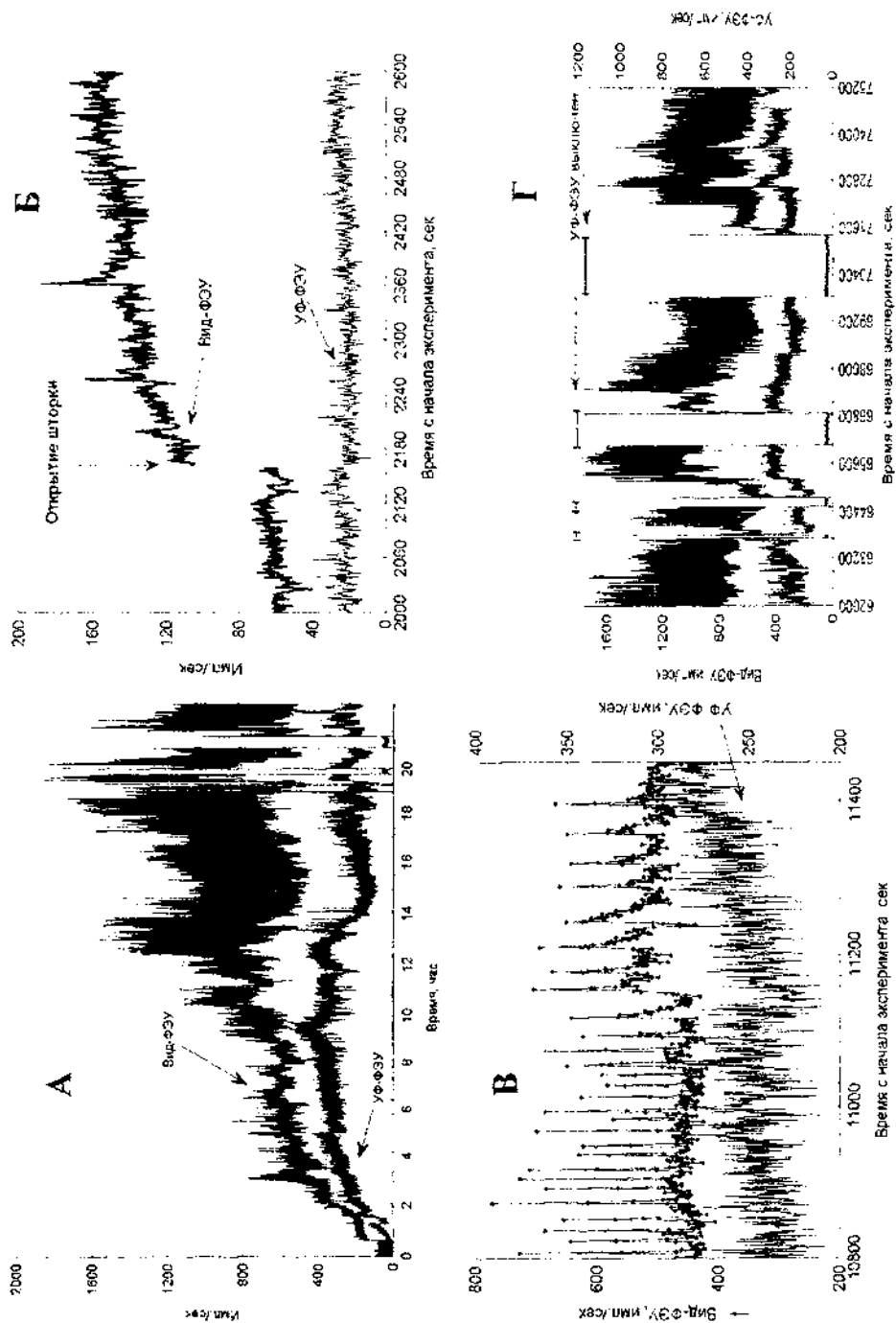


Рисунок 8. А. Регистрация счета фотонов УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ при установке на дно камеры инастмассовой чашечки с 200 мкл дистиллированной воды в течение 21 часа с разрешением во времени 1 сек. Б. Момент открытия шторки между ФЭУ. В. Один из участков временного ряда с резкими колебаниями счета фотонов Вид-ФЭУ. Г. Развивившийся процесс, на котором в разные промежутки времени выключали УФ-ФЭУ



## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

---

Анализ условий, при которых возникают указанные эффекты, позволяет утверждать, что это явление не может быть обусловлено простым аппаратным артефактом, например, возникновением каких-либо наводок в электронных схемах, обслуживающих разные ФЭУ, или влиянием влажности воздуха на работу электронных схем. Во-первых, влияние УФ-ФЭУ на скорость счета фотонов Вид-ФЭУ обнаруживается только при наличии оптического контакта между ними. Этого влияния нет, не только когда УФ-ФЭУ выключен, но и когда он включен, но оптический канал отсутствует за счет закрытой шторки или просто установки между двумя ФЭУ оптически плотной преграды. Последний факт позволяет также отвергнуть предположение о том, что между двумя ФЭУ возникает какого-то рода электромагнитное поле. Электростатические эффекты можно также исключить не только потому, что оба фотокатода заземлены, а напряжение подается только на аноды, но и потому что эффекты растут с увеличением влажности, тогда как статические заряды накапливаются при пониженной влажности воздуха. Объяснить эффекты влиянием влажности на электронные схемы также трудно по нескольким причинам. Во-первых, при высокой влажности воздуха, продуваемого через камеру, небольшие и быстрые его вариации и быстрая замена влажного воздуха на сухой сразу же (за секунды) сказывается на скорости счета фотонов обоими ФЭУ (Рис. 5, правая часть графика). Учитывая габариты прибора трудно предположить, что эти вариации влажности воздуха в камере, достаточно хорошо изолированной от отсека прибора, в котором расположена электронная схема, так быстро скажутся на влажности ее компонентов, контактов, поверхностей электронных плат и т.д. Исключают такое объяснение наблюдаемых эффектов также и результаты эксперимента с пропусканием через камеру влажного азота и быстрой его заменой на влажный воздух, когда скорость счета фотонов обоими ФЭУ быстро и обратимо меняется при сохранении почти постоянной влажности газа в камере (Рис. 6). Влияние на электронные компоненты прибора изменения содержания кислорода в воздухе, заполняющем камеру для образцов при постоянной его влажности, представить себе, по нашему мнению, невозможно.

Таким образом, объяснение наблюдаемым эффектам следует искать исходя из того, что УФ-ФЭУ, находящийся под рабочим напряжением, оказывает влияние на газовую фазу, с которой контактирует его окно. Что касается Вид-ФЭУ, то этот прибор мы можем рассматривать как чистый регистратор событий, происходящих в газовой фазе, на которую оказывает влияние УФ-ФЭУ, поскольку достоверного влияния изменения влажности и состава газов в воздухе на его показания при выключенном УФ-ФЭУ мы не наблюдали.

Хорошо известно, что все фотоумножители характеризуются наличием так называемой обратной связи – переноса возбуждения в сторону фотокатода. Обратная связь возникает вследствие ионизации молекул остаточных газов, либо возбуждения люминесценции поверхностей или остаточных газов электронным ударом. Обратная связь проявляется в «послеимпульсах» – импульсах, которые возникают спустя несколько сотен-тысяч наносекунд после импульса, свидетельствующего о регистрации фотона [4, 5]. Однако на работе самого ФЭУ обратная связь сказывается, лишь когда рабочее напряжение повышается до области

нестабильности. В нашем случае рабочее напряжение на УФ-ФЭУ составляло 1700 в при допустимом согласно его паспортным данным – 2200 в, т.е. обратная связь в том смысле, в каком его рассматривают в практике использования фотоумножителей, отсутствовала. Тем не менее, вероятность переноса возбуждения из колбы ФЭУ в сторону фотокатода даже при этом режиме работы ФЭУ, очевидно, не может быть нулевой. Каковы же могут быть последствия этих редких событий?

Окно УФ-ФЭУ (ФЭУ-142), предназначенного для регистрации фотонов вакуумной УФ-области спектра, выполнено из кристалла  $MgF_2$ . Этот анизотропный кристалл обладает высокой прозрачностью вплоть до 110 нм. Его недостатком считается относительно высокая гигроскопичность, хотя  $MgF_2$  почти нерастворим в воде [6]. Другими словами, на поверхности окна ФЭУ-142 при наличии в воздухе паров воды образуется водяная пленка, причем ее толщина, очевидно, тем больше, чем выше влажность воздуха. Как отмечалось выше, фотоэлектроны, попадающие на первый диод, могут индуцировать люминесценцию его материала. На этом эффекте построена, например, электрон-фотонная спектроскопия металлов, основанная на том, что спектры излучения металлов при попадании на них электронов с энергией от нескольких десятков до 200 эВ довольно устойчивы. В них представлены фотоны с энергией в несколько электрон-вольт, соответствующие энергии ближнего и среднего ультрафиолета [7, 8]. Интенсивность генерации этих фотонов, по-видимому, недостаточна для того, чтобы вызвать послеимпульсы при нормальных условиях работы ФЭУ. Но они легко проникают через прозрачное для них окно  $MgF_2$  и попадают в пленку воды, покрывающую окно снаружи при достаточной влажности воздуха в камере.

Что из себя представляет водная пленка, формирующаяся на поверхности кристалла  $MgF_2$  и служащая мишенью для УФ-фотонов, поступающих из колбы ФЭУ? Еще в 1965 г. Гилбертом Лингом была предложена теория поляризованной многослойной клеточной воды [9]. Согласно этой теории, у гидрофильной поверхности, особенно если положительные и отрицательные заряды на ней регулярно перемежаются (например, на поверхности полимерной молекулы), а тем более расположены в шахматном порядке (если это двумерная поверхность), молекулы воды выстраиваются послойно. При этом вода в каждом слое, особенно в слоях, непосредственно прилегающих к поверхности, поляризована – дипольные моменты у соседних молекул воды направлены в противоположные стороны. Все это ограничивает подвижность молекул воды, обеспечивая ее квазикристаллическое состояние. Согласно теории Линга, поляризация молекул воды позволяет обеспечить значительное дальное действие, т.е. формирование многослойной, объемной водной структуры около поляризующей воду поверхности.

В современной литературе, посвященной организации прилегающей к гидрофильным поверхностям воды, накопилось достаточное количество экспериментальных данных, подтверждающих теорию Линга (напр., [10, 11, 12]). В ряде исследований показано, что упорядоченные слои воды могут простираться на расстояние, достигающее сотен нанометров, что соответствует многим сотням и даже тысячам прилежащих друг к другу слоев воды [13, 14]. Очевидно, что

## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

дальнодействие поверхности, на которой адсорбируется вода, зависит от свойств этой поверхности. Недавно Гилберт Линг выдвинул новую теорию поляризованных полислоев воды, являющуюся дальнейшим развитием его более ранних представлений [15]. Он доказал, что поверхность идеального кристалла, на которой в шахматном порядке располагаются центры положительного или отрицательно заряда при условии, что расстояние между этими центрами равно  $3,1 \text{ \AA}$  (среднее расстояние между двумя молекулами воды в жидкой воде) способны поляризовать и ориентировать *бесконечное* число слоев воды. Вода, поляризованная этой идеальной поверхностью, не замерзает вплоть до  $0^\circ \text{ K}$  и кипит при температуре не ниже, а, возможно, и выше, чем  $451^\circ \text{ C}$  при нормальном атмосферном давлении.

К счастью, таких идеальных поверхностей в природе не бывает, но поверхности некоторых твердых тел обладают свойствами, приближающимися к свойствам поверхности идеального кристалла. Так, расстояние между соседними ионами  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Cl}^-$  на полированной поверхности кристалла  $\text{AgCl}$  составляет по разным оценкам от  $2,77$  до  $3,07 \text{ \AA}$ . Оказалось, что пленка воды толщиной  $10 \text{ мкм}$ , заключенная между двумя полированными пластинками  $\text{AgCl}$  не замерзает при температуре жидкого воздуха [16]. Имеются также данные о том, что слой воды толщиной  $1 \text{ мкм}$ , заключенный между двумя полированными стеклянными или кварцевыми поверхностями не замерзает даже при температуре  $-90^\circ \text{ C}$ , а вода из него не испаряется при температуре, достигающей  $300^\circ \text{ C}$  (цит. по Ling, 2003).

Прямые исследования структурных особенностей пленочной воды на поверхности кристалла  $\text{MgF}_2$  нам неизвестны, но учитывая, что по рекомендациям производителя ФЭУ-142 для удаления водной пленки после хранения фотоумножителя на воздухе его следует прокалить, прочность этой пленки достаточно высока. Хорошо известно, что под действием коротковолновой радиации в оптической полосе Шумана-Рунге:  $100 < \lambda < 190 \text{ нм}$  ( $12,3\text{--}6,5 \text{ эВ}$ ) на пары воды в атмосфере происходит фотодиссоциация воды на атом водорода и гидроксильный радикал [17, 18]. Недавно Ю.В.Новиковская выдвинула и теоретически подтвердила гипотезу о принципиальной роли воды в рассеянии УФ излучения. Ею показано, что микрокапли и кристаллы чистой воды, включая поверхностные слои микрочастиц льда и воды способны поглощать ультрафиолет с энергией

около от  $4,7$  до  $6,1 \text{ эВ}$ , что должно сопровождаться гомолитической диссоциацией воды на атомы водорода и гидроксил-радикалы ( $\text{H—O—H} \rightarrow \text{H} \cdot + \cdot\text{OH}$ ), а, возможно, и ее фотоионизацией [19]. Установлено также, что вероятность гомолитической диссоциации воды в жидкой фазе даже под действием механической энергии (течение воды) резко возрастает в потоках воды, омывающих твердую стенку за счет механохимического механизма диссоциации воды как динамически нестабильной полимерной системы [20].

Основываясь на всем вышесказанном можно предположить, что пленка воды, сорбированная на поверхности окна ФЭУ-142 является эффективным экраном, поглощающим УФ-фотоны, приходящие из глубины ФЭУ, для которых окно из  $\text{MgF}_2$  прозрачно. Описанные выше эффекты влияния УФ-ФЭУ на повышение скорости счета фотонов Вид-ФЭУ при наличии оптического контакта между ними и

нестабильность счета УФ-фотонов УФ-ФЭУ, существенно зависящие от влажности воздуха в камере, свидетельствуют о том, что пленка воды выступает в роли трансформатора энергии УФ-фотонов в химическую энергию свободных радикалов, возникающих при фотодиссоциации воды. Усиление сигналов, регистрируемых УФ-ФЭУ с увеличением влажности воздуха говорит также и о том, что возникающие в пленке свободные радикалы и, возможно, возбужденные ионы не рекомбинируют безрезультатно, а являются стартом новых реакций, которые выступают в роли чрезвычайно эффективных усилителей начальных редких импульсов.

К реакциям, при протекании ходе которых свободная энергия системы, а, следовательно освобождая энергия растет, относятся цепные реакции с разветвлениями, в которых участвует кислород [21, 22]. Как известно, молекулярный кислород, являясь бирадикальной частицей, способен легко вступать в реакции со свободными радикалами, образуя пероксиды или их радикалы, а те, в свою очередь, способны при наличии достаточной энергии активации диссоциировать, порождая новые активные центры (новые свободные радикалы) во все возрастающем количестве до тех пор, пока скорость их продукции не сравняется со скоростью их исчезновения в результате рекомбинации. Для инициации такой реакции в достаточно адекватного импульса, энергия которого достаточна для появления в реакционной системе свободно-радикальных частиц, и их возбуждения или возбуждения кислорода. При благоприятных условиях (преодоление определенных пороговых концентраций реагентов, определенной степени упорядоченности реакционной системы) реакция далее развивается спонтанно и на начальном этапе – по экспоненциальному закону. Ранее нами было показано, что такие реакции могут протекать в водных растворах простых органических и даже неорганических соединений [23, 24, 25]. Полученные в настоящей работе данные являются первым указанием на то, что подобного рода процессы могут начинаться в тонкой пленке воды, а затем распространяться на газовую фазу, содержащую пары воды.

Каким же образом возбуждение, порождаемое в тонкой пленке воды, может распространяться с усилением в газовой фазе на расстояние до 5 см (расстояние между окном УФ-ФЭУ и Вид-ФЭУ)? Наиболее возможный, по нашему мнению, вариант – это распространение возбуждения от пленки на поверхности УФ-ФЭУ по парам воды, где это возбуждение способствует образованию и размножению новых активных центров. Перенос возбуждения от УФ-ФЭУ к Вид-ФЭУ на расстояние 5 см осуществляется за время порядка 0,1 сек (Рис. 3). При этом после включения УФ-ФЭУ выход на стабильный режим счета УФ-фотонов протекает медленнее (~0,3 сек), поскольку в первый момент времени часть энергии, освобождающейся в пленке воды, уходит, по-видимому, на «разжигание» процесса в камере счетчика. О том, что энергия, освобождающаяся в пленке воды, может расходоваться по двум каналам – на поддержание окислительных процессов в парах воды в камере счетчика и на усиление окислительных процессов в самой пленке, свидетельствуют данные о существенном повышении счета УФ-ФЭУ, когда на расстоянии до 5 мм от окна установлена отражающая поверхность (напр., Рис 4 и данные, полученные с



## СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

алюминиевой фольгой). В то же время установка зеркальной поверхности на расстоянии более 1 см от окна УФ-ФЭУ уже не приводит к повышению им счета фотонов. По нашему мнению, результаты по продувке камеры влажным азотом и особенно гелием, когда содержание кислорода в камере падает, также свидетельствуют о том, что УФ-фотоны, излучаемые пленкой воды могут по принципу автовозбуждения усиливать порождающие их процессы в самой пленке. В обоих случаях соотношение счета УФ-фотонов и фотонов в видимом диапазоне спектра смещается в пользу УФ-фотонов (относительно их соотношения в камере с влажным воздухом). Следует отметить, что при продувке камеры гелием (а также аргоном) это соотношение становится обратным тому, что наблюдается в камере с воздухом за счет громадном роста скорости счета УФ-фотонов. Не исключено, что гелий каким-то образом модифицирует пленку воды так, что окислительные процессы в ней начинают идти чрезвычайно энергично.

Особый интерес представляет возникновение режима квази-периодических колебаний счета фотонов Вид-ФЭУ, возникающего при длительном протекании процесса. Следует отметить, что в течение длительных периодов времени можно наблюдать следующие друг за другом через 10-15 сек всплески излучения, длящиеся 2-3 сек, амплитуда которых может вдвое (а в других экспериментах и больше) превышать базовый уровень излучения. Такие вспышки в некотором отношении напоминают разрядки энергии, накопленной в системе (в данном случае – всего лишь во влажном воздухе!), что говорит о чрезвычайно высокой степени возбуждения этой среды.

Таким образом, представленные в данной работе результаты свидетельствуют о регистрации нового явления – возможности переводить обычный воздух в высоко неравновесное электронно-возбужденное состояние, которое распространяется на макроскопические расстояния за счет воздействия на воздух энергии, порождаемой кислород-зависимыми окислительными процессами в сверх-тонкой, но, по-видимому особым образом упорядоченной пленке воды. В самой же пленке эти окислительные процессы инициируются первоначально очень редкими УФ-фотонами, автоматически и неизбежно возникающими при работе ФЭУ.

Можно предположить, что такого рода явления реализуются и во многих природных системах, как косных, так и живых, где существуют упорядоченные пленки воды, имеющие контакт с кислородом и возбуждаемые время от времени импульсами энергии, вызывающими расщепление воды. В косной природе к таким системам могут относиться водяные кластеры и микрочастицы льда, находящиеся в верхних слоях атмосферы (где, между прочим, должно быть повышено содержание гелия), пленки воды на гигроскопичных кристаллах, в состав которых входят такие природные радиоизотопы, как, например,  $^{40}\text{K}$ . В живой природе это явление может быть распространено еще в большей степени, учитывая, что значительная часть клеточной воды, воды на поверхностях раздела клетка-среда, поверхностях раздела живая ткань-воздух в значительной мере структурирована и многослойна, а кванты энергии, достаточные для расщепления молекул воды в этих пленках регулярно генерируется в ходе метаболических процессов в виде так называемого митогенетического излучения [26]. Мы отдаем себе отчет, что высказанные в



настоящей работе предположения о возможных механизмах этого нового явления весьма предварительны и, возможно, будут пересмотрены по мере его более глубокого изучения, однако роль, которую это явление может играть в возникновении целого ряда макроскопических эффектов под действием факторов сверх-низкой интенсивности, как нам кажется, заслуживает внимания.

Авторы признательны к. ф.-м. н. Н.Ф. Перовицикову за плодотворные дискуссии.

#### Список литературы

1. Воейков В.Л., Колдунов В.В., Кононов Д.С. Длительные колебания хемилюминесценции в ходе амино-карбонильной реакции в водных растворах // Журнал физической химии. – 2001. – Т. 75, №9. – С.1579-1585.
2. Koldunov V.V., Shchapin I.Yu., Voeikov V.L. Chemiluminescent and redox oscillations in the course of oxidation of some organic substances by molecular oxygen in aqueous solutions // *Clinical Laboratory*. – 2003. – V. 49, № 9-10. – P. 569.
3. Воейков В.Л., Чалкин С.Ф. Способ газового анализа и газоанализатор для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2235311, зарегистрирован 27 августа 2004 г.
4. Бруданин В.Б. Постлеимпульсы нонной обратной связи в фотоумножителях ФЭУ-130 и ХР2020. – Дубна. 2003. – 22 с. – (ОИЯИ; Р13-2003-242) [http://www.jinr.ru/publish/Preprints/2003/242\(P13-2003-242\).pdf](http://www.jinr.ru/publish/Preprints/2003/242(P13-2003-242).pdf)
5. Photomultiplier Tube: Principle to Application / In: Hamamatsu Photonics K.K., Japan, 1994.
6. Ristau D. Arens W., Bosch S., Duparre A., Masetti E., Jacob D., Kiriakidis G., Peiro F., Quesnel E., and Tikhonravov A., "UV-optical and microstructural properties of MgF<sub>2</sub>-coatings deposited by IBS and PVD processes"/ Proceedings of the conference on advances in optical interference coatings, SPIE - 1999. -Vol. 3738, pp.436-445
7. Woodruff D.P., Smith N.V. k-Resolved Inverse Photoemission from Cu(001) and Ni(001) // *Phys. Rev. Lett.* - 1982. - V. 48. - P. 283-285
8. Кобзарь Ю.М., Ковтун В.Г., Пашечко Н.И., Шаталов В.М. Обращенная фотоэмиссия и электрон-фотонная спектроскопия лития // *Письма в ЖЭТФ*. – 1991. – Т. 54, в. 10. – С. 586-588.
9. Ling G.N. The physical state of water in living cell and model systems // *Proc. N.Y. Acad. Sci.* – 1965. – V.125. – P. 401-417.
10. Israelshvili J.N., McGuiggis p.M. Force between surfaces in liquids // *Science*. – 1988. – V. 241. – P. 795-800.
11. Granick S. Motions and relaxations of confined liquids // *Science*. – 1991. – V. 253. – P.1374-1379.
12. Antognozzi M., Humphris A.D.L., and Miles M.J. Observation of molecular layering in a confined water film and study of the layers viscoelastic properties // *Appl. Phys. Lett.* – 2001. – V.78. – P. 300-302.
13. Pashley R.M., Kitchener J.A. Surface forces in adsorbed multilayers of water on quartz // *J. Colloid and Interface Sci.* – 1979. – V. 71. – P. 4910-500.
14. Fisher J.R., Gamble R.A., Middlechur J. The Kelvin equation and the condensation of water // *Nature*. – 1981. – V. 290. – 575-576.
15. Ling G.N. A new theoretical foundation for the polarized-oriented multilayer theory of cell water and for inanimate systems demonstrating long-range dynamic structuring of water molecules // *Physiol. Chem. Phys. & Med. NMR*. – 2003. – V. 35. – P. 91-130.
16. Giguere P.A., Harvey K.B. // *Canad. J. Chem.* – 1956. – V.34. – (цит. по Ling, 2003).
17. Кальвин М. Химическая эволюция. – М.: Мир. 1971. -220 с.
18. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. -188 с.
19. Цоваковская Ю.В. Ультрафиолетовое излучение и роль воды в озоновом слое земли // МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, Ломоносовские чтения, 2002.
20. Домрачев Г.А., Диденкулов И.П., Родыгин Ю.Л., Селивановский Д.А., Стунжас П.А. Диссоциация воды в пристеночных течениях // *Химическая физика*. – 2001. – Т.20. – С. 82-89.

**СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ  
УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

---

21. Semyonov N.N. Chemical Kinetics and Chain Reactions. - Oxford University Press, 1935
22. Hinshelwood C.N. The Kinetics of Chemical Change. - Clarendon Press, Oxford, 1940.
23. Воейков В.Л., Баскаков И.В., Кафкифлис К., Налетов В.И. Инципация вырожденно-разветвленной цепной реакции дезаминирования глицина сверхслабым ультрафиолетом или перекисью водорода // Биооргани. химия. - 1996. - Т. 22. - С. 39-47.
24. Voeikov V.L., Naletov V.I. Weak Photon Emission of Non-Linear Chemical Reactions of Amino Acids and Sugars in Aqueous Solutions: In: «Biophotons», Jim-Ju Chang, Joachim Fisch, Fritz-Albert Popp, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998. - P. 93-108.
25. Voeikov V.L., Asfaramov R., Koldunov V.V., Kononov D.S., Novikov C.N., Vitenskaya N.D. Chemiluminescent analysis reveals spontaneous oxygen-dependent accumulation of high density energy in natural waters // Clinical Laboratory. - 2003. - V. 49, 9-10. - P. 569.
26. Гурвич А.Г., Гурвич Л.Д. Митогенетическое излучение, физико-химические основы и приложения в биологии и медицине. - М., Медгиз. - 1945. - 283 с.

*Поступила в редакцию 15.11.2004 г.*

УДК 571.1

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В МАГНИТОБИОЛОГИИ:  
КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИДЕЙ АРБЕРА, КИАБРЕРА, ЛЕДНЕВА,  
ЖАДИНА, БЛЭКМАНА И БИНГИ**

*Бинги В.Н.*

Хотя сам факт вовлеченности параметрического резонанса в той или иной форме в магнитобиологию является спорным, оценка приоритетов важна для поддержания нормального развития работ в области теоретической магнитобиологии.

Известно, что слабые магнитные поля (МП) иногда вызывают резонансоподобный отклик в биологических системах, т.н. магнитобиологический эффект (МБЭ). Физическая природа этого эффекта до сих пор остается неясной. Особенно парадоксален МБЭ, вызванный слабыми низкочастотными МП: квант энергии такого поля на много порядков меньше энергетического масштаба химических реакций (проблема кГ).

Прежде всего неясно, на какой объект внутри организма действует МП, и что может меняться в состоянии этого объекта.

Предложено множество объяснений МБЭ, краткое их описание можно найти в [1], а детальный разбор в [2]. Здесь мы ограничимся моделями, связанными с параметрическим резонансом ионов. Именно эти модели вызвали наиболее острую полемику, которая продолжается и сегодня.

В 1970 годах Боуин, Качмарек и Эйди [3,4] наблюдали изменения скорости выхода изотопа  $^{45}\text{Ca}$  из тканей мозга под действием низкочастотных, радиочастотных и СВЧ ЭМП. К тому времени было известно, что ионы кальция действуют во многих биологических процессах, таких, как синаптическая передача, секреция, жгутиковая подвижность, ферментная активация, процессы мышечного сокращения, размножения, роста и развития. Внутриклеточная концентрация кальция на четыре порядка меньше, чем во внешней среде и поддерживается несколькими мембранными механизмами. Это обеспечивает работу быстрых сигнальных механизмов реакций на внешние условия. Особенно чувствителен к концентрации внутриклеточного кальция белок кальмодулин, влияющий на активность многих ферментов.

В дальнейшем данные Боуин и др. получили независимые экспериментальные подтверждения. Возникло обоснованное предположение, что именно ионы кальция в кальмодулине, универсальном биологическом сигнализаторе, являются мишенью ЭМП.

Вряд ли это простое умозаключение, не требующее сколько-нибудь значительных усилий ума, может быть приписано одному исследователю или связано с работой одной исследовательской группы. Например, Кисловский [5] еще

в 1971 г. указывая на важную роль кальция в биологических эффектах ЭМП; в 1976 г. Боуин и Эйди обсуждали процессы связывания кальция в слабых низкочастотных электромагнитных полях [4]. Однако формально, в виде публикации специальной статьи [6], посвященной связыванию ионов кальция с кальмодулином в ЭМП, эта идея подробно разбиралась Арбером в 1985 г. Он также проанализировал биохимические процессы, вовлеченные в передачу сигнала ЭМП через изменение константы связи кальций-кальмодулин на уровень наблюдаемых биологических процессов. Рис. 1 из этой статьи иллюстрирует сказанное.

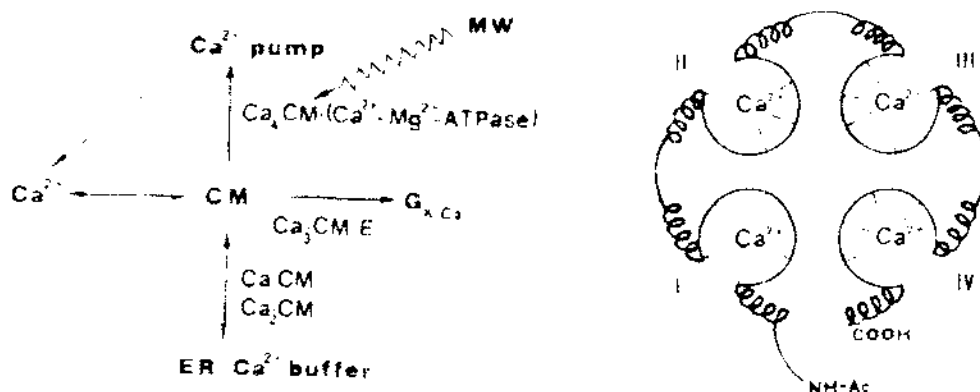


Рис. 1. Действие микроволнового ЭМП на процессы связывания ионов кальция кальмодулином. [6].

Таким образом, работой Арбера [6] в электромагнитобиологию вводится новый объект исследования – ион кальция в кальций-связывающей полости кальмодулина, или, вообще, ион в белковой полости в электромагнитном поле. Тема получает название ‘кальмодулиновая гипотеза’.

Динамику ионов с целью объяснения МБЭ рассматривали и вне ‘кальмодулиновой гипотезы’. Киабрера и др. [7] в 1985 г. исследовали параметрический резонанс свободной частицы, находящейся около белка вблизи связывающего центра. В постоянном МП движение иона финитно, в среднем по времени смещения частицы не происходит. В параллельных постоянном и переменном полях  $H(t) = H + h \cos(\Omega t)$ , если частота переменного МП  $\Omega$  есть циклотронная частота или ее  $n$ -я субгармоника, движение иона становится инфинитным. Это, по мнению авторов, влияло на константу связи иона с белком. На циклотронной частоте магнитозависимая часть средней энергии частицы (и вероятности связывания, с точностью до коэффициента) приблизительно пропорциональна квадрату функции Бесселя первого порядка

$$J_1^2\left(2\frac{h}{H}\right),$$

см. кривую 1 на рис. 2. Здесь первый нуль функции возникает при определенном отношении амплитуды переменного к величине постоянного МП  $h/H \approx 1.8$ , а максимум при  $h/H \approx 0.9$ . Применение этой модели к иону  $\text{Ca}^{2+}$  приводило к частичному согласию с экспериментальными данными Блэкмана [8] по скорости

истечения ионов кальция из тканей мозга, полученными на разных частотах ЭМП и в разных постоянных МП.

По-видимому, это была первая, хотя и далекая от совершенства, модель магниточувствительного связывания ионов: было показано, что важные параметры движения заряда в комбинированном МП сложным образом, на манер функций Бесселя, зависят от отношения амплитуды переменного и величины постоянного МП. По ряду причин модель неприменима к реальным условиям движения ионов в биологических структурах. Однако, наличие амплитудных и частотных окон эффективности МП в модели Киабрера, которые удачно соответствовали окнам, наблюдаемым в эксперименте, указывало на перспективность поиска механизмов МБЭ, связанных с динамикой ионов.

Таким образом, ко времени появления в 1991 г. модели Леднева [9] о параметрическом резонансе ионов кальция в белковой полости были известны: 1) ион в белковой полости как мишень ЭМП и объект исследования в электромагнитобиологии (1985), 2) частотные спектры и нелинейные амплитудные зависимости Блэкмана биологических эффектов в комбинированном постоянном МП и РЧ и низкочастотном электрическом поле [8], Блэкман тогда не использовал в эксперименте переменное МП (с 1979), 3) модель Киабрера, объясняющая эти нелинейные зависимости на манер бесселевых функций (1985). Наблюдению и объяснению нелинейных (с экстремумами) амплитудных зависимостей уделяли большое внимание, поскольку они очевидным образом опровергали господствовавшее в то время представление, что только тепловые эффекты могут лежать в основе биологических эффектов ЭМП. Обсуждали вопрос, не вредит ли здоровью человека хроническое фоновое облучение магнитными полями, создаваемыми электрическим оборудованием на производствах в домашних условиях.

Поэтому работы Леднева 1991 г. по наблюдению эффекта слабых МП на биохимическую реакцию [10] и объяснению таких эффектов в рамках теории параметрического резонанса не остались без внимания и повлекли научную дискуссию. Работа [9] получила название 'модель Леднева'. Надо сказать, что свое объяснение Леднев противопоставлял модели Либова [11], которая постулировала циклотронный резонанс ионов, но испытывала хорошо известные противоречия с физикой. Однако, как мы увидим, главное в объяснении Леднева – это нелинейные амплитудные зависимости, ибо частотный спектр одинаков во всех моделях: других 'характерных' частот иона в МП, помимо циклотронной и ларморовой, не существует. Поэтому модель Леднева надо сопоставлять и менно с экспериментами Блэкмана и моделями Киабрера по нелинейным амплитудным зависимостям. В [9] такой анализ отсутствовал.

Леднев обратил внимание на сходство экспериментальных зависимостей величины эффекта от относительной амплитуды МП  $h/H$  с аналогичными зависимостями, возникающими при рассеянии оптического излучения атомной системой, помещенной в МП. Такие зависимости, на манер бесселевых функций, возникают вследствие переходов между квантовыми состояниями электрона в атоме. Леднев предположил, что динамика ионов в связывающих полостях некоторых белков также могла бы следовать закономерностям параметрического



резонанса атомной системы – ион, связанный в полости чем-то похож на электрон, 'привязанный' к ядру атома.

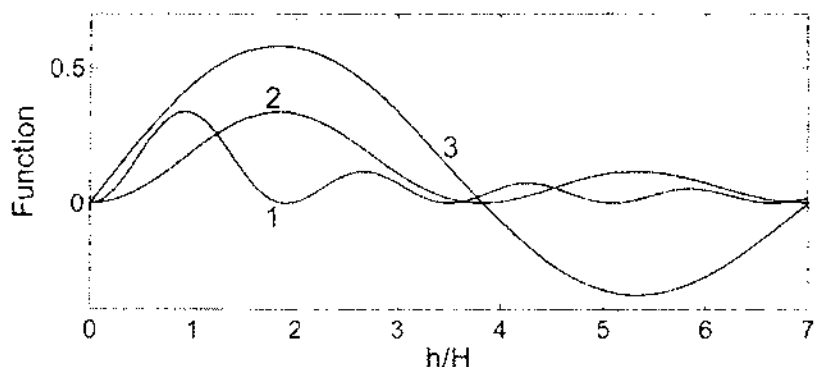


Рис. 2. Вид функций, приведенных в тексте: 1 -  $J_1^2(2h/H)$ , 2 -  $J_1^2(h/H)$ , 3 -  $J_1(h/H)$ .

Параметрический резонанс состоит в том, что в поле возбуждающего электромагнитного излучения оптического диапазона, в постоянном МП с параллельной ему низкочастотной компонентой, интенсивность излучения системы атомов (рассеянное излучение в некотором направлении) испытывает максимум, когда частота модуляции МП совпадает с частотой зеемановского дублета, равной циклотронной частоте электрона в МП  $H$ , или с ее субгармониками [12]. При этом в среднем интенсивность излучения приблизительно пропорциональна квадрату Бесселевой функций безразмерной амплитуды МП, т.е.,

$$J_1^2\left(\frac{h}{H}\right), \quad (1)$$

достигающей первого максимума вблизи  $h/H = 1.8$ , кривая 2 на рис. 2.

Теория этого явления сложна, но допускает довольно простую и краткую иллюстрацию. Приведем ее здесь полностью для отдельной двухуровневой системы, единственный возбужденный уровень которой расщеплен в МП на два подуровня, рис. 3.

Внешнее излучение возбуждает квантовые переходы и заселяет верхние состояния. Обратные переходы сопровождаются излучением электромагнитных волн. Амплитуды волн излученных с верхнего и нижнего зеемановских подуровней равны  $A_{\pm} = \exp[i(\nu \pm \gamma H)t]$ . Если МП меняется во времени, то правильная запись

этого выражения такая:  $A_{\pm} = \exp\left[i(\nu t \pm \gamma \int H(t)dt)\right]$ . Если же МП содержит

постоянную часть и переменную компоненту, например  $H(t) = -H + h \cos(\Omega t)$ , то,

взяв интеграл, амплитуды излученных волн записываем в виде  $A_{\pm} = \exp\left[i(\nu t \mp \gamma Ht \pm \gamma h \sin(\Omega t)/\Omega)\right]$ . Амплитуда суммарной волны равна

$A = A_+ + A_-$ , а ее интенсивность есть усредненный квадрат амплитуды:

$$I \approx \overline{A_+ A_+^*} + \overline{A_- A_-^*} + \overline{A_+ A_-^*} + \overline{A_- A_+^*}.$$

Здесь горизонтальная черта означает усреднение по времени, а \* – комплексное сопряжение. Первые два члена создают неизменную часть в интенсивности излучения, а вторые – часть, зависящую от параметров МП. Оба эти члена дают одинаковый вклад, поэтому рассмотрим один из них. После несложных преобразований с учетом обозначений  $\omega_0 \equiv 2\gamma H$ ,  $\omega_1 \equiv 2\gamma h$ , получаем

$$A_+ A_-^* = \exp(-i\omega_0 t) \exp\{i\omega_1 \sin(\Omega t)/\Omega\} = \sum_n J_n\left(\frac{\omega_1}{\Omega}\right) \exp[-i(\omega_0 - n\Omega)t].$$

Усреднение этого выражения по времени дает ноль, за исключением случаев, когда частота МП  $\Omega$  равна точно  $\omega_0/n$ , где  $n=1,2,\dots$ . В таких случаях магнитозависимая часть интенсивности излучения определяется очевидным выражением  $J_n(n\omega_1/\omega_0) = J_n(nh/H)$  или

$$J_1\left(\frac{h}{H}\right)$$

на ларморовой частоте, т.е. при  $n=1$  (кривая 3 на рис. 2). Как видно, это отличается от правильного выражения  $J_1^2(h/H)$ , что является следствием чрезмерного упрощения. Такое рассмотрение есть не более чем иллюстрация явления атомного параметрического резонанса. Никакой новой физики оно, разумеется, не содержит.

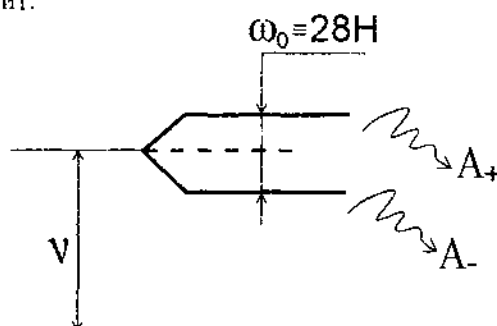


Рис. 3. Излучения и обозначения частот при квантовых переходах в модельной системе.

В работе [9] 1991 г. (препринт 1989 г.) Леднев привел подобную иллюстрацию и постулировал, что ион в белковой полости ведет себя как электрон в атоме. Он излучает ЭМП радиочастотного ( $\nu$ ) диапазона, а это излучение, интенсивность которого меняется в МП, и вызывает, неким загадочным образом, биологическую реакцию. В [13] Леднев дает больше физических пояснений, в частности, обсуждает известную идею [14,15] о возможной связи поляризации колебаний иона и МБЭ. Утверждалось даже, что состояние поляризации иона в белковой полости описывается теми же соотношениями, что и интенсивность рассеянного излучения. Обоснования этой идее, однако, не дано. И это естественно, поскольку теория интерференции атомных состояний (атомный параметрический резонанс) вообще не содержит угловую переменную, необходимую для описания поляризации состояний

электрона в атоме. Эта теория изучает поляризацию излучения электронов, которая конечно связана с поляризацией самих электронных волновых функций, но эта связь остается за рамками теории. Нельзя не отметить проницательность Леднева в отношении физики обсуждаемых явлений. Для реализации интересной идеи ему не хватило лишь опыта работы в области теоретической физики. Это было сделано через несколько лет в работах Бинги [16] и более поздних по теории интерференции угловых ионно-молекулярных состояний.

По сути дела, модель Леднева не является моделью. С точки зрения физики она не содержит ничего нового: утверждается, что известный результат известной теории описывает известный объект исследования. Обычно, модель явления содержит: 1) уравнения поведения объекта модели, в данном случае иона, 2) обсуждение идеализаций, при которых запись уравнений имеет смысл, 3) решения уравнений и их интерпретацию. Таковы, например, модели Либова, Киабрера, Жадина. Ничего подобного в работе Леднева нет. Нет и доказательств тому, что утверждается. В чем же ее ценность? Только в одном: в том, что она *обращает внимание* на вышеуказанное сходство зависимостей. В этой идее сходства и заключена новизна и оригинальность модели. В ней также присутствует и биохимия, подробно раскрытая в [17], но эта ее часть должна быть оценена биохимиками, нас же интересует лишь физико-математическая часть. В этой части у Леднева *нет результата*. Оттого, что электрон в теории атомного параметрического резонанса назвали ионом никакой новой физики не появляется, а ошибки непременно возникают. Пользя произвольно изменить массу объекта теории на три порядка – те идеализации, на которых построена теория, перестают работать.

Заметим, что в этой последней работе 1996 г. содержится иная версия иллюстрации параметрического резонанса, в которой, однако, имеется серьезная математическая ошибка: появление по ходу математических преобразований нового аргумента у функции – независимой переменной, которой не было в исходных соотношениях. Леднев приходит к формуле, уже известной в теории атомной спектроскопии в МП, фактически к выражению (1), которое, в таком случае, и надо рассматривать только как уже известный результат. Значит, [17] не содержит ничего нового в смысле физики связывания ионов в МП в сравнении с работой [9].

Надо сказать, что физико-математическая часть в публикациях Леднева вообще очень *невнятно* написана. По-видимому, это побудило в 1994 г. Бланчард и Блэкман в [18] к усовершенствованию модели Леднева. Их неудовлетворенность происходила еще и оттого, что они владели экспериментальными данными, которые существенно отличались от предсказаний по модели Леднева. Амплитудная зависимость МБЭ в их экспериментах описывалась скорее функцией  $J_1(2h/H)$ , чем  $J_1(h/H)$ . Такая зависимость была ими получена, – вследствие ошибки при 'иллюстрировании' атомного параметрического резонанса своим образом. Они назвали все это 'ионным параметрическим резонансом'. Полагали, что одноосное МП вызывает изменение населенностей квантовых состояний иона. Однако изменение средней интенсивности излучения в атомном параметрическом резонансе существует лишь в определенных направлениях. Интегральная интенсивность

излучения постоянна, следовательно, постоянны и населенности излучающих зеемановских уровней.

Следует прокомментировать ту иногда высказываемую крайнюю точку зрения, что модель ионного параметрического резонанса полностью заимствована у Леднева. Это поверхностное суждение. И дело здесь, конечно, не в двойке у аргумента бесселевой функции. Заимствовать можно лишь *результат* научного исследования. Поскольку у Леднева не было результата, вопрос о заимствованиях просто не стоит. Как Леднев, так и Бланчард-Блэкман использовали один и тот же объект исследования, предложенный Арбером в [6] – ион в полости белка в ЭМП, – однако без ссылок на эту работу. В обеих моделях использована иллюстрация известного явления атомного параметрического резонанса как метод исследования. Ссылка на авторство Леднева вышеуказанной идеи сходства у Бланчард имеется, а дальше – каждый имеет право пытаться применить известный метод к решению известной задачи. Монополии на объект исследования в науке не существует.

Как видим, идея параметрического резонанса ионов довольно запутана. Ее критиковали в [19,20]. Авторы этих статей, не вникая в теорию атомного параметрического резонанса, пытались доказать, что тепловые возмущения делают предложенный механизм неработоспособным при физиологической температуре 300 К. При этом они исходили из того, что механизм работоспособен в отсутствие тепловых возмущений, т.е. при 0 К. Все эти вопросы детально разобраны в монографии [2]: механизм не работает независимо от фактора температуры. Указанные две критические работы неприемлемы, поскольку основаны все на тех же иллюстративных представлениях об атомном параметрическом резонансе. Однако, существует масса других неоспоримых аргументов, почему параметрический резонанс ионов в белках невозможен.

В 1996 г. Жадин [21] рассмотрел ион как классический осциллятор в белковой полости при действии тепловых возмущений. Поскольку сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости частицы, то она может менять лишь *параметры* в уравнениях движения. То есть осциллятор возбуждается параметрически очень слабым сигналом в присутствии гораздо более мощной аддитивной случайной силы. Предлагалась идея, согласно которой на частоте резонанса энергия осциллятора может возрасти на несколько градусов. Однако, даже в отсутствие шума и затухания, в наиболее оптимальных условиях энергия иона могла бы заметно измениться лишь через несколько месяцев когерентной раскачки. Следовательно, речь могла бы идти о том, что МП управляет процессом обмена энергией иона и источника случайной силы. Но не предложено никакого механизма, который бы действовал *против* естественной тенденции к равномерному распределению тепловой энергии по всем степеням свободы.

Общий недостаток всех моделей параметрического резонанса ионов состоит в том, что они не обеспечивают необходимых изменений каких-либо свойств системы ион–среда даже в отсутствие шумовых факторов и, поэтому, не в состоянии объяснить МБЭ.

Этот недостаток впервые был преодолен Бинги в [16], где из уравнения Шредингера для иона в белковой полости была рассчитана плотность распределения волновой функции иона в МП. Неоднородность этого распределения, возникающая за счет интерференции волновых функций



**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В МАГНИТОБИОЛОГИИ: КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИДЕЙ АРБЕРА, КИАБРЕРА, ЛЕДНЕВА, ЖАДИНА, БЛЭКМАНА И БИНГИ**

зеэмановских подуровней, нелинейно связана с вероятностью выхода иона из полости, т.е. с изменением константы связи ион-белок. Последующие биохимические процессы могут следовать схемам Арбера и Леднева, приводя в итоге к наблюдаемой биологической реакции.

Основная формула, которая позволяет рассчитывать величину возможного магнитобиологического эффекта в параллельных постоянном  $H$  и переменном  $h$  магнитном поле частотой  $\Omega$ , имеет вид

$$P(h, H, \Omega) = \sum_{m \neq m', n} |a_{mn}|^2 \frac{\sin^2 A}{A^2} J_n^2 \left( \frac{\Delta m}{2} \frac{h \Omega_c}{H \Omega} \right), \quad A = \left( \frac{1}{2} \Delta m + n \frac{\Omega}{\Omega_c} \right) \Xi.$$

Здесь  $m$  – магнитное квантовое число.  $\Delta m = m - m'$ ,  $\Xi = T \Omega_c$  – безразмерный параметр, зависящий от свойств комплекса ион-белок,  $\Omega_c = qH/Mc$  – циклотронная частота иона,  $T$  – время реакции белка на изменение состояния иона. Элементы  $a_{mn}$  есть постоянные коэффициенты, которые определяют начальные условия пребывания иона в белковой полости. Легко найти, что на ларморовой частоте  $\Omega = \Omega_c/2$  основной вклад в  $P$  будет пропорционален  $J_1^2(h/H)$ .

В последующих работах были вычислены характерные частотные и амплитудные спектры интерференции возникающие в различных электромагнитных условиях, в том числе в постоянных и импульсных полях, в электрических и микроволновых полях, в скрещенных полях, в условиях магнитного шума и магнитного вакуума [1,2]. Вычисления показывают высокий уровень соответствия со многими известными экспериментальными данными.

Учет собственных вращений макромолекул белка позволил объяснить возникновение двойки в аргументе бесселевой функции в амплитудной зависимости МБЭ: возможно, в вышеупомянутых экспериментах Блэкмана изменение скорости роста нейронных клеток в МП связано с тем, что ионно-белковые мишени МП прикреплены к нитям ДНК, и, следовательно, вращаются в процессах транскрипции или репликации.

В теории интерференции ионных состояний очевидно нет ничего из модели Леднева. Сходство чисто внешнее. Возникновение бесселевых функций в такого рода задачах является закономерным следствием центральной или осевой симметрии. Общим является лишь объект изучения – предложенный Арбером ион в белковой полости в поле ЭМП. А вот отличий – масса. Главное, теория интерференции ионных состояний – это не идея или догадка, а полноценная работающая теория, в рамках которой получено множество интересных результатов [2]. В отличие от теории интерференции атомных состояний, она позволяет рассчитать внутреннее устройство волновой функции иона в ЭМП и предсказать его влияние на вероятность диссоциации.

В настоящее время интерференционная теория МБЭ развивается в направлении исследования не ионной, а молекулярной интерференции. Это обусловлено общей для многих моделей МБЭ трудностью – проблемой кТ. Ионная интерференция решила только часть этой проблемы, связанную с несопоставимостью энергии сигнала МП и энергетического масштаба химической реакции. Вторая часть проблемы связана вот с чем. Чтобы биологический или биофизический рецептор



мог различать МП разных частот из диапазона около  $\Omega$ , необходимо, чтобы он мог сохранять свое собственное состояние неизменным в отсутствие МП по крайней мере в течение времени  $1/\Omega$ . В биологической ткани на молекулярном уровне такие долгоживущие конструкции выглядели невозможными вследствие тепловых возмущений. Однако, в [2] предложено и опубликовано в наиболее цитируемом физическом журнале [25] предположение о наличии в некоторых белковых полостях небольших молекул в связанном состоянии. Причем характер этих ковалентных связей, крепящих молекулу к стенкам полости, таков, что позволяет им почти свободно вращаться (молекулярный гироскоп). Расчеты показали, что если радиус полости превышает 10-15 ангстрем, то время когерентного вращения составляет десятки миллисекунд, и этого достаточно для проявления интерференционных эффектов угловых молекулярных состояний. Характер предсказаний этой теории вполне аналогичен предсказаниям теории ионной интерференции. Таким образом, проблема кТ получает по крайней мере формальное решение. Этими работами опровергнуто стойкое в среде физиков мнение, что существование МБЭ противоречит физическим законам.

Читатель может оценить уровень соответствия теории и эксперимента в части амплитудных зависимостей. Приведем лишь некоторые данные Леднева и Блэкмана. Данные Блэкмана были подвергнуты критике Ледневым [26], поскольку они были получены в неоднородном МП и в условиях, когда переменная компонента поля не была параллельна постоянному МП, возможно это и было причиной наблюдения зависимости, которая не укладывалась в модель Леднева. Однако, обстоятельный анализ степени неоднородности и непараллельности показал, что результаты Блэкмана не могут быть отклонены по указанной причине [27]. Данные представлены на рис. 4 точками. К сожалению, эксперименты в области наблюдения биологических эффектов слабых низкочастотных МП трудно воспроизводимы. Еще только предстоит понять, почему это так. Но замечательный факт падения величины МБЭ с ростом амплитуды МП в некотором диапазоне подтвержден несколькими независимыми научными группами.

Таким образом, на основании анализа литературы, имеющей отношение к теме параметрического резонанса в магнитобиологии, автор этой статьи пришел к следующему выводу, который, несомненно, при наличии должной аргументации может быть оспорен другими исследователями:

С. Арбер впервые ввел в электромагнитобиологию объект исследования – ион в связывающей белковой полости как мишень электромагнитных воздействий. К. Блэкман впервые наблюдал зависимость эффективных частот от уровня постоянного МП и нелинейные амплитудные зависимости МБЭ. А. Киабрера впервые теоретически показал, что параметры движения иона в ЭМП могут зависеть от отношения переменного и постоянного магнитных полей на манер бесселевых функций и имеет смысл сопоставлять такие расчеты с наблюдаемыми нелинейными амплитудными зависимостями. В. Леднев впервые обнаружил резонансо-подобный эффект МП на биохимическую реакцию и замечательное сходство амплитудных зависимостей МБЭ и атомного параметрического резонанса. В. Бинги впервые разработал теорию интерференции угловых молекулярных состояний [2], которая формально решает проблему кТ. Эта теория соединила в себе лучшее из того, что было достигнуто к 1997 г. многими авторами в поисках

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В МАГНИТОБИОЛОГИИ: КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИДЕЙ АРБЕРА, КИАБРЕРА, ЛЕДНЕВА, ЖАДИНА, БЛЭКМАНА И БИНГИ

физического механизма биологического действия ЭМП. В заключение отметим, что и эта теория не приобрела пока статуса общепризнанной [28] и является на сегодня лишь хорошо обоснованной гипотезой, требующей дальнейших исследований.

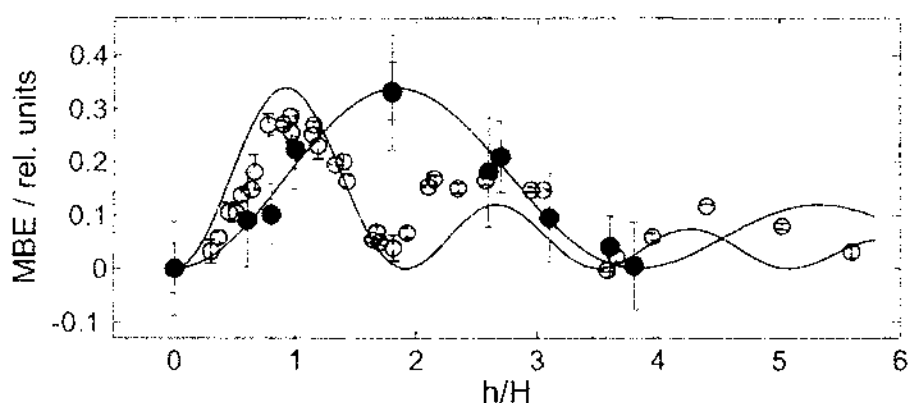


Рис. 4. Экспериментальные данные по МБЭ: ● – [22]; ○ – [23,24] и аппроксимирующие их функции  $J_1^2(h/H)$  и  $J_1^2(2h/H)$ .

Автор признателен В. Ледневу, К. Блэкману и И. Беляеву за многократные обсуждения, которые не всегда оканчивались согласием, но помогли сформировать вышеприведенную точку зрения.

### Список литературы

1. Бинги В.И., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // УФН. – 2003. – Т. 173, №3. – С. 265–300.
2. Бинги В.И. *Магнитобиология: эксперименты и модели*. – М.: МИИТА, 2002. – 592 с. [www.biomag.info](http://www.biomag.info).
3. Bawin S.M., Kazmarek L.K., Adey W.R. Effects of modulated VHF fields on the central nervous system // *Ann. NY Acad. Sci.* – 1975. – V. 247. – P. 74–81.
4. Bawin S.M., Adey W.R. Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency // *P. Natl. Acad. Sci. USA* – 1976. – V. 73. – P. 1999–2003.
5. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере / *Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли*. – Наука, Москва, 1971. – С. 147–164.
6. Arber S.L. Microwave enhancement of membrane conductance: Calmodulin hypothesis // *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR.* – 1985. – V. 17. – P. 227–233.
7. Chiabrera A., Bianco B., Caratozzolo F., Giannetti G., Grattarola M., Viviani R. Electric and magnetic field effects on ligand binding to the cell membrane. In *Interaction Between Electromagnetic Fields and Cells*, A. Chiabrera, C. Nicolini, and H.P. Schwan, editors. Plenum, New York, 1985. – P. 253–280.
8. Blackman C.F. The biological influences of low-frequency sinusoidal electromagnetic signals alone and superimposed on RF carrier waves. In *Interaction Between Electromagnetic Fields and Cells*, A. Chiabrera, C. Nicolini, and H.P. Schwan, editors. Plenum, New York, 1985. – P. 521–535.
9. Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // *Bioelectromagnetics.* – 1991. – V. 12. – P. 71–75.

10. Шувалова Л.А., Островская М.В., Сосунов Е.А., Леднев В.В. Слабое магнитное поле настроенное на параметрический резонанс меняет скорость  $\text{Ca}^{2+}$  калмодулин-зависимого фосфорилирования миозина // *Доклады АН СССР* – 1991. – Т. 317, № 1. – С.:227–230.
11. Liboff A.R. Geomagnetic cyclotron resonance in living cells // *J. Biol. Phys.* – 1985. – V.13. – P.99–102.
12. Александров Е.Б., Хвостенко Г.И., Чайка М.П. *Интерференция атомных состояний*. – Наука, Москва, 1991. – 256 с.
13. Lednev V.V. Possible mechanism for the effect of weak magnetic fields on biological systems: Correction of the basic expression and its consequences. In M. Blank, editor, *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, San Francisco Press, 1993. – P. 550–551.
14. Zhadin M.N., Fesenko E.E. Ion cyclotron resonance in biomolecules // *Biomedical Sci.* – 1990. – V.1, N3. – P.245–250.
15. Edmonds D.T. Larmor precession as a mechanism for the detection of static and alternating magnetic fields // *Bioelectroch. Bioener* – 1993. – V. 30. – P.3–12.
16. Binhi V.N. Interference of ion quantum states within a protein explains weak magnetic field's effect on biosystems // *Electro Magnetobiol.* – 1997. – V. 16, N 3 – P.203–214.
17. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // *Биофизика*. – 1996. – Т. 41, №1. – С.224–232.
18. Blanchard J.P., Blackman C.F. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems // *Bioelectromagnetics*. – 1994. – V.15. – P. 217–238.
19. Adair R.K.. Criticism of Lednev's mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // *Bioelectromagnetics*. – 1992. – V. 13. – P. 231–235.
20. Engstrom S.. Dynamic properties of Lednev's parametric resonance mechanism: // *Bioelectromagnetics*. – 1996. – V. 17. – P. 58–70.
21. Жадин М.Н. Действие магнитных полей на движение иона в макромолекуле: теоретический анализ. // *Биофизика*. – 1996. – Т. 41, №4. – С. 832–849.
22. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Рождественская З.Е., Климов А.А., Белова Н.А., Тирас Х.П. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: Экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia tigrina* в качестве гест-системы // *Биофизика*. – 1996. – Т. 41, №4. – С.815–825.
23. Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E.. Empirical test of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with PC-12 cells // *Bioelectromagnetics*. – 1994. – V.15. – P. 239–260.
24. 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.
25. Binhi V.N., Savin A.V. Molecular gyroscopes and biological effects of weak extremely low-frequency magnetic fields // *Phys. Rev. E*, 2002. – V. 65(051912). – P.1–10.
26. Private communication, 2004.
27. Бинги В.Н. Анализ ошибок определения магнитных полей в системе экспозиции К. Блэкмана // *Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений 2003*, Изд-во М.:АЛЛАНА, 2004. – 260 с.
28. Бинги В.Н. За что и как критикуют магнитобиологию / *Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений 2003*, Изд-во М.:АЛЛАНА, 2004. – P. 195–209.

Поступила в редакцию 28.10.2004 г.

УДК 577.322: 537.632.5

## ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТГЕМОГЛОБИНА В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ХЛОРОФОРМОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

*Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время результаты отдельных экспериментальных исследований, проведенных на моделях связывания низкомолекулярных неспярных веществ с *сывороточным альбумином* и *цитохромом с*, свидетельствуют о том, что первичные механизмы действия магнитных полей крайне низких частот (МП КНЧ) проявляются на уровне изменений гидрофобно-гидрофильного баланса в водно-коллоидных системах [1-3]. Однако не известно как проявляются эффекты МП КНЧ на других белковых моделях, близких по своим структурным свойствам. В связи с этим целью данной работы было изучение действия МП КНЧ на взаимодействие хлороформа с *метгемоглобином*.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании, как и в ряде предыдущих работ [1-3], в качестве базовой экспериментальной модели было использовано явление насыщения растворов биополимера низкомолекулярным лигандом гидрофобной природы (рис. 1).

Насыщение растворов *метгемоглобина* хлороформом осуществляли в стеклянных бюксах объемом 5 мл путем наслаивания 3 мл раствора белка на 1.5 мл лиганда с последующей инкубацией образцов при комнатной температуре. Инкубацию образцов проводили в течение 1, 2, 4 и 24 часов, по окончании которой регистрировали интегральные спектры растворов *метгемоглобина*, насыщенных хлороформом. Дифференциальные спектры получали как разность между интегральными спектрами растворов *метгемоглобина*, нагруженного хлороформом, и нативного белка.

Импульсное МП создавали системой колец Гельмгольца. Импульсы были прямоугольной формы и разной полярности. Частота магнитного поля составляла 8 Гц, индукция 25 мТ. Частота МП выбрана на основе ее экологической и геофизической значимости [4]. Вектор индукции создаваемого магнитного поля был параллелен вектору геомагнитного поля. Опытные образцы помещали в экспериментальную установку. Экспозиция образцов в переменном магнитном поле составляла 1, 2, 4 и 24 часа. Контрольные пробы находились в условиях фоновых значений ЭМП, характерных для данной лаборатории (20-65 нТ). Для оценки возможного влияния различий в уровне фоновых МП в местах расположения опытных и контрольных образцов проводили эксперименты с ложным воздействием МП. В этом случае опытные образцы помещали в кольца Гельмгольца, но не подвергали действию МП.



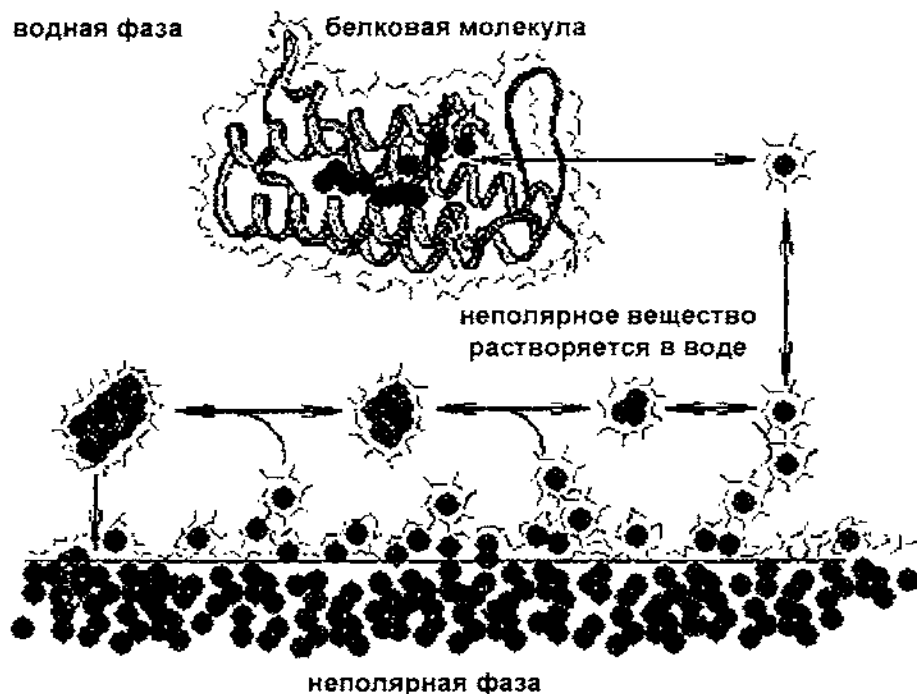


Рис. 1. Экспериментальная модель специфического взаимодействия неполярных лигандов с белковой молекулой.

Объектом исследования служили 0.02 %-ные растворы лиофильного препарата *метгемоглобина* (Fluka), насыщаемые хлороформом. О связывании неспецифического лиганда с белком судили по характерным изменениям спектра поглощения *метгемоглобина* в области основной полосы поглощения гемма – пика Soret (рис. 2).

Математическую обработку результатов исследования проводили в соответствии с общепринятыми правилами вариационной статистики. Для оценки достоверности различий использовали t-критерий Стьюдента.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 представлены спектры поглощения метгемоглобина в области полосы Soret после его инкубации с хлороформом. Как видно, связывание хлороформа с белком приводит, с одной стороны, к выраженному гипохромному эффекту, а с другой, – к длинноволновому («красному») смещению максимума поглощения. Данные изменения свидетельствуют о том, что при взаимодействии хлороформа с данным белком полярность среды, окружающей хромофор (гем) снижается. Вероятно, такие изменения могут быть вызваны либо вытеснением молекул воды из ближайшего окружения хромофора, либо конформационными изменениями полипептидной цепи, приводящими к соответствующим изменениям в пространственном расположении аминокислотных радикалов.

Одновременно с этим, имеющий место гипохромный эффект может указывать на более тесное взаимодействие хромофоров друг с другом. Такое усиление

**ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТГЕМОГЛОБИНА  
В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ХЛОРОФОРМОМ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ**

взаимодействия может быть реализовано в условиях упорядоченной агрегации молекул метгемоглобина в результате их взаимодействия с хлороформом.

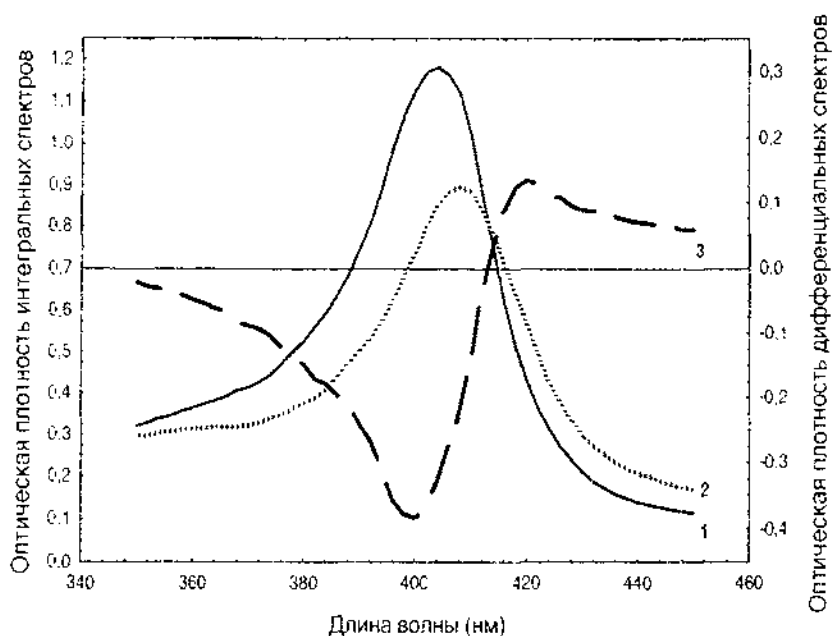


Рис. 2 Интегральные (1 – контрольный спектр интактного белка, 2 – спектр белка, насыщенного хлороформом) и дифференциальный (3) спектры 0,02%-ных растворов метгемоглобина при его взаимодействии с хлороформом.

Анализ основных характеристик спектра поглощения метгемоглобина показал, что воздействие МП КНЧ приводило к усилению «красного сдвига» (табл. 1). При этом в экспериментах с ложным воздействием достоверных изменений не обнаружено (табл. 2). Это указывает на то, что МП КНЧ достоверно усиливает связывание хлороформа с исследуемым белком и стимулирует более глубокие конформационные перестройки в молекуле метгемоглобина при его нагрузке гидрофобным низкомолекулярным лигандом.

Анализ дифференциальных спектров показывает, что воздействие МП КНЧ в условиях взаимодействия с метгемоглобином не только вызывает «красный» сдвиг, но и также изменяет форму спектра. Результаты анализа основных характеристик дифференциальных спектров, представленных в таблице 3, показывают, что в экспериментальных условиях связывания хлороформа с метгемоглобином воздействие МП КНЧ проявляется также в виде сужения полосы Soret, что проявляется в виде достоверного смещения максимума на дифференциальном спектре в область более коротких длин волн. Следует однако отметить, что эти изменения носят динамический характер и наиболее выражены в первые часы инкубации метгемоглобина с хлороформом или же после длительной суточной экспозиции (табл. 1 и 3).

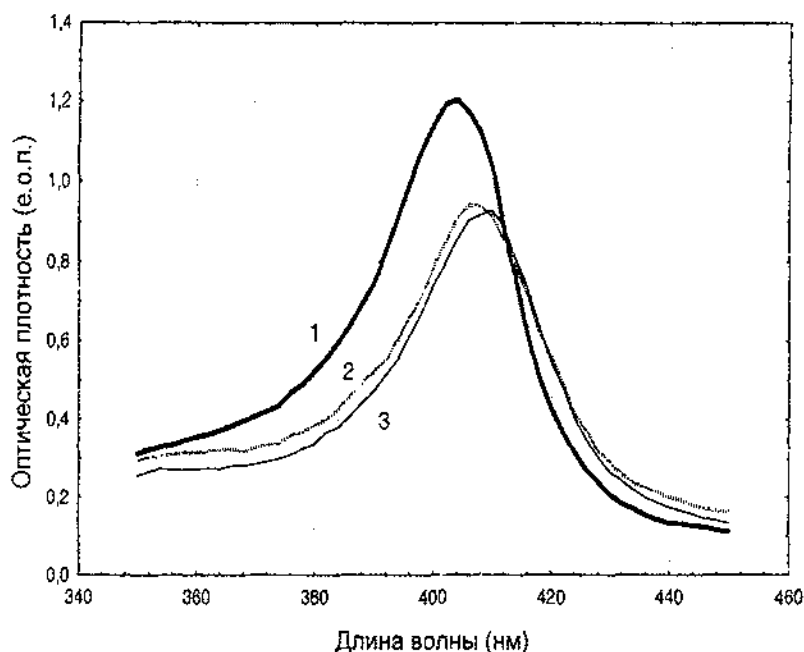


Рис. 3. График сравнения интегральных спектров 0.02%-ных растворов метгемоглобина:

- 1 – контрольный спектр интактного белка,
- 2 – спектр белка, контактирующего с хлороформом
- 3 – спектр белка, контактирующего с хлороформом под действием МП КНЧ.

Табл. 1 Основные характеристики интегральных спектров метгемоглобина, взаимодействующего с хлороформом под влиянием ЭПМ частотой 8 Гц 25 мкТл в промежутке 350–450 нм

| Время экспозиции (ч) | Параметр                          | Контрольные образцы | Воздействие магнитным полем | Взаимодействие с хлороформом | Взаимодействие с хлороформом под действием магнитного поля | Индукцированные магнитным полем изменения (нм) |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--|--|
| 1                    | $\lambda_{\text{max}}$ , нм       | 404,0±0,3           | 403,8±0,2                   | 408,0±0,5*                   | 409,3±0,5*   | +1.3   |
| 2                    | $\lambda_{\text{max}}$ , нм       | 403,8±0,2           | 404,8±0,3                   | 406,8±0,3*                   | 409,3±0,6*,**  | +2.5   |
| 4                    | $\lambda_{\text{max}}$ , нм       | 404±0,3             | 404,2±0,2                   | 407,3±0,9*                   | 408,2±0,4*   | +0.9   |
| 24                   | $\lambda_{\text{max}}$ , нм       | 405,0±0,5           | 404,6±0,3                   | 407,6±0,6*                   | 409,1±0,7*   | +1.2   |
| 1-24                 | $\Delta\lambda_{\text{max}}$ , нм |                     |                             |                              |  | +1,47±0,35<br>P<0,05                           |
| 1                    | $D_{\text{max}}$ , е.о.п.         | 1,196±0,070         | 1,219±0,065                 | 0,978±0,072*                 | 0,967±0,071*   |  |
| 2                    | $D_{\text{max}}$ , е.о.п.         | 1,254±0,062         | 1,230±0,055                 | 0,957±0,057*                 | 0,934±0,060*   |  |
| 4                    | $D_{\text{max}}$ , е.о.п.         | 1,193±0,058         | 1,229±0,057                 | 0,947±0,053*                 | 0,985±0,054*   |  |
| 24                   | $D_{\text{max}}$ , е.о.п.         | 1,206±0,062         | 1,185±0,085                 | 0,849±0,090*                 | 0,853±0,058*   |  |

Примечание: \* – достоверные отличия относительно контрольных образцов;

\*\* – достоверные отличия относительно ложной экспозиции.

**ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТГЕМОГЛОБИНА  
В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ХЛОРОФОРМОМ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ**

Табл. 2 Основные характеристики интегральных спектров метгемоглобина, взаимодействующего с хлороформом при ложном действии ЭПМ частотой 8 Гц 25 мкТл в промежутке 350-450 нм

| Время экспозиции (ч) | Параметр                    | Контрольные образцы | Ложное воздействие | Взаимодействие с хлороформом | Взаимодействие с хлороформом при ложном воздействии | Изменение длины волны (нм) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|---|----------------------------|
| 1                    | $\lambda_{max}$ , нм        | 404,4±0,3           | 404,2±0,2          | 408,5±0,4*                   | 409,1±0,3*  | +0,6                       |
| 2                    | $\lambda_{max}$ , нм        | 404,2±0,2           | 404,0±0,0          | 407,8±0,5*                   | 408,4±0,4*  | +0,6                       |
| 4                    | $\lambda_{max}$ , нм        | 404,4±0,4           | 404,0±0,0          | 407,6±0,4*                   | 407,7±0,4*  | +0,1                       |
| 24                   | $\lambda_{max}$ , нм        | 404,4±0,3           | 404,0±0,0          | 408,6±0,3*                   | 408,2±0,2*  | -0,4                       |
| 1-24                 | $\Delta\lambda_{mean}$ , нм |                     |                    |                              |   | +0,22±0,23                 |
| 1                    | $D_{max}$ , е.о.п           | 1,207±0,020         | 1,197±0,020        | 0,991±0,057*                 | 1,006±0,046*  |                            |
| 2                    | $D_{max}$ , е.о.п           | 1,208±0,022         | 1,150±0,051        | 0,989±0,044*                 | 0,992±0,043*  |                            |
| 4                    | $D_{max}$ , е.о.п           | 1,239±0,017         | 1,218±0,085        | 0,909±0,045*                 | 0,958±0,056*  |                            |
| 24                   | $D_{max}$ , е.о.п           | 1,280±0,062         | 1,258±0,086        | 0,919±0,110*                 | 0,946±0,097*  |                            |

Примечание: \* - достоверные отличия относительно контрольных образцов:

Проводя сравнение результатов настоящего исследования с ранее полученными экспериментальными данными необходимо обратить внимание, что в экспериментах с другим гем-содержащим белком – *цитохромом с*, находящимся в окисленном состоянии, имел место противоположный по направлению спектральный сдвиг – «голубой» сдвиг, свидетельствующий о повышении полярности среды, окружающей гемм [3]. Факт различной реакции гем-содержащих белков на их взаимодействие с низкомолекулярными неполярными веществами требует отдельных исследований.



Табл. 3 Влияния ЭМП частотой 8 Гц 25 мкТл на основные характеристики дифференциальных спектров метгемоглобина, насыщенного хлороформом, на протяжении 350-450 нм

| Время экспозиции (ч) | Параметр                           | Контрольные образцы | Воздействие магнитным полем | Ложное воздействие | Изменение относительно контрольных образцов (%) | Изменение относительно ложного воздействия (%) |
|----------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|---|--|
| 1                    | $\lambda_{max}$ , нм               | 419,8±0,7           | 419,4±0,7                   | 419,4±1,1          | -0,1  | +0,0   |
| 2                    | $\lambda_{max}$ , нм               | 419,2±0,8           | 418,7±1,1                   | 419,0±1,5          | -0,1  | -0,1   |
| 4                    | $\lambda_{max}$ , нм               | 421,2±1,3           | 419,8±1,1                   | 421,8±1,4          | -0,3  | -0,5   |
| 24                   | $\lambda_{max}$ , нм               | 422,7±1,6           | <b>417,9±1,0 *,**</b>       | 424,0±2,0          | <b>-1,1</b>                                     | <b>-1,4</b>                                    |
| 1                    | $\lambda_{min}$ , нм               | 399,1±0,7           | <b>395,7±1,4 *,**</b>       | 400,0±0,8          | <b>-0,9</b>                                     | <b>-1,1</b>                                    |
| 2                    | $\lambda_{min}$ , нм               | 398,7±0,5           | 398,8±0,6                   | 398,4±0,9          | 0,0   | +0,1   |
| 4                    | $\lambda_{min}$ , нм               | 397,9±1,23          | 398,6±0,4                   | 399,2±0,7          | +0,2  | -0,2   |
| 24                   | $\lambda_{min}$ , нм               | 398,9±0,9           | 398,0±0,7                   | 397,8±1,7          | -0,2  | +0,1   |
| 1                    | $\lambda_{max}-\lambda_{min}$ , нм | 19,6±0,6            | <b>24,9±1,8 *,**</b>        | 19,1±0,9           | <b>+27,0</b>                                    | <b>+30,0</b>                                   |
| 2                    | $\lambda_{max}-\lambda_{min}$ , нм | 20,5±0,9            | 19,9±1,2                    | 20,6±1,6           | -2,9  | -3,4   |
| 4                    | $\lambda_{max}-\lambda_{min}$ , нм | 23,3±1,1            | 21,2±1,1                    | 22,6±0,9           | -9,0  | -6,2   |
| 24                   | $\lambda_{max}-\lambda_{min}$ , нм | 23,8±1,4            | 21,1±1,4                    | 22,5±2,0           | -11,3   | -6,2   |
| 1                    | $D_{max}-D_{min}$ , е.о.п.         | 0,589±0,036         | 0,639±0,055                 | 0,670±0,049        | +8,5  | -4,6   |
| 2                    | $D_{max}-D_{min}$ , е.о.п.         | 0,543±0,032         | 0,592±0,038                 | 0,552±0,055        | +9,0  | +7,2   |
| 4                    | $D_{max}-D_{min}$ , е.о.п.         | 0,590±0,029         | 0,546±0,036                 | 0,591±0,034        | -7,5  | -7,6   |
| 24                   | $D_{max}-D_{min}$ , е.о.п.         | 0,602±0,028         | 0,594±0,058                 | 0,558±0,039        | -1,3  | +6,5   |

Примечание: \* - достоверные отличия относительно контрольных образцов;

\*\* - достоверные отличия относительно ложной экспозиции.

## ВЫВОДЫ

1. Насыщение метгемоглобина хлороформом сопровождается спектральным сдвигом полосы Сорс в область больших длин волн («красный» сдвиг) и снижением интенсивности поглощения света на максимуме (гипохромный эффект).

2. Воздействие МП КНЧ в условиях нагрузки исследуемого белка хлороформом приводит к усилению «красного» сдвига полосы Сорс и изменению ее формы, что свидетельствует о влиянии МП КНЧ на конформационное состояние молекулы метгемоглобина.

**ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТГЕМОГЛОБИНА  
В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ХЛОРОФОРМОМ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ**

---

**Список литературы**

1. Калиновский П. С., Мартынюк В. С. Действие переменных магнитных полей на связывание гидрофобных лигандов сывороточным альбумином // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология». - 2000. - Т. 14, №2. - С. 89-93.
2. Мартынюк В.С., Шадрин О.Г. Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на растворимость бензола в воде и растворах белка // Биомедицинская радиоэлектроника. - 1999, № 2. - С. 56-60.
3. Мартынюк В. С., Калиновский П. С., Цейслер Ю. В. Влияние слабого магнитного поля крайне низкой частоты на спектральные характеристики цитохрома *c* в присутствии хлороформа // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского/ Сер. "Биология" - 2002. - Т. 14, №3. - С.121-126.
4. Владимирский Б.М., Гемурьянц Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь. - Фрязино: Изд-во «Век 2», 2004. - 224 с.

*Поступила в редакцию 11.11.2004 г.*

**УДК 577.35.537**

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ  
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ  
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СНЧ**

*Темурьянц Н.А., Минко В.А.*

Повышенный интерес специалистов различного профиля вызывает изучение закономерностей развития неспецифических реакций организмов с различными индивидуальными особенностями на внешние воздействия самой разной природы. Анализ этих закономерностей дает возможность вскрыть механизмы гомеостатической регуляции физиологических функций и учитывать их при исследовании ответов центральной нервной системы (ЦНС) на различные раздражения.

В настоящее время получены убедительные данные о высокой биологической активности слабых переменных магнитных полей (ПемП) сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона [1], которые рассматриваются как важнейший геофизический фактор среды [2]. ПемП СНЧ имеют важное экологическое значение, так как являются датчиками времени в широком диапазоне периодов, предвестниками изменений погоды и землетрясений, а также ответственны за реализацию солнечно-земных связей [3,4,5]. Из литературных данных известно, что ПемП искусственного и естественного происхождения изменяют ритмику физиологических показателей [6,7]. Однако этот вывод сделан на основе изучения циркадианной ритмики. Существуют сведения о влиянии ПемП и на инфрадианную ритмику ряда физиологических показателей у животных, преобладающих в популяции – со средней двигательной активностью (СДА) в тесте «открытого поля» (ОП) [8]. Вместе с тем, обнаружена неодинаковая чувствительность к действию ПемП у животных с различными индивидуальными особенностями. Е.Ю. Грабовской (1992) [9] были выделены физиологические критерии гиперчувствительности крыс к действию ПемП СНЧ. Сенситивны, характеризующиеся низким уровнем двигательной активности (НДА) в тесте ОП. Однако изменения инфрадианной ритмики при воздействии ПемП СНЧ у данных животных остается не изученной.

Доказано, что первой на электромагнитное воздействие реагирует ЦНС, которой принадлежит ведущая роль в формировании и контроле реакций организма на действие различных факторов [10]. Известно также, что поведение является интегральным показателем ответа на любое воздействие, а также играет важную роль в адаптации организма к действию различных факторов [11]. Поэтому изучение особенностей действия низкоинтенсивных физических факторов на

## ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ «ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ

ритмику показателей поведения животных с различными индивидуальными особенностями является перспективным для выявления индивидуальных различий их реагирования на действие этих факторов.

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования явилось изучение инфрадианной ритмики показателей поведения у крыс с низким уровнями двигательной активности под влиянием ПемП СЧ.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на 40 беспородных белых крысах самцах массой 160-180 г. Для формирования группы животных с различными индивидуальными особенностями была применена методика ОП, позволяющая относительно быстро и с большей степенью достоверности выявить индивидуальные различия между животными [12]. Данный метод позволяет быстро и адекватно выявлять динамику функциональных изменений ЦНС, оценивать реакцию животных на новую обстановку и получить другую важную информацию о поведении животных [13]. Для исследования инфрадианной ритмики (через 7 дней после определения индивидуальных особенностей) животных вновь тестировали в ОП в течение 32 суток. Тестирование проводилось всегда в одно и то же время суток.

В этом тесте нами оценивалась горизонтальная (ГДА) и вертикальная двигательная активность (ВерДА) и частота дефекаций. На основе теста ОП нами были выделены 2 группы (по 20 особей в каждой группе) крыс с низким и средним уровнями двигательной активности и низкой эмоциональностью. Животных со СДА использовали для сравнения эффектов воздействия ПемП с крысами, характеризующимися низкой подвижностью в тесте ОП. К первой подгруппе относились животные, содержащиеся в обычных условиях вивария (биологический контроль). Вторую группу составляли животные, по 3 часа ежедневно подвергавшиеся действию ПемП частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл в течение 32 суток. Значения показателей вертикальной, горизонтальной двигательной активности у крыс всех выделенных групп достоверно различались ( $p < 0,01$ ).

В настоящем исследовании выбор параметров воздействующего ПемП осуществляли на основе оценки его физиологической и геофизической значимости. Так, выбранная частота 8 Гц является фундаментальной частотой ионосферного волновода [14], а, кроме того, близка к частоте некоторых биоритмов [15]. Величина индукции выбиралась с таким расчетом, чтобы она была на несколько порядков выше интенсивности естественного ПемП на этой частоте. Это позволило устранить эффекты неконтролируемых воздействий, а вследствие широкого «амплитудного окна» на этой частоте [16] распространяются сделанные выводы на достаточно широкий диапазон интенсивности ПемП.

При изучении биоритмов важно знать не только периоды колебаний соответствующих показателей, но и фазовые соотношения между ними. Поэтому в качестве основного метода анализа периодичности был выбран спектральный анализ, обеспечивающий сопоставимость с другими методиками и дающие полное представление о структуре физиологических ритмов [17]. Для расчета корреляций использовали коэффициент Спирмена. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента.



## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В более ранней работе [18] нами были выявлен ритмический характер показателей поведения у животных с различными индивидуальными особенностями, который был описан набором инфраничных колебаний. Оказалось, что и при воздействии ПемП ритмическая составляющая в динамике исследуемых показателей у крыс с НДА и СДА оставалась хорошо выраженной.

В результате воздействия ПемП частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл зарегистрированы изменения инфраничной ритмики изученных показателей. Выяснено, что структура спектров мощности различных показателей под влиянием ПемП СНЧ может изменяться как за счет появления новых, так и исчезновения периодов (рис. 1). Так, у крыс со СДА спектр при действии ПемП расширился в показателе ВерДА, а в показателе ГДА сужался на двое суток. У животных с НДА область выявления периодов в спектре мощности ВерДА в результате воздействия ПемП расширилась на 11 суток, ГДА – на шесть суток, т.е. большая реакция на действие ПемП по данному параметру ритмики выявлена у крыс с НДА. Изменение области выявления периодов происходило и за счет количества периодов, входящих в состав спектров. Так, у животных со СДА при систематическом воздействии ПемП в показателях поведения происходили разнонаправленные изменения данного параметра: уменьшение в спектре ГДА (на 1 период) и увеличение в таковом ВерДА (на 1 период). ПемП вызывало разнонаправленные изменения в количестве периодов и у крыс с НДА. Так, в спектре ВерДА происходило также как, и у крыс со СДА увеличение периодов, а в спектре ГДА изменений в наборе ритмов отмечено не было. Однако в результате описанных выше изменений произошло сближение структуры спектров у крыс со СДА и НДА, т.е. спектры становились похожими.

Обращает на себя внимание и исчезновение доминирующего периода (период с максимальной амплитудой в спектре [19] в спектрах изученных показателей у крыс с различными индивидуальными особенностями. Исключение составил спектр ВерДА у животных со СДА, в котором при воздействии ПемП появился доминирующий период, составляющий  $\approx 19,5$  суток.

При воздействии ПемП СНЧ изменялись и амплитудно-фазовые соотношения. Наблюдалась тенденция к снижению амплитуд интегральных ритмов ГДА при воздействии ПемП по отношению к контролю практически во всех периодах у животных выделенных групп. Исключение составил  $\approx 4^d,8$  период у животных со СДА, когда амплитуда достоверно ( $p < 0,05$ ) повысилась на 34% относительно контроля. Данное снижение амплитуд  $\approx 4^d,8$  ритма под влиянием ПемП СНЧ привело к сближению их значений во всех изученных показателях у крыс с различным уровнем двигательной активности.

Анализ вышеприведенных данных свидетельствует о сближении параметров инфраничной ритмики (область выявления периодов, амплитуда) у крыс со СДА и НДА под влиянием ПемП СНЧ. Вероятно, такое явление становится возможным потому, что животные с различными индивидуальными особенностями подвергались одинаковому ритмическому воздействию ПемП СНЧ (по 3 часа в течение 32-х суток). Именно эти ритмические сигналы, по-видимому, привели к

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ  
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ  
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

стиранию различий в ритмических процессах показателей поведения. Полученные нами данные подтверждают предположение о том, что в отсутствие крупномасштабных возмущений ПемП СЧ могут являться датчиками времени, в том числе и для инфрадианного диапазона [3].

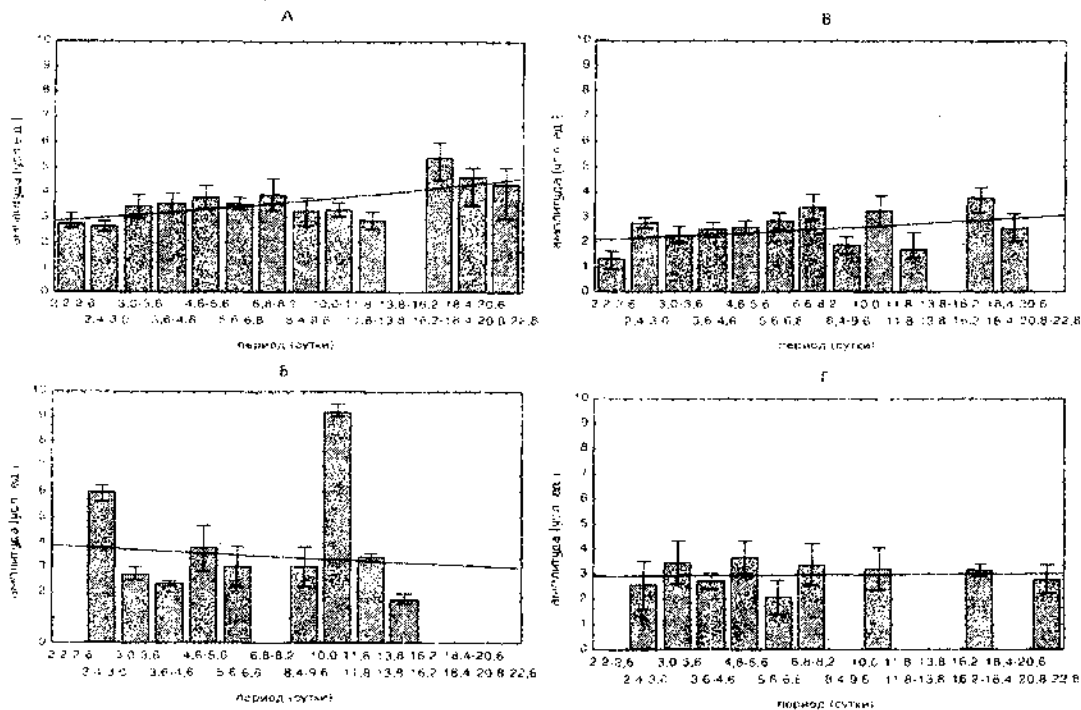


Рис. 1. Экспоненциальная модель амплитуд периодов спектра мощности ГДА у интактных крыс со средней (А) и низкой (Б) двигательными активностями в тесте ОП и крыс, подвергавшихся воздействию ПемП СЧ (крысы со СДА – В и с НДА – Г).

У животных всех выделенных групп под влиянием ПемП достоверного сдвига фаз исследованных показателей относительно данных контрольной группы животных не выявлено.

Между ГДА и ВДА, как отмечалось, существуют определенные фазовые соотношения. Как показал анализ фаз, у животных со СДА при воздействии ПемП отмечалась тенденция к уменьшению фазовой разности между ВерДА и ГДА, более выраженная в  $\approx 5^d,1$  и  $\approx 19^d,6$  периодах, в которых разность фаз составила  $43,54^\circ$  и  $48,29^\circ$  соответственно. а у животных с НДА, наоборот, отмечалась тенденция к увеличению разности фаз, более выраженная в периоде  $\approx 5^d,1$  ( $37,81^\circ$  по отношению к контрольным значениям).

Наряду с недостоверными сдвигами фаз при воздействии ПемП обнаружено возрастание коэффициента корреляции у крыс с НДА при воздействии ПемП. Если в контроле коэффициент корреляции составил  $r=+0,58$  ( $p<0,05$ ), то воздействие полем усилило взаимосвязь между ГДА и ВерДА, и коэффициент корреляции стал равен  $r=+0,79$  ( $p<0,05$ ). Как известно, одним из важнейших факторов

самоорганизации сложных систем является синхронизация, способствующая сохранению устойчивости системы [20]. Степень синхронизации не одинакова при различных состояниях и может быть использована для оценки устойчивости физиологических систем [4]. Из литературных данных известно, что повышение любой адаптационной нагрузки на систему приводит к возрастанию уровня корреляции (синхронизации), т.е. избыточная синхронизация является свидетельством патологических процессов, происходящих в организме [21]. У животных со СДА достоверных изменений коэффициента корреляции между показателями двигательной активности не выявлено, тогда как у крыс с НДА выявлена гипертоническая синхронизация.

Таким образом, влияние ПемП СНЧ на инфрадианную ритмику изученных показателей у животных всех выделенных групп проявляется в виде поиска нового режима осцилляций, соответствующего изменившимся условиям среды. Однако, результаты проведенных исследований свидетельствуют о неоднозначных изменениях инфрадианной ритмики под влиянием ПемП у крыс с различными индивидуальными особенностями.

Полученные нами данные могут быть связаны с изменением функциональной активности эпифиза под влиянием ПемП [22], активность которого определяется свойствами его основного гормона – мелатонина (М). Известно, что действие М реализуется через рецепторы, которые обнаружены на мембранах клеток практически всех органов и тканей [23]. Литературные данные свидетельствуют о том, что в основе действия ПемП на эпифиз лежит способность поля не снижать уровень М в эпифизе, а сдвигать акрофазу циркадианного ритма его секреции [24, 25]. Изменением концентрации М под влиянием ПемП объясняются многие физиологические эффекты этого раздражителя, обнаруженные в различных лабораториях. Так, при воздействии МП наблюдается увеличение концентрации серотонина в эпифизе [26]. Кроме того, в условиях торможения активности эпифиза происходит активация нейронов, осуществляющих секрецию тормозных медиаторов, одним из которых является серотонин. И как следствие, возбудимость таких структур мозга, как кора и гипоталамус снижается, что влечет за собой усиление процессов торможения в ЦНС и как следствие изменение поведенческих реакций. Как показывают немногочисленные данные, под влиянием ПемП низкой интенсивности может интенсифицироваться синтез опиатов, что приводит также к усилению процессов торможения в ЦНС [27]. Существуют многочисленные литературные данные, свидетельствующие об изменении поведенческих реакций у животных при воздействии МП. Действительно, при воздействии ПемП СНЧ снижается скорость выработки условных пищевых и оборонительных рефлексов [28], происходит нарушение условно-рефлекторной деятельности крыс [29].

Выявленные нами различия инфрадианной ритмики показателей поведения у животных с различной двигательной активностью в ОП могут объясняться данными о зависимости секреции М от индивидуальных особенностей испытуемых. R.J. Reiter (1997) [30] показано, что дневной уровень М в крови одинаково низкий у всех испытуемых, а амплитуда ночного пика синтеза данного гормона изменяется от испытуемого к испытуемому. Обнаружено также, что тормозные эффекты М на

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ  
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ  
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

импульсную активность нейронов гипоталамуса зависят от индивидуальных особенностей животных: они более выражены у крыс с активной (линия Wag) поведенческой стратегией поведения в ОП, чем у животных с пассивной (линия Fisher-344) [31].

Таким образом, обнаруженная нами синхронизирующая роль ПемП СЧ на инфрадианную ритмику животных с различными индивидуальными особенностями, вероятно, объясняется способностью данного фактора изменять функциональную активность энцефала, являющегося одним из основных пейсмекеров в изучаемом диапазоне периодов.

#### **ВЫВОДЫ**

1. ПемП СЧ вызывает изменения инфрадианной ритмики показателей поведения у животных со СДА и НДА. Данные изменения заключаются в изменении спектров мощности, его структуры, амплитудно-фазовых соотношений.

2. У животных с НДА воздействие ПемП СЧ вызывает гиперсинхронизацию временной организации.

3. Результатом действия ПемП СЧ на крыс с различными индивидуальными особенностями является сближение параметров инфрадианной ритмики показателей поведения.

#### **Список литературы**

1. Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Мальгина В.И. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфрадианную ритмику симпатoadренальной системы крыс // Биофизика. – 1992. – Т. – 37, № 4. – С. 653-655.
2. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты // Пробл. космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 166-173.
3. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. и др. Космос и биологические ритмы. – Симферополь. – 1995. – 206 с.
4. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу – ноосферу (Геобиология от А.И. Чижевского до наших дней). – М.: Изд-во МГДПУ. 2000. – 374 с.
5. Степанюк И.А. Электромагнитные поля крайне низких частот как важнейший экологический фактор // Международный крымский семинар «Космос и биосфера. Физические поля в биологии, медицине и экологии», Партенит, Крым, 4-6 октября, 2001. – С. 7-9.
6. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Басевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. – М.: Полиграф сервис, 2002. – 230 с.
7. Гурфинкель Ю.И., Кулешова В.П., Ораевский В.Н. Оценка влияния геомагнитных бурь на частоту появления острой сердечно-сосудистой патологии // Биофизика – 1998. – Т. 43., № 4. – С. 654-658.
8. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфрадианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и энцефалэктомированных крыс: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: СГУ – Симферополь, 1995. – 25 с.
9. Грабовская Е.Ю. Реакции крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты. Автореф. дисс. ... канд. та биол. Наук. – Симферополь, 1992. – 20 с.
10. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука. 1975. – 207 с.
11. Вальдман А.В., Козловская М.М. Изменение зоосональных взаимоотношений в группе животных как объективный показатель вызванных электростимуляцией нарушений в



- эмоционально-психической сфере. – В. кн.: нейрофизиологический подход к анализу внутривидового поведения. М.: Наука, 1976, - С. 74.
12. Hoff C.S. Emotional behavior in the rat. Defecation and urination as measures of individual differences in emotionally // *J. Comp. Physiol.* – 1934. – Vol. 18. – P. 3858.
  13. Буслевич С.Ю., Котеленец А.И., Фридлянд Р.М. Интегральный метод оценки поведения белых крыс в «открытом поле» // *Журн. Высш. нервн. деят.* – 1989. – Т. 39, №1. – С. 168.
  14. Schumann W.O. Uber die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre // *Naturwissenschaft.* – 1982. – 7 а. – P. 250-254.
  15. Ашофф Ю. Биологические ритмы. М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
  16. Макеев В.Б. Экспериментальное исследование физиологического действия ЭМП инфранизкой частоты. – Автореф. дис. канд. биол. наук. – Симферополь: Симферопольский ун-т, 1979. – 25 с.
  17. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии. – Новосибирск: Наука. - 1976. – 127 с.
  18. Минко В.А., Нагаева Е.И. Особенности инфранизкой ритмики поведения крыс в открытом поле с различной двигательной активностью // *Ученые записки ТГУ, серия «Биология, химия».* – 2003. – Т. 17 (56), № 1. – С. 55-62.
  19. Стригун Л.М. Биоритмы дегидрогеназ и гелиобиологические связи // *Леонардо Да Винчи XX века. К 100-летию А.Л. Чижевского.* – М.: 1997. – С. 45-46.
  20. Путилов А.А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе. – Новосибирск: наука. 1987. – 144 с.
  21. Брус Т.К., Чибисов С.М., Басевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. Монография. – М.: изд-во Российского университета дружбы народов; изд-во Полиграф сервис, 2002. – 232 с.
  22. Темурьянц Н.А., Шехоткин О.В., Роль эпифиза в организации инфранизкой ритмики физиологических систем // *Нейрофизиология.* – 1999. – Т. 31, № 2. – С. 157-161.
  23. Baller R., Coon S., Klein D. Orphan nuclear receptor R $\alpha$ 2 – beta – cyclic – AMP regulates expression in the pineal – gland // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 1996. – Vol. 220. – P. 975 – 978.
  24. Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В., Насяевич В.А., Магниточувствительность эпифиза // *Биофизика.* – 1998. – Т. 43, № 5. – С. 761-765.
  25. Arendt J., Deverson S., Folhard S. Use of melatonin in circadian rhythm disturbance associated with jet-lag and shift work // *J. Interdiscip. Cycle Res.* – 1992. – Vol. 23. – P. 136-138.
  26. Lerchl A., Nonaka K.O., Stokkan K.A., Reiter R.J. Marked rapid alterations in nocturnal pineal metabolism in mice and rats exposed to weak intermittent magnetic fields // *Biochemical and biophysical research communications.* – 1990. – Vol. 169, No. 1. – P. 102-108.
  27. Kavaliers M., Ossenkopp K.P. Stress-induced opioid analgesia and activity in mice: inhibitory influences of exposure to magnetic fields // *Psychopharmacology.* – 1986. – Vol. 89, No. 4. – P. 440-443.
  28. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка. 1986. – 160 с.
  29. Сучкова Ж.В. Аппараты нового поколения для локальной магнитотерапии и локального теплечения. Сборник методических пособий для студентов медицинских вузов, врачей в системе дополнительного образования. – Москва, 2001. – 38 с.
  30. Reiter R.J. Melatonin aspects of exposure to low frequency electric and magnetic fields // *Advances in electromagnetic fields in living systems.* – 1997. – Vol. 2. – P. 1 - 27.
  31. Перцов С.С., Мендереков А.Ф., Глушков Р.Г., Судаков К.В. импульсная активность нейронов латерального гипоталамуса у крыс при микроионофоретическом поведении мелатонина и норадrenalина // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* – 2002. – Т. 88, № 12. – С. 1521-1529.

Поступила в редакцию 15.11.2004 г.

УДК 612.829.3:599.32:615.849.11

## ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ АКТИВНОСТИ СТРЕСС-РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

*Шишко Е.Ю., Малыгина В.И.*

Для современного общества с его высоким темпом жизни характерно изобилие факторов риска, являющихся стрессовыми для организма [1, 2, 3, 4, 5]. Центральное место в развитии общего адаптационного синдрома занимают симпатoadренальная (САС) и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система (ГГНС). Роль САС, а также ГГНС при стрессе достаточно подробно изучена. Однако не изученными остаются изменения временной организации активности этих систем при адаптации к действию стресс-факторов. В настоящее время структура ритмов рассматривается в качестве меры адаптации и прогностического критерия.

В связи с этим, задачей настоящего исследования явилось изучение инфрадианной ритмики активности САС и ГГНС у животных с экспериментально вызванной стресс-реакцией.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на 60 беспородных белых крысах-самцах массой 150-200 г. С помощью теста «открытое поле» отбирали животных со средним уровнем двигательной активности и низкой эмоциональностью. Животные со средним уровнем двигательной активности преобладают в популяции и однотипно реагируют на действие различных факторов [6]. Стресс-реакция была индуцирована ограничением подвижности животных. В повторных опытах всех животных распределяли на 2 равноценные группы. К первой группе относились животные, содержащиеся в обычных условиях вивария (биологический контроль). Вторую группу составили животные, содержащиеся в условиях 1К. 1К создавалась помещением крыс в специальные пеналы из оргстекла, которые обеспечивали существенное ограничение их подвижности по всем направлениям. В пеналах крысы находились 23 часа в сутки. В течение одного часа осуществлялось кормление, уход за животными и забор крови.

Для исследования экскреции А, НА и 11-ОКС intactных крыс помещали в стеклянные обменные клетки с решетчатым полом из органического стекла со сборником мочи [7]. У крыс с ограниченной подвижностью мочу собирали в мочеприемники, вмонтированные в дно клетки.

Об активности САС судили по экскреции адреналина (А) и норадrenalина (НА) с мочой, а о состоянии ГГНС – по экскреции 11-оксикортикостероидов (11-ОКС). Определение концентрации КА в моче крыс осуществлялось триоксииндоловым методом по В.О. Осинской (1953) [8] в модификации А.М. Бару (1962) [9]. Для этого из точного объема мочи на флюориметрический анализ брали не более 9 мл. Экскрецию

11-ОКС с мочой выявляли по методу Silber, Porter (1957) в модификации Н.А. Юдаева и М.А. Креховой. (1960) [10].

Для измерения флюоресценции использовали флюориметрическую приставку к спектрофотометру «Спекол-10». Интенсивность свечения определяли на длине волны 510 нм. Возбуждение люминесценции осуществлялось на длине волны 405 нм. Для увеличения чувствительности флюориметра в качестве регистратора светового потока применяли ФЭУ-79, отобранного по минимуму шумов. Предельная чувствительность метода, примененного в настоящем исследовании, составило 10,0 нмоль/л, что вполне соответствует решению поставленных задач.

Статистическая обработка материала проводилась вычислением среднего значения исследуемых величин, среднего квадратичного отклонения, средней ошибки. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента.

Продолжительность периодов и амплитудно-фазовые характеристики исследуемых процессов были рассчитаны с помощью косинор-анализа. Анализ волны и ее динамики, произведенный методом косинор-анализа, обеспечивает сопоставимость с другими методами и дает полное представление о структуре физиологических ритмов [11].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследования показал, что временная динамика экскреции А с мочой у интактных животных на протяжении эксперимента имела сходный характер с динамикой выделения НА.

Экспоненциальная модель данных позволила выявить тенденцию к увеличению в экскреции НА с мочой (от 4,2 до 5,3 нмоль/сутки) на протяжении эксперимента. В экскреции А с мочой таких изменений не было отмечено.

В динамике экскреции А, НА и 11-ОКС с мочой присутствовала ярко выраженная ритмическая составляющая. Косинор-анализ экскреции КА и 11-ОКС с мочой у интактных животных позволил выявить инфрадианную ритмику исследуемых показателей.

В контрольной группе животных в экскреции КА и 11-ОКС были выявлены ритмы продолжительностью:  $\approx 3^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 5^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 7^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 12^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 14^{\text{д}}, 0$  и  $\approx 17^{\text{д}}, 0$  и  $\approx 21^{\text{д}}, 0$  (рис. 1).

Спектры мощности экскреции КА и 11-ОКС с мочой в основном совпадали, но были отмечены и некоторые отличия. Обращало на себя внимание отсутствие в спектрах мощности экскреции А и 11-ОКС с мочой периода  $\approx 9,0$  суток. Период продолжительностью  $\approx 17^{\text{д}}, 0$  не был зарегистрирован в спектре 11-ОКС, в котором было выявлено шесть периодов. В спектрах мощности А, НА и 11-ОКС были выделены доминирующие периоды:  $\approx 14^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 3^{\text{д}}, 0$  и  $\approx 5^{\text{д}}, 0$  периоды соответственно.

Инфрадианные ритмы изученных показателей характеризовались также и определенными амплитудными характеристиками. Экспоненциальный анализ, проведенный в контрольной группе животных, показал, что имела место тенденция к возрастанию амплитуд выделенных ритмов с увеличением продолжительности периодов в спектрах всех исследованных показателей.

Анализ межфазовых взаимоотношений изученных показателей у интактных животных выявил между А и НА в периодах  $\approx 5^{\text{д}}, 0$ ,  $\approx 14^{\text{д}}, 0$  и  $\approx 17^{\text{д}}, 0$  разность фаз, которая составляла  $124^{\circ}$ ,  $257^{\circ}$  и  $225,7^{\circ}$  соответственно. Между А и 11-ОКС у интактных животных было зафиксировано расхождение фаз в периодах:  $\approx 3^{\text{д}}, 5$ ,

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ АКТИВНОСТИ  
СТРЕСС-РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ**

$\approx 11^d, 0$  и  $\approx 21^d, 0$  на  $203^\circ$ ,  $122^\circ$  и на  $128^\circ$ . Исключения составляли периоды:  $\approx 5^d, 0$ ,  $\approx 7^d, 0$  и  $\approx 14^d, 0$ , в которых регистрировалось совпадение фаз. Сближение фаз между НА и 11-ОКС было зарегистрировано в периодах:  $\approx 3^d, 5$ ,  $\approx 5^d, 0$  и  $\approx 21^d, 0$ , а расхождение в  $\approx 7^d, 0$ ,  $\approx 11^d, 0$  и в  $\approx 14^d, 0$  периодах.

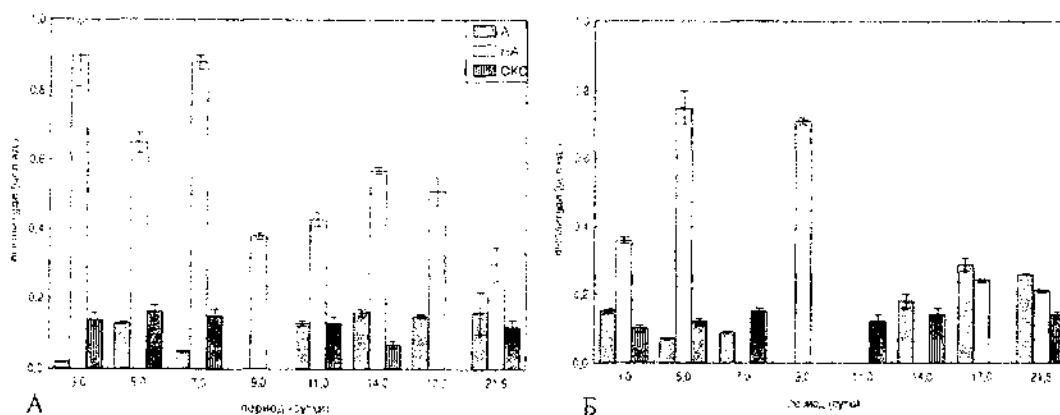


Рис. 1. Спектры мощности экскреции адреналина, норадреналина и 11-оксикортикостероидов с мочой в контрольной группе животных (А) и крыс с ограниченной подвижностью (Б).

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что показатели активности стресс-реализующих систем изменялись в инфрадианном диапазоне и имели определенные амплитудно-фазовые характеристики.

При гипокинетическом стрессе у животных произошли изменения динамики и временной организации показателей активности САС и ГГНС, которые носили фазный характер и зависели от сроков эксперимента. Так, первая фаза – реакция тревоги (две недели) характеризовалась активацией САС и ГГНС. В первые 2 дня ГК выделение А возросло по отношению к контрольным значениям на 231% ( $p < 0,001$ ), а НА и 11-ОКС с мочой – на 14%, и 28% соответственно. На 8-10 сутки экскреция А и НА с мочой составила 222%, ( $p < 0,001$ ) и 181,3% ( $p < 0,001$ ) и 11-ОКС соответственно. С третьих суток эксперимента 11-ОКС незначительно снижался на 7% ( $p < 0,02$ ) относительно значений контрольной группы.

Таким образом, в первые две недели ГК нами было обнаружено увеличение экскреции А и НА с мочой. Активация экскреции 11-ОКС с мочой происходила в первые сутки ГК.

Вторая фаза гипокинетического стресса (стадия резистентности 13-32 сутки) характеризовалась незначительным снижением активности САС и ГГНС относительно первых двух недель опыта. Так выделение А и НА с мочой в эти сроки составляла в среднем 130% ( $p < 0,001$ ) и 105% соответственно, а начиная с 22-х суток эксперимента, выделение 11-ОКС с мочой приближалось к контрольным значениям.

Третья фаза ГК стресса (стадия истощения 33-43 сутки) характеризовалась снижением функциональной активности стресс-реализующих систем.

Таким образом, ограничение подвижности привело к увеличению экскреции А и НА с мочой. Полученные результаты согласуются с результатами литературных



данных. Так, ГК вызывала активацию САС и ГНС, сопровождающаяся повышенной секрецией КА и глюкокортикоидов в первые сутки развития стресс-реакции [3]. В экспериментах С.Г. Шихевич с соавторами (2002) [13] и В.Г. Шаляпина с соавторами (2000, 2001) [14, 15] при ограничении подвижности было выявлено повышение содержания кортикостерона в крови у крыс.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что инфрадианная ритмика экскреции НА и А и 11-ОКС с мочой крыс, а также степень синхронизации изученных параметров также существенно менялась при ГК.

В экспериментальной группе животных косинор-анализом были выделены такие же периоды исследуемых показателей, как в контрольной группе (рис. 1), но были зарегистрированы и отличия. Так, в спектрах экскреции А, НА с мочой у крыс с ограниченной подвижностью исчез  $\approx 11^d,0$  период, а в ритме экскреции НА –  $\approx 14^d,0$  период. В ритме 11-ОКС изменений в количестве выявленных периодов не было выявлено. Различия заключались также и в смене доминирующего ритма. В спектрах А в экспериментальной группе животных доминировал  $\approx 17^d,0$  период, в спектре НА –  $\approx 5^d,0$ , 11-ОКС –  $\approx 14^d,0$ . Таким образом, ГК изменяла не только структуру периодов, но и доминирующий ритм.

Изменение спектральной мощности выявленных ритмов проявлялось в соответствующих перестройках их амплитудных характеристик. Экспоненциальный анализ данных показал тенденцию к возрастанию амплитуд выделенных ритмов в спектрах экскреции А, 11-ОКС и незначительное снижение амплитуд в спектре мощности НА.

В спектре экскреции А с мочой был зарегистрирован разнонаправленный сдвиг амплитуд, а именно: амплитуда ритмов данного показателя достоверно уменьшалась в периоде  $\approx 5^d,0$  в 1,36 раза ( $p < 0,05$ ), а в ритме  $\approx 3^d,5$  повышалась в 2,14 раза ( $p < 0,01$ ) относительно значений в контрольной группе животных. Максимальное снижение амплитуд в спектре мощности экскреции А с мочой было зарегистрировано в периоде  $\approx 20^d,5$  в 4,68 раза ( $p < 0,001$ ), а повышение в  $\approx 14^d,0$  в 1,18 раза ( $p < 0,01$ ) соответственно. Для ритмов экскреции НА было характерно понижение амплитуд в 1,2-1,6 раза ( $p < 0,02$  –  $p < 0,001$ ) во всех выделенных периодах относительно значений контрольной группы. Причем, максимальное снижение амплитуд исследуемых показателей было зафиксировано в  $\approx 17^d,0$  периоде в 2,08 раза ( $p < 0,001$ ) по сравнению с показателями в интактной группе животных. Для ритмов 11-ОКС, как и для ритмов экскреции НА было свойственно понижение амплитуд в 1,1-1,4 раза ( $p < 0,001$ ) относительно контроля, а в  $\approx 14^d,0$  периоде, также как и в ритме экскреции А было отмечено достоверное повышение амплитуды в 2 раза ( $p < 0,001$ ). Изменение исходной периодичности при стрессе характеризовалось не только нарушением структуры периода, но и изменением амплитудных характеристик колебательного процесса и акрофазы, что является само по себе неблагоприятным признаком [16].

Таким образом, изменения инфрадианной ритмики выражались в грубых нарушениях исходных амплитудных характеристиках исследованных показателей стресс-реализующих систем. При ГК установились новые взаимоотношения между показателями стресс-реализующих систем (рис. 2).

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ АКТИВНОСТИ  
СТРЕСС-РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ**

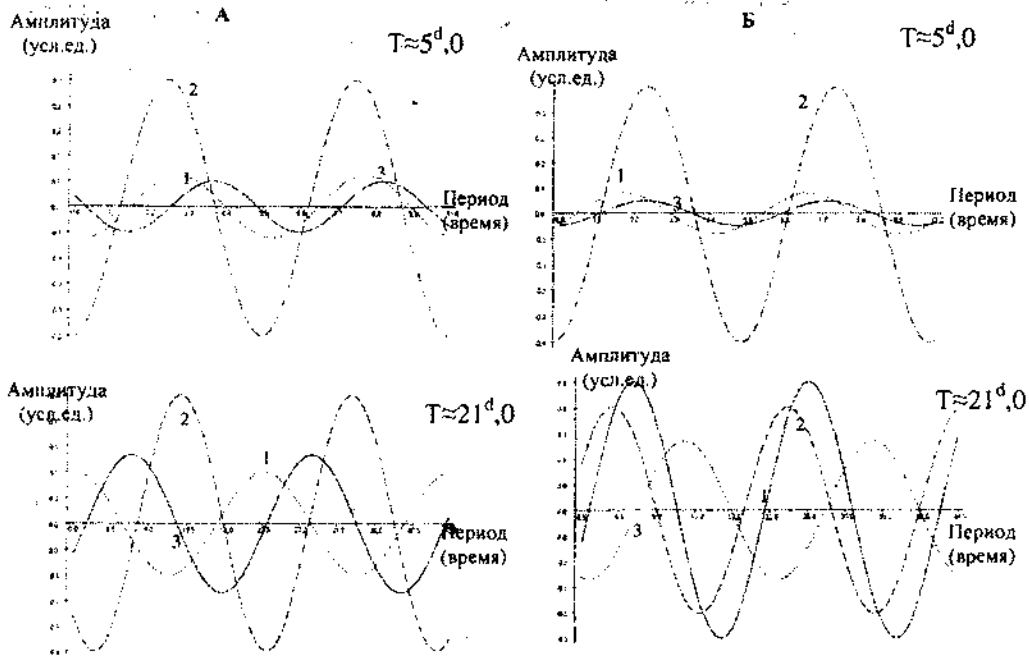


Рис. 2. Фазовые соотношения биоритмов экскреции А (1), НА (2) с мочой и 11-оксикортикостероидов (3) у интактных животных (А) и при ограничении подвижности (Б) в периодах:  $\approx 5^d,0$  и  $\approx 21^d,0$ .

Между ними (А, НА и 11-ОКС) в коротких периодах:  $\approx 3^d,0$ ,  $\approx 5^d,0$  и  $\approx 7^d,0$  было отмечено уменьшение разности фаз, что свидетельствовало об усилении синхронизации между показателями в экскреции А и НА, А и 11-ОКС и НА и 11-ОКС у животных с ограниченной подвижностью. В длинных периодах:  $\approx 11^d,0$  и  $\approx 21^d,0$  – наоборот, было зарегистрировано фазовое рассогласование инфрадианной ритмики показателей САС и ГНС (рис. 2).

Таким образом, гипокINETИЧЕСКИЙ стресс привел к выраженным нарушениям инфрадианной ритмики САС и ГНС, что проявлялось не только в изменении структуры спектра, но и в амплитудно-фазовых сдвигах. Все это свидетельствует о развитии десинхроноза.

Анализ полученных результатов исследования, а также сопоставление их с имеющимися к настоящему времени литературными данными, позволили представить механизм нарушения инфрадианной ритмики стресс-реализующих систем при гипокINETИЧЕСКОМ стрессе.

Одной из важнейших систем, первой отвечающей на воздействие стресс-факторов является САС. В наших исследованиях об активации САС при ГК свидетельствовало резкое возрастание экскреции КА с мочой. Такое возрастание экскреции КА связано с выделением НА из гипоталамического депо, а А – из надпочечников. Следствием

этих изменений является активация периферических отделов САС, о чем свидетельствует возрастание концентрации КА в плазме крови [15].

Для объяснения механизмов развития стресса существенное значение имеют выделение и повышенная утилизация НА при разворачивании адаптационных реакций на уровне гипоталамуса и уменьшение обратного захвата НА адренергическими нервными окончаниями [16]. Вышеописанные процессы в различных отделах мозга модулируют чувствительность  $\beta$ -адренорецепторов. При хроническом иммобилизационном стрессе уменьшается плотность  $\beta$ -адренорецепторов в пинеалоцитах, сопровождающихся дисфункцией внутриклеточной серотонин-N-ацетилтрансферазы, и уменьшением N-ацетилсеротонина и М [17], что приводит к изменению секреции основного эпифизарного гормона мелатонина. Эти изменения обусловлены снижением «симпатического входа».

Известно, что при хроническом стрессе не столько изменяется содержание М в эпифизе, сколько происходит смещение акрофазы его секреции [18]. Эпифиз является ведущим пейсмейкером в широком диапазоне периодов, участвующим в координации биоритмов. При нарушении, обусловленном гипокинетическим, стрессом изменяется и ритмическая деятельность их систем, в том числе и ГГНС.

Важную роль в регуляции стресса играет и изменение секреции глюкокортикоидов, являющихся ключевым фактором саморегуляции и активности стресс-системы. При стрессе происходит активация оси гипоталамус-гипофиз-надпочечники, которая вызывает гиперпродукцию глюкокортикоидов, что в свою очередь приводит к иммунодепрессии [18, 19]. М присущи достаточно сложные отношения с ГГНС. На это указывает вызываемое гормоном торможение спонтанной ритмики гипоталамических нейронов, совпадающее с подавлением здесь аденилатциклазной активности и снижением уровня цАМФ, в аденогипофизе [20, 21]. Многочисленные исследования указывают на сдерживающий характер эпифизарного контроля за деятельностью эндокринных желез, в том числе за адренокортикальной активностью [21, 22]. Факт угнетающего влияния М на выработку КС установлен. Показано, что этот эффект является следствием подавления секреции АКГГ в аденогипофизе, а также кортиколиберина в ядрах гипоталамуса [23]. Как свидетельствуют результаты проведенных исследований при стрессе имеет место нарушение ритмической деятельности ГГНС, обусловленных изменением функционального состояния эпифиза.

### ВЫВОДЫ

Изменения функциональной активности эпифиза при стрессе, по-видимому, ведут к изменению временной организации стресс-реализующих систем. Следствием этого является и изменение инфранианной ритмики физиологических систем, в том числе САС и ГГНС, обнаруженного в нашем исследовании.

### Список литературы

1. Меерсон Ф.З., Пшенинкова М.Г., Кузнецова Б.А. и др. Развитие адаптации к стрессу в результате курса транскраниальной электростимуляции // Бюл. экпер. биол. – 1994, № 1. – С 16-18.
2. Dean D., Lyte M., Flower N. Sjeial conflict stress, immune responses and resustance to infection // Shock. – 1997, № 7. – P. 104.

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ АКТИВНОСТИ  
СТРЕСС-РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ**

3. Шенникова М.Г. Феномен стресса. Эмоциональный стресс и его роль в патологии // Патол. физиол. – 2001, №2. – С. 26 – 30.
4. Игумова К.Н. Участие факторов иммунной системы в механизмах адаптации миокарда при иммобилизационном стрессе // // Таврический медико-биологический вестник, КГМУ. – Т. 7. № 1. – 2003. – С. 71-74.
5. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Самохвалов В.П. Космос и биологические ритмы. - Симферополь, 1995
6. Маркель А.И. // Журнал высшей нервной деятельности. – 1981, №2. – 301с.
7. Бойко Т.П. Изменение уровня катехоламинов в тканях белых крыс в условиях формирования алкогольной мотивации и их фармакологическая регуляция Автореф. дисс... д-ра биол. наук. – Харьков, 1987. – 16 с.
8. Оенинская В.О. Данные об окислении адреналина, норэпинефрина, адреналина, норэпинефрина во флюоресцирующие соединения // Биохимия. – 1953, №. 18 – С. 594-595.
9. Бару А.М. Значение норэпинефрина головного мозга в возникновении гормонально-медиавторной диссоциации как формы изменения симпатoadrenalовой активности // Физиология и биохимия биогенных аминов. М.: Наука, 1969. – С. 64-70.
10. Колб В.Г., Камышников Е.С. Клиническая биохимия. - Минск. – 1976. – с. 234.
11. Емельянов И.П. Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Статистический анализ и моделирование. - Новосибирск: Наука, 1986. – 184 с.
12. Стригун Л.М. Биоритмы дегидрогеназ и гелиобиологические связи // Циклы природы и общества. – 1996. – № 2. – С. 143-149.
13. Шихенич С.Г., Оськина И.И., Плюснина И.З. Реакция гипоталамо-надпочечниковой системы на стрессорные и иммунные стимулы у серых крыс, селекционируемых по поведению // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2002. – Т. 88, № 6. – С. 781-789.
14. Шалапина В.Г., Орлян Н.Ю. Рецепторы кортикостероидов в мозгу как сигнальные системы стресса и адаптации // Успехи физиологических наук. – 2000. – Т. 31, № 4. – С. 86-101.
15. Шалапина В.Г., Зайченко И.Н., Батуев А.С., Орлян Н.Ю. Изменение нейроэндокринной регуляции приспособительного поведения после стресса в позднем пренатальном онтогенезе // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2001. – Т. 87, № 9. – С. 1192-1201.
16. Еремича С.А., Белякова Е.П. Фазы первичной реакции симпато-адреналовой системы на стресс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. -1987. – Т. 54, № 8. – С. 155-157. -
17. Yocca F. D. and Friedman E. Parallel but Separate Release of Catecholamines and Acetylcholinesterase from Stimulated Adrenal Chromaffin Cells in Culture // J. of Neuroendocrinology. – 1984. – V. 42. – P1433-1438.
18. Арушанян О.Б. Участие энкефалина в антистрессовой защите мозга // Успехи физиол. наук. - 1996. – Т. 27, № 3. – С. 31
19. Morrey M.K., McLachlan J. A., Srkin C.D., Bakouche O. Activation of human monocytes by the pineal neurohormone melatonin // J. Immunol. – 1994. – Vol. 153. – P 2671-2680.
20. Nilis L.P., Hashemi F. Picomolar-affinity binding and inhibition of adenylate cyclase activity by melatonin in Syrian hamster hypothalamus // Neurobiology. – 1990. – Vol. 10. – P. 553-558.
21. Karasek, M., Woldanska-Okonska, M., Czernicki, J., Zylinska, K., and Swietoslowski, J. Chronic exposure to 2.9 mT, 40 Hz magnetic field reduces melatonin concentrations in humans // J. Pineal Res. 1998. – Vol. 25. – P. 240-244.
22. Troiani M.E., Reiter R.J., Vaughen M.K. et al. The depression in rat pineal melatonin production after saline injection at night may be elicited by corticosterone // Brain Res. - 1988. – Vol. 450. – P. 18-24.
23. Miguez I. Aldegunde MA. Effect of gamma-aminobutyric acid on corticosterone secretion: involvement of the noradrenergic system. // Life Sci.- 1990 – Vol.46, No. 12. – P. 875-80.

*Поступила в редакцию 15.11.2004 г.*



УДК: 615.21/26:612.112:615.847.8:616 – 009.2 – (59.082)

## НАЛОКСОН МОДУЛИРУЕТ ГИДРОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ФАГОЦИТОВ НА ДЕЙСТВИЕ ГИПОКИНЕЗИИ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ

*Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Верко Н.П.*

В настоящее время практической медицине и экспериментальной биологии известна высокая биологическая активность низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) [1,2,3]. В частности, в наших предыдущих исследованиях показаны эффекты изолированного и комбинированного со стресс-фактором действия ЭМИ КВЧ [8]. При этом выявлено стресс-протекторное действие этого фактора. Определенным вкладом в объяснение данных эффектов, а также терапевтической активности этого физического фактора, послужила обнаруженная в этих экспериментах способность ЭМИ КВЧ ингибировать протеазную активность нейтрофилов периферической крови при комбинированном с гипокинезией действии. Однако делать какие-либо окончательные выводы на основании только этих результатов исследования не представляется корректным, поскольку основную функцию нейтрофильные лейкоциты выполняют именно в тканях организма. Для уточнения и расширения этих представлений целесообразно изучение влияния ЭМИ КВЧ на гидролитическую активность тканевых нейтрофилов. Кроме этого, нельзя не согласиться и с тем фактом, что несмотря на наличие огромного числа исследований физиологической и терапевтической активности ЭМИ КВЧ, реальные механизмы регистрируемых эффектов во многом остаются неясными.

Исследованиями в области клинической физиологии и медицины показано важное значение эндогенных опиоидных нейропептидов в регуляции физиологических функций организма, в формировании защитного синдрома при различных стресс-генерируемых патологиях [5,10]. Оценивая эти факты и результаты собственных, ранее проведенных исследований, мы предполагаем участие системы эндогенных опиоидов и опиоидных рецепторов в механизмах физиологического и терапевтического действий низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. Для проверки этой гипотезы было проведено экспериментальное исследование способности неселективного блокатора опиоидных рецепторов налоксона влиять на гидролитическую активность фагоцитов слизистой трахеи при изолированном и комбинированном действиях низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ и гипокинезии.



## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальное исследование выполнено на 70-ти белых крысах-самцах со средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью, определенных в тесте «открытого поля». Все экспериментальные животные были распределены на 7 равноценных групп (по 10 животных в каждой). Животные первой группы находились в обычных условиях вивария (биологический контроль, К). Вторую группу составили крысы, двигательная активность которых ограничивалась в течение 9 суток, путем помещения их в специальные пеналы (ГК). В третью группу вошли животные, находившиеся в обычных условиях вивария и ежедневно подвергавшиеся воздействию ЭМИ КВЧ (КВЧ). Крысы четвертой группы содержали в условиях гипокинезии и подвергали воздействию ЭМИ КВЧ одновременно с животными 3-ей группы (комбинированное воздействие, КВЧ+ГК). Воздействие ЭМИ КВЧ осуществляли ежедневно, по 30 минут в течение 9 дней на затылочную область животных с помощью одноканального генератора «Луч. КВЧ-01», с длиной волны 7,1мм и плотностью потока мощности 0,1 мВт/см<sup>2</sup>. Пятая (ГК+Н), шестая (КВЧ+Н) и седьмая (КВЧ+ГК+Н) экспериментальные группы формировались аналогично второй, третьей и четвертой (т.е. животные находились в тех же условиях и подвергались соответствующим воздействиям в течение 9 дней), однако, животным этих групп дополнительно вводили ежедневно однократно налоксон (1мг/кг внутривенно). Животные 6-ой и 7-ой групп получали налоксон за 30 минут до воздействия ЭМИ КВЧ. По окончании 9-ти суток экспериментальных воздействий осуществляли декапитацию животных.

Индикатором, происходящих в организме изменений под влиянием изучаемых факторов, служила гидролитическая активность моноцитов и нейтрофилов в отпечатках трахеи. Моноцитарные и нейтрофильные лейкоциты воздухоносных путей являются системой местной защиты и выполняют важную роль в формировании и развитии фагоцитарного процесса [6]. Гидролитическая активность моноцитов и нейтрофилов оценивалась цитохимическими методами по содержанию в них общих протеаз (ПР) [4,7] и кислой фосфатазы (КФ) [4]. Количественную оценку изучаемых показателей производили в соответствии с принципом L. Karlow [9] путем подсчета цитохимического показателя содержания (ЦПС).

Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием параметрических методов. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ экспериментальных данных позволил обратить внимание на некоторые закономерности изменений протеазной и кислофосфатазной активности фагоцитов в отпечатках трахеи под воздействием изучаемых факторов. Обнаружено, что 9-тисуточное ограничение подвижности приводило к увеличению протеазной и, в особенности, кислофосфатазной активности на 15% ( $p < 0,001$ ) и 20% ( $p < 0,001$ ) соответственно относительно значений этих показателей в контроле (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Цитохимический показатель содержания протеазы (ПР) и кислой фосфатазы (КФ) в фагоцитах отпечатков трахеи животных различных экспериментальных групп ( $\bar{X} \pm S \bar{X}$ )

| Экспериментальные группы животных | ЦПС ПР, усл.ед | Р   | ЦПС КФ, усл.ед. | р  |
|-----------------------------------|----------------|---|-----------------|--|
| 1 К                               | 242,6±2,24     |   | 121±2,75        |  |
| 2 ГК                              | 275,5±2,00     | p <sub>1,2</sub> <0,001   | 145,5±2,44      | p <sub>1,2</sub> <0,001  |
| 3 КВЧ                             | 245±3,00       | p <sub>2,3</sub> <0,001   | 129±2,13        | p <sub>2,3</sub> <0,001  |
| 4 КВЧ+ГК                          | 231±3,43       | p <sub>2,4</sub> <0,01  | 127,6±2,27      | p <sub>2,4</sub> <0,001  |
| 5 ГК+Н                            | 263±3,05       | p <sub>2,5</sub> <0,01<br>p <sub>3,5</sub> <0,001<br>p <sub>4,5</sub> <0,01   | 140±2,21        | p <sub>1,5</sub> <0,001<br>p <sub>3,5</sub> <0,001<br>p <sub>4,5</sub> <0,001  |
| 6 КВЧ+Н                           | 225±2,10       | p <sub>1,6</sub> <0,01<br>p <sub>2,6</sub> <0,001<br>p <sub>3,6</sub> <0,01<br>p <sub>5,6</sub> <0,001                            | 112±2,04        | p <sub>1,6</sub> <0,001<br>p <sub>2,6</sub> <0,001<br>p <sub>3,6</sub> <0,01<br>p <sub>5,6</sub> <0,001                          |
| 7 КВЧ+ГК+Н                        | 263±2,89       | p <sub>1,7</sub> <0,01<br>p <sub>2,7</sub> <0,001<br>p <sub>3,7</sub> <0,01<br>p <sub>4,7</sub> <0,001<br>p <sub>6,7</sub> <0,001 | 138,5±2,00      | p <sub>1,7</sub> <0,01<br>p <sub>2,7</sub> <0,001<br>p <sub>3,7</sub> <0,05<br>p <sub>4,7</sub> <0,05<br>p <sub>6,7</sub> <0,001 |

Р – достоверность различий при сравнении с данными групп, обозначенных в таблице 1-7 соответственно

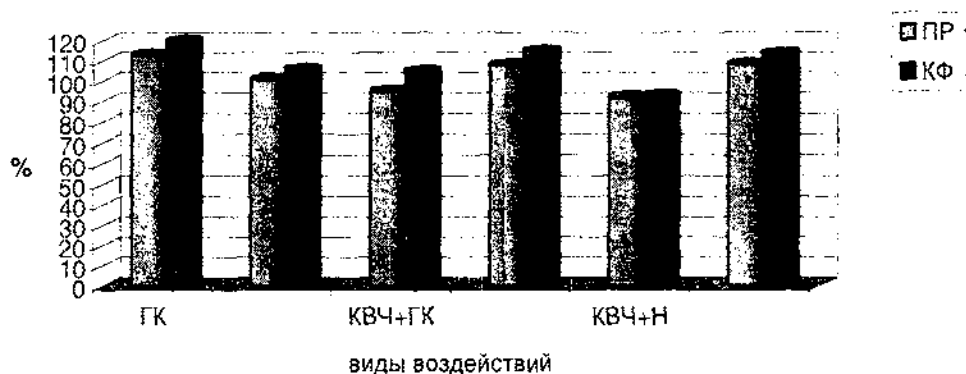


Рис. 1. Цитохимический показатель содержания кислой фосфатазы (КФ) и протеазы (ПР) в фагоцитах отпечатков трахеи крыс при различных воздействиях (в % относительно значений контрольной группы животных).

Результаты воздействия ЭМИ КВЧ на интактных животных выявили тенденцию к увеличению гидролитической активности фагоцитов в отпечатках трахеи декапитированных животных.

## НАЛОКСОН МОДУЛИРУЕТ ГИДРОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ФАГОЦИТОВ НА ДЕЙСТВИЕ ГИПОКИНЕЗИИ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ

ЦПС ПР в моноцитах и нейтрофилах отпечатков трахеи животных, подвергавшихся в течение 9 дней комбинированному действию гипокинезии и ЭМИ КВЧ, достигал значения ( $231 \pm 3,43$  усл.ед.) низкого по сравнению с соответствующими значениями в первых 3-х экспериментальных группах. Следует отметить, что достоверные различия активности протеазы были зафиксированы только между группами животных, подвергавшихся изолированному действию гипокинезии и комбинированному с гипокинезией воздействию ЭМИ КВЧ ( $231 \pm 3,43$  усл.ед. против  $275,5 \pm 2,00$  усл.ед. группы ГК,  $p < 0,001$ ). Цитохимическая активность КФ в этой группе животных была несколько выше, чем в контроле ( $127,6 \pm 2,43$  усл.ед. против  $121 \pm 2,10$  усл.ед. контроля) и практически не отличалась от значений аналогичного показателя в группе КВЧ (табл. 1, рис. 1). Таким образом, низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ ингибирует гидролитическую активность не только нейтрофилов крови, но и тканевых нейтрофилов. В механизмах этого действия важную роль играет система опиоидных пептидов.

Несколько иная ситуация была зафиксирована при внутрибрюшинном введении неселективного блокатора всех субтипов опиоидных рецепторов налоксона. Действие налоксона на гипокинезированных животных не приводило к столь существенным различиям гидролитической активности фагоцитов у этих животных и у крыс, испытывавших изолированное действие гипокинезии. ЦПС ПР и КФ в нейтрофилах и моноцитах отпечатков трахеи животных группы ГК+Н были несколько снижены (на 5% и 4%) по сравнению с группой ГК и составили  $263 \pm 3,00$  усл.ед. и  $140 \pm 2,21$  усл.ед. соответственно. Однако значения этих показателей в группе животных ГК+Н были достоверно высокими по сравнению с таковыми в контрольной группе животных на 10% (ПР) и 15 % (КФ) ( $p < 0,001$ ) соответственно (табл. 1, рис. 1). Следует отметить, что при комбинированном воздействии гипокинезии и налоксона в популяции фагоцитов преобладали нейтрофильные лейкоциты.

Действие налоксона на животных, подвергавшихся только влиянию ЭМИ КВЧ, отразилось достоверным снижением содержания ПР и КФ в исследуемых клетках отпечатков трахеи соответственно на 8% и 13% ( $p < 0,01$ ) по сравнению со значениями аналогичных показателей в группе КВЧ и на 7% и 6% по отношению к группе интактных животных. После ежедневных инъекций налоксона животным, находившимся в течение 9 суток под влиянием комбинации факторов (ГК и ЭМИ КВЧ) ЦПС КФ составил  $138,5 \pm 2,0$  усл.ед., а ЦПС ПР –  $263 \pm 2,89$  усл.ед. Следует отметить, что гидролитическая активность фагоцитов в отпечатках трахеи животных группы ГК+КВЧ+Н достоверно превышала соответствующую в группе ГК+КВЧ на 12% ( $p < 0,01$  для ПР) и 9% ( $p < 0,01$  для КФ) (табл. 1, рис. 1).

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование показало, что неселективный блокатор опиоидных рецепторов налоксон модулирует гидролитическую активность фагоцитов слизистой трахеи на действие гипокинезии и низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. В процессе исследования было обнаружено, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ незначительно стимулирует кислородфосфатазную и протеазную активности моноцитов и нейтрофилов отпечатков трахеи. Однако воздействие ЭМИ КВЧ на фоне блокады опиоидных рецепторов, напротив,

приводит к достоверному снижению ЦПС ПР и КФ по отношению к контрольным значениям. Эти фактические данные указывают на вероятное участие системы опиоидных пептидов и опиоидных рецепторов в механизмах физиологического действия миллиметровых волн. Кроме этого, эта древняя регулирующая система играет важную роль и в механизмах корригирующего действия ЭМИ КВЧ. Доказательством этому послужило следующее обстоятельство: выключение опиоидной системы налоксоном нарушало корригирующее влияние ЭМИ КВЧ в условиях действия стрессора, о чем свидетельствуют высокие, по отношению к группе интактных крыс, значения протеазной и кислофосфатазной активности фагоцитов слизистой трахеи у животных, подвергавшихся сочетанному действию ГК, ЭМИ КВЧ и налоксона. Наиболее высокие значения показателей гидролитической активности были зафиксированы в исследуемых лейкоцитах слизистой трахеи животных, испытывавших изолированное и комбинированное с действием налоксона ограничение двигательной активности по сравнению с таковыми в других экспериментальных группах. Полученные результаты свидетельствуют о способности низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ ограничивать кислофосфатазную и, в особенности, протеазную активность нейтрофилов слизистой трахеи, а не только периферической крови, как было показано ранее [8].

#### Список литературы

1. Бецкий О.В. Миллиметровые волны в медицине и биологии // Радиотехника и электроника. – 1993. – Т. 38. – С. 1760 – 1782.
2. Колбун Н.Д. Теория и практика информационно-волновой терапии. – К., 1996. – 270с.
3. Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Экспериментально-клинические исследования в области биологических эффектов миллиметровых волн. – Миллиметровые волны в биологии и медицине. – М., 1999. – №4(16). – С.3-9.
4. Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. – М.: Мир, 1969. – 645 с.
5. Линиманов Ю.Б., Маслов Л.Н. Опиоидные рецепторы и резистентность сердца к аритмогенным воздействиям // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2004. – Т. 138, № 8. – С. 125-131.
6. Маянский А.Г. Хроническое воспаление. – Москва, 1991. – 272 с.
7. Михайлов А.В. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипокинезии: Автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.23 / Крым. Мед. ин-т. – Симферополь, 1986. – 25 с.
8. Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Московчук О.Б., Чирский Н.В., Верко Н.П., Туманянц Е.И., Пономарева В.И. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. – Симферополь, 2003. – 448 с.
9. Kaplow L.S. A Histochemical procedure for localizing and evaluation leucocyte alkaline phosphatase activity in smears of blood and marrow // Blood. – 1995. – №10. – P. 1023-1029.
10. Van Ree J.M., Gerrits M.A.F.M., Vanderschuren L.J.M.J. Opioids, Reward and Addiction: An encounter of Biology, Psychology and Medicine // Pharmacol. Rev. – 1999. – Vol. 51, № 2. – P. 243-296.

*Поступила в редакцию 15.11.2004 г.*



УДК 591.1: 615.849.11

## ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ КРЫС ПРИ ИЗОЛИРОВАННОМ И КОМБИНИРОВАННОМ С ГИПОКИНЕЗИЕЙ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ

Чуян Е.Н., Махонина М.М., Тарков В.Е.

В настоящее время лимфоциты рассматриваются в качестве центральных клеток иммунной системы, поскольку они обладают уникальными свойствами – высокой изменчивостью, способностью к рециркуляции, обеспечивающими возможность иммунологического надзора, координацию работы иммунологических органов, связь с нейроэндокринной системой [1, 2]. Будучи мигрирующими клетками, лимфоциты способны переносить информацию о формировании метаболических и иммунологических процессов в организме другим клеточным элементам и отражать изменения, происходящие в организме [3, 4]. В то же время, сами клетки обладают регуляторными свойствами, опосредуемыми через систему синтезируемых ими эндогенных иммуномодуляторов – цитокинов [1, 5]. Поэтому лимфоциты имеют такие специфические свойства, которые могут служить индикаторами состояния организма, отражая его адаптивные и патологические изменения, что дало основание Р.Н. Нарциссову [6] сформулировать положение о том, что исследование функциональной активности лимфоцитов периферической крови является «биопсией внутренних органов», «энзиматическим зеркалом организма», отражением его обменных процессов. В связи с этим лимфоциты, обладающие высокой чувствительностью к внешним воздействиям, служат удобным объектом исследования при изучении биологических эффектов факторов различной природы и интенсивности, в частности, низкоинтенсивных электромагнитных излучений (ЭМИ).

В многочисленных исследованиях показано, что наиболее остро реагирующими на действие ЭМИ крайне высокой частоты (КВЧ) являются клетки иммунной системы и периферической крови. В частности, зарегистрировано увеличение количества Т- и В-лимфоцитов [7], усиление функциональной активности лимфоцитов [8], изменение уровня хемилюминесценции лейкоцитов [9], увеличение синтеза цитокина, оказывающего на лимфоциты и фибробласты человека действие, подобное фактору роста [10]. Вместе с тем, изменение функциональной активности этих клеток под влиянием ЭМИ КВЧ изучается в основном *in vitro* [11, 12], однако, исследования функций отдельных клеток не могут дать полной информации о сложных процессах, происходящих в организме при воздействии ЭМИ КВЧ, тем

более, экспериментально доказано, что ответы на КВЧ-воздействие изолированных клеток часто не совпадают с таковыми, выявленными после общего облучения животных [13]. По-видимому, это связано с тем, что восприятие информационных ЭМИ возникает на уровне сложноорганизованных биологических систем и полностью проявляется только в целостном организме [14]. Поэтому необходимо изучение изменения функциональной активности лимфоцитов периферической крови при воздействии ЭМИ КВЧ *in vivo* с учетом многочисленных функциональных связей между органами и системами органов и отклика на уровне физиологических реакций целого организма.

Одним из наиболее перспективных методов изучения функционального состояния иммунокомпетентных клеток является люминесцентный микроспектральный анализ [15]. Исследование синтетической (функциональной) активности лимфоцитов крови флуоресцентным микроспектральным методом является способом интегральной оценки состояния не только иммунной системы, но и процессов, происходящих в целом организме [16, 17]. Однако изменение синтетической активности лимфоцитов при воздействии ЭМИ КВЧ не изучено.

В связи с этим, целью нашего исследования явилось изучение изменения функционального состояния синтетического аппарата лимфоцитов крови крыс под действием ЭМИ КВЧ и его комбинации с экспериментальной стресс-реакцией.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на 60 беспородных белых крысах-самцах массой 120-150 г., полученных из опытно-экспериментального питомника Института гигиены и медицинской экологии, фирма «Феникс» (г. Киев). Для эксперимента отбирали животных одинакового возраста, характеризующихся средним уровнем двигательной активности и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля». Подобный отбор позволил сформировать однородные группы животных, однотипно реагирующих на действие различных факторов. Предварительно отобранные животные были разделены на четыре группы по 15 особей в каждой. К первой группе были отнесены животные, содержащиеся в обычных условиях вивария (биологический контроль, К). Вторую группу составили крысы, подвергнутые действию стресса. Стресс индуцировался путем ограничения подвижности (гипокинезия – ГК). ГК создавалась помещением крыс в специальные пеналы из оргстекла, в которых они находились в течение 9 дней эксперимента по 22 часа в сутки. Животные третьей группы подвергались изолированному воздействию ЭМИ КВЧ (КВЧ). В четвертую группу вошли животные, находившиеся в условиях ГК и одновременно подвергавшиеся воздействию ЭМИ КВЧ (ГК+КВЧ). Воздействие ЭМИ КВЧ осуществлялось в течение 9 суток с помощью генератора «Луч. КВЧ-071» на затылочно-воротниковую область по 30 мин ежедневно ( $\lambda=7,1$  мм, плотность потока мощности 0,1 мВт/см<sup>2</sup>).

Кровь для исследования брали из хвостовой вены перед экспериментальными воздействиями (фон), на четвертые и девятые сутки эксперимента.

Обработка мазков крови проводилась в соответствии с методикой В.Н. Карнаухова и Н.А. Карноуховой [15-17]. Сухие мазки крови фиксировали в жидкости Карнуа (этанол: хлороформ: ледяная уксусная кислота – 6:3:1) в течение

**ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА  
ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ КРЫС ПРИ ИЗОЛИРОВАННОМ И КОМБИНИРОВАННОМ С  
ГИПОКИНЕЗИЕЙ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ**

---

10 мин, затем проводили через ряд нисходящих спиртов. Мазки, отмыеые после фиксации, выдерживали 4 мин в цитрат-фосфатном буфере (рН 4,2) и окрашивали раствором акридинового оранжевого (АО) ( $10^{-4}$  М) на том же буфере в течение 10 мин. После отмывания в двух порциях цитрат-фосфатного буфера в течение 10 мин мазки накрывали покровным стеклом.

Окрашенные мазки исследовали методом микроспектрального флуоресцентного анализа с использованием люминисцентного микроскопа МЛ-4 с фотометрической насадкой ФМЭЛ-1К. В данной работе исследованы лимфоциты без видимых повреждений в структуре (рис. 1). Спектры люминесценции регистрировались с помощью микрофлуориметра, возбуждение люминесценции осуществлялось на длине волны 436 нм. Размер фотометрируемого участка соответствовал размерам клетки.

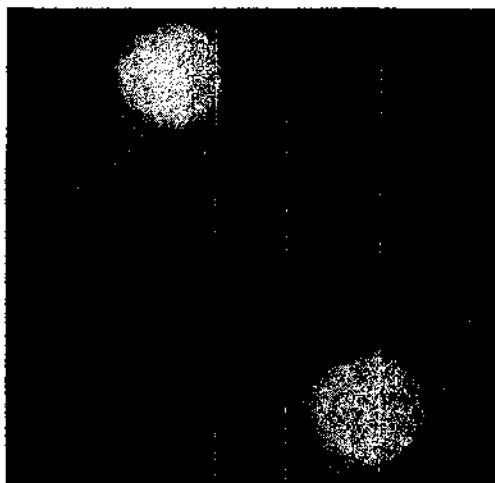


Рис. 1. Свечение окрашенных акридиновым оранжевым ядер лимфоцитов при возбуждении люминесценции длиной волны 436 нм.

Функциональное состояние синтетического аппарата клетки описывается безразмерным параметром  $\alpha$ , представляющим собой отношение флуоресценции в красной ( $I_{640}$ ) и зеленой ( $I_{530}$ ) областях спектра лимфоцитов, окрашенных АО. Флуоресценция в красной области спектра обусловлена димерами АО, связанными с односпиральными нуклеиновыми кислотами (преимущественно функционально активной рибосомальной РНК в зрелых дифференцированных клетках), в то время как в зеленой – мономерами АО, интеркалированными в двуспиральные нуклеиновые кислоты (преимущественно ДНК):

$$\alpha = \frac{I_{640}}{I_{530}} = \frac{k_1 \text{НК}_1}{k_2 \text{НК}_2} = \frac{K(\text{АРНК})}{\text{ДНК}},$$

где АРНК – активная компонента РНК одиночной клетки;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $K$  – коэффициенты связывания АО с нуклеиновыми кислотами (НК) [16].

Изменение параметра  $\alpha$  при различных функциональных состояниях клетки главным образом связано с окрашиванием односпиральных областей РНК.

Это было подтверждено нами с помощью обработки препаратов раствором РНКазы, которая значительно уменьшала красную флуоресценцию, в то время как зеленая практически не менялась (табл. 1).

Таблица 1. Флуоресцентные характеристики лимфоцитов крови крыс до и после обработки РНКазой

| Условия измерения    | Длина волны флуоресценции |           | $\alpha$  |
|----------------------|---------------------------|-----------|-----------|
|                      | 530 нм                    | 640 нм    |           |
| В отсутствии РНКазы  | 8,80±0,76                 | 4,23±0,33 | 0,64±0,04 |
| В присутствии РНКазы | 8,21±0,71                 | 0,97±0,08 | 0,16±0,01 |

Таким образом, изменение параметра  $\alpha$  при различных функциональных состояниях клетки, как по нашим данным, так и по данным авторов методики, главным образом связано с окрашиванием односпиральных РНК [17].

Для определения достоверности между выборками использовался критерий Стьюдента.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты проведенных исследований, средние значения параметра  $\alpha$  для контрольных животных лежали в диапазоне от 0,6 до 0,8, что соответствует данным авторов методики [17].

Функциональное состояние синтетического аппарата лимфоцитов животных изменялось при различных воздействиях (рис. 2).

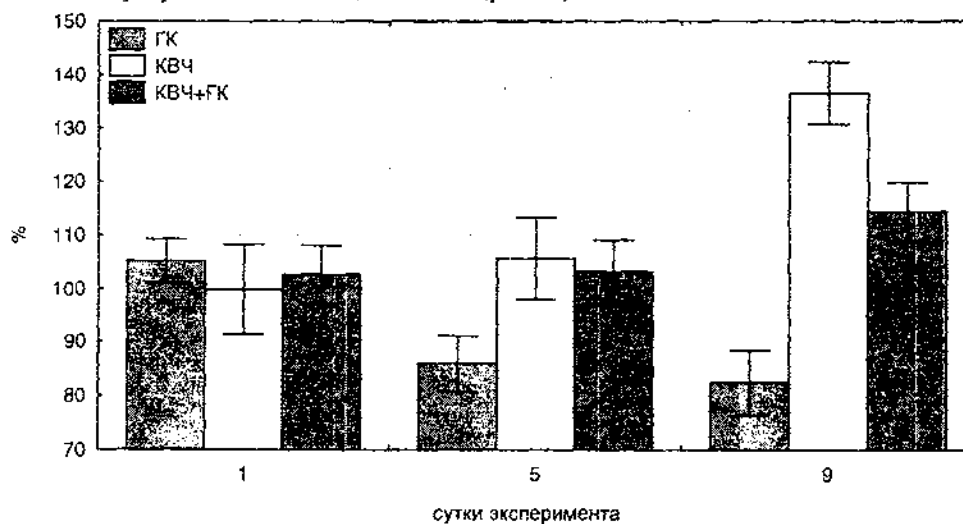


Рис. 2. Изменение показателя  $\alpha$  при воздействии гипокинезии (ГК), ЭМИ KBЧ (KBЧ) и их комбинации (ГК+KBЧ) (в % относительно значений в контрольной группе.)

Действие ЭМИ KBЧ на интактных животных проявилось в тенденции к увеличению показателя синтетической активности лимфоцитов на четвертые сутки эксперимента и его достоверном увеличении на девятые сутки на 36,5% ( $p < 0,001$ )



## ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ КРЫС ПРИ ИЗОЛИРОВАННОМ И КОМБИНИРОВАННОМ С ГИПОКИНЕЗИЕЙ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ

относительно значений этого показателя в контрольной группе животных, что свидетельствует о повышении активности иммунной системы.

Под влиянием девятисуточной ГК происходило уменьшение параметра  $\alpha$  на 17,6% ( $p < 0,001$ ) относительно значений этого показателя в контрольной группе, что, вероятно, являлось результатом неспецифической депрессии синтетических процессов в клетках и связано с нарушением метаболизма и энергетики лимфоцитов, происходящим в результате развития стресс-реакции.

Комбинируемое воздействие ЭМИ КВЧ и ГК вызвало достоверное повышение параметра  $\alpha$  относительно такового у животных, также находившихся в условиях ГК, но дополнительно не подвергавшихся действию ЭМИ КВЧ. Так, на четвертые сутки значение параметра  $\alpha$  было выше на 17,4% ( $p < 0,01$ ), а на девятые на 32% ( $p < 0,05$ ) относительно значений этого показателя у гипокинезированных животных. При этом данный коэффициент не имел достоверных отличий при сопоставлении его с контрольными значениями в течение всего эксперимента ( $p > 0,05$ ).

В исследованиях авторов использованной нами методики В.И. Карнаухова и Н.А. Карнауховой показано изменение показателя  $\alpha$  у животных при остром и хроническом  $\gamma$ -облучении [17], воздействии слабых низкочастотных полей [18], изменении солнечной активности [19]. Наши исследования продемонстрировали чувствительность этого параметра к действию факторов как высокой интенсивности (стресс-фактор), так и низкоинтенсивное (ЭМИ КВЧ).

### ВЫВОДЫ

При воздействии ЭМИ КВЧ произошло увеличение синтетической активности, что свидетельствует о повышении уровня иммунной резистентности организма и подтверждает наши предыдущие исследования, в которых показана способность ЭМИ КВЧ изменять параметры иммунных реакций организма посредством увеличения функциональной активности лимфоцитов и нейтрофилов крови и содержания цитокинов в крови (интерферона- $\gamma$  и фактора некроза опухолей- $\alpha$ ) у животных, подвергнутых ограничению подвижности и/или инфицированию [20].

### Список литературы

1. Абрамов В.В. Взаимозависимость функционирования иммунной и нервной систем // Успехи соврем. биологии. – 1991. – Т. 111. № 6. – С. 840 – 843.
2. Хаитов Р.М., Лесков В.И. Иммуитет и стресс // Российский физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2001. – Т. 87. № 8. – С. 1060-1072.
3. Кузнецов С.И., Семснова И.В. Клетки иммунной системы как посредники в реакции других систем организма на стрессорное воздействие // Пат. физиология и экспериментальная терапия. – 1997. – № 2. – С. 27-29.
4. Робинсон М.В., Тоноркова Л.Б., Труфакин В.А. Морфология и метаболизм лимфоцитов. – Новосибирск: Наука. 1986. – 125 с.
5. Пальцев М.А., Иванов А.А. Межклеточные взаимодействия. – М., 1995. – 346 с.
6. Нарциссов Р.И. Прогностические возможности клинической цитохимии // Советская педиатрия. – 1984. – Вып. 2. – С. 267-294.
7. Лобода В.Ф., Зоря Л.В., Боярчук О.Р. Імунорегулююча дія ІВЧ-терапії при хронічній гастродуоденальній патології у дітей // Матеріали І національного конгресу фізіотерапевтів і курортологів України «Фізичні чинники в медичній реабілітації». – Хмельник. – 1998. – С. 112-113.

8. Хоменко А.Г., Новикова Л.Н., Каминская Г.О., Ефимова Л.Н., Голант М.Б. Оценка функционального статуса фагоцитов крови при выборе оптимального режима КВЧ-терапии у больных туберкулезом легких // Сб. докладов 10 Российск. симпоз. с между. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: МТА КВЧ. – 1995. – Т. 9-10. – С. 13-15.
9. Мудрик Д.Г., Голант М.Б., Извольская В.Е. Исследование хемилюминесценции лейкоцитов крови человека после воздействия низкоинтенсивного электромагнитного поля крайне высокой частоты // Сб. докладов 10 Российск. симпоз. с между. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – Т. 2. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 340-344.
10. Говалло В.И., Барер Ф.С., Волчек И.А. Продукция ЭМИ-облученными лимфоцитами и фибробластами человека фактора, активирующего пролиферацию клеток // Сб. докл. Между. симп. «Миллиметровые волны в медицине». – Т. 2. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 340-344.
11. Аловская А.А., Габдулхакова А.Г., Гапеев А.Б., Дедкова Е.Н., Софронова В.Г., Фесенко Е.Е., Чемерис Н.К. Биологический эффект ЭМИ КВЧ определяется функциональным статусом клеток // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5, № 2. – С. 11-14.
12. Гапеев А.Б., Чемерис Н.К. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных. Обзор Часть I. Особенности и основные гипотезы о механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ // Вестник новых медицинских технологий. – 1999. – Т. 6, № 1. – С. 15-22.
13. Огай В.Б., Новоселова Е.Г., Фесенко Е.Е. Исследование влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения сантиметрового и миллиметрового диапазонов на пролиферативную и цитотоксическую активность лимфоцитов селезенки мышей // Биофизика. – 2003. – Т. 48, вып. 3. – С. 511-520.
14. Лушников К.В., Гапеев А.Б., Садовников В.Б., Чемерис Н.К. Влияние крайневсочастотного электромагнитного излучения низкой интенсивности на показатели гуморального иммунитета здоровых мышей // Биофизика. – 2001. – Т. 46, № 4. – С. 753-760.
15. Карнаухова Н.А. Люминесцентный спектральный анализ клетки. – М., 1978. – 209 с.
16. Карнаухова Н.А. Люминесцентные параметры ядерных клеток крови в процессе иммунного ответа организма // Биофизика – 1984. – Т. 29, № 2. – С. 276-279.
17. Карнаухова Н.А., Сергиевич Л.А., Аксенова Г.Е. Изменение флуоресцентных характеристик окрашенных акридиновым оранжевым лимфоцитов крови крыс после острого  $\gamma$ -облучения. // Биофизика – 1994. – Т. 39, № 1. – С. 123-128.
18. Карнаухова Н.А., Сергиевич Л.А., Квакина Е.Б., Барсукова Л.П., Марьяновская Г.Я., Кузьменко Т.С. Исследование функционального аппарата лимфоцитов крови при действии слабых низкочастотных магнитных полей // Биофизика – 2000. – Т. 45, № 4. – С. 716-722.
19. Карнаухов В.Н. Спектральный анализ в клеточном мониторинге состояния окружающей среды. М.: Наука. 2001, – 186 с.
20. Чуян Е.Н., Темуриянц Н.А., Московчук О.Б. и др. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. – Симферополь: ЧП «Эльнивь», 2003. – 448 с

*Поступила в редакцию 15.11.2004 г.*

УДК 616.831-092.9:535.514

## ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ПРОКОАГУЛЯНТНЫЕ И ФИБРИНОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУШАРИЙ МОЗГА У КРЫС

*Мищенко С.В., Мищенко В.П., Таряник Е.А.*

Ранее нами [9-11] было установлено, что поляризованный свет активизирует свёртывание крови и угнетает её фибринолитическую активность как в условиях *in vitro* (кровь белых крыс, кошек и людей), так и *in vivo* (у кошек). Кроме того, нами был обнаружен такой же эффект в отношении гемокоагулирующих и фибринолитических свойств слюны человека при её облучении пайлер-светом в пробирке и в полости рта людей [9].

Эти исследования дали нам возможность сделать вывод о том, что успешное применение поляризованного света в клинической практике обусловлено его возможностью влиять на свёртывание крови и фибринолиз. Известно из литературы, что течение этих реакций влияет на развитие воспаления, процессов регенерации, репарации и других [7,8,9].

В последние годы пайлер-свет стал широко применяться в неврологической практике [13] не только для снятия головных болей, но и при воспалительных заболеваниях нервной системы, а также вегетососудистой дистонии [6].

Вместе с тем, имеются данные о том, что при чрезкожном локальном воздействии пайлер-светом происходит функциональное изменение относительно небольшим количеством фотомодифицированной крови всего его объёма в организме за очень короткий срок [15,16]. Эти изменения проявляются как следствие прямого влияния малого количества фотомодифицированной крови на весь её объём, в результате чего происходит структурное изменение организации мембран клеток не только крови, но и тканей [17,18]. Не являются исключением в этом отношении, по-видимому, и ткани мозга. Они, как известно, обладают выраженной прокоагулянтной и слабой фибринолитической активностью [3,12].

Если такая “фотоинформация” может передаваться клеткам мозга, то это несомненно повлияет на прокоагулянтные и фибринолитические свойства его тканей. Целью настоящего исследования и явилось изучение возможности влияния поляризованного света на прокоагулянтные и фибринолитические свойства полушарий мозга здоровых животных (белых крыс).

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Наши исследования проведены на 34 белых крысах обоего пола, линии Вистар, массой 150-240 г, в возрасте 10 месяцев. Все животные были разделены на следующие группы: контрольную (10 крыс), опытную 1 (облучённые пайлер-светом правой половины головы) – 16 крыс и опытную 2 (облучённые пайлер-светом левой половины головы) – 8 крыс.

Облучение кожи головы поляризованным светом осуществляли с помощью аппарата "Биоптрон – 2" (Целгер) с расстояния 5 см, время экспозиции 10 минут за сеанс (всего 7 сеансов за 7 дней). Спустя указанное время, в условиях гексеналового наркоза (100 мг/кг массы тела) у животных забирали пункцией сердца кровь (её образцы тотчас же смешивали в соотношении 9:1 с 3,8% раствором цитрата натрия), а после эвтаназии (передозировкой наркоза) у крыс извлекали мозг. Из его правой и левой половины готовили гомогенаты в физиологическом растворе хлористого натрия (0,9%).

Из крови интактных животных получали плазму, лишенную всех форменных элементов (в том числе и тромбоцитов), что достигалось её центрифугированием при 3000 об/мин в течении 30 минут. В дальнейшем эту плазму использовали как субстратную для изучения влияния на неё гомогенатов полушарий мозга. С этой целью к ней в контроле добавляли физиологический раствор хлорида натрия, а в опыте – адекватное количество гомогената тканей мозга. В последующем в этой смеси определяли время рекальцификации плазмы, тромбиновое время и время лизиса зуглобулинового сгустка [1].

Все полученные результаты обрабатывали статистически на персональном компьютере с использованием программ Microsoft Excel.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Нами установлено, что ткани полушарий мозга (как правого, так и левого) интактных животных обладают выраженными прокоагулянтными и фибринолитическими свойствами (таблица 1). Об этом свидетельствует тот факт, что под влиянием гомогенатов время рекальцификации плазмы и лизиса зуглобулинов существенно меньше, чем в контроле (с физиологическим раствором).

При облучении поляризованным светом правой половины головы прокоагулянтные свойства тканей мозга справа и слева возрастали (таблица 2). Так, если у интактных животных разница между контрольными и опытными показателями по времени рекальцификации составила 50,8% справа ( $P < 0,05$ ) и 41,0% ( $P < 0,05$ ) слева, то после воздействия пайлер-светом она возросла до 61,0% ( $P < 0,05$ ) с той и другой стороны.

Фибринолитические же свойства тканей мозга уменьшались под влиянием пайлер-света, как в правом, так и в левом полушарии в сравнении с группой интактных животных. Особенно выражено они снижались на стороне облучения (т.е. справа). Если в контрольной группе животных гомогенат правой половины мозга уменьшал время лизиса зуглобулинов субстратной плазмы на 23,76% ( $P < 0,05$ ), то в опытной группе 1 наоборот увеличивал его на 11,0% ( $P < 0,05$ ).

При облучении пайлер-светом головы животных слева (таблица 3) время рекальцификации субстратной плазмы под влиянием гомогенатов как правого, так и левого полушарий также уменьшалось на большую величину, чем у интактных животных (до 57,28% в правом и 57,0% в левом полушарии,  $P < 0,05$ ). Т.е. их прокоагулянтная активность возросла. Однако, гомогенат, полученный из левой половины мозга, значительно удлинял время лизиса зуглобулинов (на 23,5%, ( $P < 0,05$ ), в то время как у интактных животных он сокращал его (на 19,20%, ( $P < 0,05$ )).



**ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ПРОКОАГУЛЯНТНЫЕ И  
ФИБРИНОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУШАРИЙ МОЗГА У КРЫС**

Таблица 1. Влияние гомогенатов, полученных из тканей мозга крыс правой и левой его половины на некоторые показатели свёртывания и фибринолиза субстратной гомологичной бестромбоцитной плазмы

| Изучаемые показатели               | Контроль с физиологическим раствором | Гомогенаты полушарий мозга |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|
|                                    |                                      | Правое (n=10)              | Левое (n=10)         |
| Время рекальцификации (с), %       | 67,50±3,20                           | 33,25±2,64*<br>50,80       | 39,85±3,85*<br>41,00 |
| Тромбиновое время (с), %           | 20,05±1,25                           | 22,30±2,05<br>-11,2        | 21,90±1,80<br>-10,92 |
| Время лизиса эуглобулинов (мин), % | 72,40±4,85                           | 55,20±6,75*<br>23,76       | 58,50±5,30*<br>19,20 |

Примечание: \* – P<0,05 статистическая обработка между контролем и опытом;  
% – разница показателя в относительных величинах.

Таблица 2. Влияние гомогенатов, полученных из тканей мозга крыс правой и левой его половины, после облучения головы (справа) пайлер-светом, на некоторые показатели свёртывания и фибринолиза субстратной бестромбоцитной гомологичной плазмы

| Изучаемые показатели               | Контроль с физиологическим раствором | Гомогенаты полушарий мозга |                     |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|
|                                    |                                      | Правое (n=16)              | Левое (n=16)        |
| Время рекальцификации (с), %       | 75,37±4,29                           | 29,37±1,16*<br>61,0        | 29,50±1,57*<br>61,0 |
| Тромбиновое время (с), %           | 28,12±1,50                           | 26,43±1,40<br>6,1          | 28,43±1,52<br>-1,10 |
| Время лизиса эуглобулинов (мин), % | 87,56±2,41                           | 96,93±2,60*<br>-11,0       | 86,37±2,80^<br>1,8  |

Примечание: ^ – P<0,05 между правым и левым полушарием;  
% – разница показателя в относительных величинах.

Таблица 3. Влияние гомогенатов, полученных из тканей мозга крыс правой и левой его половины, после облучения головы (слева) пайлер-светом, на некоторые показатели свёртывания и фибринолиза субстратной бестромбоцитной гомологичной плазмы

| Изучаемые показатели               | Контроль с физиологическим раствором | Гомогенаты полушарий мозга |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|
|                                    |                                      | Правое (n=8)               | Левое (n=8)          |
| Время рекальцификации (с), %       | 69,25±6,80                           | 29,62±1,22*<br>57,28       | 29,87±1,80*<br>57,00 |
| Тромбиновое время (с), %           | 32,1±1,80                            | 31,25±1,31<br>2,65         | 34,75±1,9^<br>-8,25  |
| Время лизиса эуглобулинов (мин), % | 51,00±2,60                           | 50,10±2,80<br>1,4          | 63,00±2,1*^<br>-23,5 |

Примечание: \* – P<0,05 между контролем и опытом;  
^ – P<0,05 Между левым и правым полушарием;  
% – разница показателей в относительных величинах.

Таким образом, пайлер-свет стимулировал прокоагулянтные, но тормозил фибринолитические свойства тканей мозга. Наибольший эффект такой реакции проявлялся на стороне облучения.

Ещё один интересный факт выявлен нами в процессе этих исследований. Если у интактных животных между показателями фибринолитической активности их правой и левой половины мозга не была выражена асимметрия (время лизиса эуглобулинов под влиянием правой половины мозга уменьшалось на 23,76% ( $P < 0,05$ ), а левой – на 19,20% ( $P < 0,05$ ) и разница составляла всего лишь 4,56%, то при действии пайлер-света она существенно возрастала. При облучении справа под влиянием правой половины мозга время лизиса эуглобулинов возросло на 11,0% ( $P < 0,05$ ), а в левом было меньше даже, чем в контроле (всего на 1,8%). А при действии пайлер-света на левую половину головы животных эта разница в тканях мозга была ещё более существеннее. Под влиянием гомогената левой половины мозга время лизиса эуглобулинов увеличилось на 23,5% ( $P < 0,05$ ), а правого даже возросло до 1,4%. Другими словами, пайлер-свет вызывал усиление асимметрии антифибринолитической активности в тканях мозга у крыс.

По-видимому, это объясняется тем, что пайлер-свет вызывает изменение асимметричных центров таких биологических молекул как ферменты [6], ускоряет образование необходимых для организма оптических изомеров (хиральных молекул), например, плазминогена. Они, как известно из литературы, являются “системами раннего оповещения” про снижение энергии в клетке [5,6].

Такой “латеральный” (с преимущественным влиянием на ткани мозга с той или другой стороны) механизм воздействия пайлер-света может быть использован при лечении патологических процессов в нём. Во всяком случае, такой принцип лечения получил название латерального и он уже используется в медицине [14].

Так как в наших исследованиях пайлер-свет был использован чрезкожно, то не исключено его влияние на прокоагулянтные и фибринолитические свойства тканей мозга через фотомодифицированную кровь [15,16], которая может “ретранслировать” свои свойства необлучённым клеткам, модулируя их. Подобные модуляции могут включать как гликопротеиновые изменения на поверхности клеток, так и выделение активированными клетками крови различных медиаторов и цитокинов, которые могут повлиять на функциональные свойства и других тканей, например, мозга.

Усиление же в результате действия пайлер-света асимметрии антифибринолитических свойств тканей мозга, с одной стороны подтверждает тот факт, что он может вызывать изменение геометрии асимметричных центров биологических молекул (в частности, ферментов), а с другой стороны ещё раз доказывает, что это и есть путь ускорения восстановления нормальных функций организма. Хорошо известно, что чем выраженнее асимметрия полушарий (в том числе, очевидно и биохимическая), тем это более закономерно для его функции в условиях нормы [2].

## ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ПРОКОАГУЛЯНТНЫЕ И ФИБРИНОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУШАРИЙ МОЗГА У КРЫС

### Список литературы

1. Баркаган З.С., Мочет А.П. Диагностика и контролируемая терапия нарушений гемостаза. М.: Ньюдиамед, 2001. – 296 с.
2. Брагина И.Н., Доброхотова Т.А. Функциональная асимметрия человека. – М.: Медицина, 1998. – 240 с.
3. Грицай Н.Н., Мищенко В.П. Проблемы гемостаза в неврологии. – К.: Здоровья, 2000. – 156 с.
4. Гуляр С.А. Двойная технология сохранения здоровья в экологически неблагоприятных условиях: синергизм ПАЙЛЕР-света и антиоксидантов //БИОПРОН: Теория, клиника, перспективы. Матер. юбил. конф. – К.: Цептер. – 1999. – С. 6-21.
5. Гуляр С.О., Лиманский Ю.П. Функціональна система регуляції електромагнітного балансу організму та механізми первинної рецепції електромагнітних хвиль оптичного діапазону //Фізіолог. журн. НАН України. 2003. – Т. 49, №2. – С. 35-44.
6. Застосування Біопрон-пайлер-світла в медицині //Під редакцією Гуляр С.О., Косаковський А.Л. //Навчально-методичний посібник. Київ, 2004. 66 с.
7. Кузник Б.И. Физиология и патология системы крови. Чита: Поиск, 2001. – 284 с.
8. Кровь, лимфа, тканевая жидкость, взаимосвязи в процессе коагуляции и фибринолиза /Б.И. Кузник, В.В. Альфонсов, Ю.А. Витковский и др.//В кн.: Клиническая гемостазиология и гемореология в сердечно-сосудистой хирургии. Москва. – 2003 – С. 35-36.
9. Мищенко В.П., Мищенко С.В. Влияние физических факторов на гемостаз. Полтава: АСМИ. – 2003. – 132 с.
10. Мищенко В.П., Мищенко С.В. Влияние поляризованного света на свёртывание крови и фибринолиз //Проблеми екології та медицини. 2002. – Т. 6, №1-2. – С. 40-42.
11. Мищенко В.П. Механизмы влияния поляризованного света на свёртывание крови и фибринолиз //В кн.: Клиническая гемостазиология и гемореология в сердечно-сосудистой хирургии. Москва. – 2003. – С. 122-123.
12. Скипетров В.П., Власов А.Н., Гольищенков С.П. Коагуляционная система тканей и тромбгеморрагический синдром в хирургии. Саратов: Красный Октябрь, 1999. – 232 с.
13. Тондий Л.Д., Сало В.И. Лечение поляризованным светом заболеваний нервной системы //Методические рекомендации. – Харьков. – 1999. – 15 с.
14. Чуприков А.П., Марценковський І.А. Латеральна терапія. – Київ, 1994. – С. 7-10.
15. Samoilova K.A., Obolenskaya K.D., Vologdina A.V., Snopov S.A., Shevchenko E.V. Single skin exposure to visible polarized light induces rapid modification of entire circulating blood. 1. Improvement of rheologic and immune parameters //Proc. of Low-Power Light on Biological Systems IV, Stockholm, Sweden, Sept., 1998. – P. 90-103.
16. Samoilova K.A., Obolenskaya K.D., Vologdina A.V., Mineeva V., Romanenko N.Yu., Balljuzek M.F. Improvement of rheologic parameters ligand- and oxygen- binding capacity of erythrocytes of circulating blood after exposure of the body surface to visible polarized light // European Society for Photobiology, 8th Congress. Granada, Spain, 1999. – P. 145.

*Поступила в редакцию 15.11.2004 г.*

УДК 577.1

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

*Григорьев П.Е., Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А.*

### ВВЕДЕНИЕ

В гелиобиологических исследованиях в ряде случаев устанавливаются значимые и высокие корреляции между биологическими показателями и гелиогеофизическими индексами, отражающими вариации «космической погоды» [1]. Обосновано мнение о том, что организмы используют вариации электромагнитного фона среды обитания как датчики времени для синхронизации биологических процессов [2, 3, 4]. Однако, иногда эти связи носят неустойчивый и недостоверный характер, что является причиной существования проблемы невоспроизводимости гелиобиологических экспериментов [5]. Среди исследователей нет единого мнения также о том, какие из гелиогеофизических индексов являются наиболее информативными и надежными в отношении биоэффектов «космической погоды». Так, В.Е. Жвирблис [5] считает, что это Ар-индекс геомагнитной активности и полярность межпланетного поля; Т.К. Бреус [6] полагает основным биологически значимым индексом Кр-индекс геомагнитной активности; Б.М. Владимирский [7] придерживается мнения, что в гелиобиологических исследованиях целесообразно использовать одновременно индексы геомагнитной активности (например, Ар), солнечной активности (например, F10,7) и знак ММП.

В данной работе проводится сопоставление ритмики физиологических процессов у однотипных организмов с вариациями индексов «космической погоды» в периоды с различной гелиогеофизической ситуацией.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях использованы белые беспородные крысы. Эксперименты были проведены на кафедре физиологии ТНУ им. В.И. Вернадского в 1990, 1993, 2001 гг. Их длительность составила соответственно 40, 36, 46 сут. Периферическую кровь получали ежедневно в течение 46 суток путем пункции хвостовой вены в одно и то же время суток (с 9<sup>00</sup> до 10<sup>30</sup> часов) до кормления. Цитохимическими методами определяли содержание  $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназы, сукцинатдегидрогеназы в лимфоцитах, нейтрофилах и их отношения [8], нейтрофильных пероксидазы по методике J. Graham [9], неферментных катионных белков [10] и их отношение, кислой фосфатазы по методике H. Goldberg, J. Barka [9], протеазы по методике Р.Лилли и J. Bartner [9] в модификации А.В. Михайлова [11] и их отношение, липидов по методу H.L.Sheehan, G.W.Sforey [12]. Для оценки инфрадианной ритмики поведенческих реакций исследуемых животных



## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

использовали показатели горизонтальной и вертикальной двигательной активности и дефекации. Всех животных тестировали в «открытом поле» ежедневно в течение 46 суток эксперимента.

Для выявления основных периодических составляющих во временных рядах показателей использовали компьютерную программу косинор-анализа, разработанную в Крымском научном центре МОН Украины. Основа алгоритма описана в работе [13].

Для всех рядов физиологических показателей животных из данной группы находили амплитудные спектры в пределах от 2,2 до 30,0 сут. Затем выделяли максимумы, соответствующие наиболее часто встречающимся периодам. Если период встречался не менее, чем в 20% случаев, его табулировали. В исследовании [14] такой пороговой частотой встречаемости также выбирали 20%. Таким образом, получали набор периодов, характеризующий интегральную ритмику физиологических процессов (ИРФП) животных. Аналогично выявлялись периодические составляющие в интегральной ритмике гелиогеофизических индексов (ИРГИ), отражающих вариации ЭМ фона среды обитания. В качестве показателей вариаций «космической погоды» использовали индексы солнечной (относительное количество солнечных пятен, поток солнечного радиоизлучения с длиной волны 10,7 см), геомагнитной активности (планетарные Kp и Ap индексы, усредненные за сутки с учетом местного времени) – [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/geomagnetic\\_data/indices/kp\\_ap](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/geomagnetic_data/indices/kp_ap), а также данные по наземным измерениям полярности межпланетного магнитного поля – [www.izmiran.rssi.ru/magnetism/SSIMF/SSIMF/index.htm](http://www.izmiran.rssi.ru/magnetism/SSIMF/SSIMF/index.htm). В целом эти индексы охватывают магнитосферный и ионосферный каналы преобразования явлений солнечной активности на ЭМП среды обитания, причем ритмика этих индексов отражает вариации ЭМ фона среды обитания [1].

Сдвиг фаз в одинаковых по длительности колебаниях является информативным параметром связи автоколебательных процессов [15]. Во многих случаях наиболее «сильная» синхронизация осуществляется при синфазности колебаний [16]. С помощью косинор-анализа вычислялись фазы каждого из совпадающих периодов в гелиогеофизических индексах за время эксперимента и ИРФП животных. Подсчитывалось количество периодов, для которых разность фаз по абсолютной величине меньше  $\pi/10$  (18 градусов). Выбор данной величины вызван тем, чтобы разброс эллипсов ошибок (не более  $\pm 9$  градусов) был как минимум вдвое меньше данной величины. В исследованиях инфрадианной ритмики колебания с подобными разностями фаз с учетом возможных погрешностей обычно считаются синфазными [17, 18].

Таким образом, исследовалась связь количества синфазных колебаний в ИРФП и различных гелиогеофизических индексах с параметрами гелиогеофизической обстановки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В экспериментах 1990 и 1993 гг. преобладают близкие фазы в совпадающих по длительности периодах в ИРФП и индексах геомагнитной активности Ap, Kp, а также знаке ММП. А в эксперименте 2001 г. – близкие фазы имеются,

преимущественно, в совпадающих по длительности периодах в ИРФП и индексах солнечной активности ( $W$ ,  $F_{10,7}$ ) – см. табл. 1.

Таблица 1. Количество периодов в ИРФП и гелиогеофизических индексах с разностью фаз менее 10% ( $\pm\pi/10$ ).

|  |            | Количество периодов с близкими фазами в ИРФП и соответствующими индексами |                     |                     |
|--|------------|---|---------------------|---------------------|
|  |            | эксперимент 1990 г.   | эксперимент 1993 г. | эксперимент 2001 г. |
| Индексы геомагнитной активности  | Ар         | 3   | 0                   | 0                   |
|  | Кр         | 3   | 4                   | 0                   |
|  | Знак ММП   | 2   | 2                   | 0                   |
| Индексы солнечной активности   | W          | 1   | 2                   | 3                   |
|  | $F_{10,7}$ | 1   | 0                   | 4                   |
| Всего периодов с близкими фазами в ИРФП и индексах геомагнитной активности |            | 8   | 6                   | 0                   |
| Всего периодов с близкими фазами в ИРФП и индексах солнечной активности    |            | 2   | 2                   | 7                   |

Такая закономерность может быть связана с гелиогеофизической обстановкой в течение соответствующих экспериментов (см. табл. 2). В течение эксперимента 1990 г. геомагнитная активность в течение эксперимента остается на очень высоком уровне при высокой солнечной активности. В период эксперимента 1993 г. геомагнитная активность умеренно высокая при низкой солнечной активности. Во время эксперимента 2001 г. геомагнитная активность была минимальной при высокой солнечной активности. Наиболее показательным оказывается отношение величины солнечной активности к геомагнитной, например, индекса  $F_{10,7}$  к Ар.

Таблица 2. Среднеарифметические значения гелиогеофизических индексов в течение различных по времени экспериментов.

| Гелиогеофизические индексы | Год проведения эксперимента |           |            |
|----------------------------|-----------------------------|-----------|------------|
|                            | 1990 г.                     | 1993 г.   | 2001 г.    |
| Ар                         | 29,4±3,89                   | 15,7±2,50 | 11,5±1,63  |
| Кр                         | 3,5±0,15                    | 2,4±0,16  | 2,0±0,07   |
| Знак ММП                   | -0,2±0,11                   | 0,0±0,14  | 0,20±0,11  |
| W                          | 153,9±6,72                  | 51,8±3,72 | 95,7±3,61  |
| F                          | 198,1±5,52                  | 99,4±2,19 | 159,9±3,40 |
| Отношение F:Ar             | 11,1±1,08                   | 11,8±1,43 | 27,2±4,27  |

Представленные результаты позволяют высказать следующее предположение. Если «преобладает» геомагнитная активность (отношение  $F_{10,7}$ :Ар порядка 11-12 в течение экспериментов 1990-1993 гг.), то синхронизация ИРФП осуществляется с

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

индексами геомагнитной активности, с которыми связана ритмика природных ЭМП, обусловленная корпускулярным излучением Солнца. Если же «преобладает» солнечная активность (отношение  $F_{10.7}:A_p$  более 27 в течение эксперимента 2001 г.), то синхронизация ИРФП осуществляется с индексами солнечной активности, с которыми связана ритмика природных ЭМП, обусловленная волновым излучением Солнца и его взаимодействием с ионосферой.

На рис. 1 левой шкале соответствует отношение солнечной активности к геомагнитной ( $F_{10.7}:A_p$ ) в течение разных экспериментов; правой шкале – разность между количеством индексов солнечной и геомагнитной активности, синхронизированных с ИРФП различных групп животных в соответствующих экспериментах. Как видно из сходства диаграмм на графике (коэффициент корреляции  $r=+0,99$ ), вероятно наличие связи между «преобладающим» каналом воздействия гелиогеофизической ритмики (магнитосферным или ионосферным) и синхронностью колебаний ИРФП с индексами соответствующего класса.

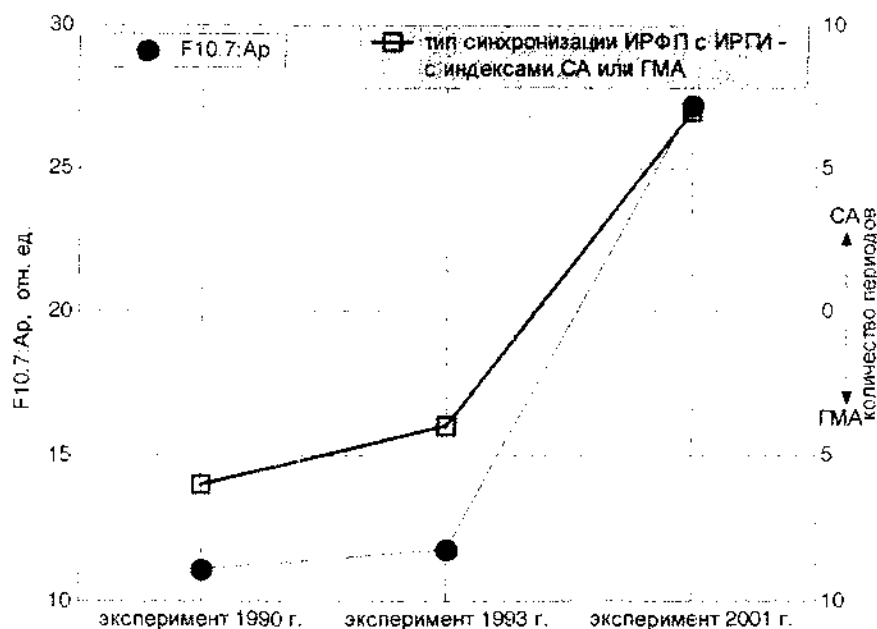


Рис. 1 Отношение солнечной активности к геомагнитной во время различных экспериментов (шкала слева) и преобладание синхронизации ИРФП с индексами солнечной или геомагнитной активности.

По оси ординат слева: среднее отношение значений индекса  $A_p$  к  $F_{10.7}$  в относительных единицах.

По оси ординат справа: преобладающее количество периодов в индексах СА или ГМА, с которыми ИРФП синхронизируется синфазно; 0 – равное количество периодов, синхронизированных с СА и ГМА.

Таким образом, связь физиологических процессов с гелиогеофизическими вариациями реализуется, преимущественно, через тот канал действия «космической погоды» на среду обитания (ионосферный или магнитосферный), активность которого преобладает во время эксперимента. Это выражается в минимальной

разности фаз между ритмами физиологических процессов и индексов «космической погоды» соответствующего класса – солнечной (W, F10,7) или магнитной активности (Ap, Kp, знак ММП).

### Список литературы

1. Владимирский Б.М., Темуриянц Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь. – Фрязино: Век 2, 2004. – 224 с.
2. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты. // Пробл. космич. биологии. – М.: Наука, 1982. – Т.43. – С. 166-173.
3. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Басевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. Монография. – М.: изд-во Российского университета дружбы народов; изд-во Полиграф сервис, 2002. – 232 с.
4. Деряпа П.Р., Мошкин Н.П., Писный В.С. Проблемы медицинской биоритмологии. – М.: Медицина, 1985. – 208 с.
5. Жвирблис В.Е. О воспроизводимости гелиобиологических экспериментов. // Проблемы космической биологии. – Т. 65. – Биофизические и клинические аспекты гелиобиологии. Сборник научных трудов. – Ленинград: Наука, 1989. – С. 75-82.
6. Бреус Т.К. Влияние солнечной активности на биологические объекты: Автореф. дисс. ... докт. ф.-м. наук. – М: ИКИ. 2003. – 31 с.
7. Владимирский Б.М. Активные процессы на Солнце и биосфера: Автореф. дисс... д-ра физ.-мат. наук. – Пушкино, 1997. – 28 с.
8. Нарциссов Р.И. Применение п-нитротетразоля фиолетового для количественного цитохимического определения дегидрогеназ в лимфоцитах человека. // Арх. анат. гистол. эмбриол. – 1969. – №8. – С.73.
9. Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. – М.: Мир, 1969. – 645 с.
10. Шубич М.Г. Выявление катионного белка в цитоплазме лейкоцитов с помощью бромфенолового синего // Цитология. – 1977. – Т.16, № 10. – С.1321 – 1322.
11. Михайлов А.В. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипоксизии. // Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Симферополь, 1986. – 25 с.
12. Sheehan H.L., Sforey G.W. An improved method of staining leukocyte granules with sudan black // V.G. Path. Bact. – 1947. – Vol.59, № 2. – P. 336 –339.
13. Емельянов И.П. Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Статистический анализ и моделирование. – Новосибирск: Наука, 1986. – 184 с.
14. Чиркова Э.Н., Стригун Л.М. Ритмы в гелиобиологических связях. // Планета Земля и ее биосфера под воздействием природных факторов. Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса. В 3 тт. Под ед. д.ф.-м.н. проф. Красногорской Н.В. / Т. 1. СПб.: «Гуманистика», 2002. – С. 153-160.
15. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
16. Путилов А.А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе. – Новосибирск: Наука, 1987. – 144 с.
17. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфранизкую ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомированных крыс: Автореф. дисс... канд. биол. наук: 03.00.13 / Симферопольский гос. ун-т. – Симферополь, 1995. – 25 с.
18. Московчук О.Б. Вплив низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надзвичайно високої частоти на інфрадіяну ритміку фізіологічних процесів: Автореф. дисс... канд. біол. наук. – ТНУ. – Симферополь, 2003. – 20 с.

*Поступила в редакцию 11.11.2004 г.*



УДК 577.1

## КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ» С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

Зенченко Т.А., Конрадов А.А., Зенченко К.И.

### ВВЕДЕНИЕ

Несколько десятков лет назад С.Э. Шнолем был разработан новый подход к исследованию особенностей динамики результатов измерений скоростей различных процессов, включавший в себя и новый метод анализа временных рядов. Метод заключался в нахождении «сходных» участков длинного временного ряда данных через установление сходства или различия тонкой структуры соответствующих им выборочных распределений (гистограмм) [1].

Применение этого метода позволило выявить определенные закономерности в разбросе результатов квазистационарных процессов самой разной природы и разного масштаба энергий [2]. Так, было обнаружено, что в каждом из исследованных процессов отрезки временного ряда со сходной структурой выборочных распределений расположены не хаотично, а достоверно чаще оказываются разделены вполне определенными временными интервалами, кратными суткам, месяцу и году (эффект «выделенных периодов»), чем любыми другими интервалами. Было сделано заключение, что во временном ряду гистограмм существует определенного рода периодичность, не выявляемая стандартными методами спектрального и корреляционного анализа. Этот вывод был многократно подтвержден на временных рядах гистограмм, построенных по результатам измерений скорости радиоактивного альфа-распада, которые подчинялись статистике Пуассона и не содержали значимых периодов в соответствующих спектрах Фурье [3].

Кроме того, было обнаружено, что форма гистограммы, построенной по отрезку ряда данных за время  $\Delta t$  (от момента времени  $T$  до момента  $T+\Delta t$ ), с наибольшей вероятностью будет сходна с формой гистограммы, построенной по ближайшему следующему временному интервалу (от  $T+\Delta t$  до  $T+2\Delta t$ ). Эта «инерция формы» гистограмм, получившая название «эффект ближней зоны» (ЭБЗ), наблюдается при различных масштабах времени измерений, от секунд до часов [3].

Однако степень выраженности «эффекта ближней зоны», или амплитуда ЭБЗ (отношение концентрации сходных пар гистограмм, разделенных интервалом времени  $\Delta t$  (соседних гистограмм), к средней концентрации сходных пар для всех остальных проанализированных временных интервалов) сильно варьирует даже в рамках одного эксперимента. Чтобы определить, существуют ли какие-нибудь закономерности в степени выраженности эффекта, и с чем они могут быть связаны,

мы провели исследование динамики ЭБЗ в нескольких экспериментах длительностью 20 суток каждый (длительность одной гистограммы ( $\Delta t$ ) составляла 1 минуту (60 ежесекундных измерений)). Анализ показал, что основной и обычно единственный период, отчетливо наблюдаемый в степени выраженности этого эффекта, составляет от 3.5 до 5.5 суток [4].

Точные значения обнаруженных периодов характерны для многих гелио- и геофизических индексов [5]. Это позволило нам предположить, что между изменением амплитуды ЭБЗ и какими-либо из этих параметров может существовать статистическая зависимость, что косвенно указывало бы возможную природу наблюдаемого эффекта. Целью данной работы было прямое сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ и различных гелиогеофизических индексов.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Гистограммный метод анализа временных рядов (основные этапы преобработки данных).**

На рисунке 1 приведен ряд последовательных значений интенсивности альфа-распада (число распадов за 10 секунд), разбитый на короткие (60 измерений) неперекрывающиеся отрезки (таким образом, длительность каждого отрезка равна 600 секунд или 10 мин). Для каждого отрезка было построено выборочное распределение значений по максимально возможному для данного отрезка числу бинов:  $p = \max(N) - \min(N)$ . Следует специально отметить, что описанная процедура построения гистограммы по явно избыточному числу бинов (их число сравнимо с числом измерений) не противоречит общим правилам построения выборочных распределений, рекомендованных для решения вопроса о принадлежности данного выборочного распределения к определенному виду [6], поскольку здесь решается другая задача, и анализируемая полимодальная форма гистограммы не означает вывода о полимодальности генерального распределения (гипотеза о подчинении анализируемых выборочных распределений статистике Пуассона была предварительно проверена и подтверждена стандартными методами).

Для выделения низкочастотной составляющей полученные распределения сглаживают несколько раз методом скользящего среднего по трем точкам с прямоугольным окном.

Примеры полученных выборочных распределений, до и после сглаживания, приведены на рисунке 1 внизу.

Рисунок 2 иллюстрирует процедуру отбора сходных по форме пар гистограмм. Здесь по горизонтали и по вертикали изображен один и тот же ряд гистограмм, а на пересечении строк и столбцов в нижней половине матрицы приведены соответствующие совмещенные пары, и те, которые были признаны сходными, выделены более ярко и даны их номера. Поскольку матрица сравнения получается диагонально-симметричной, в ее верхней части те же признанные сходными пары изображены затемненными ячейками, чтобы наглядно продемонстрировать суть эффекта ближней зоны, а также нестабильность его амплитуды: концентрация сходных пар на первой диагонали выше, чем в среднем по матрице, но при этом она непостоянна на разных ее отрезках (в первой половине – четыре из четырех возможных пар оказываются сходными, во второй – только две из четырех возможных).

**КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»  
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.**

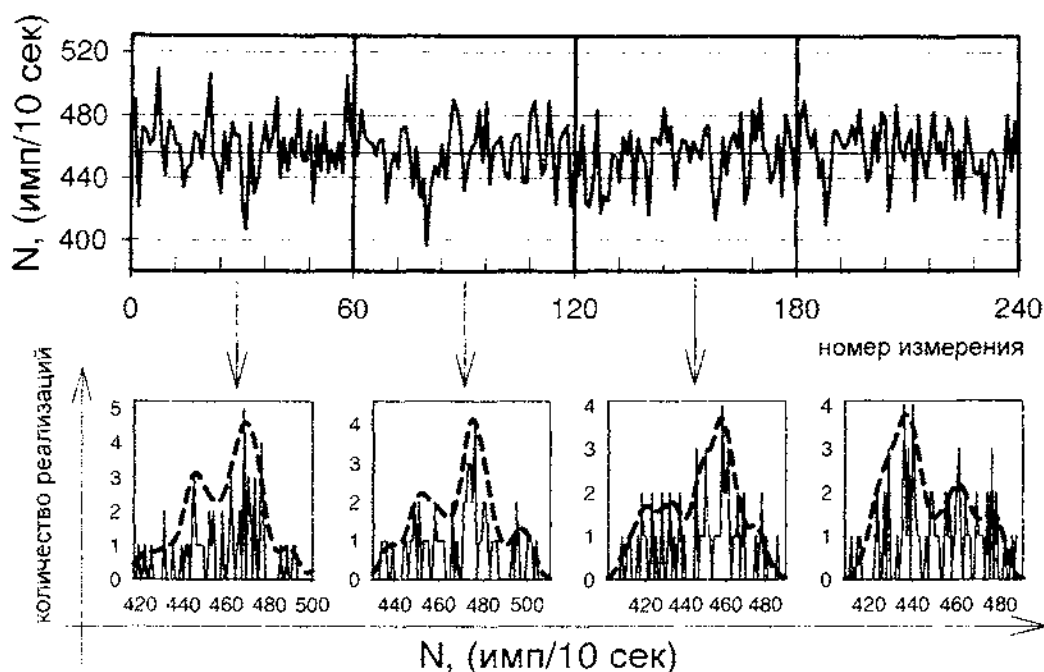


Рис. 1. Пример отрезка временного ряда данных (вверху) и преобразованный из него временной ряд гистограмм (внизу). Штриховой линией изображена форма гистограммы, получаемая из исходного распределения сглаживанием прямоугольным окном. Каждая гистограмма соответствует временному интервалу 10 мин.

На рисунке 3 приведена иллюстрация реальной динамики числа сходных пар гистограмм на разных диагоналях матрицы сравнения. Видно, что концентрация сходных пар на первой и второй диагоналях испытывает сильные (и практически синхронные) вариации, в то время как на «дальних» диагоналях (в данном случае четвертой и восьмой) этот параметр остается практически постоянным – 16% (далее эту величину будем считать средним уровнем случайного сходства).

**Метод анализа динамики амплитуды ЭБЗ**

Для изучения динамики амплитуды ЭБЗ был проанализирован полученный в нашей лаборатории непрерывный ряд измерений интенсивности альфа-распада плутония-239 (одно измерение – количество распадов за 10 секунд) длительностью 136 суток. Измерения проводили посредством полупроводникового детектора.

Гистограммы были построены по шестидесяти значениям (всего около 20 тыс гистограмм, 144 гистограммы в сутки). Эксперт устанавливал сходство или различие формы соседних гистограмм, т.е. пар, расположенных на первой диагонали на рис 2. На рисунке 4 приведена динамика ежесуточных значений относительной амплитуды ЭБЗ (количества сходных пар соседних гистограмм, полученных в течение данных суток, деленное на 23 (т.е. 16% от 144 гистограмм – среднесуточное количество сходных пар для остальных интервалов).

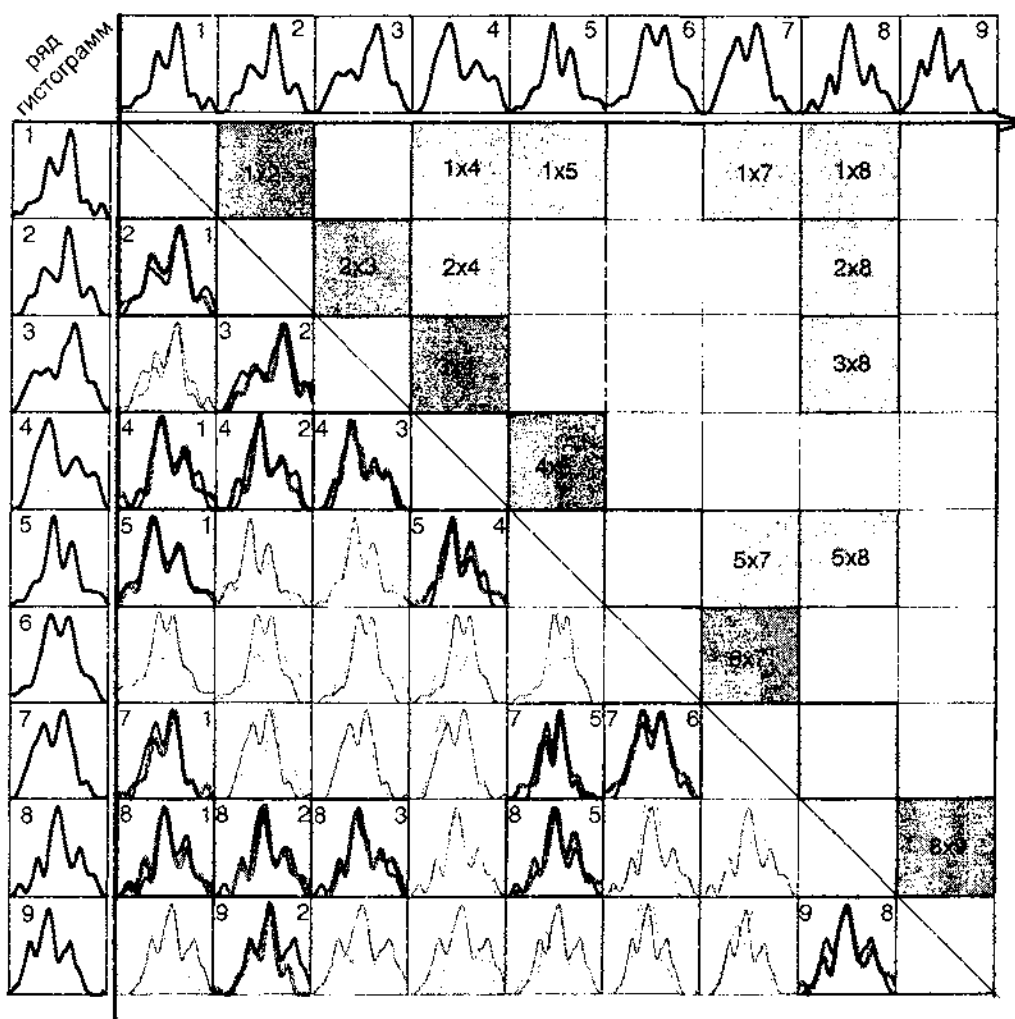


Рис. 2. Иллюстрация процедуры попарного сравнения формы гистограмм – матрица сходства. Подробности в тексте

Для сопоставления были использованы ежесуточные значения следующих индексов за интервал времени с 1 февраля по 17 июня 2002г:

- индексы солнечной активности (числа Вольфа (WN) и интенсивность потока радиоизлучения на длине волны 10.7 см (RF10.7)),
- модуль полного вектора В напряженности межпланетного магнитного поля ( $B_{tot}$  ММП),
- концентрация протонов и электронов в солнечном ветре
- значения планетарного индекса геомагнитной активности  $A_p$ , измеренного отдельно по сети среднеширотных ( $A_{pm}$ ) и высокоширотных станций ( $A_{ph}$ ),



## КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ» С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

- значения Dst-вариации,
- значения PC-индекса, отражающего степень геомагнитной возмущенности полярной зоны [7]

Данные были взяты с сайтов <http://www.sec.noaa.gov> и <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>

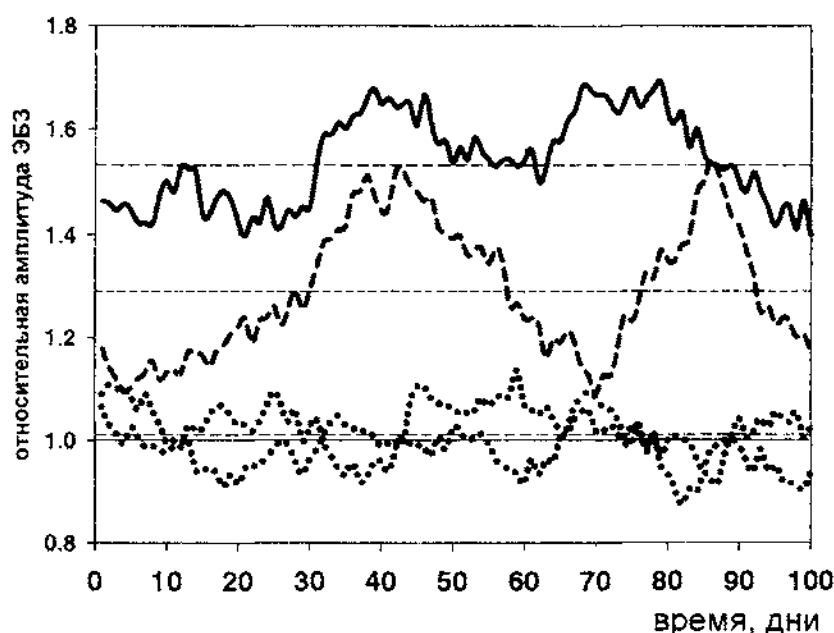


Рис. 3 Иллюстрация динамики числа сходных пар на разных диагоналях матрицы сравнения. Сплошная линия – первая диагональ («ближняя зона»), штриховая линия – вторая диагональ, пунктирные линии – четвертая и восьмая диагонали. Обсуждение в тексте.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Как видно из рис.5, функция спектральной плотности ежесуточных значений амплитуды ЭБЗ содержит несколько статистически значимых периодов: 5.5, 7.5, и 13.5 суток.

Сравнение с солнечной активностью. В спектре чисел Вольфа представлен только период 13.5d, но поскольку он представлен в спектрах всех основных гелиогеофизических индексов, говорить о связи динамики ЭБЗ именно с числами Вольфа нельзя. Какой-либо значимой связи со значениями потока радиоизлучения RF10.7 и концентрациями протонов и электронов различных энергий обнаружено не было.

При сравнении функций спектральной плотности амплитуды ЭБЗ и значений модуля полной индукции  $B_{tot}$  межпланетного магнитного поля, а также Ap-индекса магнитного поля Земли, было обнаружено совпадение периодов, равных 13.5 и 7.5 дням, а также синхронное возрастание спектральной плотности в районе 5-6 дней (рис 5).

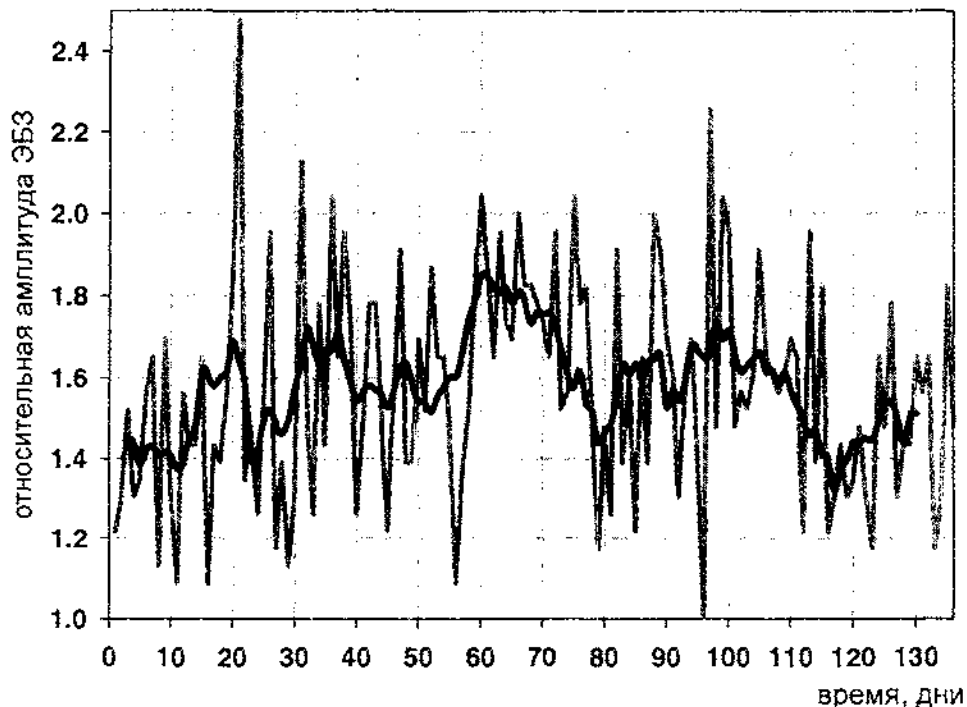


Рис. 4 Ежесуточная динамика амплитуды ЭБЗ (серая линия) и ее низкочастотная составляющая (черная кривая), полученная сглаживанием по 10 точкам скользящим средним

Спектральный анализ отдельных компонент вектора  $V_{tot}$  показал, что каждая из них обладает набором периодов, не совпадающих с периодами в спектре амплитуды ЭБЗ

Таким образом, все основные периоды динамики амплитуды ЭБЗ представлены в спектре модуля  $V_{tot}$ , а два из трех – также и в спектре Ар-индекса.

При наложении низкочастотных компонент динамики ЭБЗ и модуля  $V_{tot}$  ММП (рис. 6) видно, что общий ход кривых имеет очень сходный характер, при этом максимум корреляции достигается при сдвиге ряда значений  $V_{tot}$  назад на 11 суток.

Однако в длиннопериодной области спектра не было обнаружено совпадения периодов ни с одним из исследованных гелиогеофизических индексов. Это может объясняться плохой применимостью метода Фурье-анализа в данной области спектра, поскольку период этой низкочастотной составляющей довольно сильно варьирует (25-40 суток).

Нужно отметить, что при кросскорреляционном анализе (также, как и при спектральном) динамики амплитуды ЭБЗ и отдельных компонент вектора  $V_{tot}$  значимых корреляций при каких-либо сдвигах фаз получено не было

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»  
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

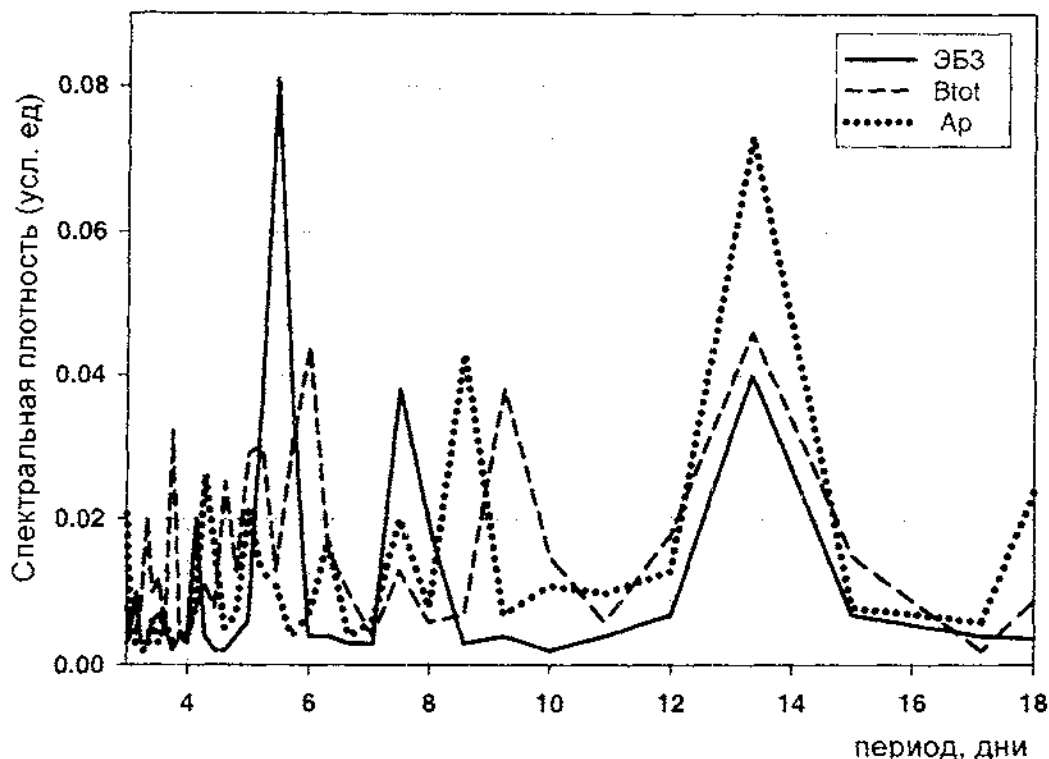


Рис. 5 Функции спектральной плотности в области коротких периодов.  
Сплошная линия – динамика амплитуды ЭБЗ, штриховая линия – модуль  $B_{tot}$  ММП,  
пунктирная линия – среднеширотный Ap

На рисунке 7 показана сравнительная динамика ЭБЗ и Dst-вариации (с обратным знаком). Видно, что и в этом случае максимум корреляции достигается при сдвиге ряда значений Dst-вариации назад на 12 суток (этот вывод согласуется с выводом рисунка 6, поскольку значения Dst-вариации отстают от значений модуля  $B_{tot}$  на несколько часов).

Сравнение низкочастотных компонент динамики амплитуды ЭБЗ и значений Ap-индекса показал, что совпадение (со сдвигом на 11 дней) с рядом среднеширотных значений Ap выражено гораздо лучше, чем с рядом высокоширотных (рис 8).

Для нефильтрованных рядов значение коэффициентов кросскорреляции амплитуды ЭБЗ с перечисленными индексами при указанных сдвигах (и только при таких сдвигах фаз, в диапазоне от -40 до +40 дней)) значимы за уровне  $p < 0.01$ .

#### СРАВНЕНИЕ СО СКОРОСТЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ

Сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ с изменчивостью (скоростью изменения по модулю) вектора магнитной индукции  $B_{tot}$  ММП показывает, что в этом случае также наблюдается значимая корреляция, но фазовый сдвиг равен нулю – максимумы

проявления эффекта ближней зоны совпадают с максимумами скорости изменения модуля вектора  $B_{tot}$  (рис 9). Аналогичная зависимость была получена для скорости изменения Dst-вариации (рис 10). В последнем случае сдвиг составляет 1 день.

Незначительная корреляция была также обнаружена для скорости изменения среднеширотного Ap-индекса. Для остальных проанализированных в данной работе индексов солнечной и геомагнитной активности значимой связи обнаружено не было.

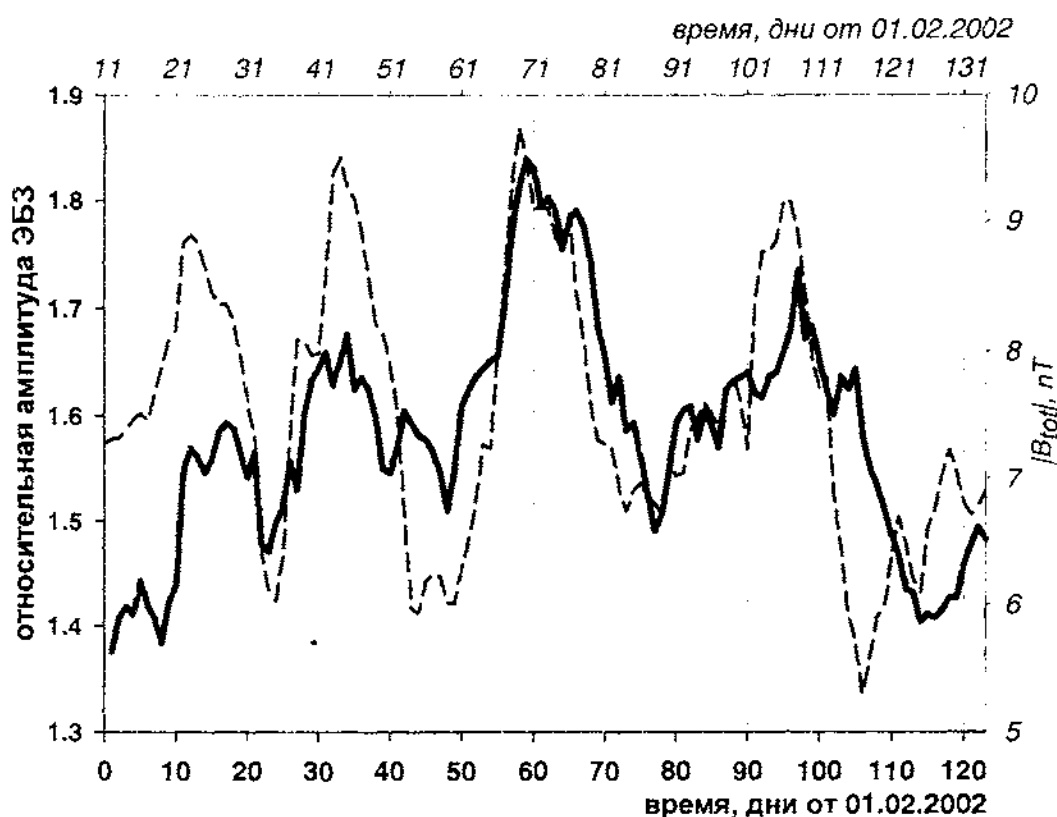


Рис. 6. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и модуля вектора полной индукции  $B_{tot}$  ММП.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, результаты данной работы позволяют сделать вывод о существовании статистической связи между динамикой амплитуды ЭБЗ и изменением индексов, характеризующих магнитную активность межпланетной среды (и связанные с ней геомагнитные вариации).

Ни одним из использованных в работе методов не было обнаружено какой-либо связи с потоком радиоизлучения или концентрацией протонов и электронов в солнечном ветре. Нельзя говорить о связи с числами Вольфа, поскольку период 13.5 дн. характерен и для других индексов, с которыми обнаружена намного более значимые связи.



КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»  
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

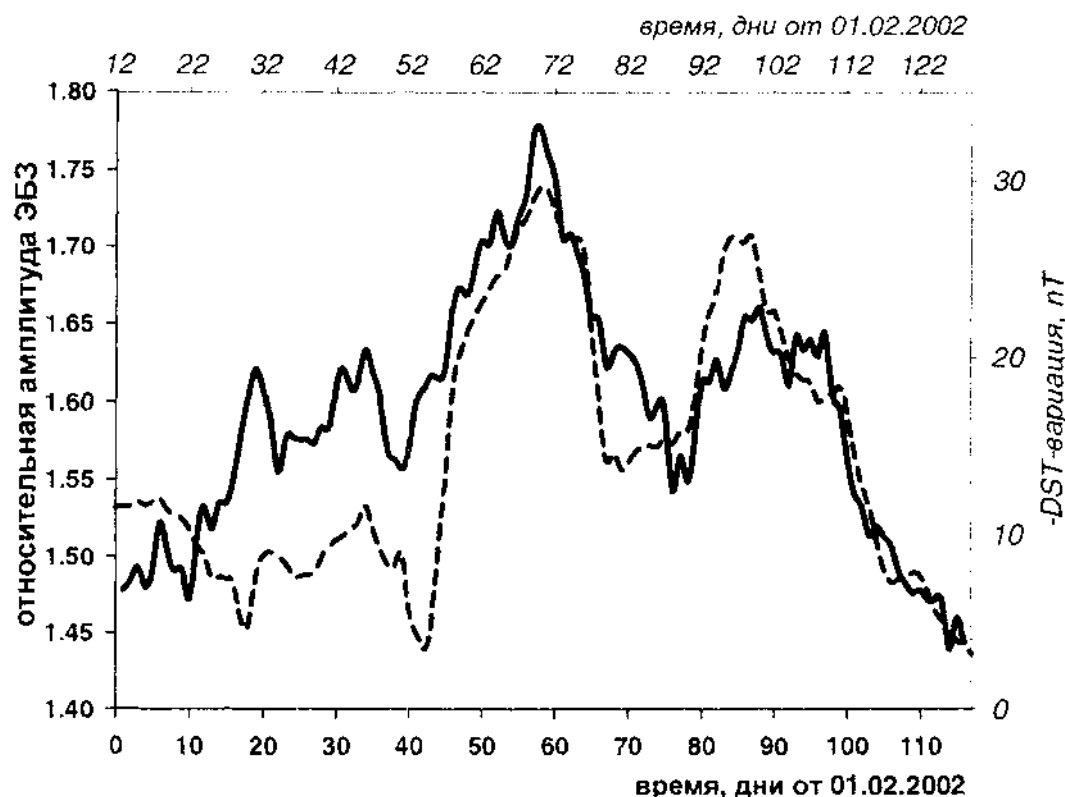


Рис. 7. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и Dst-вариации с обратным знаком.

Значимыми в данном случае оказываются полный вектор магнитной индукции и значения геомагнитной активности на средних широтах (с высокоширотными значениями ГМА связь гораздо более слабая). Резонно было бы предположить, что связь с ММП в данном случае скорее опосредованная, именно через геомагнитные вариации. Нельзя также исключать, что важность именно среднеширотных значений  $A_p$  обусловлена каким-то образом расположением измерительного прибора на широте Москвы ( $54^\circ$  с.ш.). Эта гипотеза требует дополнительной проверки с использованием данных, полученных на высоких широтах, например, в Антарктиде.

Таким образом, результаты анализа показывают, что эффект Шноля («инерция формы гистограмм» или отличный от нуля радиус корреляции для зависимости частоты сходства гистограмм от интервала времени между ними) наиболее сильно проявляется в моменты максимально быстрого изменения параметров, характеризующих межпланетную и геомагнитную активность. Другой результат – опережение динамикой ЭБЗ на 11 дней соответствующих значений магнитных индексов выглядит в настоящий момент совершенно необъяснимым, и требует дальнейшего исследования.

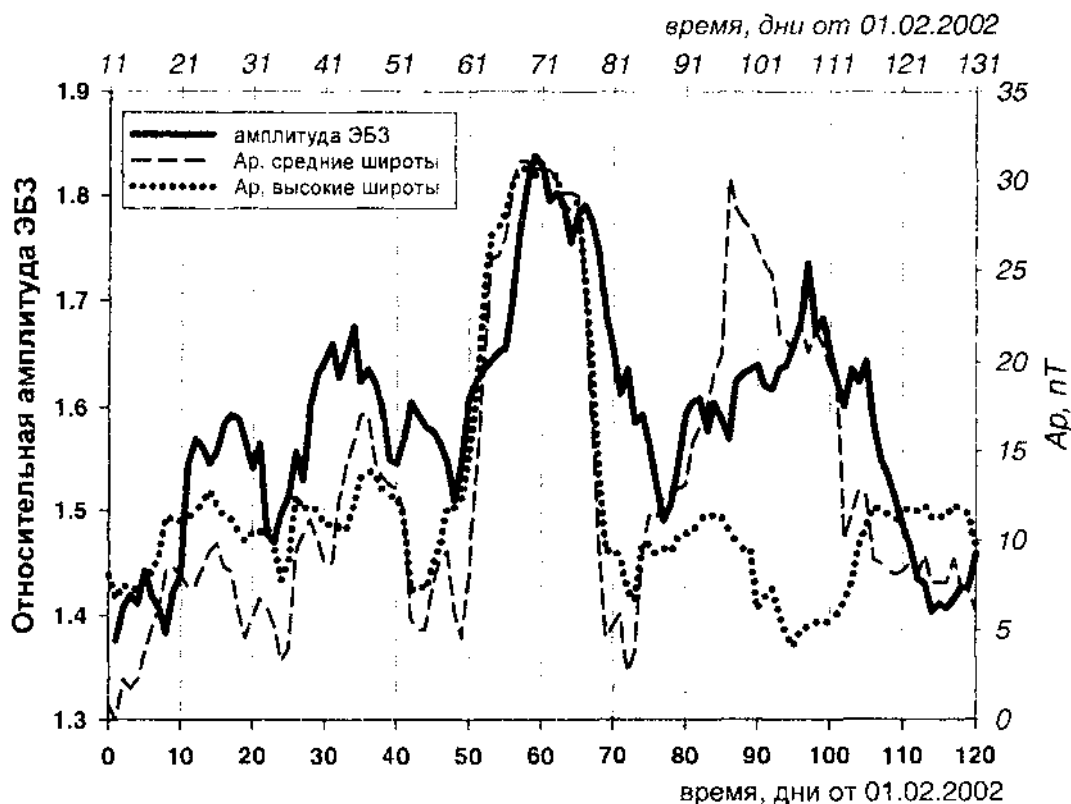


Рис. 8. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и значений индекса Ап, измеренного на средних и высоких широтах

Как уже многократно обсуждалось ранее [2] в данном случае речь не может идти о прямом влиянии магнитного поля ни на измеряемый процесс (радиоактивный распад), ни на прибор, работающий в логике 0, 1 (регистрирующий только количество актов распада) и имеющий передаточную функцию в виде прямоугольной ступеньки. В настоящий момент не существует признанной теории, объясняющей эффект Шноля, или хотя бы указывающей однозначно на его возможную природу. Возможные гипотезы, основанные на изменении свойств окружающего пространства-времени [8, 9] не объясняют обнаруженной связи степени выраженности эффекта с изменчивостью магнитного поля, но и не противоречат такой возможности

Таким образом, полученные в данной работе результаты нужно рассматривать как расширение феноменологической картины эффекта Шноля, которые со временем могут привести к пониманию его природы.

**КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»  
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.**

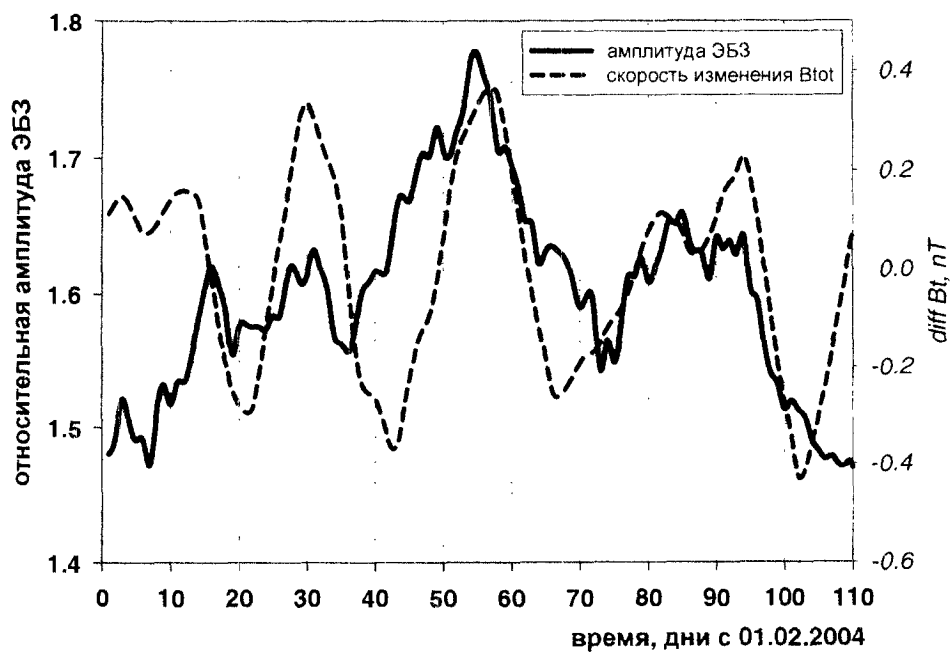


Рис. 9. Сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ и скорости изменения модуля  $V_{tot}$  ММП, кривые сглажены по 10 точкам.

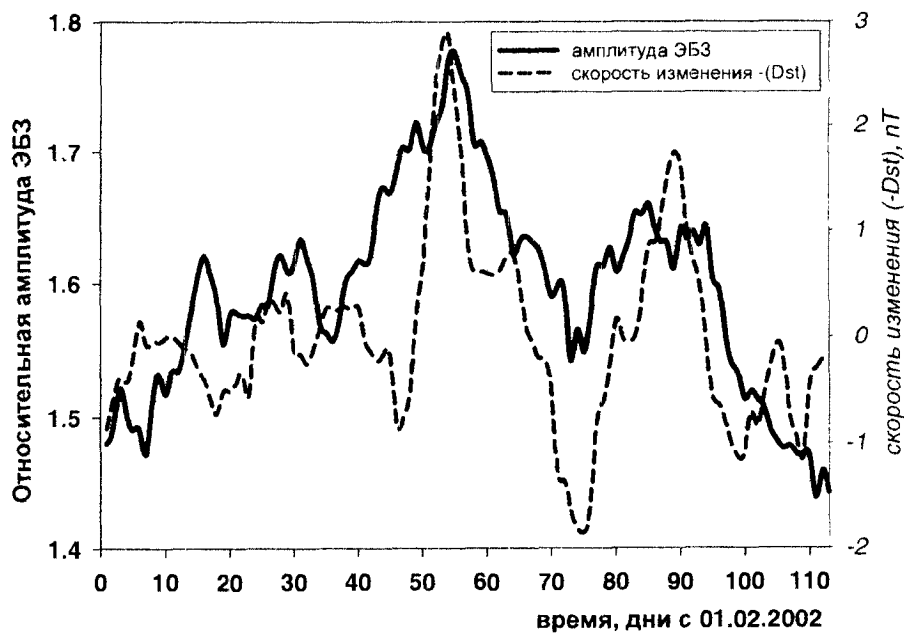


Рис. 10. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и скорости изменения Dst-вариации с обратным знаком.

### Список литературы

1. С.О. Шноль – Макроскопические флуктуации с дискретным распределением амплитуд в процессах различной природы // *Итоги науки и техники, Молекулярная биология*. - М. ВИНТИ, ред. В.Н. Скулачев, 1985. – Т. 5, - С. 130-200
2. С.О. Шноль, В.А. Коломбет, Э.В. Пожарский, Т.А. Зенченко, И.М. Зверева, А.А. Конрадов – О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // *Успехи физических наук*. – 1998. – Т. 168, № 10. - С. 1129-1140.
3. С.О. Шноль, Т.А. Зенченко, К.И. Зенченко, Э.В. Пожарский, В.А. Коломбет, А.А. Конрадов. – Закономерное изменение тонкой структуры статистических распределений как следствие космофизических причин // *Успехи Физических наук* – 2000. - Т. 170, № 2. – С. 214-218.
4. Т.А. Зенченко, А.А. Конрадов, К.И. Зенченко – Макроскопические флуктуации: о периодичности проявления «эффекта ближней зоны» // *Биофизика*. - 2001. - Т. 48, № 6. – С. 1132-1136.
5. Б.М. Владимирский, В.Я. Нарманский, И.А. Темурияш. – Космические ритмы: в магнитосфере-ионосфере, в атмосфере, в среде обитания; в биосфере-ноосфере, в земной коре. Симферополь, 1994 г. – 173 с.
6. Рожков В.С. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций (с гидрометеорологическими примерами). Книга 1.– СПб.: Гидрометеоиздат, 2001.– С. 53–81
7. O.A. Troshichev. – Response of the PC index to the wind influence and it's availability for nowcasting of storm and substorm activity // *European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 00166*
8. Л.А. Блюменфельд, Т.А. Зенченко. Квантовые переходы между состояниями и космофизические флуктуации // *Биофизика*. – 2001. – Т. 46, №. . – С. 859-861.
9. А.А. Кириллов, К.И. Зенченко. О возможности нарушения статистики Пуассона в процессах титра радиоактивного распада // *Биофизика*.- 2001.- Т. 46, вып.5 - С. 841-849.

*Поступила в редакцию 10.11.2004 г.*



УДК 577.3

## ТРУДНЫЕ ВОПРОСЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Владимирский Б.М., Конрадов А.А.

### ВВЕДЕНИЕ.

Проблема «Солнечная активность – Биосфера», кажется, вступает в академическую стадию своего развития. Публикуются соответствующие статьи в рецензируемых журналах, в некоторых учебниках по физической экологии излагаются данные по солнечно-земным связям, выходят серьезные популярные книги. В последние годы широкое обсуждение концепции биологического действия микродоз физических и химических факторов лишило рассматриваемую проблему налета экзотической тайны. Всем понятно, что солнечная активность влияет на некоторые параметры среды обитания. Эти малые вариации теперь можно трактовать как те же сверхслабые дозы физических агентов, действующие на биологические системы в естественных условиях. Совсем лишними кажутся ныне гипотезы о существовании какого-то нового неизвестного излучения, ответственного за космобиологические связи. Зато много сложнее разобраться какой именно экологический параметр непосредственно действует в той или иной конкретной космобиологической корреляции: изменяются сразу несколько параметров, влияют они, взаимодействуя и сочетаясь между собой.

Развитие исследований в рамках названной проблемы порождает и некоторые новые вопросы. Некоторые из них носят, весьма, общий характер и представляются иногда парадоксами. По меньшей мере, один такой вопрос кажется особенно актуальным: является ли солнечная активность единственным источником космобиологических воздействий? Или на биологические процессы оказывают влияние какие-то иные космические явления, в том числе – за пределом Солнечной системы? Ниже представлен краткий обзор соответствующих эмпирических данных и наблюдений и их предварительный анализ.

### ЛУННОЕ ВЛИЯНИЕ В ГЕОФИЗИКЕ И БИОФИЗИКЕ.

Многие исследователи не сомневаются в том, что на биологические и физико-химические системы влияет непосредственно Луна. Эта уверенность зиждется на следующих эмпирических данных\*:

1) Результаты различных измерений и наблюдений во многих случаях распределены в лунном календаре (синодический период 29<sup>d</sup>,53) неравномерно.

\* Подробная библиография здесь и далее, конечно, не может быть представлена. Литература по медико-биологическим вопросам сведена в [1, 2], по космофизике – в [3, 4]. Ниже ссылки на журнальную литературу приводятся только в самых необходимых случаях.

Экстремальные точки часто располагаются спустя 3–7 суток после новолуния (для некоторых сопоставлений подобные эффекты статистически высоко значимы).

2) Результаты некоторых измерений, как будто, указывают на наличие восходно-заходных лунных эффектов, вообще – на их связь с положением Луны относительно горизонта [5].

Предполагается, что воздействие Луны на исследуемые процессы (если оно реально имеет место) осуществляется через вариации гравитационного поля. Известные приливные эффекты в океане и атмосфере кажутся серьезными аргументами в пользу такой точки зрения.

Все эти соображения кажутся, однако, неубедительными, либо определенно ошибочными. Организация данных в лунном календаре обусловлена наличием общеизвестной солнечной периодичности – семейством периодов в полосе  $28^d \pm 2^d$ . Именно эти периоды модулируют параметры среды обитания и фиксируются в вариациях биологических показателей, благодаря известным электромагнитным механизмам: через солнечный ветер – магнитосферу и через коротковолновое излучение – ионосферу. В упомянутом семействе периодов наблюдается весьма сложная динамика. В частности, с возрастанием уровня солнечной активности начинают доминировать периоды большие, кэррингтоновского ( $27^d, 38^d$ ). Для геомагнитных индексов картина усложняется наличием северо-южной асимметрии в распределении активности между солнечными полушариями. Из-за гелиоширотных перемещений (угол между плоскостями гелиоэкватора и эклиптики  $\approx 7^\circ$ ) Земля проектируется зимой (нашего полушария) на южное полушарие Солнца, летом – на северное. Поэтому в указанные интервалы времени земная магнитосфера оказывается попеременно в солнечном ветре (и межпланетном магнитном поле) разных солнечных полушарий. Соответственно изменяются и параметры около 27-дневных вариаций. В общем, отличить стабильные вариации лунного происхождения от закономерно изменяющихся 27-дневных вариаций солнечного происхождения не так уж сложно. Это было сделано несколькими авторами и дало ясный результат: в разных индексах (в том числе – таких, как интенсивность фоновых радиоволн на частоте 3 Гц [6]) устойчивый период лунных фаз отсутствует, а осцилляции, обусловленные солнечным вращением, хорошо заметны. Имитация последних лунным циклом неизбежно наступает, когда исследователь располагает коротким рядом наблюдений. Изменчивость и модуляция периодов солнечного вращения объясняет известную противоречивость результатов по «Селеномедицине» [1].

Если Луна все-таки реально воздействует на биологические процессы – не в зоне океанских приливов, а в глубине материков в глобальном масштабе, то должна проявлять себя лунно-суточная вариация ( $24^h 50^m$ ). В геофизических данных она давно известна, но очень мала: в геомагнитном поле, например, лунный «сигнал» примерно в 10 раз меньше солнечно-суточного (средние широты). Хотя в литературе имеются сообщения о наличии указанной вариации у организмов, не связанных с приливной зоной, все такие случаи представляются особыми аномалиями (как лунно-суточная ритмика у слепого человека [7]). Нет оснований связывать с Луной устойчивые солнечно-суточные вариации с «двугорбым» профилем – такой профиль нередко наблюдается для некоторых физиологических

показателей организма человека [8, 9]. Реально лунно-суточный цикл как общебиологический универсальный феномен, похоже, не обнаруживается. За одним единственным исключением (см. ниже [ ]) он не найден и при мониторинге физико-химических процессов. Но если этот цикл имеет очень малую амплитуду или вообще отсутствует, то можно ли ожидать наличия периода лунных фаз?

Наконец, предположение о реальном влиянии Луны на биологические явления сталкивается и с чисто теоретическими трудностями. Остается совершенно неясной физическая природа агента, который мог бы воздействовать на биологическую или физико-химическую системы непосредственно в среде обитания. Данные наблюдений исключают гипотезу о возмущении Луной геомагнитосферного шлейфа. Предположение о том, что влияние реализуется через изменение гравитационного поля, не выдерживает критики. Эти вариации очень малы – около  $10^{-7}$  g. В лабораторных экспериментах не удастся обнаружить эффекты менее  $10^{-4}$  g. Упомянутые вариации вполне эквивалентны подъему на 10-ый этаж или горизонтальному перемещению в десятки-сотни метров от одной микрогравитационной неоднородности к другой. Биологические гравирецепторы – какие бы они ни были – не могут различить изменения силы тяжести от ускорения динамического происхождения. Для обеспечения нужной чувствительности упомянутых рецепторов надо было бы у млекопитающих «выключить» дыхание и «остановить» сердцебиение. Ссылка на присутствие во многих наблюдениях периода модуляции приливных колебаний  $13^{\text{д}},66$  неубедительна – в среде обитания существует точно такой же период гелиофизической природы.

Конечно, малые изменения силы тяжести могут трансформироваться в вариации других геофизических полей. Одна такая причинно-следственная цепочка известна: возрастание выхода сейсмической энергии в экстремумах приливообразующих сил (новолуния-полнолуния близ прохождения Луной перигейной точки орбиты) – возмущения геофизических полей перед землетрясениями в области их эпицентра. Такие возмущения включают в себя усиления электромагнитной и акустической эмиссии литосферного происхождения и, возможно, некоторые нетривиальные эффекты [10]. Они, несомненно, экологически значимы (биологические предвестники землетрясений). Однако весь этот круг явлений относится только к сейсмически активным регионам, и здесь замешан период прохождения Луной перигея ее орбиты  $27^{\text{д}},55$ , что опять-таки очень близко к кэррингтоновскому. В общем, получается, что в рамках современных представлений Луна в действительности не оказывает в глобальном масштабе существенного влияния на биологические и физико-химические процессы в среде обитания. Она выступает только в роли таймера, маркера периодических вариаций солнечного происхождения. Околосесячные, либо двухнедельные циклы, наблюдаемые в биологических показателях, в измерениях гравитационной постоянной [11], в шумах полупроводниковых структур и аварийности ЭВМ [12], в вариациях компьютерного времени [13], в сходных формах гистограмм [14] – обусловлены солнечным вращением. В некоторых случаях их происхождение обусловлено тривиальной причиной – вариациями температуры. В любом пункте наблюдений подобные вариации всегда присутствуют, хотя их фаза в разных

регионах может быть различной. Если температурный эффект исключается условиями измерений, наиболее вероятным кажется воздействие через электромагнитный канал, что допускает экспериментальную проверку.

**«ПЛАНЕТАРНЫЙ ЭФФЕКТ» – ЭМПИРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ.**

Если полагать реальным «планетарный эффект» Мишеля и Франсуазы Гоклен, то в качестве источников космических влияний – помимо Луны – выступают, как будто, еще четыре планеты: Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Алгоритм, использованный названными авторами, и их основные результаты описаны, например, в [15]. Общее обсуждение результатов содержится в последней книге М. Гоклена, где приведена подробная библиография [16]. В самом кратком виде процедура обработки состоит из следующих шагов:

1. Из авторитетных биографических словарей выбирались даты рождения известных профессионалов; они дополнялись часом рождения, зафиксированного в местном магистрате; общее число изученных случаев было более  $10^4$ ; принимались во внимание только так называемые «физиологические роды», 1793 – 1945 гг.

2. Небесный круг меридиана разбивался на 18 равных секторов; для каждой даты рождения с учетом часа находились положения упомянутых выше планет и Луны.

3. Частота рождения в каждом секторе «выдающихся профессионалов» сравнивалась с этой величиной для «контрольной группы»; статистическая значимость различий между обеими группами – если она выявлялась – вычислялась с помощью стандартных критериев.

«Планетарный эффект» состоит в том, что число случаев рождения «выдающихся профессионалов» относительно фоновых событий заметно возрастает сразу после восхода и верхней кульминации планеты. Эффект зависит от планеты и профессиональной группы. Для Луны возрастания в упомянутых секторах наблюдаются только для «писателей» и «политиков». Наиболее четко выраженный эффект обнаруживается для чемпионов мира в различных видах спорта и планеты Марс. Для дней рождения великих художников такой «Марс-эффект» наблюдается редко. Вообще «планетарный эффект» зависит еще от личностных характеристик представителей данной группы и статистически достоверно возрастает с увеличением их рейтинга. Имеет место также «эффект наследственности»: даты рождения детей в вероятностном смысле располагаются близ пиков «планетарного эффекта» родителей (похожий эффект наблюдался независимо другими авторами). Закономерность остается в силе и для лиц, не попавших в базовые справочники, но нарушается, если роды проходили с хирургическим вмешательством. «Эффект наследственности» сильно зависит от уровня геомагнитной активности: если все даты рождения, приуроченные к восходам-кульминациям планет разделить на две группы соответственно с повышенной и пониженной активностью по международному стандартному индексу  $C_i$ , то для возмущенных интервалов времени амплитуда пиков «восход», «кульминация» в 2,5 раза выше, чем невозмущенных ( $C_i \leq 0,9$ ). Подобное же влияние зафиксировано и для интегрального индекса солнечной активности (числа Вольфа), но оно выражено не столь отчетливо.



Публикация результатов М. и Ф. Гоклен вызвала полемику, беспрецедентную по продолжительности и остроте. Протокольное изложение всех этих событий с соответствующей библиографией можно найти в [17]. Изучение данных материалов позволяет сделать однозначное заключение: «планетарный эффект» – реальное явление, требующее дополнительных исследований и истолкования. Такой вывод заставляет по-новому взглянуть на сообщения о корреляциях между планетарными конфигурациями и метеопараметрами определенного пункта наблюдений. И со вниманием отнестись к сообщению о возрастании шумов в полупроводниковых структурах в интервалы времени, когда планеты располагаются в соединениях и квадратурах (угловые расстояния между ними составляют соответственно  $0^\circ, 180^\circ$  и  $90^\circ, 270^\circ$ ) [18].

### **«ПЛАНЕТАРНЫЙ ЭФФЕКТ», РЕЗОНАНСНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И «СИНХРОНИСТИЧНОСТЬ»**

Современная физика планет и космофизика полностью исключают возможность существования какого-либо сигнала от планет, имеющего экологическую значимость. Поэтому некоторые авторы предлагают вернуться к уже отошедшим в прошлое гипотезам о Z (X, Y etc) – излучениях. С другой стороны, в «планетарном эффекте» фигурирует Луна, определенно играющая роль «маркера» экологических изменений. Имеются ли какие-либо основания полагать, что и другие планеты могут выступать в этом качестве? Да, сейчас такие основания, и в самом деле, имеются. Соответствующие идеи «носятся в воздухе» уже десятилетия.

С современной точки зрения планетные системы должны рассматриваться как совокупность слабо связанных нелинейных осцилляторов. Длительная эволюция выводит подобные системы на особый кооперативный динамический режим. При этом различные моды колебаний центрального светила (Солнца) оказываются синхронизованными с движениями планет, а параметры движения самих планет остаются связанными многочисленными резонансными соотношениями. Тотальная синхронизация имеет место в широком диапазоне периодов – от многолетних циклов до осцилляций с периодом менее земных суток. Последнее оказывается возможным по той причине, что центральная звезда оказывается источником ритмических сигналов соответствующей частоты. Новейшие авторы, строящие «частотные карты» солнечной системы, обычно не ссылаются на публикации [19, 20], в которых изложенные выше идеи были рассмотрены сорок лет назад с замечательной полнотой.

Сказанное может быть иллюстрировано множеством примеров, некоторые из которых кажутся удивительными. Период  $433^d,6934$ , очень близкий к периоду чандлеровских колебаний полюса нашей планеты, делится точно (распогласование – десятые %) не только на целое число кэррингтоновских оборотов, но и на соответствующие синодические периоды вращения Солнца как если бы оно наблюдалось с других четырех планет (за указанный интервал Солнце совершает ровно 12 оборотов для наблюдателя на Меркурии, 15 – на Венере, 16 – для Земли и 17 оборотов для Юпитера и Сатурна) [21]. В этом же смысле движение Луны вокруг Земли «увязано» с движением Земли и Венеры вокруг Солнца. В спектре вариаций чисел Вольфа присутствуют периоды парных соединений всех планет [22]. Экстремумы движения Солнца относительно барицентра системы на протяжении



360 лет совпадают с наступлениями максимумов или минимумов чисел Вольфа [23]. И так далее. Некоторые новейшие модели, описывающие динамику солнечной активности, уже оперируют «спин-орбитальным» взаимодействием (для Солнца), индуцированным планетами, но без учета их резонансной структуры [24]. В общем, получается, что планетные конфигурации могут рассматриваться как некоторый индекс солнечной активности. Были разработаны и соответствующие методы прогноза с применением этого индекса («...максимумы 11-летних циклов «вызываются» действием планет во время квадратур Юпитера и Сатурна, а минимумы – во время их соединений» [25]).

Корреляции с динамикой планет обнаружены и для тех космофизических индексов, с которыми обычно имеют дело при изучении космо-биосферных связей. Был разработан, например, метод прогноза ионосферных возмущений, в котором ключевую роль играли разности гелиоцентрических долгот планет земной группы (углы  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  при наличии некоторых дополнительных признаков соответствовали возмущениям [26]). Далее, было выяснено, что соединения планет Марс, Юпитер, Сатурн совпадают с минимумами геомагнитной возмущенности, причем характерные детали изменения профиля геомагнитных индексов зависят от общего уровня солнечной активности [27]. Минимумы геомагнитной возмущенности близ новолуний характерным образом «деформируются» под «влиянием» Венеры и Меркурия [28].

Конечно, крошечная Луна никак не влияет на Солнце, планеты не могут воздействовать на циркуляцию земной атмосферы, напрасно искать прямую причинную связь между положением планет и геомагнитной активностью (а такие попытки предпринимались!). Всё это – синхронно протекающие явления. Причинная связь между ними «спрятана» где-то далеко в «стороне». Подобного рода явления переносятся и в среду обитания: в динамике экологических переменных отражается всё тот же универсальный спектр космической ритмики [3]. Применительно к такому важному экологическому параметру, как низкочастотные электромагнитные поля, упомянутый спектр ритмов появляется в биосфере из-за его присутствия в вариациях метеоэлементов в данном пункте, а также – в глобальном масштабе – из-за модуляции этими ритмами показателей ионосферы и магнитосферы. Наличие синхронно-протекающих явлений в биологическом мире уже давно привлекало внимание. К.Г. Юнг даже выделил их в особый класс – «синхронистичных», «акаузально упорядоченных» [29]. В условиях существования богатого спектра интерферирующих биологических ритмов, когда их «временные ключи» непосредственно не наблюдаются, «закон парных случаев» земских врачей или одновременное появление в популяции сходных психических состояний могут быть вполне реальными событиями, но представляются они странными аномалиями. Если такие аномалии оказываются устойчиво соотносенными во времени с каким-нибудь маркером, это выглядит как нарушение принципа причинности, как острый парадокс. Но в мире засинхронизованных осцилляторов время утрачивает свою однородность. «Планетарный эффект» в таких условиях кажется возможным, даже теоретически предсказуемым – без предположения о прямом влиянии планет на среду обитания.

Понятно, что исчерпывающее доказательство (или опровержение) «синхронистической» природы «планетарного эффекта» может быть получено только в результате выполнения специальной исследовательской программы. Пока же уместно отметить некоторые соображения и данные, имеющие к рассматриваемой гипотезе непосредственное отношение. Можно думать, что восход-кульминация фигурирующих в «планетарном эффекте» светил отмечают на самом деле некоторую дату и, тем самым, фазу какого-нибудь важного биологического ритма. В случае Луны, например, время восхода (захода) для данного пункта связано с лунной фазой и отмечает определенную фазу околomesячного ритма (как читатель помнит – солнечного происхождения!) При этом устанавливается и связь с солнечно-суточной вариацией (скажем, «физиологические роды» в Европе – максимум около 5h местного времени): околomesячный ритм модулирует параметры суточного периода. Характер такой модуляции зависит от сезона. Так рассматриваемое событие оказывается связанным с годовым циклом. Указанная временная упорядоченность связана и с геомагнитной активностью. В литературе неоднократно упоминалось, что «нормальные» роды приходятся на дни повышенной геомагнитной возмущенности. Недавно, однако, было отмечено [30], что такая закономерность относится только к младенцам мужского пола, так что вопрос нуждается в дополнительном изучении. Если в рассматриваемой корреляционной цепочке связей участвует какой-то существенный биологический мезоритм (типа «биологического года» 266<sup>d</sup>), вполне допустимо, что основное событие отодвинуто в прошлое и касается эмбрионального развития. Здесь и может располагаться реальная причина, детерминирующая типологическую принадлежность человека по какому-нибудь признаку. При этом, приходится допустить, что каждому комплексу характерологических показателей соответствует какая-то типичная гелиогеофизическая ситуация в критических интервалах эмбрионального развития. Такая, какая получена, например, в [31]: период формирования базовых структур мозга (четвертая неделя после зачатия) у лиц с некоторыми патологическими чертами психики пришелся на дни с очень низкими значениями индекса магнитной активности (тот же период развития в контрольной группе «удачливых профессионалов» не имеет указанной особенности).

Для истолкования «Марс-эффекта» важно отметить, что характерный период наблюдаемости этой планеты – 2,1 года – совпадает с известным гелиогеофизическим периодом, присутствующим в вариациях чисел Вольфа, ионосферных и геомагнитных индексов и метеорологических элементов ( $2,1 \pm 0,1$  года) [32, 33]. Этот период часто встречается в показателях экономической активности и найден в статистике высших спортивных достижений для женщин. Именно для этого периода были обнаружены закономерности, перекликающиеся с «планетарным эффектом». Было найдено, что согласно данным различных биографических архивов лица, обладающие определенными типологическими характеристиками согласно данным из различных справочников, словарей и биографических архивов, рождаются в определенные фазы этого цикла [34]. Такую неравномерность удобно характеризовать отношением числа рождений в четные-нечетные годы. Так,

астронавты-космонавты имеют отношение 1,246 и подобные отношения для выдающихся профессионалов имеют место независимо от места рождения и многих других обстоятельств, но различаются по профессиям. Эта асимметрия растет с увеличением соответствующего рейтинга (элитности). Показатель обнаруживает достоверную связь с индексами солнечной активности и геомагнитной возмущенности (т.е. коррелирует с планетными конфигурациями). Двухлетний цикл, понятно, ничем не выделяется из многих других циклов-ритмов планет. Описанная закономерность, вероятно, является общей. Пока с этой точки зрения изучен только годовой период. Имеется много сообщений о преимущественном рождении лиц с теми или иными типологическими признаками в определенные месяцы: предрасположенность к определенным заболеваниям, вес, спортивные результаты, экстравертность, продолжительность жизни и т.д. Некоторые данные такого рода известны также для 11-летних и 22-летних циклов (приблизительно цикл Юпитера) и для так называемых волн Кондратьева. Взаимовлияние различных ритмов-циклов может усилить или «размыть» данный признак.

Конечно, продвинуться в понимании планетарного эффекта удалось бы гораздо быстрее, если бы в качестве исходных показателей использовались не психологические характеристики, зависящие от большого числа параметров, а какие-либо измеряемые биологические показатели. В этой связи заслуживают внимания данные о продолжительности жизни. Вариации этого параметра обнаруживают достоверную связь с магнитной возмущенностью и солнечной активностью для организмов, далеко отстоящих друг от друга по систематической лестнице: сходные закономерности, похоже, наблюдаются для *D. Melanogaster* [35] и человека [36] (было бы очень важно проводить анализ подобных данных одновременно для обоих классов космофизических индексов).

В общем, сейчас имеется достаточно доводов в пользу того, что «планетарный эффект» имеет гелиогеофизическую природу, представляя собой пример существования синхронистичных событий. Планеты, тем самым, не могут рассматриваться как источники космических влияний.

#### **СУТОЧНАЯ ВАРИАЦИЯ – СОЛНЕЧНАЯ, УНИТАРНАЯ, ЗВЕЗДНАЯ?**

Вопрос о вероятном источнике космических влияний может быть решен, казалось бы, однозначно путем анализа суточной вариации в тех или иных измерениях. Однако, несмотря на обилие результатов, полученных в последние годы, достичь полной ясности в этом вопросе пока не удастся.

С одной стороны, нет сомнений, что в измерениях скоростей счета радиоактивных эталонов, в наблюдениях над темновыми токами в ФЭУ, нетривиальная суточная вариация определенно присутствует [37, 38]. Цитированный результат получен с помощью техники сравнения гистограмм. В этих вариантах анализа невозможно получить информацию о важнейших параметрах суточной волны – фазе, наличии гармоник, характере профиля, их зависимостей от космофизических индексов, сезона, широты пункта наблюдений и т. п. Но без этих данных однозначное истолкование суточной вариации едва ли возможно. С другой стороны, в некоторых однотипных опытах (например, [11, 39]) анализ приводился с применением традиционных методов обработки. При этом, были получены данные

о фазе. Максимумы измеряемых величин чаще всего приходятся на  $\approx 07^h$  местного солнечного времени. Поскольку абсолютное значение величины и сходство тонкой структуры распределений этой величины не могут быть непосредственно сопоставлены, неясно, можно ли пользоваться упомянутыми данными о фазе и прочих параметрах. Из сравнения данных о суточном ходе скорости тестовой реакции и суточных изменений дисперсии этой величины [40] следует, что эти вариации совсем разные.

Из анализа распределения сходных форм гистограмм, получаемых с высоким разрешением в опытах с радиоактивными эталонами и темновыми токами ФЭУ, следует, что в суточной вариации имеется звездно-суточная составляющая [5, 41]. Конечно, это – наиболее интригующий результат, полученный в последние годы. По причинам, изложенным выше, он также пока не может быть истолкован однозначно (как и более ранний результат [42]). В литературе упоминаются несколько возможных вариантов получения значений периода, отличающегося от реально существующего. Так, Ф. Браун [43] упоминает о своих наблюдениях над потреблением кислорода картофелем, находившимся при постоянных условиях, когда был зафиксирован звездно-суточный период  $23^h 56^m$  (амплитуда около 1%, максимум около  $06^h$  зв. времени). Похоже, он склонялся к мысли, что появление этого периода могло быть обусловлено модуляцией солнечно-суточной вариации подходящим циклом солнечной активности. Указания на присутствие звездных суток встречается и в геофизической литературе – в сейсмической активности, в вариациях скорости вращения Земли, но они также не были подробно анализированы и интерпретированы. В наше время есть большой соблазн связать эти вариации со звездно-суточным периодом, обусловленным присутствием, например, массивных частиц «темной материи» – максимум  $21^h$ , минимум –  $09^h$ . Однако для этого пока нет решительно никаких оснований.

Наконец, следует обратить внимание на то, что обнаружение в вариациях скорости счета радиоактивных эталонов известных устойчивых периодов [44], в том числе высоких суточных гармоник (8-й и 10-й) может иметь далеко идущие последствия. Эти вариации свободны от температурных влияний. Физический агент, передающий воздействие на прибор, имеет малое время релаксации. Не исключено, что в данном случае речь идет о синхронных собственных колебаниях двух космических тел – Солнца и Земли.

Суточной вариацией интересовался еще Д. Пиккарди. В космофизике все семейство суточных периодов обстоятельно изучено. Для того, чтобы разобраться в природе этого периода, наблюдаемого в современных опытах, необходимо также реализовать специальную исследовательскую программу. Следовало бы воспользоваться каким-нибудь достаточно длительным рядом наблюдений, исправленных на температуру, и проанализировать его одновременно как с помощью техники сравнения гистограмм, так и с применением спектральных методов, но с использованием не только собственно результатов измерений, но и подходящих статистических моментов, чтобы установить хоть какую-нибудь связь между двумя основными вариантами анализа. Конечно, эти же спектральные методы должны быть использованы для анализа параллельного ряда основных



космофизических индексов (таких как  $A_p$ ,  $F_{10\text{ см}}$  и знак межпланетного магнитного поля).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный выше логический анализ публикаций последних лет, посвященных космическим влияниям на среду обитания нашей планеты, на физико-химические и биологические системы, позволяет заключить, что единственный источник таких влияний – солнечная активность. Влияние Луны в глобальном масштабе сильно преувеличено, поскольку Луна – маркер вариаций солнечной активности. Планеты также представляют собой подобные же маркеры.

Это последнее оказывается возможным, так как солнечная система на самом деле представляет собой кооперативную сильно синхронизованную систему слабо связанных осцилляторов. Исследования по суточным вариациям в физико-химических и биологических системах пока не допускают однозначной интерпретации и не позволяют сделать определенных выводов о наличии каких-либо влияющих источников за пределами солнечной системы.

### **Список литературы**

1. Дубров А.П. Лунные ритмы человека. – М.: Медицина, 1990. – 160 с.
2. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу. – М.: Изд. МНЭИУ, 2000. 374 с.
3. Владимирский Б.М., Нарманский В.Я., Темурьянц Н.А. Космические ритмы. – Симферополь: 1994. – 173 с.
4. Владимирский Б.М. // Труды 7-го Симпозиума по солнечно-земной физике «Солнечно-земная физика». – Троицк, 1999. – С.209-214.
5. Шноль С.Э. // Биофизика. 1989. – Т. 34. – № 5. – С. 911-912.
6. Atmenyi I. Geo-cosmic relations: The Earth and its macro-environment.// Pudoc. – Wageningen, 1990. – P. 206-209.
7. Miles L.E., Rayma' D.M., Wilson M.A. // Science. 1977. – V.198. – P. 421-423.
8. Агулова Л.П., Коняева Е.Б., в кн. Атлас временных вариаций... – Т. 2. – М. Научный мир, 1998. – С. 349-352.
9. Элькис И.С., Варганатов М.Г., Апиткаева О.И., Гамбурцев А.Г., в кн. Атлас временных вариаций... – Т.3. – М.: «Янус-К», 2002. – С. 525-532.
10. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Астрономический вестник. 2000. – Т. 34. – № 2. – С. 188-190.
11. Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархомов А.Г. // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М.: Научный мир, 1998. – Т. 2. – С. 163-167.
12. Пархомов А.Г. Ис. – С. 310-315.
13. Шаловалов С.Н., Горшков Э.С., Борисова Т.Д. и др. // Биофизика. 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 819-822.
14. Шноль С.Э. // Биофизика. 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 775-782.
15. Гоклен М. Досье космических влияний. Характеры и темпераменты. – М.: Крон-пресс, 1998. – 345 с.
16. Gaquejin M. Neo-Astrology. A Copernican revolution. London: Arkane, 1991. – 193 p.
17. Ertel S., Irving K., The Tenacious Mars-effect. – London: Urania-Trust, 1996. – P. K1-43 and SE1-60.
18. Сизов А.Д. // Биофизика, 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 811-815.
19. Molchanov A.M. // Icarus, 1968. – V. 8. – P. 203-215.
20. Molchanov A.M. // ibid. 1969. – V. 11. – P. 95-103; 104-110.
21. Панкратов А.К., Нарманский В.Я., Черных Н.С. и др. // Известия Крымской астрофизической обсерватории. 1996. т. 93, С. 53-57.
22. Kurochkin N.E. // Astronomical and Astrophysical Transactions. 1992. – V. 1. – P. 305-311.
23. Landscheidt T. // Solar Physics, 1999. – V. 189. – P. 415-426.



24. Juckett D. // *ibid.* 2000. – V. 191. – P. 201-226.
25. Романчук П.Р. // *Вестник Киевского Университета. Астрономия*, 1977. – № 19. – С. 3-13.
26. Nelson J.H. // *RCA Review*. 1951, March. – P. 26-34.
27. Решетов В.Д. // *Космические исследования*, 1981. – Т. 19. – № 6. – С. 896-901.
28. Bigg E.K. // *Journal Geophysical Research*. 1963. – V. 68. – № 13. – P. 4099-4104.
29. Юнг К.Г. Синхронистичность. – М.: Рефл-Бук, Ваклер, 1997. – С. 195-307.
30. Persinger M.A., Hodge K. - A. // *Perceptual and Motor Skills*, 1999. – V. 88. – P. 1177-1180.
31. Григорьев П.Е., Хорсева Н.И. // *Биофизика*. 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 919-921.
32. Иванов-Холодный Г.С., Олейник О.В., Чертопруд В.Е., в кн. *Атлас временных вариаций...* – Т. 3. – М.: «Янус-К», 2002. – С. 375-382.
33. Храмова В.Н., Кононович Э.В., Красоткин С.А. // *Астрологический вестник*, 2002. – Т. 36. – С. 548-554.
34. Петухов С.А., в кн. *Атлас временных вариаций...* – Т. 3. – М.: «Янус-К», 2002. – С. 597-602.
35. Измайлов Д.М., Обухова Л.К., Конрадов А.А. и др. ...
36. Juckett D., Rosenberg V. // *Radiation Res.* 1993. – V. 133. – P. 312-320.
37. Зенченко К.И., Зенченко Т.А., Кузевский Б.М. и др. // *Биофизика*, 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 783-785.
38. Федоров М.В., Белоусов Л.В., Воейков В.Л. и др. // *Биофизика*. 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 786-789.
39. Децеровская Е.В., Децеровский А.В., Удальцова Н.В. и др. // *Биофизика*. 1995. – Т. 49. – № 5. – С. 1105-1107.
40. Удальцова Н.В., Коломбет В.А., Шноль С.Э. *Возможная космофизическая обусловленность макроскопических флуктуаций...* Пущино, 1987. – 96 с.
41. Федоров М.В., Зенченко Т.А., Зенченко К.И. и др., в кн. *Атлас временных вариаций...* – Т. 3. – М.: «Янус-К», 2002. – С. 603-606.
42. Сизов А.Д. // *Биофизика*, 1995. – Т. 40. – Вып. 4. – С. 897-904.
43. Браун Ф. / *Сравнительная физиология животных*. – М.: Мир, 1977. – Т. 2. – С. 210-260.
44. Федоров М.В., Децеровская Е.В., Шпановалов С.Н. и др., *Биофизика*, 2001. – Т. 46. – Вып. 5. – С. 795-798.

*Поступила в редакцию 12.11.2004 г.*

УДК 577.1

## ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

Степанюк И.А.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время резко усилился интерес к экологической роли космогеофизических факторов (КГФ), связанных преимущественно с солнечной активностью (СА). Исследования, как правило, проводятся путем поиска статистических связей между реакциями биологических систем (БС), либо их физико-химических аналогов (ФХС), с характеристиками КГФ либо напрямую с СА. При этом обычно достаточным доказательством наличия эффекта воздействия является совпадение характерных выделенных периодов в спектрах БС либо ФХС с соответствующими периодами КГФ (условно говоря – «космическими ритмами»).

При этом появление каких-либо «чужих» периодов в спектрах реакций расценивается обычно как неучет дополнительно действующих физических факторов.

Действительно, схема типичного спектрального анализа включает в обязательном порядке вначале выявление характерных периодов в автоспектрах (с соответствующими фильтрациями «слева» и справа», с осреднениями для учета искажений «слева» и справа», и т.д.). После этого возможно проведение кросс-спектрального анализа с получением функций когерентности, значения которых имеют смысл лишь на совпадающих периодах в автоспектрах.

Однако при исследованиях и анализе результатов существует ряд специфических особенностей, отсутствие внимания к которым способно порождать артефакты. Особенно это касается «чужих» периодов.

При рассмотрении биологических и физико-химических систем как некоторых «черных ящиков» с сигналом на входе и сигналом на выходе необходим учет передаточных функций. В общем случае передаточная функция является комплексной. Из нее выделяется амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазово-частотная характеристика (ФЧХ). В свою очередь из АЧХ может быть выделена (естественно, не напрямую) функция передачи сигнала в статическом режиме – статическая функция связи (СФС) и, соответственно, в динамическом режиме – динамическая функция связи (ДФС).

Обычно в проводящихся экспериментах СФС *a priori* рассматривается как линейная. Однако ряд данных последних лет все больше свидетельствует о ее нелинейности, а часто даже – о ее немонотонности («амплитудные окна»).

**ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ**

Динамические свойства (ДФС) в экспериментах также практически учитываются. Тем более, нелинейные динамические свойства.

Отдельной проблемой является неучет условий выполнения экспериментов. Естественно, что можно согласиться с уже опубликованной точкой зрения [1], что все проведенные эксперименты в какой-то мере являются «шухими». Но, кроме высказанных этими авторами аргументов, существует еще одна методическая особенность экспериментов, которая, видимо, вообще не рассматривалась ранее. Она состоит в пренебрежении правилами выбора дискретности наблюдений за реакциями БС(ФХС).

Из-за отмеченных неучитываемых особенностей возможно появление ложных («иллюзорных») периодов в спектрах и кросс-спектрах, а также больших погрешностей в определении связей между реакциями и действующими факторами.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В данной работе в первую очередь оценивается опасность формирования погрешностей и артефактов за счет нелинейности. Рассмотрение проводится теоретически с использованием несложного математического аппарата, при этом также используются ссылки на экспериментальные данные.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

*Оценки влияния нелинейности СФС.*

При наличии суммы постоянного и квазипериодического факторов на входе системы, представляемой как «черный ящик» (рис. 1) с нелинейной СФС в виде

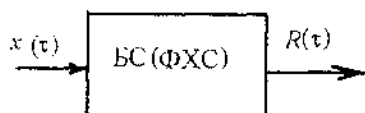


Рис.1 Условная схема системы

$$R = R(0) \{ 1 + \alpha x + \beta x^2 \}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты,

в реакции  $R$  (выходной сигнал) будут появляться специфические искажения, содержащие «прибавки» к типичной реакции на постоянный сигнал, пропорциональные квадрату амплитуды переменной части

входного сигнала (статическая погрешность  $\Delta_{ос}$ , см. рис.2). Кроме того, типичная реакция на переменный сигнал становится зависящей от интенсивности постоянной части входного сигнала. В-третьих, появляется ложная квазипериодическая реакция («чистый» артефакт) на второй гармонике переменного входного сигнала. В математической форме это выглядит следующим образом:

$$R = R(0) \{ 1 + (\alpha x_1 + \beta x_1^2 + 0,5\beta x_m^2) + (\alpha x_m \sin \omega \tau + 2\beta x_1 x_m \sin \omega \tau) - (0,5\beta x_m^2 \cos 2\omega \tau) \} \quad (2)$$

где  $x_1$  – постоянная составляющая входного фактора,  $x_m$  – амплитуда периодической составляющей входного фактора.

Пример искажений показан на рис. 2.

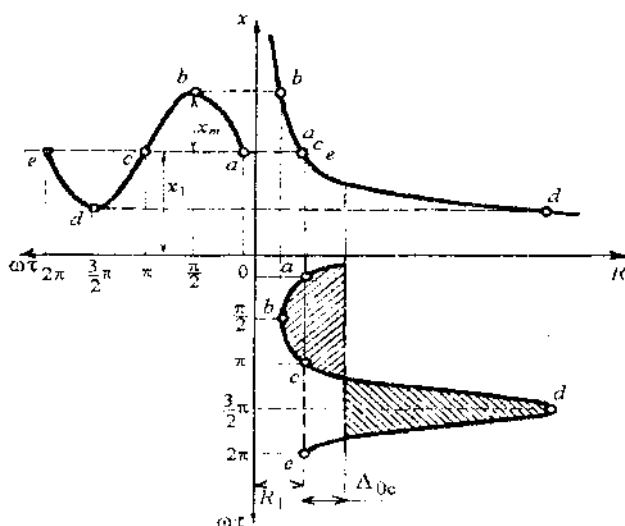


Рис.2. Искажения реакций при сочетании постоянного и переменного факторов в условиях нелинейной СФС

При более сложной структуре переменной части входного сигнала (две гармоники) «чистые» артефакты появляются на обеих вторых гармониках, а также на суммарных и разностных частотах.

Отдельный интерес представляют ситуации, когда воздействующий сигнал является амплитудно-модулированным. В этом случае нелинейность СФС приводит к частичному детектированию и, соответственно, к появлению в спектральном составе реакций частот амплитудной модуляции и их гармоник (также «чистый» артефакт).

Рассмотренные сочетания не являются умоглядными. Оценки влияния геомагнитных возмущений (переменная часть сигнала) на биологические и физико-химические системы производятся при существовании магнитного поля Земли (постоянная часть сигнала). Причем, в некоторых экспериментах делаются попытки частичной либо полной компенсации МПЗ (см. например сборник [2]).

Обычная (монотонная) нелинейность СФС представляется весьма распространенной. Немонотонные нелинейности более гипотетичны. Однако, существование «амплитудных окон» может быть обусловлено именно ими, что является некоторым косвенным подтверждением. При этом несомненно, что немонотонность СФС и обусловленные ею «амплитудные окна» никак не могут являться артефактами (уж «что есть, то есть»), но при немонотонности обязательна обычная нелинейность на отдельных участках, а это, в свою очередь, при ее неучете, приводит к эффектам, рассмотренным выше.

*Оценки влияния динамических свойств БС(ФХС) на получаемые результаты.*

При линейности динамических свойств БС(ФХС), т.е. когда они описываются линейными дифференциальными уравнениями 1-го, 2-го или высших порядков, также возможны неожиданности, в том числе – появление условий квазирезонанса. В частности, если ДФС системы описывается уравнением второго порядка:

$$\tau_{e2}^2 \frac{d^2 R(\tau)}{d\tau^2} + \tau_{e1} \frac{dR(\tau)}{d\tau} + R(\tau) = X(\tau), \quad (3)$$



## ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

то для формирования условий квазирезонанса достаточно, чтобы константа времени при второй производной существенно превышала константу при первой производной. Подобные ситуации также не являются умогнительными. В частности, в наших исследованиях по влиянию ГМВ на инфекционные заболевания желудочно-кишечного тракта [3] мы уже пришли к необходимости оценки организма как системы второго порядка, включающей, во-первых, инерционность изменчивости форм энтеробактерий и, во-вторых, инерционность иммунной системы.

Нелинейность динамических свойств вносит свои особенности. Результаты экспериментов часто это демонстрируют. Обычный, т.е. наиболее простой, вариант нелинейности ДФС появляется, когда константа времени реакции на возрастание действующего фактора отличается от константы на его падение. Общих решений здесь обычно не существует. На сравнительно простых примерах можно показать, как при сочетании переменного и квазипостоянного входных сигналов появляется «прибавка» к квазипостоянному сигналу, зависящая от периода переменной части и соотношения констант времени. Это показано, например, в нашей работе [4].

Если переменная часть сигнала является частотно-модулированной, то за счет нелинейности ДФС обеспечивается детектирование этой части и формируется «чистый» артефакт - появление в спектральном составе реакций периода *частотной* модуляции. Этим роль нелинейности ДФС отличается от описанной выше роли СФС, где производится выделение *амплитудной* модуляции. Пример эффекта детектирования частотно-модулированных факторов показан на рис.3.

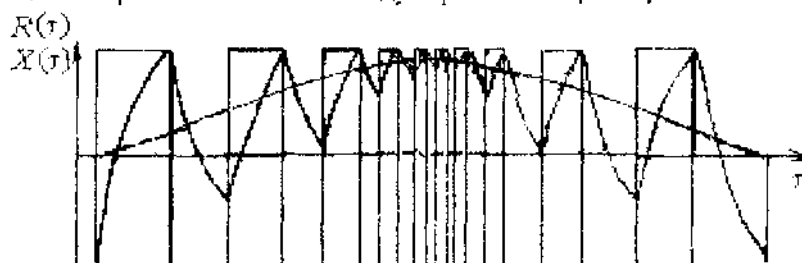


Рис. 3. Реакция БС либо ФХС с нелинейными динамическими свойствами на воздействие переменного частотно-модулированного фактора

Здесь все же следует отметить, что если нелинейности свойственны собственно воспринимающей системе и промежуточные звенья при этом отсутствуют (прямые эксперименты по воздействию), то эффекты, обусловленные нелинейностями, строго говоря, не являются артефактами – уж «что есть, то есть». Но в таких случаях, выявив несоответствие спектрального состава реакций спектральному составу воздействующего физического фактора, не надо сразу же предполагать наличие *неучтенного в эксперименте дополнительного внешнего фактора*. Этот дополнительный фактор может просто-напросто отсутствовать, а искажения спектрального состава будут связаны с рассматриваемыми здесь эффектами.

*Влияние условий проведения экспериментов.*

Отдельной проблемой является неучет условий выполнения экспериментов. Здесь существует методическая особенность, которая, видимо, вообще не рассматривалась ранее.

При исследованиях естественных природных процессов с неограниченным спектром часто проявляется эффект иллюзии дискретизации (эффект «перепутывания частот»). Дискретность при наблюдениях обычно задается волевым приемом или в соответствии с возможностями. В таком случае условной граничной частотой при спектральном анализе результатов является  $(2\Delta\tau)^{-1}$ , где  $\Delta\tau$  – дискретность. Однако колебательные явления за пределами этой частоты из изучаемого процесса никуда не исчезают. Их энергия переносится в низкочастотную область, либо увеличивая общую «зашумленность», либо формируя ложные (иллюзорные) моды в спектре.

Демонстрационный пример формирования иллюзии дискретизации показан на рис.4.

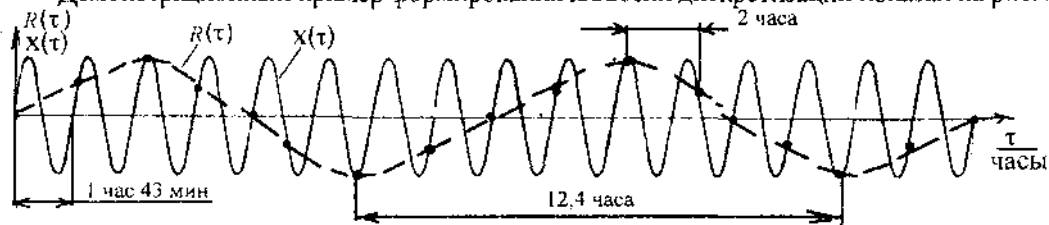


Рис.4. Формирование эффекта «иллюзии дискретизации» за счет несоответствия дискретности наблюдений и периода действующего переменного фактора

В этом примере период действующего фактора  $X(\tau)$  принят равным 103 мин (вариант солнечных осцилляций), а наблюдения реакций проводятся через 2 часа. Сглаженная кривая этих наблюдений (прерывистая) показывает наглядную периодическую реакцию  $R(\tau)$  с периодом 12,4 часа. При анализе она, естественно, воспринимается как реакция системы на воздействие Луны (12,4 часа – полусуточный лунный период).

Рассматривая общие закономерности такого эффекта как перенос на некоторую частоту  $f$  энергии колебаний на частотах  $(2kf_k \pm f)$ , где  $f_k = (2\Delta\tau)^{-1}$  а  $k = 1, 2, 3, \dots$  и т.д., мы, к сожалению, видим отсутствие хоть каких-либо возможностей корректного учета искажений. Ведь у нас нет изначальной информации о характере спектра на частотах выше  $(2\Delta\tau)^{-1}$ . Это приводит к выводу, что для преимущественного большинства задач в области влияния космогеофизических факторов на земные процессы необходимы хотя бы уникальные учащенные наблюдения для оценки характера спектров в высокочастотной области.

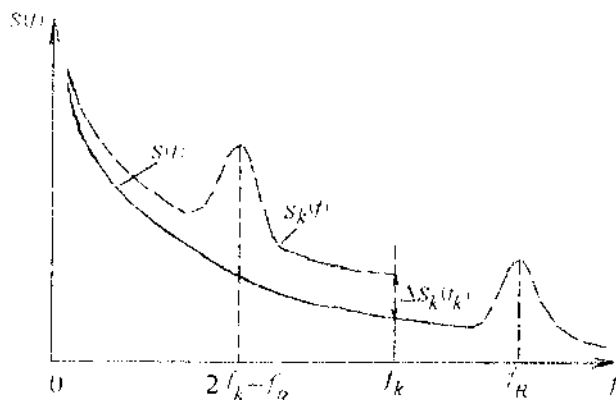


Рис.5. Пример переноса энергии из высокочастотной области в низкочастотную за счет дискретизации

Пример такого переноса при спектральном анализе данных показан на рис.5. Здесь в реальном спектре  $S(f)$  присутствует максимум на частоте  $f_R$  за пределами частоты  $f_k = (2\Delta t)^{-1}$ . Но из-за рассмотренного эффекта он появляется в вычисленном спектре уже на частоте  $(2f_k - f_R)$ .

Рассмотренные особенности, как и предыдущие, не являются умоузырительными. Характерный

пример, где возможно проявление иллюзии дискретизации, это многосуточный мониторинг (один раз в сутки) каких-либо характеристик состояния организма человека, когда при этом известно, что для человека характерны *внутрисуточные* ритмы активности.

### ВЫВОДЫ

Рассмотренные здесь особенности не являются чем-то принципиально новым. В электротехнике («линейные и нелинейные электрические цепи», например [5,6]), в информационно-измерительной технике («метрологические особенности измерений») и др. эти особенности в том либо ином виде оцениваются. В том числе – в работах автора [7,8]. Однако, применительно к биофизическим задачам (по известным автору литературным данным) подобное рассмотрение ранее не производилось. А оно представляется чрезвычайно важным.

Значительно более подробно весь этот класс задач проанализирован в монографии автора [9], куда дополнительно включен также раздел о динамических свойствах сложных биологических систем (например «муж-жена-ребенок»), подвергаемых воздействию внешних факторов.

### Список литературы

1. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу.– М.: Изд-во МГУИТУ, 2000.– 374 с.
2. Космос и биосфера. Тезисы докладов Межд. Крымской конференции.– Партеитг. Крым, Украина 28.09–4.10.2003г.: Крымский научный центр РАН Украины и МОН Украины, 2003.– 258с.
3. Степанюк И.А. и др. Влияние космофизических факторов на инфекционные заболевания желудочно-кишечного тракта // Материалы итоговой сессии ученого совета РГГМУ. Часть 2. Секции: океанологии, экологии и физики природной среды. – СПб., Изд-во РГГМУ, 2004.– С.128–129.
4. Степанюк И.А. Динамические свойства биообъектов при воздействии внешними факторами и подходы к созданию критериев подобия // Космос и биосфера. Тезисы докладов Межд. Крымской

**Степанюк И.А.**

---

- конференция.– Партенит, Крым, Украина 28.09– 4.10.2003г.: Крымский научный центр НАН Украины и МОН Украины, 2003.–С. 28–29.
5. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи.– Петрозаводск: Высшая школа, 1964. – 430 с.
  6. Бессонов Л.А. Линейные электрические цепи.– М.: Высшая школа, 1974.– 316 с.
  7. Степанюк И.А. Океанологические измерительные преобразователи.– Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 272 с.
  8. Степанюк И.А. Информационно-измерительные системы в океанологии.–СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. – 90 с.
  9. Степанюк И.А. Особенности реакций биологических и физико-химических систем на внешние факторы. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004.– 97 с.

*Поступила в редакцию 08.12.2004 г.*

УДК 612.825:612.822.

## РОЛЬ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА МОЗГА В ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АКТА

*Павленко В.Б.*

Любая деятельность человека и животных в значительной степени складывается из целенаправленных поведенческих актов, в том числе произвольных. Изучение формирования поведенческого акта, включающего в себя планирование, программирование, реализацию движений и оценку полученного результата – одна из важнейших задач физиологии. Наиболее дискуссионными являются вопросы, касающиеся этапа планирования движения, который начинается побуждением к действию. Есть основания полагать, что формирование побуждения к действию в значительной степени обусловлено активностью нейронов аминергических систем ствола мозга. Эти системы контролируют все основные, в том числе моторные, регионы головного мозга и оказывают на них облегчающее или угнетающее влияние [1].

Однако изучение связи отдельных аминергических систем с конкретными моторными функциями находится пока в начальной стадии [2]. Так, традиционно считается, что с организацией двигательной активности тесно связана дофаминергическая (ДА-) система [3]. Известно, что гибель ДА-нейронов области черной субстанции ствола мозга является основной причиной развития болезни Паркинсона, сопровождающейся разнообразными двигательными расстройствами, при этом в наибольшей степени страдает фаза инициации движения [4]. С другой стороны, ряд авторов указывают, что активация ДА-нейронов связана не с движениями, а получением вознаграждения при реализации инструментального условного рефлекса [5, 6]. Недостаточно изучена и роль других аминергических систем в обеспечении целенаправленного поведения. Так, показано, что активация норадренергической (НА-) и серотонинергической (СТ-) систем приводит к поведенческой активации и общему повышению двигательной активности [7, 8]. Вопрос же о возможном влиянии этих систем на подготовку и реализацию самоиницированных двигательных актов остается открытым.

Очевидно, что изучение роли аминергических нейронов ствола головного мозга в процессах подготовки произвольного движения, его реализации и оценки достигнутого результата является необходимым звеном в попытках интерпретировать структурно-функциональные основы организации целенаправленного поведенческого акта. Для проведения исследований в данной области нами были применены экспериментальные модели с использованием бодрствующих животных, реализующих оперантное моторное поведение [9-12], а



также модели, основанные на неинвазивной регистрации ЭЭГ-потенциалов при исполнении моторных актов у испытуемых-добровольцев разного возраста [13-14]. Целью настоящей работы явилось обобщение всей совокупности полученных данных и определение конкретной роли аминергических нейронов ствола головного мозга в организации целостного поведенческого акта.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Первая серия исследований проведена на 10 бодрствующих кошках, которые были обучены для получения пищевого подкрепления поднимать переднюю конечность, снимая ее с опорной площадки и нажимать ею на педаль. Подкреплялись лишь те пробы, при которых животное удерживало лапу на опорной площадке не менее 4.0 с, время движения (от снятия с опоры до нажатия на педаль) не превышало 1.0 с, а нажатие на педаль следовало не ранее, чем через 12 с после предыдущего. О правильности выполнения движения животного информировал условный звуковой сигнал обратной связи. Нейронную активность отводили подвижным микроэлектродом в области компактной части черной субстанции, голубого пятна, дорсального и верхнего центрального ядер шва, где расположены тела ДА-, НА-, и СТ-нейронов, соответственно. Всего зарегистрирована активность предполагаемых 50 ДА-, 61 НА- и 79 СТ-нейронов.

Во второй серии исследований приняло участие 185 взрослых испытуемых и 129 детей возраста 5-16 лет. Регистрировали связанные с событиями ЭЭГ-потенциалы (ССП) при выполнении произвольных движений. Экспериментальная парадигма включала ограниченные временными рамками, подобными примененным в исследованиях на животных, движения, и сигналы обратной связи. Все испытуемые проходили психологическое тестирование, направленное на изучение черт их личности, а также (дети) на определение особенностей развития внимания.

Подробности методики описаны ранее [9-14].

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты наших исследований показали, что нейроны аминергических систем существенно изменяют свою активность на разных стадиях целенаправленного поведенческого акта. При этом активность ДА-клеток в наибольшей степени связана с подготовкой и выполнением самоиницируемого движения. Активность основной массы НА- и СТ-нейронов оказалась наиболее тесно связана прежде всего с восприятием условных сигналов обратной связи. Отметим, что у НА-клеток, в отличие от клеток двух других групп, мощность ответов на негативные стимулы была даже выше, чем на позитивные. Самые ранние изменения активности ДА-, НА-, и СТ-нейронов на 700-900 мс опережали начало двигательного акта [9, 10, 12].

Анализируя результаты проведенных исследований и данные литературы, мы приходим к выводу, что вряд ли аминергические нейроны следует рассматривать как клетки, непосредственно инициирующие движения и управляющие двигательной реакцией. Данные нейронные системы, скорее всего, контролируют порог возбудимости необходимый для запуска поведенческого акта (в наших условиях – самоиницируемого) и формирование некоего фона, необходимого для

## РОЛЬ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА МОЗГА В ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АКТА

его целостной реализации. Реакции аминергических нейронов, значительно опережающие начало движения, могут обеспечивать активацию неокортекса, необходимую для выполнения движения в обусловленный момент времени. Таким образом, логично предположить, что аминергические нейроны изученных групп являются, вероятно, частью функциональной системы головного мозга, контролирующей временные параметры поведения.

Активационные и тормозные реакции, наблюдающиеся в период ожидания условных сигналов обратной связи и после их предъявления, вероятно, связаны с заметной ролью аминергических систем в процессах формирования памятного следа и развития эмоциональных состояний. Такие реакции могут также в определенной степени обеспечивать развивающиеся в ходе условнорефлекторной деятельности пластические изменения синаптических связей неокортекса [15].

Во втором разделе исследований, где изучались ЭЭГ-потенциалы у человека, выявлены статистически значимые корреляции между характеристиками компонентов ССП и показателями психологического тестирования личности испытуемых. Характеристики ССП оказались достоверно связанными прежде всего с показателями темперамента (эмоциональность, экстраверсия, психотизм и т. д.), которые считаются в основном врожденными, конституциональными особенностями нервной системы и связаны со свойствами эмоциональных систем мозга. Считают, что основу темперамента составляют индивидуальные различия в функционировании трех систем («борись-убегай», «торможения поведения» и «приближающего поведения»), каждая из которых имеет определенный нейрофизиологический и нейрохимический базис. Реализация деятельности этих систем во многом связана с высвобождением тех или иных моноаминов в соответствующих структурах мозга [16]. В наших экспериментах на животных показано, что ДА-, НА- и СТ-системы действительно вовлекаются в процессы подготовки и запуска произвольного движения, ожидания и приема сигнала обратной связи; нейроны этих систем демонстрируют весьма высокоспецифичные паттерны реакций.

С другой стороны, исследованные нами электрофизиологические показатели значимо коррелировали и с такими особенностями личности, которые являются во многом приобретенными, формируются под влиянием социальной среды, культуры (независимость, доминантность, мечтательность). В отношении подобных корреляций между приобретенными чертами личности и амплитудами ССП можно высказать лишь общие соображения. Мы предполагаем, что такие зависимости основаны на нейрохимических и структурных изменениях систем мозга под влиянием прижизненного опыта. Важную роль в пластических изменениях при обучении играют модулирующие влияния со стороны экстрагаламических неспецифических восходящих систем моноаминергической природы [15]. Можно предположить, что такие изменения в центральной нервной системе могут проявляться в выраженности определенных свойств личности, с одной стороны, и в индивидуальном паттерне ССП – с другой.

На рис. 1 приведена предполагаемая схема участия аминергических систем в формировании индивидуальных особенностей ЭЭГ-потенциалов и некоторых,

биологически предопределенных реакций человека и животных. Разнообразные внешние стимулы, а также внутренние потребности, обладающие побудительным действием различной значимости (горизонтальная ось справа, значимость варьирует от низкой, до высокой), активируют или тормозят импульсацию разных групп аминергических нейронов (горизонтальная ось слева, импульсация изменяется от низкой до высокой), других нейронных систем ЦНС. Вследствие этого с одной стороны запускаются разнообразные поведенческие реакции, с другой – модифицируется паттерн текущей ЭЭГ, генерируются ЭЭГ-потенциалы эндогенной и экзогенной природы.

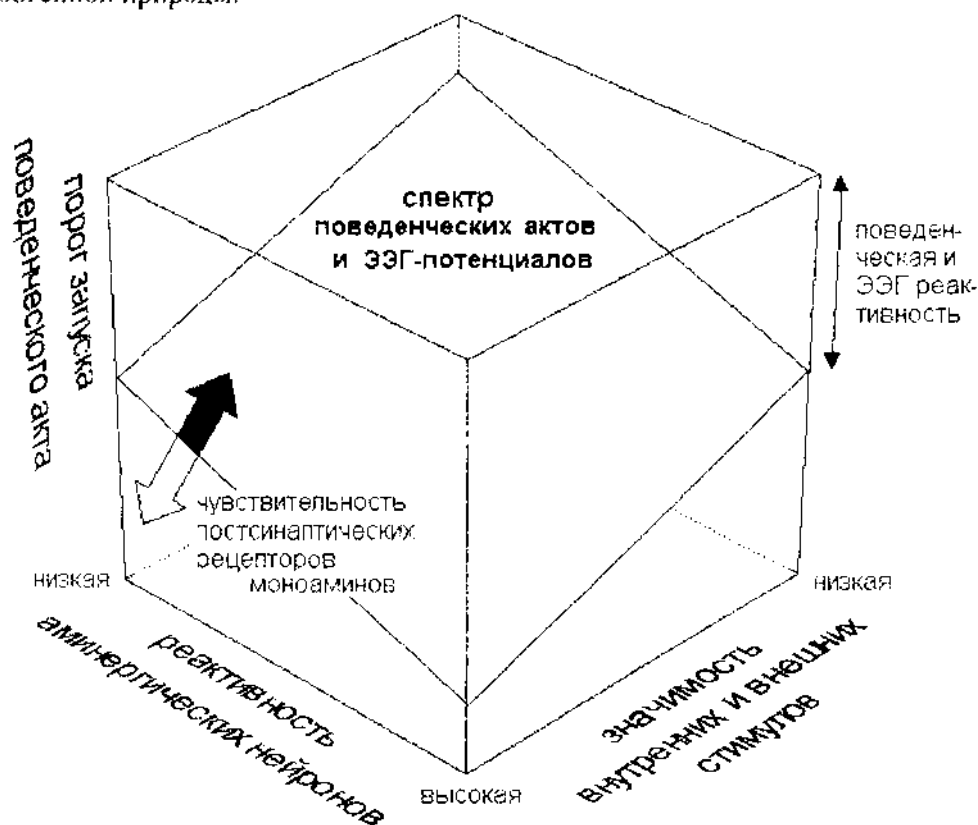


Рис. 1. Гипотетичная схема участия аминергических систем в формировании целенаправленного поведения.

Порог запуска поведенческого акта зависит от побудительной значимости стимула и изменений активности аминергических нейронов. Наклонной плоскости соответствует возникновение многообразных поведенческих реакций разной направленности и выраженности, а также сопровождающих их ЭЭГ-феноменов. Сложные криволинейные зависимости аппроксимированы линейными. Остальные пояснения в тексте.

Реакции аминергических клеток представляют важный компонент этих сложных процессов, т.к. следствием является изменение состояния

**РОЛЬ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА МОЗГА  
В ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АКТА**

---

соответствующих постсинаптических рецепторов клеток-мишеней практически во всех без исключения регионах ЦНС, в том числе и в неокортексе. При этом меняется не только возбудимость самих клеток, но и эффективность корково-корковых синапсов различной нейрохимической природы, прежде всего глутаматергических [17]. Итогом указанных процессов является изменение порогов запуска поведенческих реакций (вертикальная ось) в ответ на внешние и внутренние стимулы.

Самые низкие пороги соответствуют высокой значимости стимулов и высокой реактивности аминергических клеток. Подтверждением значения реактивности аминергических клеток для запуска самоиницируемого движения являются многочисленные корреляции между мощностью их реакций, с одной стороны, и временными интервалами между последовательными реализациями условно-рефлекторного акта, временем выполнения тест-движения у кошек, с другой [11]. Из схемы также вытекает, что чем ниже порог запуска поведенческого акта, тем выше поведенческая реактивность и изменчивость паттерна ЭЭГ-потенциалов (величина такой реактивности показана на рисунке вверху справа).

Уникальный характер поведения каждого индивида в значительной степени может быть обусловлен индивидуальными особенностями его аминергических систем и рецепторов моноаминов. Как известно, одним из важнейших качеств рецепторов моноаминов в ЦНС является их исключительное разнообразие. Указанные рецепторы могут быть ионотропными и метаботропными, различаться по механизмам и направленности управления синтезом вторичных мессенджеров, по локализации в регионах мозга и на телах клеток-мишеней. Различные типы и подтипы играют различную физиологическую роль и механизмы их воздействия на возбудимость нервных клеток ЦНС достаточно специфичны. В зависимости от принадлежности рецепторов к определенному типу и подтипу их активация приводит к разнонаправленным эффектам. Так, действие ДА на  $D_1$ - и  $D_3$ -рецепторы в основном приводит к развитию в нейронах-мишенях медленного возбуждения. В то же время активация  $D_2$ -,  $D_3$ - и  $D_4$ -рецепторов в основном является причиной развития гиперполяризации клеток мишеней [17, 18]. Связывание НА с  $\alpha_1$ - и  $\beta_2$ -рецепторами приводит к возбуждающим эффектам, а с  $\alpha_2$ - и  $\beta_1$ -рецепторами – к тормозным [8, 17]. СТ через 5-HT<sub>1</sub>-рецепторы оказывают преимущественно тормозящее действие на клетки-мишени, через 5-HT<sub>2</sub>-, 5-HT<sub>3</sub>-, 5-HT<sub>4</sub>-, 5-HT<sub>5</sub>-, 5-HT<sub>6</sub>- и 5-HT<sub>7</sub>-рецепторы – преимущественно возбуждающее влияние, быстрое у 5-HT<sub>2</sub>-рецепторов и более медленное – у остальных [17, 20, 21].

Большая или меньшая степень развития групп аминергических нейронов и их терминалей, преобладание того или иного вида рецепторов или их изоформ, особенности обмена биологически активных веществ, участвующих в обмене моноаминов наследуются или определяются прижизненным опытом (особенно ранним) [17, 21]. Эти индивидуальные характеристики аминергических систем в конечном счете являются важнейшими факторами развития определенных черт личности человека или особенностей высшей нервной деятельности животного. Таким образом, внешние и внутренние стимулы, воспринятые животным или человеком, опосредуются его уникальной нейродинамикой и приводят к



исключительно специфической поведенческой активности, варьирующей, например, от осторожного, сдержанного поведения, до импульсивного и даже агрессивного.

Важным фактором, определяющим порог запуска, специфику и выраженность поведенческой реакции является чувствительность постсинаптических рецепторов моноаминов. Многие, в том числе патологические особенности поведения, связаны не столько с количеством переносчиков в системе синаптической передачи, сколько с изменением чувствительности синаптических рецепторов [22, 23]. Сенситизация или десенситизация рецепторов моноаминов (показана стрелкой в левой части рисунка) является одним из факторов, определяющих пороговую чувствительность к побудительным стимулам и легкость генерации соответствующих поведенческих актов.

Приведенная схема иллюстрирует также связь между реактивностью аминергических нейронов, порогом запуска поведенческого акта и степенью поведенческой реактивности (стрелка справа). Так, в экспериментах на кошках было установлено [11], что чем выше мощность реакций аминергических клеток, тем раньше запускается и быстрее выполняется тест-движение. При реализациях условно-рефлекторного движения, где наблюдается подобная импульсация аминергических клеток, животное с большей вероятностью достигает оптимального результата (положительного подкрепления).

Указанная модель может быть полезна для объяснения поведенческих особенностей детей с дефицитом внимания и нейронных механизмов развития данной патологии. У таких детей может быть значительно повышен уровень фоновой активности аминергических клеток, прежде всего НА-нейронов, что не оставляет возможности указанным единицам генерировать реакции необходимой мощности при выполнении когнитивных задач. В силу избыточного уровня тех или иных моноаминов в мозгу, отмеченного рядом авторов [24, 25], может быть также снижена чувствительность рецепторов нейронов ЦНС к указанным нейромедиаторам. В итоге, пороги запуска адекватных поведенческих реакций на значимые стимулы у них повышены. Следствием подобных явлений будет снижение поведенческой реактивности, т.е. недостаточный диапазон выбора соответствующих форм поведения, неспособность направлять и контролировать процессы произвольного внимания. У детей с пониженной степенью развития произвольного внимания можно ожидать также недостаточной реактивности ЭЭГ-потенциалов, что проявляется, вероятно, в снижении амплитуд ССП, выявленном в наших исследованиях [14].

Таким образом, индивидуальные особенности поведения и паттерн ЭЭГ-потенциалов зависят от развития и состояния аминергических систем мозга. Логично предположить и обратное: об особенностях функционирования аминергических систем мозга можно судить по некоторым внешним характеристикам поведенческих актов (параметры временного интервала, продуцируемого в рамках нашей экспериментальной ситуации, время реакции), а также по особенностям выраженности отдельных компонентов ЭЭГ-потенциалов. Многие авторы подчеркивают, что генерация медленных корковых ССП в



## РОЛЬ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА МОЗГА В ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АКТА

значительной мере основывается на активации аминергических центров ствола мозга [3, 26, 27]. Указывают, что аминергические нейроны контролируют выраженность и временные характеристики средне- и длиннолатентных ВП [28], а также текущей ЭЭГ [29-30]. Данные нашего исследования являются дополнительным свидетельством в пользу участия аминергических систем в формировании индивидуального паттерна ЭЭГ-потенциалов субъекта. Так, чем выше амплитуда ССП, тем выше реактивность ДА-, НА- и СТ- систем головного мозга. Следовательно, регистрация биопотенциалов в условиях примененных нами экспериментальных парадигм может быть использована в диагностических целях в клинической, коррекционной и профориентационной работе.

### ВЫВОДЫ

1. Основная роль аминергических нейронных систем ствола мозга заключается, вероятно, в контроле порогов возбудимости, необходимом для своевременного запуска поведенческого акта (прежде всего – самоиницируемого) и формирование некоего фона, необходимого для его целостной реализации.

2. Выявленная взаимосвязь паттерна ССП с характеристиками личности испытуемых может объясняться индивидуальными различиями в активности центральных аминергических систем и в чувствительности рецепторов моноаминов разных регионов головного мозга.

### Список литературы

1. Foote S.L., Morrison J.H. Extrathalamic modulation of cortical function // *Ann. Rev. Neurosci.* – 1987. – V. 10. – P.67-95.
2. Диматский Ю.П. Морфофункциональная организация аминергических систем и их роль в моторной деятельности мозга // *Успехи физиол. наук.* – 1990. – Т. 23, № 2. – С. 3-17.
3. Rebert C., Diechl J., Matteucci M. The distribution and detection of brain slow potentials and their relationship to neuroglial activities and higher mental functions // *Slow potential changes in the human brain.* Eds McCallum W., Curry S. – N. Y., 1993. – P. 275-291.
4. Trouche E., Beaubaton D., Vialet P., Apicella P. Experimental bradykinesia in the monkey: speed control impairments after lesion of the substantia nigra // *Brain, Behav. and Evolution.* – 1989. – V. 33, № 2-3. – P. 183-188.
5. Ljunberg T., Apicella P., Schultz W. Responses of monkey dopamine neurons during learning of behavioral reactions // *J. Neurophysiol.* – 1992. – V. 67, № 1. – P. 145-163.
6. Schultz W. The reward signal of midbrain dopamine neurons // *News Physiol. Sci.* – 1999. – V.14. – P. 249-255.
7. Jacobs B.L., Fornal C.A. Serotonin and behavior. A general hypothesis // *The Fourth Generation of Progress.* Ed by F.E.Bloom & D.J.Kupfer. – N.Y.: Raven Press. – 1995. – Chapter 41. – P. 461-469.
8. Berridge C.W., Waterhouse B.D. The locus coeruleus-noradrenergic system: modulation of behavioral state and state-dependent cognitive processes // *Brain Research Reviews.* – 2003. – V. 42, № 1. – 33-84.
9. Sidiyakin V.G., Pavlenko V.B., Kulichenko A.M., Gorelova E.V., Pavlenko O.M. Activity of substantia nigra neurons in the cat brain during a self-initiated behavioral act // *Neurosci. and Behav. Physiol.* – 1998. – V. 28, № 3. – P. 238-243.
10. Павленко В.Б., Куличенко А.М. Активность нейронов голубого пятна мозга кошки при реализации самоиницируемого двигательного поведенческого акта // *Нейрофизиология / Neurophysiology.* – 2003. – Т. 35, № 1. – С. 31-39.
11. Павленко В.Б., Куличенко А.М., Великанова Д.Н., Дружинский С.В., Калин А.Ю. Взаимосвязь активности аминергических систем мозга и временной организации движений //

- Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. – 2003. – Т.16 (55), № 4. – С. 80-86.
12. Куличенко А. М., Павленко В.Б. Активность нейронов области ядер шва мозга кошки при реализации самоиницируемого поведенческого акта // *Нейрофизиология / Neurophysiology*. – 2004. – Т. 36, № 1. – С. 56-64.
  13. Павленко В.Б., Конарева И.И., Индивидуальные особенности связанных с событиями потенциалов при продуцировании временных интервалов // *Нейрофизиология*. – 2000. – № 1-2 (32). – С. 48-55.
  14. Цикалова М.В., Павленко В.Б., Луцук Н.В. Когнитивные вызванные потенциалы у детей 10-12 лет: связь с индивидуальными особенностями внимания // *Таврический медико-биологический вестник*. – 2002. – Т. 5, № 4. – С.89-92.
  15. Сторожук В.М. Система синаптических влияний на нейроны неокортекса при условном рефлексе // *Журнал ВНД*. – 1990. – № 5 (40). – С. 819-833.
  16. Грей Д. Нейропсихология темперамента // *Иностранная психология*. – 1993. – Т. 1, № 6. – С. 24-36.
  17. Gu Q. Neuromodulatory transmitter systems in the cortex and their role in cortical plasticity // *Neuroscience*. – 2002. – V. 111, № 4. – P. 815-835.
  18. Tarazi F.J. Neuropharmacology of dopamine receptors: implication in neuropsychiatric diseases // *Medical Sciences*. – 2001. – V. 3, № 2. – P. 87-104.
  19. Саченко В. В., Хоренин В. И. Серотонин и центральные механизмы моторного контроля // *Нейрофизиология / Neurophysiology*. – 2001. – Т. 33, № 3. – С. 207-224.
  20. Hoyer D., Hannon J. P., Martin G. R. Molecular, pharmacological and functional diversity of 5-HT receptors // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. – 2002. – V. 71, № 4. – P. 533-554.
  21. Benes F.M., Taylor J.B., Cunningham M.C. Convergence and plasticity of monoaminergic systems in the medial prefrontal cortex during the postnatal period: implication for development of psychopathology // *Cerebral Cortex*. – 2000. – V. 10, № 10. – P. 1014-1027.
  22. Feer H. Biologie der depressionen // *Schweiz. Arch., Neurochir. Und Psychiatr.* – 1983. – V. 132, № 2. – P. 179-185.
  23. Czachura J.F., Rasmussen K. Effects of acute and chronic administration of fluoxetine on the activity of serotonergic neurons in the dorsal raphe nucleus of the rat // *Naunyn Schmiedebergs Arch. Pharmacol.* – 2000. – V. 362, № 3. – P. 266-275.
  24. Malon M.A., Kersherer J.R., Swanson J.M. Hemispheric processing and methylphenidate effects in attention-deficit hyperactivity disorder // *J. Child Neurol.* – 1994. – V. 9, № 2. – P. 181-189.
  25. Aston-Jones G., Rajkowski J., Cohen J. Locus coeruleus and regulation of behavioral flexibility and attention // *Progress in Brain Res.* – 2000. – V. 126, № 11. – P. 155-182.
  26. Birbaumer N., Elbert T., Canavan A., Rockstroh B. Slow potentials of the cerebral cortex and behavior // *Physiological reviews*. – 1990. – V. 70, № 1. – P. 1-41.
  27. Hansenne M. Le potentiel evoque cognitif P300 (I): aspects theorique et psychobiologique // *Neurophysiol. Clin.* – 2000. – V. 30, № 4. – P. 191-210.
  28. Ambrosini A., De Pasqua V., Afra J., Sandor P.S., Schoenen J. Reduced gating of middle-latency auditory evoked potentials (P50) in migraine patients: another indication of abnormal sensory processing? // *Neuroscience Letters*. – 2001. – V. 306, № 1-2. – P. 132-134.
  29. Lubar J.F. Neocortical dynamics: implication for understanding the role of neurofeedback and related techniques for the enhancement of attention // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 1997. – V. 22, № 2. – P. 111-126.
  30. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 640 с.

Поступила в редакцию 12.12.2004 г.

**УДК 612.822.3:612.828:615.214.547.78**

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОЛОВНОГО МОЗГА И РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У КОШКИ**

*Колотилова О.И., Павленко В.Б., Кореньюк И.И., Куличенко А.М., Фокина Ю.О.*

Изучение моноаминергических систем мозга, которые делят на катехоламинергические и серотонинергическую (СТ), в настоящее время представляет большой интерес. Эти системы представлены гетерогенными популяциями нейронов, вырабатывающих несколько соединений, выполняющих функции нейротрансмиттеров и нейрорегуляторов [1, 2, 3], и участвуют в формировании эмоциональных состояний тоски, страха, агрессивного поведения, в реализации моторных и сенсорных функций, в механизмах памяти, обучения, внимания, а также принимают участие в модуляции сложных форм двигательной активности и поведенческих реакциях [4]. Еще одной функцией аминергических систем мозга является активизирующее влияние при формировании функционального состояния нейронов мозга и мощное модуляторное действие на ритмы электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [5].

Одной из катехоламинергических систем является норадренергическая (НА) система головного мозга, которая берет начало главным образом в голубом пятне (ГП) и образует широкие эфферентные проекции, которые иннервируют фактически все мозговые области [6]. Благодаря такой стратегической иннервации ГП представляет критически важный центр мозгового ствола, в котором сигналы различной природы обобщаются, объединяются, обрабатываются, коммутируются, и исключительно широко распределяются, воздействуя на разные регионы центральной нервной системы (ЦНС) [7]. Выявлено, что нейроны ГП оказывают постоянное тоническое влияние на структуры переднего мозга. Импульсная активность нейронов ГП непрерывно варьирует, однако всегда опережает на сотни микросекунд последующие изменения ЭЭГ [8, 4]. Важным изменениям в импульсации ГП крыс, предшествуют изменения в поведенческих и ЭЭГ индексах поведенческого состояния [9]. Поэтому уместно предположить существование причинных отношений между нейронной активностью ГП и поведенческим состоянием.

Тела СТ-нейронов в основном находятся в пределах ЯШ. Считают, что среди всех медиаторных систем позвоночных СТ-система самая разветвленная [10]. Наибольший интерес представляют нейроны переднего комплекса, т.к. они связаны в основном со структурами среднего, промежуточного и переднего мозга, и, следовательно, вносят определенный вклад при контроле поведенческих функций, таких как сон и бодрствование, защитные реакции. СТ нейроны, также участвуют в

регуляции сенсорного процессинга, тем самым контролируют высшие психические функции и реализацию поведенческих актов [11]. СТ-система участвует и в регуляции кровообращения, дыхания, моторных функций, выделении гормонов гипофиза, потребление пищи и воды, механизмы терморегуляции и анальгезии, изменяет чувствительность сенсорных систем, и, в частности ноцицептивной системы [3]. Искусственное увеличение концентрации СТ в коре больших полушарий кролика значительно увеличивают амплитуду дельта ритма и напротив блокируют тета ритм, это расценивается как отражение тормозных процессов [12]. Имеются данные, что у человека СТ-система также участвует в поддержании активации ЭЭГ. Так, у здоровых людей прием пищи не содержащей предшественника синтеза СТ триптофана увеличивает мощность низкочастотных и среднечастотных ЭЭГ ритмов. Однако механизмы соответствующих эффектов остаются пока не ясными.

В связи со всем выше перечисленным возникает вопрос, есть ли определенное соответствие между ритмами ЭЭГ и активностью аминергических систем мозга? Таким образом, цель нашего исследования выяснить – насколько ЭЭГ ритмы взаимосвязаны с импульсной активностью аминергических систем, и какие изменения может вызывать импульсная активность аминергических систем в паттерне ЭЭГ неокортекса.

#### **МЕТОДИКА**

Эксперименты проводились на бодрствующих не обездвиженных кошках, обоего пола, весом 2-4 кг. Животных оперировали под общим наркозом (нембутал 40 мг/кг, внутривенно). В процессе операции в мозг кошек вживляли направляющую стальную нержавеющую канюлю, кончик которой располагался в 5 мм над областью ГП. Канюля вводилась в мозг наклонно, 21° к фронтальной плоскости и 29° – к сагиттальной, для возможности поочередной регистрации активности как нейронов ГП, так и ЯШ. Нейронную активность отводили в областях ГП, имеющего координаты (Р...-1, L...2,5, H...9); и дорсального и верхнего центрального ЯШ – (Р...-1, L...0,7 H...4,5), где расположены НА- и СТ-нейроны, соответственно. Для этого использовали подвижный серебряный микропровод в стеклянной изоляции, заточенный подобно кончику инъекционной иглы. ЭЭГ регистрировали от кости черепа, с помощью поверхностно-глубинных позолоченных электродов, расположенных в лобной, теменной и в височных областях. Устанавливали следующие частотные полосы для анализа ЭЭГ: 1) 1-4 Гц (дельта-ритм); 4-8 Гц (тета-ритм); 8-13 Гц (альфа-ритм); 14-30 Гц (бета-ритм); 30-48 Гц (гамма-ритм). Все сигналы отводили и усиливали с помощью установки УФУ – БК. В условиях параллельного отведения импульсной активности аминергических систем и суммарной электрической активности неокортекса прослеживались взаимосвязанные изменения обеих показателей (Рис.1).

Исследования фоновой импульсной активности (ФИА) нейронов, преобразованной в стандартные сигналы, выполняли с помощью компьютерной программы EEG-MAPPING (программист Зинченко Е.), разработанной специально для реализации вышеописанной методики. Анализ данных проводили сравнивая параметры ЭЭГ и нейронной активности аминергических систем, при:

## ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОЛОВНОГО МОЗГА И РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У КОШКИ

ипсилатеральном, контралатеральном и среднем сагиттальном отведении ЭЭГ по отношению к регистрирующему нейронную активность электроду.

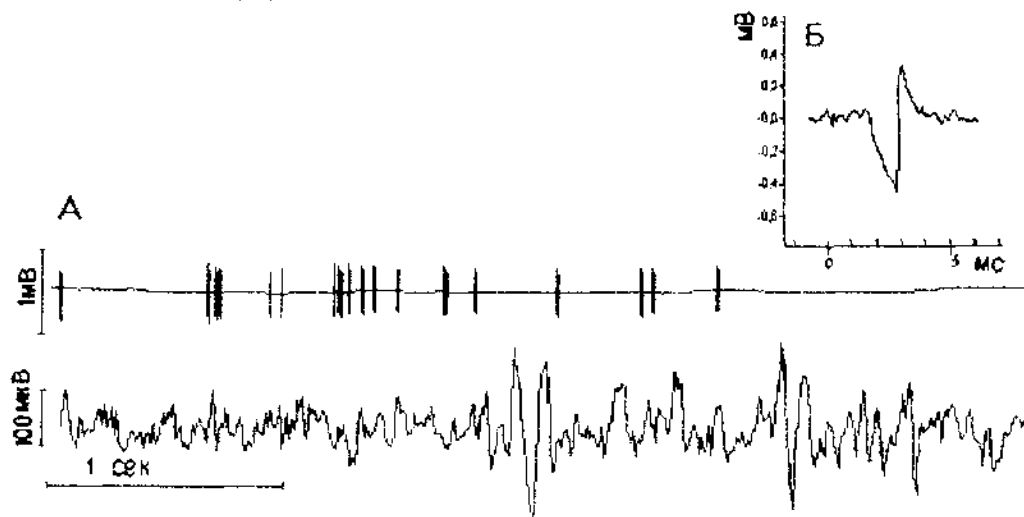


Рис. 1. А – параллельное отведение фоновой импульсной активности аминергических систем (вверху) и суммарной электрической активности неокортекса (внизу); Б – потенциал действия серотонинергического нейрона ядер шва.

Для контроля области отведения по окончанию эксперимента животных усыпляли сверх дозой нембутала, наносили электрокоагуляционные метки, затем мозг фиксировали в формалине и делали срезы на замораживающем микротоме, которые затем сверяли с атласом [13].

Статистические расчеты выполнялись с применением стандартных средств компьютерного анализа данных (программы «Statistica»). Корреляционный анализ производили с помощью непараметрического критерия Спирмана.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении исследований зарегистрирована активность 18 предполагаемых НА-, и 18 СТ–нейронов. К аминергическим клеткам исследуемые нейроны ствола мозга были отнесены на основании низкой частоты фоновой активности (до  $8 \text{ с}^{-1}$ ), полифазности, большой продолжительности ПД (до 6 мс) и соответствующей локализации в стволе мозга [8, 11] (Рис.1 Б).

#### Взаимосвязь импульсной активности ГП и ритмов ЭЭГ

Наиболее часто ФИА исследуемых нейронов ГП имели положительную корреляцию со всеми ЭЭГ ритмами (дельта-, тета-, альфа-, бета-, гамма- диапазона). На Рис.2 показана общая картина взаимосвязи ЭЭГ ритмов с нейронной активностью НА-системой мозга. Следует отметить, что наиболее часто (72%) положительные статистически значимые связи наблюдались при сопоставлении ФИА нейронов ГП с ЭЭГ, в центральном сагиттальном отведении. Среди всех локусов в наименьшей степени статистически значимая взаимосвязь с ФИА наблюдалась при ипсилатеральном отведении ЭЭГ у нейронов и составила 53%.



В целом из Рис.2 видно, что нейронная активность ГП в наибольшей степени положительно связана с тета-, альфа-, дельта- ритмами ЭЭГ.

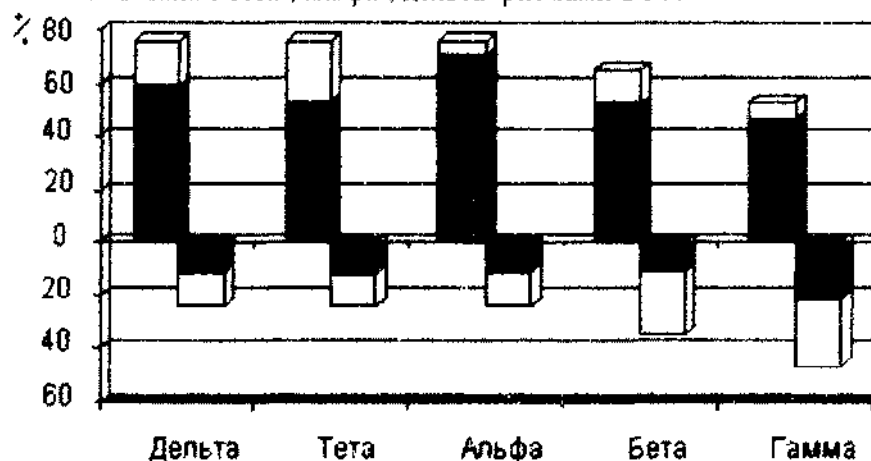


Рис.2 Взаимосвязь ЭЭГ ритмов с нейронной активностью норадренергической системы мозга в центральном сагитальном отведении. Колонки направленные вверх и вниз – отражают количество случаев с положительными и отрицательными корреляциями соответственно; затемненные участки отражают значимые корреляции.

Нами было выявлено двустороннее увеличение дельта-ритма в ответ на увеличение нейронной активности ГП. А наличие ритмической дельта активности, большинство авторов связывают с изменением характера активации со стороны стволовых образований [14]. Импульсная активность ГП рассматривается как функция цикла сон-бодрствование, с более высоким уровнем активности встречающимся в течение пробуждения чаще, чем во сне [9]. В данном случае, высокая положительная корреляция дельта-ритма с уровнем активности нейронов ГП может быть связана с некоторыми поведенческими и сенсомоторными характеристиками, а также может быть обусловлена процессами метаболизма, глубиной и ритмикой дыхания, электрическими характеристиками сердца.

Вариант изменений ЭЭГ в виде усиления альфа-ритма, также сопровождался увеличением импульсной активности нейронов ГП. Известно, что не болевые стимулы (свет, звук) почти не оказывают модулирующего влияния на фоновую ритмику нейронов ГП [3], в то время как, альфа-ритм особенно хорошо регистрируется в условиях полного покоя исследуемого, находящегося в темноте с закрытыми глазами [14, 15]. Альфа-ритм связывают с активностью таламических структур [16]. НА система может действовать прямо на кортикальные и таламические нейроны [9] и опосредовано, модулируя активность других неспецифических восходящих систем [17]. Объяснением увеличения альфа-ритма в ответ на увеличение нейронной активности ГП, может быть чередование состояний возбудимости и не возбудимости корковых нейронов, за счет волнообразных изменений метаболизма.

Что касается тета-ритма, то в яркой форме он свойственен лишь ряду животных находящихся на определенном уровне эволюции (крысы, кошки). У этих животных

тета ритм проявляется при повышенном уровне активации мозга [18]. У человека ориентировочная реакция сопровождается сменой альфа-ритма на бета-ритм, а у этих животных, она вызывает переход альфа подобной активности в тета-ритм [14]. Известно, что формирование тета ритма в неокортексе происходит с участием гиппокампальных структур, в которых циклы возбуждения и периоды возвратного торможения, имеют более медленное течение, чем в корковых и таламических структурах [15]. ГП образует восходящие проекции плотнее всего иннервируя моторную кору, теменную область и регионы зрительной коры, тем самым принимая важное участие в процессах обучения и внимания, и внося определенный вклад при формировании ориентировочного рефлекса [3, 8, 19, 20, 21]. Из подкорковых структур ГП иннервирует гиппокамп, таламус, четверохолмия, мозжечок и многие другие структуры ЦНС, которые участвуют в генерации ЭЭГ [4]. Многие авторы считают [14, 16, 18], что тета-активность может проявляться и усиливаться, при эмоциональном напряжении и связана с поисковым поведением. Считают, [15, 18] что НА-система вовлечена в механизмы обуславливания страха. Возможно, что ГП как критически важный центр с высокой иннервацией различных мозговых структур, также, оказывает воздействие и на формирование переднемозгового тета ритма у бодрствующих не обездвиженных кошек.

Наши результаты кажутся несколько неожиданными и противоречивыми т.к. показана связь низкочастотных ритмов ЭЭГ с частотой ФИА НА нейронов, в тоже время имеются данные, что прямая аппликация норадреналина вызывает торможение клеток-мишеней в результате их гиперполяризации (возможно с участием ГАМК-ергических интернейронов) [22, 23, 24].

#### **Взаимосвязь импульсной активности ЯШ и ритмов ЭЭГ**

Результаты изучения взаимосвязи ЭЭГ и частоты ФИА СТ-нейронов показали, что активность СТ-нейронов ЯШ, как и НА нейронов ГП, также положительно коррелировали со всеми ЭЭГ ритмами, но их выраженность взаимодействия была ниже. При анализе взаимодействия нейронной активности СТ-нейронов и ЭЭГ при разных отведениях, было отмечено, что наиболее тесно связан с импульсной активностью СТ-нейронов ЯШ бета-ритм (Рис.3). В целом доля СТ-нейронов, чья активность положительно коррелирует с ритмами ЭЭГ приблизительно составляла 49-78%.

Известно, что у кошки бета ритм хорошо выражен. Есть основание предполагать, что в формировании указанного ритма принимают участие не столько таламические ядра, сколько структуры РФ ствола мозга [14]. Бета ритм связан с соматическими, сенсорными и двигательными корковыми процессами. Он бывает выражен на ЭЭГ и при эмоциональном нервном напряжении, в состояниях тревоги, возбуждения, беспокойства в связи с чем полагают, что он является выражением гипервозбудимости двигательной коры или ее афферентной системы [14, 15]. Фоновая ритмика СТ-нейронов наиболее высока во время активного бодрствования, снижается во время медленного сна и почти полностью прекращается во время быстрого сна [25]. В нашем случае выявленная взаимосвязь бета ритма с ФИА нейронов ЯШ, возможно связана с усиленным выбросом серотонина. Кроме того, указанный факт свидетельствует, что активация бета-ритма может расцениваться как вероятный маркер уровня активации СТ-системы. Такое предположение

подтверждается и данными других авторов [5, 9, 17, 26]. Как отмечалось ранее, запуск активации неокортекса, по некоторым данным, может являться важнейшей функцией СТ-системы.

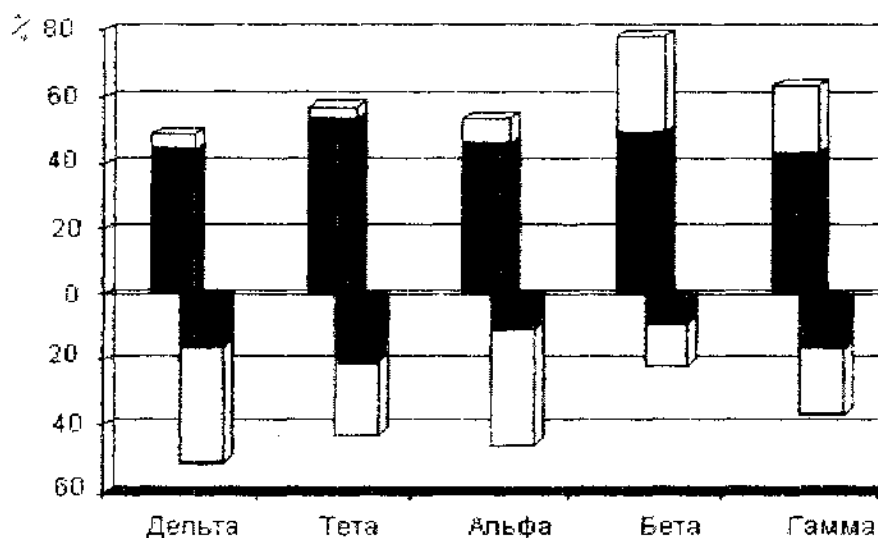


Рис.3 Взаимосвязь ЭЭГ ритмов с нейронной активностью серотонинергической системы мозга в центральном сагиттальном отведении. Колонки направленные вверх и вниз – отражают количество случаев с положительными и отрицательными корреляциями соответственно; затемненные участки отражают значимые корреляции.

### ВЫВОДЫ

1. Полученные данные свидетельствуют, что фоновая импульсная активность нейронов НА-, СТ-систем и текущей ЭЭГ взаимосвязаны. При этом обнаружено, что большая часть корреляций была положительной.

2. Текущую ЭЭГ можно рассматривать как индикатор активности моноаминергических систем мозга.

### Список литературы

1. McGeer E.G., Staines W.A., McGeer P.L. Neurotransmitters in the basal ganglia // *Can. J. Neurol. Sci.* - 1984. - 11, № 1. - P. 89-99.
2. Iversen L.L. Nonopioid neuropeptides in mammalian CNS // *Ann. Rev. Pharmacol. And Toxicol.* - 1983. - 23. P. 1-27.
3. Лимацкий Ю.П. Рефлексы ствола головного мозга. Киев: Наук. Думка - 1987. - 240 с.
4. Berridge C.W., Page M.E., Valentino R.J., Foote S.L. Effect of Locus ceruleus inactivation on electroencephalographic activity in neocortex and hippocampus // *Neuroscience.* - 1993. - V. 55, Jul. - P. 381-393.
5. Berridge C.W., Foote S.L., J. Effect of Locus ceruleus activation on electroencephalographic activity in neocortex and hippocampus // *Neuroscience.* - 1991. - Oct 11. - P. 3135 - 3145.
6. Aston-Jones G., Rajkowski J., Cohen J. Locus coeruleus and regulation of behavioral flexibility and attention // *Progress in Brain Res.* - 2000. - V. 126, № 11. - P. 155-182.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ГОЛОВНОГО МОЗГА И РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У КОШКИ**

7. Nistico G., Nappy G. Locus coeruleus, an integrative station involved in the control of several vital functions// *Funt. Neurol.* – 1993. – 8, №1. – P. 5-25.
8. Foote S.L., Morrison J.H. Extrathalamic modulation of cortical function// *Ann. Rev. Neurosci.* Vol. 10, Palo Alto, Calif.-1987.-P.67-95.
9. Berridge C.W., Espana R.A. Synergistic sedative effects of noradrenergic  $\alpha_1$ - and  $\beta$ -receptor blockade on forebrain electroencephalographic and behavioral indices // *Neuroscience.* – 2000. – V. 99, № 3. – P. 495-505.
10. Fornal C.A., Metzler C.V., Marrosu F., Ribiero-do-Valle L.E., Jacobs B.L. A subgroup of dorsal raphe serotonergic neurons in the cat strongly activated during oral-buccal movements// *Brain Res.*–1996. – 716.–P.123-133.
11. Лиманский Ю. П. Морфофункциональная организация аминергических систем и их роль в моторной деятельности мозга // *Успехи физиологических наук.* – 1990. – Т. 21, № 2. – С. 3-17.
12. Мамедов З.Г., Игнатьев Д.А. Анализ спектральных характеристик ЭЭГ коры при активации серотонинреактивных структур неокортекса// *Физиол. ж. СССР.*–1982.–68. №5.–С.705-708.
13. Reinoso-Suarez E. *Topographischer Hirnatlas der Katze für experimental-physiologische Untersuchungen.* Darmstadt. – 1961. - 411 p.
14. Частная физиология нервной системы. (В серии: Руководство по физиологии). - Л., Наука, 1983. С. 615
15. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалграфия. - Таганрог: ТРТУ, 2000. - 640 с.
16. Гусевников В.И. Электрофизиология. - М., 1976.
17. Vanderwolf C. H., McLaughlin M., Dringenberg H. C. et al Brain structures involved in the behavioral stimulant effect of central serotonin release // *Brain Res.* – 1997. - V. 772. – P. 121-134
18. Зиноградова О.С. Гиппокамп и память. - Москва, 1975. - 334 с.
19. Эдлетман Д., Маункасл В. Разумный мозг. - М.: Мир, 1981. -- 135.
20. Оленев С.П. Конструкция мозга. Ленинград Медицина -- 1987. 208 с.
21. Семешотин А.И., Майский В.А. Распределение в голубом пятне кошки норадреналинсодержащих нейронов, проецирующихся в теменную ассоциативную кору и синий мозг // *Нейрофизиология.* -- 1989. – 21, №1. – С. 112-121.
22. Segal M. Mechanisms of action of a noradrenaline in the brain // *Physiol. Psychol.* – 1985. -- 13, – №3. – P. 172-178.
23. Li Bao-Ming, Mei Zhen-Tong, Kubota Kisow. Blockade of norepinephrine-induced inhibition in task-related frontal neuronal activity by bicuculline in monkeys // *Chin. J. Physiol.* – 1992. – 8, №3. -- P. 285-289.
24. Hayar A., Feltz P., Piguet P. Adrenergic responses in silent and putative inhibitory pacemaker-like neurons of the rat rostral ventrolateral medulla in vitro // *Neuroscience.* – 1997. – V. 77, № 1. -- P. 199-217.
25. Rasmussen K, Heym J., Jacobs B., Activity of serotonin - containing neurons in nucleus centralis superior of freely moving cats // *Exp. Neurol.* -- 1984. -83, №2. – P. 302-317
26. Dringenberg H. C., Vanderwolf C. H. Involvement of direct and indirect pathways in electrocorticographic activation // *Neurosci. and Biobehav. Rev.* – 1998. – V. 22, No. 2, – P. 243-257.

*Поступила в редакцию 13.12.2004 г.*

**УДК 612.825; 616:613.6**

## **КОРРЕКЦИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВЛИЯНИЙ НАПРЯЖЕННОЙ РАБОТЫ НА КОМПЬЮТЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ЦВЕТОВЫХ ТАБЛИЦ С.-А. МАДЯРА**

*Тюнин В.Л., Мадяр С.-А., Ковалевская Е.Э., Пауленко В.Б.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что работа с применением персональных компьютеров (ПК) не только позволяет повысить производительность труда, но и является фактором риска для здоровья пользователя. Так, исследования последних лет показали, что несмотря на совершенствование видеомониторов и ПК в целом, у работников, постоянно использующих компьютеры значительно чаще развиваются заболевания органов зрения, локомоторной системы, артериальная гипертензия и неврозы, чем у лиц, не пользующихся компьютерной техникой [1]. У пользователей ПК чаще выявляются патологическое зрительное утомление, нервные и психосоматические расстройства [2]. Одним из последствий напряженной работы с применением ПК является стресс, являющийся частным случаем «технологического стресса» [3]. Подобные нарушения функционального состояния человека ведут к экономическим потерям, физическому дискомфорту, эмоциональному дистрессу [4]. Экспериментальное исследование показало [5], что даже кратковременное (в течение часа) чтение с экрана видеомонитора приводит к статистически значимому снижению степени аккомодации глаза, нарушению конвергенции зрительных осей, недостаточности зрения на близком расстоянии. Результаты этих и других [6] исследований свидетельствуют, что зрительное утомление и иные нарушения функционирования данной сенсорной системы имеют в значительной степени центральную природу. Для коррекции указанных нарушений предложены различные методы (см. обзор [7] по данной теме), в том числе перспективной является визуальная цветостимуляция с помощью цветowych таблиц (ЦТ) С.-А. Мадяра [8].

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы было изучение психофизиологического состояния испытуемых при напряженной работе с ПК и возможность коррекции неблагоприятных изменений с помощью экспозиции ЦТ. Были поставлены следующие задачи:

1. Выявить изменения основных ритмов ЭЭГ, характеристик связанных с событиями ЭЭГ-потенциалов (ССП), кардиоритма и психологических показателей, развивающихся при напряженной работе с применением ПК.

2. Проанализировать возможность коррекции неблагоприятных сдвигов психофизиологического состояния испытуемых визуальной цветостимуляцией с помощью ЦТ С.-А. Мадяра.



### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняло участие 75 взрослых испытуемых в возрасте от 19 до 35 лет, обоюбого пола, правши. Основная часть исследования проводилась по следующей схеме:

1. Регистрация исходных показателей состояния испытуемого, включающая: регистрацию текущей ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, запись электрокардиограммы (ЭКГ) для анализа динамики кардиоинтервалов, регистрация ССП (УНВ, Р300) в парадигме определения времени простой сенсомоторной реакции с предупреждением, психологическое тестирование (тест САИ).

2. Напряженная работа на компьютере в течение одного часа, включающая в себя, в том числе, заполнение вопросников и выполнение тест-заданий (тест Бурдона).

3. Запись ЭЭГ и ЭКГ, заполнение теста САИ.

4. Коррекция психофизиологического состояния испытуемого с помощью ЦТ (экспозиция 15 минут).

5. Итоговая запись психофизиологических показателей: регистрация текущей ЭЭГ в состоянии покоя (спокойного бодрствования) с закрытыми и открытыми глазами и запись кардиоинтервалов; регистрация ВП и ССП (УНВ, Р300) в парадигме определения времени простой сенсомоторной реакции с предупреждением.

Отведение и анализ ЭЭГ, ЭКГ и ССП осуществляли в центральных отделениях по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа ЭЭГ-16S («Medicor», Венгрия), лабораторного интерфейса и компьютера IBM PC. В последующем анализировали динамику R-R интервалов и рассчитывали индекс напряжения (ИН) вегетативной нервной системы по Р.М. Баевскому.

Для регистрации ССП в задаче на определение времени простой сенсомоторной реакции с предупреждением использовали программу, обеспечивающую автоматизированное предъявление пар звуковых стимулов (предупреждающего и императивного) с требованием реализации моторной реакции (нажатие на кнопку правой рукой) с максимально возможной скоростью после второго стимула в паре. Об успешности выполнения задачи испытуемый узнавал из сигналов обратной связи, предъявляемых на светодиодном табло.

Имелись две группы: экспериментальная – 38 человек, в которой для коррекции психофизиологического состояния применялись ЦТ и контрольная – 37 человек. Вслед за регистрацией исходных показателей и выполнения испытуемыми заданий на компьютере в экспериментальной группе проводилась коррекция психофизиологического состояния с помощью ЦТ. Предъявленные в экспериментах ЦТ включают в себя гармонические триады 12-ступенчатого цветового круга. Сочетания цветов размещены на площади таблиц таким образом, чтобы субъект непроизвольно перемещал свое внимание от одной триады к другой. В результате проявляются цветовые эффекты, которые и приводят к благоприятным физиологическим изменениям на уровне всего организма [8]. Экспозиция ЦТ продолжалась 15 минут. В контрольной серии испытуемые спокойно сидели в кресле на протяжении эквивалентного отрезка времени.

Для текущей ЭЭГ рассчитывали величину нормированной спектральной мощности (мкВ/Гц) каждого выделенного частотного диапазона и для каждого полушария в отдельности. Степень десинхронизации или коэффициент реактивности (КР) рассчитывали, как отношение мощности альфа-ритма при закрытых глазах к аналогичному показателю при открытых глазах, умноженное на 100. Коэффициент асимметрии (КА) альфа-ритма рассчитывали как отношение разности мощности указанного ритма левого полушария и правого полушарий к их разности, умноженное на 100. Использовали также ряд интегральных ЭЭГ-показателей: отношение мощности альфа- и тета-ритмов, бета- и альфа-ритмов.

В условиях реализации задачи на определение времени реакции между предупреждающим и пусковым сигналами развивалась УНВ, после сигнала обратной связи – Р300. Анализу подвергали значения амплитуды интегральной УНВ, амплитуд ее компонентов (О- и Т-волн) и амплитуду потенциала Р300.

Данные электрофизиологического исследования и показатели психологического тестирования количественно обрабатывались с использованием стандартных методов вариационной статистики. Для определения достоверности различий между выборками применяли Т-критерий Стьюдента.

Остальные подробности методики описаны ранее [8, 9].

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Напряженная работа на ПК приводила у испытуемых обеих групп к статистически значимому изменению показателей ЭЭГ, зарегистрированных сразу после функциональной нагрузки (табл. 1). Выявленная перестройка ритмов ЭЭГ свидетельствовала о росте напряженности в ЦНС. Признаками этого являются увеличение мощности бета ритмов и рост их соотношения с альфа-ритмами ЭЭГ. Об этом же говорит и снижение КР ЭЭГ. Очевидно, что повышенная активированность ЦНС при закрытых глазах, не обеспечивала должного уровня десинхронизации в ответ на открывание глаз после работы с ПК. В большей степени указанная активированность выявляется в левом полушарии головного мозга большинства испытуемых, что приводит к росту асимметрии альфа-ритма ЭЭГ. В то же время, в последствии функциональной нагрузки отмечается удлинение R-R интервалов и, как следствие, некоторое снижение ИН. Показатели теста САИ также свидетельствуют о некотором снижении самочувствия, активности и настроения, что согласуется с динамикой электрофизиологических показателей.

Итоговая запись психофизиологических показателей (примерно через один час после окончания работы с ПК) свидетельствовала о сохранении наметившихся сдвигов у контрольной группы испытуемых. В то же время, у испытуемых экспериментальной группы, которым после работы с ПК предъявляли ЦТ, наблюдается быстрое восстановление исходных ритмов ЭЭГ. При этом между средними значениями мощности ритмов ЭЭГ и соотношением разных ритмов у указанных групп выявлены значимые различия (рис. 1). На фрагменте 1, А цифрами обозначены нормированные мощности тета- (1, 2), альфа- (3, 4) и бета-ритмов (5, 6) левого и правого полушарий, соответственно. Из рисунка видно, что экспозиция ЦТ приводит к росту мощности тета-ритма правого полушария при закрытых глазах и к усилению альфа-ритма в обоих полушариях при открытых глазах.

**КОРРЕКЦИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВЛИЯНИЙ НАПРЯЖЕННОЙ РАБОТЫ  
НА КОМПЬЮТЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ЦВЕТОВЫХ ТАБЛИЦ С.-А. МАДЯРА**

Таблица 1. Показатели мощности (мкВ/Гц) и соотношения мощности ритмов ЭЭГ, зарегистрированных при открытых и закрытых глазах (ОГ и ЗГ), а также сердечного ритма и теста САН у 75 испытуемых до и после работы с персональным компьютером

| Показатели ритмов ЭЭГ, кардиосистемы и САН | До работы  | После работы | Уровень значимости (p) |
|--|------------|--------------|------------------------|
| Бета ритм слева (ЗГ)                       | 0.47±0,02  | 0.48±0,15    | 0.032                  |
| Бета ритм справа (ЗГ)                      | 0.46±0,02  | 0.48±0,15    | 0.001                  |
| Бета ритм слева (ОГ)                       | 0.39±0,17  | 0.44±0,13    | 0.001                  |
| Бета ритм справа (ОГ)                      | 0.38±0,17  | 0.44±0,13    | 0.000                  |
| Бета/альфа слева (ЗГ)                      | 0.41±0,01  | 0.42±0,01    | 0.008                  |
| Бета/альфа справа (ЗГ)                     | 0.39±0,01  | 0.39±0,01    | 0.292                  |
| Бета/альфа слева (ОГ)                      | 0.44±0,01  | 0.48±0,01    | 0.002                  |
| Бета/альфа справа (ОГ)                     | 0.43±0,01  | 0.43±0,01    | 0.966                  |
| КА альфа-ритма (ЗГ)                        | -0.68±0,38 | -1,89±0,43   | 0,020                  |
| КА альфа-ритма (ОГ)                        | -0.38±1,11 | -4,97±0,99   | 0,002                  |
| КР альфа-ритма (ЗГ/ОГ) слева               | 133,8±3,1  | 101,8±3,0    | 0,000                  |
| КР альфа-ритма (ЗГ/ОГ) справа              | 136,0±3,7  | 123,2±3,9    | 0,000                  |
| КИ (ОГ)                                    | 0.74±0,02  | 0.81±0,02    | 0,000                  |
| ИН (ОГ)                                    | 153,7±10,3 | 138,4±5,9    | 0,114                  |
| Самочувствие                               | 5,23±0,12  | 5,06±0,21    | 0,301                  |
| Активность                                 | 5,47±0,14  | 5,39±0,16    | 0,616                  |
| Настроение                                 | 5,65±0,14  | 5,52±0,18    | 0,291                  |

На фрагменте 1, Б представлены величины соотношений между бета- и альфа ритмами при закрытых глазах (1 – слева, 2 – справа); между бета- и альфа- (3 – слева, 4 – справа) и альфа- и тета-ритмами (5 – слева, 6 – справа) при открытых глазах. Диаграмма свидетельствует о значимом снижении соотношения бета- и альфа ритмов и следовательно о достижении большого расслабления испытуемыми опытной группы, по сравнению с контрольной. Большой прирост альфа-, по сравнению с тета-ритмом, свидетельствует о восстановлении оптимального баланса процессов возбуждения и торможения в ЦНС [10].

Графический анализ наглядно показывает характер различий в ритмическом паттерне ЭЭГ у контрольной и опытной групп, особенно в правом «эмоциональном» полушарии (Рис. 2). После функциональной нагрузки у испытуемых контрольной группы выявляется дисбаланс активности в бета- и альфа-диапазонах. Максимальные значения альфа-ритма выявляются у индивидов с максимальными значениями тета-, но не бета-ритмов. В то же время, паттерн взаимосвязи ритмов ЭЭГ у экспериментальной группы указывает на достижение оптимальных их соотношений. После экзозиции ЦГ в этой группе максимальный по мощности альфа-ритм выявляется у лиц с хорошо выраженными и тета- и бета-ритмами.

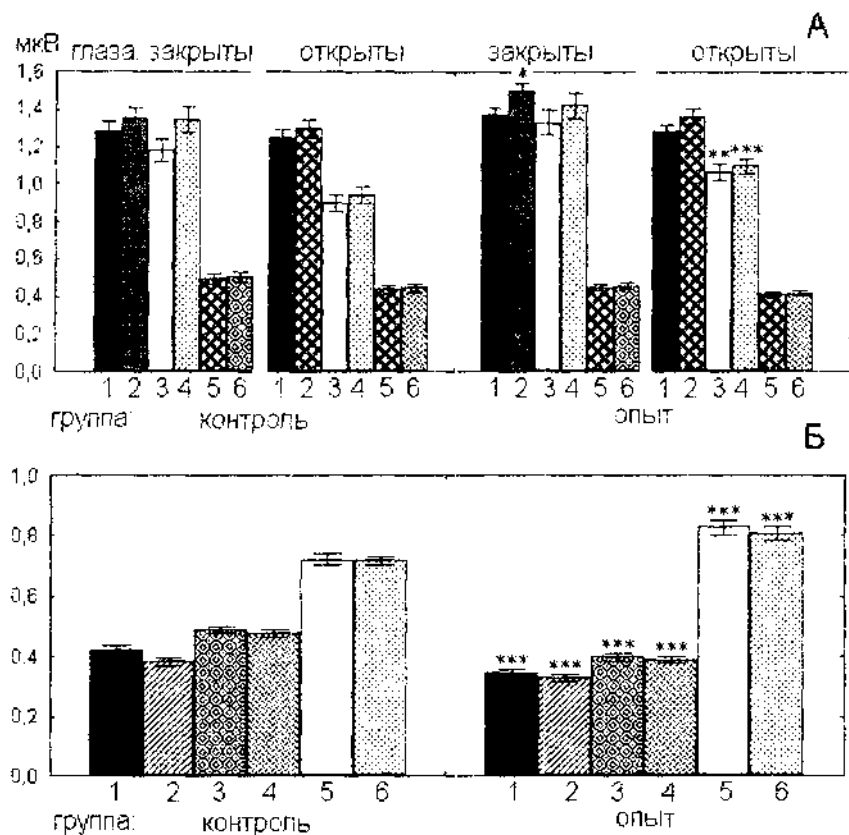


Рис. 1. Диаграммы нормированной мощности ритмов ЭЭГ (А) и их соотношения (Б) у контрольной и опытной группы при итоговой регистрации.

Здесь и далее приведены средние значения и ошибки средних. \* – различия достоверны при  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ . Остальные обозначения и пояснения в тексте.





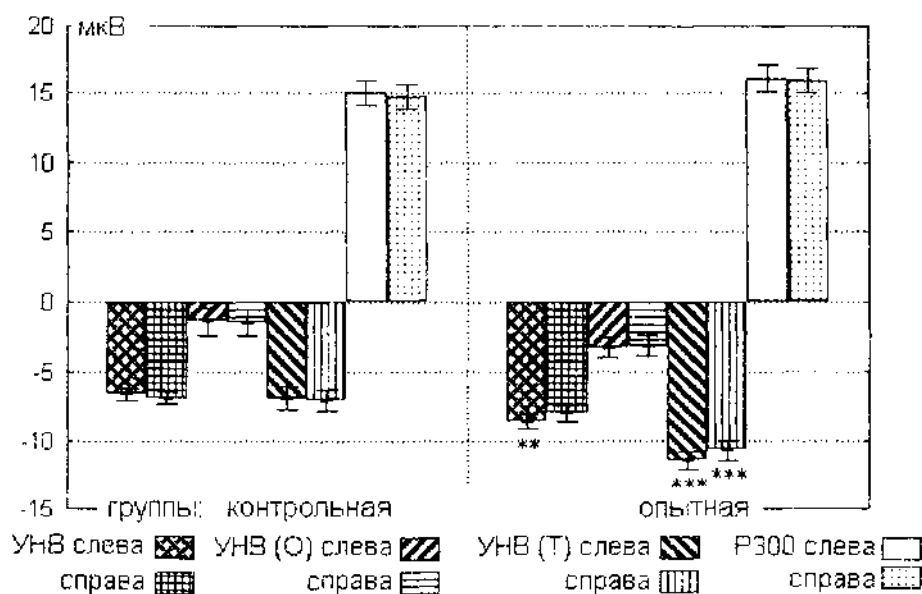


Рис. 3. Диаграммы средних амплитуд связанных с событиями потенциалов у контрольной и опытной групп при итоговой регистрации. Обозначения, как на рис. 1.

### ВЫВОДЫ

1. Напряженная работа с применением современных персональных компьютеров в течение одного часа ведет к развитию неблагоприятных изменений функционирования центральной нервной системы, отражающихся в модификации паттерна ЭЭГ-потенциалов.

2. Визуальная цветостимуляция с использованием цветowych таблиц С.-А. Мадьяра позволяет достичь более быстрого восстановления оптимального состояния центральной нервной системы.

### Список литературы

1. Bartosinska M., Ejsmont J., Tukalska-Parszuto M. Morbidity among employees working with computers // *Med. Pr.* – 2001. – V. 52, № 3. – P. 185-195.
2. Tamez-Gonzalez S., Martinez-Alcantara S. The use of personal computers and health damage in the workers of a daily newspaper // *Salud Publica Mex.* – 1993. – V. 35, № 2. – P. 177-185.
3. Arnetz B.B. Technological stress. psychophysiological aspects of working with modern information technology // *Scand. J. Work/ Environ. Health* 1997. – V. 23, № 3. – P. 97-103.
4. Lewis L.C., Mireles D.Z. Occupational health hazard: carpal tunnel syndrome // *Semin. Perioper. Nurs.* – 1997. – V. 6, № 2. – P. 105-110.
5. Trusiewicz D., Niesluchowska M., Makszewska-Chetnik Z. Eye-strain symptoms after work with a computer screen // *Klin. Oczna.* – 1995. – V. 97, № 11-12. – P. 343-345.
6. Sobieszczanska M., Salomon E., Borodulin-Nadzieja L., Pilecki W., Jagielski J., Kalka-Gebala R., Janocha A., Kalka D. The evaluation of central visual fatigue in computer terminal users by visual evoked potentials // *Neurol. Neurochir. Pol.* – 1998. – V. 32, № 6. – P. 1369-1375.

**КОРРЕКЦИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВЛИЯНИЙ НАПРЯЖЕННОЙ РАБОТЫ  
НА КОМПЬЮТЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ЦВЕТОВЫХ ТАБЛИЦ С.-А. МАДЯРА**

---

7. Топин В.Д., Павленко В.Б. Анализ неблагоприятных влияний напряженной работы на компьютере на функциональный статус человека // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – Т. 17 (56), № 1. – 82-88.
8. Мадяр С.-А., Бержанский В.Н., Шилкаревский П.В., Куличенко А.М., Павленко В.Б., Ковалевская Е.Э., Радионова Т.А., Дьяченко Е.В. Психофизиологические эффекты воздействия цветowych таблиц С.-А. Мадяра // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – Т. 17 (56), № 1 – 48-54.
9. Конарева И.Н., Павленко В.Б. Взаимосвязь ритмической активности коры мозга, вызванных потенциалов и характеристик личности // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2001. – т. 14 (53), № 1. – С. 11-15.
10. Черный С.В., Павленко В.Б. Тревожность, ее (УФ)-корреляты и возможные механизмы. – Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – Т. 17 (56), № 1. – С. 89-98.
11. Готовский Ю.В., Вышеславцев А.П., Косарева Л.Б., Перов Ю.Ф., Шрайбман М.М. Цветовая светотерапия. – М.: ИМБДИС, 2001. – 432 с.

*Поступила в редакцию 13.12.2004 г.*

УДК: 612.821:612.822.3

## СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ

*Трибрат А.Г., Макарова Л.Б., Павленко В.Б.*

Наиболее распространенным способом снятия стресса, напряженности и тревоги является медикаментозный. Создаются десятки новых фармакологических препаратов, обладающих направленным действием на различные системы мозга: снижающих активность подкорковых структур, ретикулярной формации, тормозящих кору больших полушарий. Однако, психотропные вещества, снимая психопатологическую симптоматику, нарушают нормальную деятельность мозга, препятствуют выполнению профессиональной и повседневной деятельности человека, ставят организм в зависимость от препаратов [1, 2, 3].

Практической проблемой саморегуляции состояний является гармонизация взаимоотношений с окружающим миром и самим собой, которую можно достичь благодаря активации механизмов непроизвольной и произвольной саморегуляции различного уровня, обучению способам и приемам произвольной саморегуляции, включая аутотренинг, йогу и др. Одним из методов произвольной саморегуляции психофизиологических состояний является использование биологической обратной связи, поскольку этот метод дает объективную информацию о динамике психофизиологических показателей и позволяет осуществлять дополнительный сенсорный контроль над физиологическим процессом.

Однако, несмотря на такое распространение метода в практике, до сих пор нет единых общепринятых методик, различные лаборатории и научные школы используют свои подходы. Не существует единого мнения по поводу наиболее применимых и действенных стратегий релаксации, которые ведут к успешному осуществлению данной методики [4, 5]. В основном авторы делают акцент на психическое спокойствие, физическую неподвижность и отсутствие стресса. Нет общепринятой техники ввода испытуемых в такое «рабочее» состояние при котором адаптивные перестройки наиболее успешно закрепляются.

Таким образом, актуальность изучения психофизиологических функциональных состояний определяется их вкладом в обеспечение эффективности деятельности и надежности человека. Знание индивидуального стиля саморегуляции функциональных состояний позволяет более успешно осуществлять их регуляцию и разрабатывать индивидуально ориентированные системы обучения методам саморегуляции. В связи с этим, целью нашего исследования явилось выявление основных индивидуальных

## **СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ**

стилей релаксации для достижения желаемого результата с помощью метода биологической обратной связи по ЭЭГ (ЭЭГ-ОС).

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В экспериментальном исследовании, посвященном изучению стратегий целенаправленной аутокоррекции психофизиологического состояния при помощи биологической обратной связи, принимало участие 35 испытуемых, являющихся студентами Гаврического национального университета им. В. И. Вернадского различных факультетов в возрасте от 18 до 30 лет, обоего пола. Все испытуемые были добровольцами и не находились в состоянии эмоционального стресса. Основная часть исследования проводилась по следующей схеме:

1. Проведение сеанса ЭЭГ-ОС с последующим анализом амплитудно-частотных характеристик основных ритмов ЭЭГ, дающим информацию об основных особенностях активности мозга;

2. Проведение психологической беседы, направленной на выяснение индивидуального стиля релаксации, применяемого в процессе ЭЭГ-ОС.

### **Проведение сеанса ЭЭГ-ОС**

Сеансы ЭЭГ-ОС проходили в три серии. Во время первой серии испытуемые слушали спокойную музыку, на фоне которой подавался "белый шум", интенсивность которого была постоянной и не менялась в течение всей серии; продолжительность этапа составляла 2,5 мин. Во второй серии эксперимента (5 мин) испытуемые должны были учиться управлять своим функциональным состоянием, характер которого выражался в изменении интенсивности "белого шума", менявшегося в зависимости от изменения соотношения текущих амплитуд альфа- и тета-ритмов правого полушария. Выбор полушария был обусловлен тем фактом, что правое полушарие всегда первым обрабатывает поступающую информацию; кроме того, именно правое полушарие дает первичную, «эмоциональную» оценку сигнала, тогда как левое полушарие дает «когнитивную» оценку лишь после поступления информации из правого полушария [6, 7]. Более интенсивный шум говорил о снижении амплитуды альфа-активности и/или увеличении амплитуды тета-ритма. Зависимость между интенсивностью "белого шума" и величиной отношений амплитуд этих ритмов была прямо пропорциональной. Изолиния отношений между ритмами могла произвольно меняться экспериментатором в ходе сеанса в зависимости от исходных параметров и успешности регуляции состояния испытуемым (рис. 1). Во время третьей серии предъявлялась музыка без шума, продолжительность этапа – 2,5 мин.

Отведение и анализ биопотенциалов (ЭЭГ) осуществлялись с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа EEG – 16S фирмы «Medicor», аналогового анализатора энцефалограммы, компьютера IBM PC/AT и программного обеспечения – программы «ВФВ-2» (программист Арбатов). ЭЭГ отводили монополярно, в точках С3 и С4 по системе "10-20", референтным электродом служили объединенные датчики над сосцевидными отростками черепа.

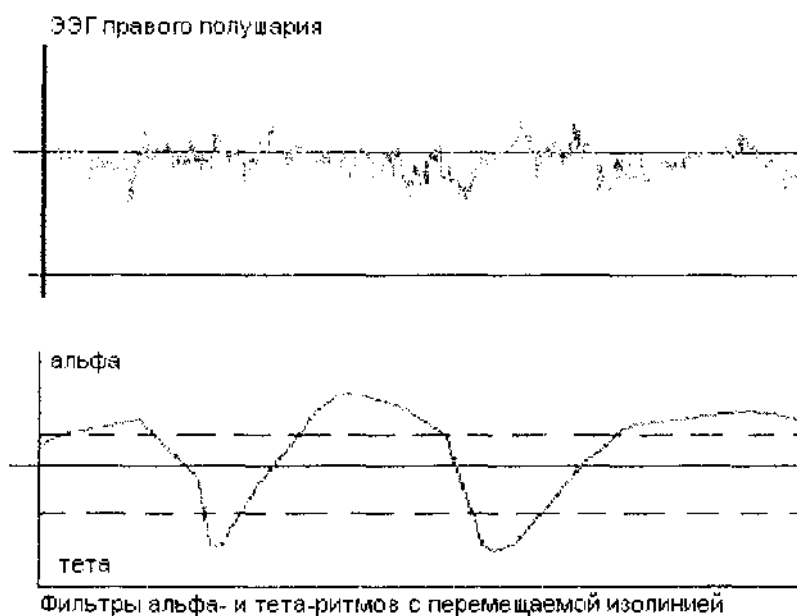


Рис. 1. Рабочая программа "BiofeedBack-2".

В верхней части рисунка показана текущая электроэнцефалограмма испытуемого Е.С. В нижней части – текущий график изменения соотношения альфа- и тета-ритмов ЭЭГ.

После наложения электродов испытуемому, находящемуся в кресле с подголовником, давался инструктаж – сидеть спокойно, расслабившись и, по возможности, не совершать никаких движений (даже глазами). Необходимость расслабления, помимо обеспечения максимального покоя испытуемого, определяется тем, что напряжение мышц, особенно головы и шеи, сопровождается появлением артефактов при регистрации ЭЭГ.

В ходе анализа ЭЭГ мы учитывали следующие частотные диапазоны: 1-4 Гц (дельта-ритм), 4-8 Гц (тета-ритм), 8-14 Гц (альфа-ритм), 14-25 Гц (бета I-ритм), 25-30 Гц (бета 2-ритм). Для текущей ЭЭГ рассчитывали величину спектральной мощности (СМ, мкВ) каждого выделенного частотного диапазона и для правого полушария.

Анализ и обработка ЭЭГ производились в реальном режиме времени на базе персонального компьютера IBM-PC/AT-586. Базы данных формировалась на основе программы "STATISTICA".

#### **Проведение клинической беседы**

После каждого сеанса ЭЭГ-ОС участнику исследования предъявлялся специально составленный вопросник, предназначенный для определения стратегии целенаправленной аутокоррекции, используемой испытуемым для наиболее успешного достижения релаксации. Для определения индивидуальной стратегии саморегуляции, направленной на достижение релаксации в ходе ЭЭГ-ОС нами был подготовлен план беседы. Он включал утверждения, используемые



## СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ

в беседе с каждым испытуемым всякий раз после прохождения ЭЭГ-ОС. Участнику эксперимента предлагалось выбрать утверждение, наиболее подходящее к его технике релаксации:

*В процессе биологической обратной связи Вы преимущественно:*

1. *Представляете спокойные образы и картины;*
2. *Стараетесь расслабить мышцы тела;*
3. *Концентрируетесь на музыке и ни о чем не думаете;*
4. *Используете другие методы расслабления.*

В результате, были выделены следующие техники релаксации:

1. Психическое расслабление.
2. Физическое расслабление.
3. Техника концентрации на музыке.

Полученные в результате психологической беседы данные обрабатывались также с помощью программы "STATISTICA".

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Участнику эксперимента предлагалось применять один и тот же способ релаксации на протяжении всех трех сеансов биологической обратной связи. На рисунке 2 представлены данные, полученные в результате проведения опроса после сеанса ЭЭГ-ОС.

Психическое расслабление люди описывали как представление спокойных образов и картин (например, лесного пейзажа, глади моря на фоне заходящего солнца, полета в небе).

В понятие физического расслабления испытуемые вкладывали субъективное ощущение потепления мышц тела, произвольное или непроизвольное снижение их тонуса.

Описание техники концентрации на музыке в основном сводилось к тому, что во время звучания мелодии испытуемые попробовали с закрытыми глазами построить на внутреннем «экране» объемную картинку, которая будет соответствовать музыкальному произведению. Испытуемые выделяли сходные по звучанию части, вариации какой-то одной мелодии, конкретный способ образования вариаций, количество тактов всей мелодии, самые высокие по тембру части и самые низкие, их взаимное расположение.

Анализ данных по ЭЭГ (таб. 1) показал, что при физическом расслаблении по прохождении сеансов биологической обратной связи, уменьшаются тета- и альфа-ритмы в левом полушарии, а дельта-, бета1- и бета2-ритмы левого полушария возрастают. В правом полушарии наблюдается уменьшение дельта- и тета-ритмов по отношению к первому сеансу и прирост альфа, бета1- и бета2-ритмов, что может свидетельствовать о включенности когнитивных процессов у испытуемых и возникновении дополнительной затраты психических ресурсов.

В происхождении бета1- ритма (16-25 Гц) непосредственное влияние имеет ретикулярная формация ствола мозга. Показано, что бета-ритм появляется в ЭЭГ при напряжении (решении математических задач или прослушивании художественных текстов), а также в процессе формирования условнорефлекторных движений [8, 9]. Бета2-ритм присутствует в ЭЭГ у лиц с

физиологическим стрессом и соопутствует развитию разнообразных вегетативных сдвигов [10, 11, 12]. Данная активность характеризует, как правило, направленное внимание.

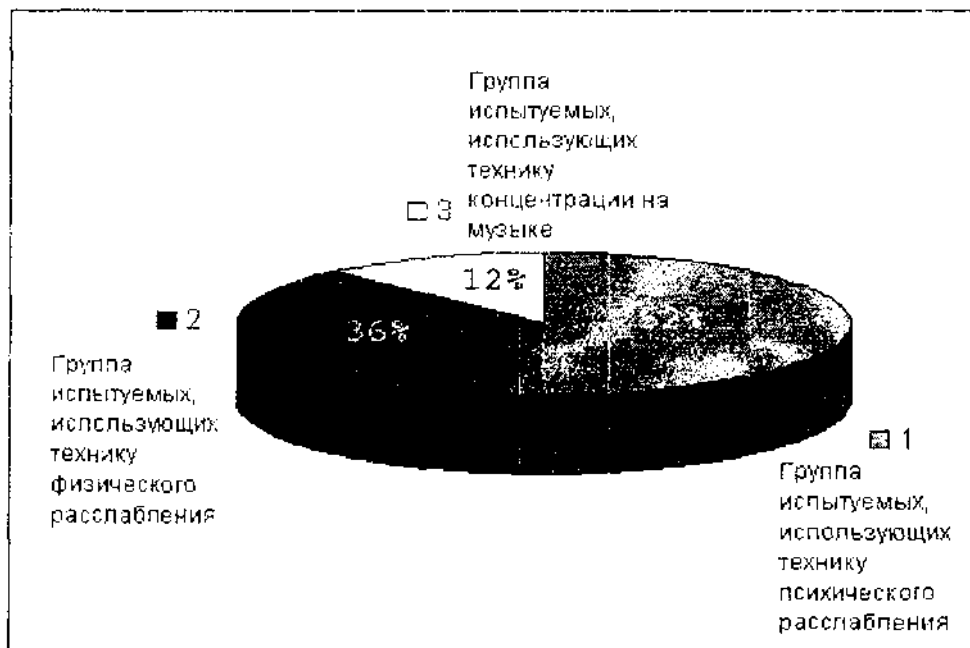


Рис. 2 Соотношение количества испытуемых, использующих различные техники релаксации.

В левом полушарии альфа-ритм по отношению к тета-ритму уменьшается, в правом – возрастает, но данные различия не являются значимыми. При психическом расслаблении видны достоверные различия показателей тета-ритма (113% при  $p \leq 0,05$ ) и альфа-ритма (120% при  $p \leq 0,05$ ) в левом полушарии с группой физического расслабления. Показатели дельта- и бета2- ритмов увеличиваются, а показатель бета1- незначительно уменьшается. В правом полушарии при использовании данной техники расслабления происходит увеличение показателей всех основных ритмов по отношению к первому сеансу.

**СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ**

Таблица 1. Изменение амплитуды ритмов ЭЭГ в последствии трех сеансов ЭЭГ-ОС 35 испытуемых, применявших разные техники расслабления

| Полушарие | Ритмы ЭЭГ | Изменение амплитуды ритмов в % |                          |                        |
|-----------|-----------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
|           |           | Физическое расслабление        | Психическое расслабление | Концентрация на музыке |
| Левое     | дельта    | 107.2 ± 21.1                   | 117.3 ± 18.4             | 128.0 ± 27.3           |
|           | тета      | 86.4 ± 7.02                    | 113.0 ± 13.0*            | 148.2 ± 37.1           |
|           | альфа     | 85.4 ± 9.0                     | 120.0 ± 16.3*            | 143.9 ± 39.7           |
|           | бета1     | 118.1 ± 20.6                   | 97.9 ± 13.5              | 110.8 ± 13.0           |
|           | бета2     | 108.0 ± 13.6                   | 104.4 ± 17.4             | 127.1 ± 56.4           |
| Правое    | дельта    | 93.8 ± 9.4                     | 127.7 ± 27.0             | 124.3 ± 17.0           |
|           | тета      | 96.3 ± 9.8                     | 145.6 ± 29.3             | 145.2 ± 43.5           |
|           | альфа     | 100.0 ± 16.8                   | 144.9 ± 26.8             | 141.5 ± 47.5           |
|           | бета1     | 103.4 ± 11.2                   | 105.6 ± 13.7             | 97.1 ± 10.0            |
|           | бета2     | 123.5 ± 30.8                   | 111.0 ± 16.7             | 72.2 ± 19.1            |

Примечания:

- приведены относительные величины ритмов ЭЭГ в %, за 100% принята исходная (до первого сеанса) мощность ритмов ЭЭГ;
- указаны средние ± стандартная ошибка средней;
- звездочкой обозначены различия с группой физического расслабления при  $p < 0.05$ .

Из таблицы видно, что при психическом расслаблении когнитивной деятельности несколько меньше, чем при физическом расслаблении, к тому же в левом полушарии наблюдается достоверное увеличение альфа-ритма по отношению к тета-ритму, что может являться показателем достижения релаксации [13, 14, 15].

При технике концентрации на музыке в левом полушарии наблюдается увеличение всех основных ритмов, а в правом – увеличение дельта, тета- и альфа-ритмов и уменьшение бета1- и бета2-ритмов. Увеличение показателя тета-ритма по отношению к показателю альфа-ритма не является значимым.

Таким образом, в ходе исследования гипотеза о том, что в процессе сеансов ЭЭГ-ОС происходит поиск индивидуального стиля саморегуляции для успешного достижения релаксации, была подтверждена, поскольку были выявлены достоверные различия по отдельным параметрам между физическим и психическим расслаблением, причем при психическом расслаблении успешность достижения релаксации очевиднее. Подобные исследования в этой области проводятся впервые, поскольку ряд авторов, сообщающих об успешности биологической обратной связи в снижении тревожности, достижении спокойного расслабленного состояния, не упоминают о психологической стороне стратегий саморегуляции с использованием ЭЭГ-ОС. Полученные результаты, касающиеся техники психического расслабления, согласуются с рядом психофизиологических исследований, посвященных изучению изменения функционального состояния мозга при помощи биологической обратной связи [16, 17, 18, 19].

## **ВЫВОДЫ**

1. Увеличение альфа- и уменьшение тета-ритмов при проведении сеансов биологической обратной связи свидетельствует об эффективности данной методики как метода освоения саморегуляции. Об этом свидетельствуют также самоотчеты испытуемых, сообщавших, что они достигали состояния комфорта, чувствовали себя спокойными и отдохнувшими.

2. В ходе исследования было обнаружено, что в процессе сеансов ЭЭГ-ОС происходит поиск индивидуального стиля саморегуляции для успешного достижения релаксации. Испытуемых можно было разделить на три группы: использующих технику психического расслабления (1); физического расслабления (2); технику концентрации на музыке (3).

3. Были выявлены достоверные различия в паттерне ЭЭГ между группами испытуемых, использующими стратегии физического и психического расслабления. Так, при «психическом расслаблении» видны достоверные различия показателей тета- и альфа-ритмов по сравнению с состоянием «физического расслабления».

4. Показано, что наиболее адекватной стратегией саморегуляции является «психическое расслабление». При этом достигается снижение тета-ритма и повышение альфа-ритма, что, как известно, соответствует спокойному, расслабленному состоянию.

5. Знание индивидуального стиля саморегуляции функциональных состояний позволяет успешнее ставить задачу испытуемым и разрабатывать индивидуально ориентированные системы обучения методам саморегуляции. Для определения индивидуальной стратегии саморегуляции, направленной на достижение релаксации необходимо комплексное исследование личностной сферы человека, как с помощью психологических методик, так и психофизиологических методов (в частности, анализа амплитудно-частотных характеристик основных ритмов ЭЭГ).

## **Список литературы**

1. Громов В. А. Фармакотерапия тревожных состояний // Материалы второй Украинской конференции по проблемам психопатологий – под ред. Калуева В. А. CSF, Киев,-1998, -С. 97 – 100
2. Макаренко Ю.А. Системная организация эмоционального поведения. М.: 1980 г.
3. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А. Отражение различных уровней регуляции активности мозга человека в спектрально-когерентных параметрах ЭЭГ // Журн. Выпш. Нервн. Деят., 1992. – т. 43. С.15–18
4. Sterman Н.В., Frias I, Supression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feedback training // EEC and Clin. Neurophysiol. - 1972. - V. 33. - P. 89.
5. Джунусова Г.С., Курманшев Р.А. Использование адаптивного биоуправления по ЭЭГ для коррекции функционального состояния неврологических больных // Физиология человека. 2002. – Т. 28, № 1. – С. 18-22.
6. Деглин В. Л., Николаенко Н. Н. О роли доминантного полушария в регуляции эмоционального состояния человека // Физиология человека, –1975. – №1. – С. 418 – 426.
7. Бадонов Л. Я., Деглин В. Л., Николаенко Н. Н. О роли доминантного и недоминантного полушарий мозга в регуляции эмоциональной экспрессии – В кн.: Нейропсихологические тексты под ред. Хомской Е. Д. Изд. МГУ, М., 1984. - С. 183 – 186.
8. Дубровинская Н.В. Нейрофизиологические механизмы внимания: Онтогенетическое исследование. – Л.: Наука, 1985. – С.144 –147.

**СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ**

9. Bradshaw J.R., Sherlock D. Bugs and faces in the two visual fields: the analytic / holistic processing dichotomy and task sequencing // *Cortex*. – 1982. – V. 18. – P. 211-226.
10. Забролин Ю.М., Лебедев А.П. Психофизиология и психофизика. – М.: Наука, 1977. С.56–68
11. Rotenberg V.S. The role of the two strategies of thinking in the process of the scientific cognition // Abstracts of the 8 International congress of logic, methodology and philosophy of science. – Moscow, 1987. – 5. – P. 310-312.
12. Sperry R., Gazzaniga M., Bogen J. Interhemispheric relationships: The neocortical commissures; syndromes of hemisphere disconnection // *Handbook of clinical neurology*. – Amsterdam, 1969. – № 3-4. – P. 273-290.
13. Стрелас В.Б., Данилова Н.Н., Корнилова И.В. Ритмы ЭЭГ и психологические показатели эмоций при реактивной депрессии // *Журнал высшей нервной деятельности*. – 1997. – Т. 47. – №1 – С. 11-21
14. Хэссел Дж. Введение в психофизиологию. – М.: Мир, 1990.
15. Sergent J., Lorber E. Perceptual categorization in the cerebral hemispheres // *Brain and Cogn.* – 1983. – V. 2. – №1. – P. 39-54.
16. Bentin Sh., Feunsod M. Hemispheric asymmetry for word perception: Behavioral and ERP evidence // *Psychophysiology*. – 1983. – V.20. – №5. – P. 489-497.
17. Fahrion SL, Walters ED, Coyne L, Allen T. Alterations in EEG amplitude, personality factors, and brain electrical mapping after alpha-theta brainwave training: a controlled case study of an alcoholic in recovery // *Alcohol Clin Exp Res.* 1992. -V.16. №3. - P. 547-552.
18. McLaughlin J., Dean P. Aesthetic preference in dextrals and sinistrals // *Ibid.* – 1983. – 21. – №2. P. 147-153. Nation, P. The value of electroencephalography in alcoholism. // *Annals of the New York Academy of Sciences*, -1973. -V.215. -P. 303-320.
19. Troup G.A., Bradshaw J.R., Nettleton N.C. The lateralization of arithmetic and number processing a review // *Int. J. Neurosci.* – 1983. – V. 19. – P. 231-242.

*Поступила в редакцию 13.12.2004 г.*



**УДК: 612.821 612.8:616.8**

## **ОТРАЖЕНИЕ ТРЕВОЖНОСТИ В КОМПОНЕНТАХ СВЯЗАННЫХ С СОБЫТИЕМ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ**

*Черный С.В., Махин С.А.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время проблема изучения тревожности стоит весьма актуально [1,2,3], в связи с чем особое внимание уделяется комплексным исследованиям в этой области, что позволяет более досконально изучить особенности возникновения этого феномена.

Тревожность описывается как определенное состояние индивида в ограниченный момент времени и является устойчивым свойством любого человека [4]; тревожность как черта личности связана с функциональными особенностями мозга человека, обуславливающими повышенный уровень эмоционального возбуждения, эмоциональной тревоги.

Личностная тревожность, взаимодействуя с повышенной ситуативной тревожностью, вызываемой различными стрессорами, приводит к усилению стресса, развитию дистресса и различным психосоматическим заболеваниям [1,2]. Неоспорима ее организующая роль как фактора интеграции психических процессов, но также не вызывает сомнения ее дестабилизирующая роль – в этом случае состояние человека определяют как невроз, психоэмоциональное напряжение и психопатология [3]. При экспериментальном изучении тревожности справедливо утверждение, что тревожность представляет собой первую стадию реализации стрессорного ответа организма, представляя собой естественную адаптивную реакцию [5].

Известно, что исследования паттернов связанных с событием ЭЭГ-потенциалов (ССП), в частности анализ таких составляющих СПП, как потенциал Р300 и коротколатентные компоненты этих потенциалов, возникающие после предъявления сигнала, характеризующего начало какого-либо действия в условиях экспериментальной ситуации, – позволяют определить динамику функционального состояния головного мозга, определить пластичность нервной системы, уровень подготовки к действию и т.д. Таким образом, регистрация показателей компонентов связанных с событием ЭЭГ-потенциалов является информативным методом изучения реакций центральной нервной системы в ответ на внешние воздействия.

Задачей настоящего исследования явилось сопоставление характеристик СПП и показателей психологического тестирования, направленного на выявление уровня тревожности.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании принимали участие 81 человек в возрасте 18-25 лет, обоего пола, правши.

## ОТРАЖЕНИЕ ТРЕВОЖНОСТИ В КОМПОНЕНТАХ СВЯЗАННЫХ С СОБЫТИЕМ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ

Связанные с событием ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно, с расположением электродов по системе «10-20». Локализация электродов была следующей:

- 1) С3 – левый центральный;
- 2) С4 – правый центральный;
- 3) два объединенных референтных электрода над сосцевидной костью черепа (позади уха);
- 4) заземляющий электрод на запястье левой руки.

Для регистрации ССП мы подвергли модификации два канала ЭЭГ-16S, что обеспечило постоянную времени 10 с и верхнюю границу полосы пропускания 30 Гц. Частота оцифровки сигнала составляла 100 с<sup>-1</sup>. Для регистрации ССП в задаче на определение времени простой сенсомоторной реакции с предупреждением использовали программу, обеспечивающую автоматизированное предъявление пар звуковых стимулов (предупреждающего и императивного) с требованием реализации моторной реакции (нажатие на кнопку правой рукой) с максимальной возможной скоростью после второго стимула в паре: общий вид ССП представлен на рис. 1.

Испытуемый располагался в удобном кресле в затемненной экранированной камере. Табло, на которое выводился сигнал обратной связи от компьютера, представляло собой светодиодную матрицу размером 5 x 5 см, находящуюся на одном уровне с глазами испытуемого на расстоянии 1,5 м. Для минимизации артефактов, связанных с движениями глаз, испытуемый должен был фиксировать взгляд на находящемся в центре табло включенном светодиоде. Контактная кнопка находилась в правой руке.

### Структура эксперимента

После наложения электродов проводили вводный инструктаж, в котором испытуемому рассказывали о задаче, которую он должен был решать, а также информировали о мерах предосторожности, которые необходимо соблюдать для минимизации артефактов при записи ЭЭГ.

Испытуемый должен был как можно быстрее реагировать на предъявляемые стимулы. Звуковые сигналы, на которые реагировал испытуемый, подавали через динамики, размещенные внутри камеры: интервал между подачей пар сигналов варьировался экспериментатором случайным образом в пределах 5-15 с. В качестве первого (предупреждающего) стимула использовали тональную посылку длительностью 100 мс с частотой заполнения 2000 Гц. Второй (императивный) стимул представлял собой посылку с частотой 1000 Гц. Он предъявлялся через 2 с после предупредительного стимула и прекращался испытуемым путем нажатия на кнопку. Вероятность предъявления императивного сигнала составляла 0,7.

Об успешности выполнения задачи испытуемый узнавал из сигналов обратной связи, предъявляемых на светодиодном табло. Сигнал обратной связи (длительность 1 с) включался через 1 с после подачи императивного сигнала. Сигнал в виде вертикальной черты соответствовал времени реакции (ВР) меньше 180 мс., т.е. успешному выполнению задачи. Сигнал в виде горизонтальной черты указывал на большие значения времени реакции.

Кроме того, каждый испытуемый выполнял психологические тесты на определение уровня тревожности – тест тревожности Спилбергера – Ханина, а также тест госпитальной тревожности и депрессии (HADS), из которого в рассмотрение бралась шкала тревожности.

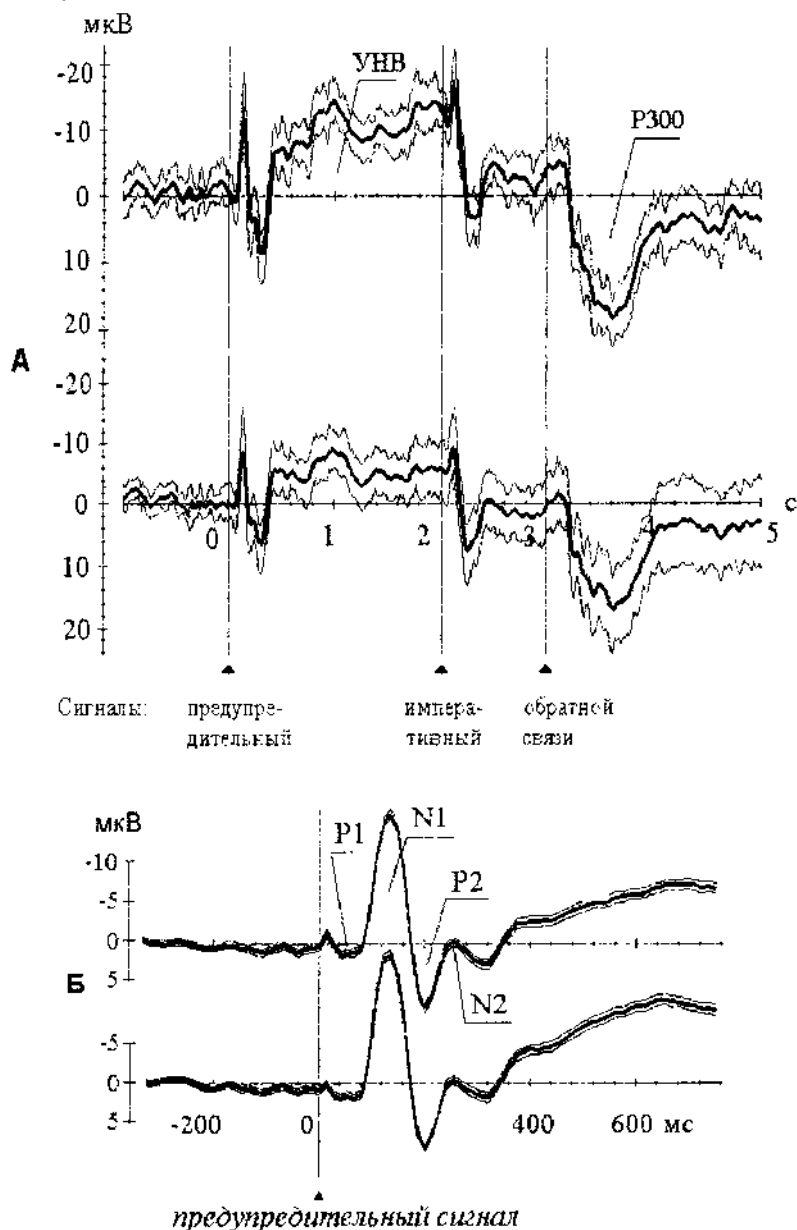


Рис. 1 Общий вид компонентов слуховых связанных с событием потенциалов на определение времени простой аудиомоторной реакции (А) и их коротколатентных компонентов (Б).

## ОТРАЖЕНИЕ ТРЕВОЖНОСТИ В КОМПОНЕНТАХ СВЯЗАННЫХ С СОБЫТИЕМ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления связей между параметрами ССП и результатами психологического тестирования рассчитывали коэффициент ранговой корреляции по Спирмену. Как следует из таблицы 1, корреляции между паттернами ССП и результатами психологического тестирования имеют достоверные значения, из чего можно сделать вывод о связи между исследуемыми признаками.

Таблица 1 Коэффициенты корреляции параметров ССП с показателями психологического тестирования

| Параметры   | Коэффициент корреляции, уровень значимости |
|---|--|
| Время простой аудиомоторной реакции – показатели по шкале «личностная тревожность»  | 0,23<br>(0,03)                             |
| Латентный период потенциала P300 правого полушария в ответ на предъявление сигнала о неуспешности действия – показатели по шкале «личностная тревожность» | -0,27<br>(0,02)                            |
| Латентный период потенциала P300 правого полушария в ответ на предъявление сигнала о неуспешности действия – показатели по шкале «тревожность» теста HADS | -0,33<br>(0,03)                            |
| Латентный период компонента N2 левого полушария – показатели по шкале «тревожность» теста HADS-   | 0,27<br>(0,05)                             |
| Латентный период компонента N2 правого полушария – показатели по шкале «тревожность» теста HADS-  | 0,28<br>(0,05)                             |

Положительная корреляция между временем простой аудиомоторной реакции и показателями по шкале «личностная тревожность» опросника Спилбергера-Ханина (Рис. 2) говорит о более длительном процессе обработки информации испытуемыми с повышенной тревожностью. Как известно, реализация какого-либо действия подразумевает под собой совокупность целого ряда связей, обеспечивающих отношения между различными системами мозга, – сенсорными, когнитивными, моторными [6].

Известна скорость проведения импульсов в разных системах; она зависит от типа волокон (миелинизированные или немиелинизированные), количества участков синаптической передачи импульса, и пр. Изменение скорости передачи свидетельствует об изменении пластичности связей, которые обеспечивают, в данном случае, реализацию моторного ответа.

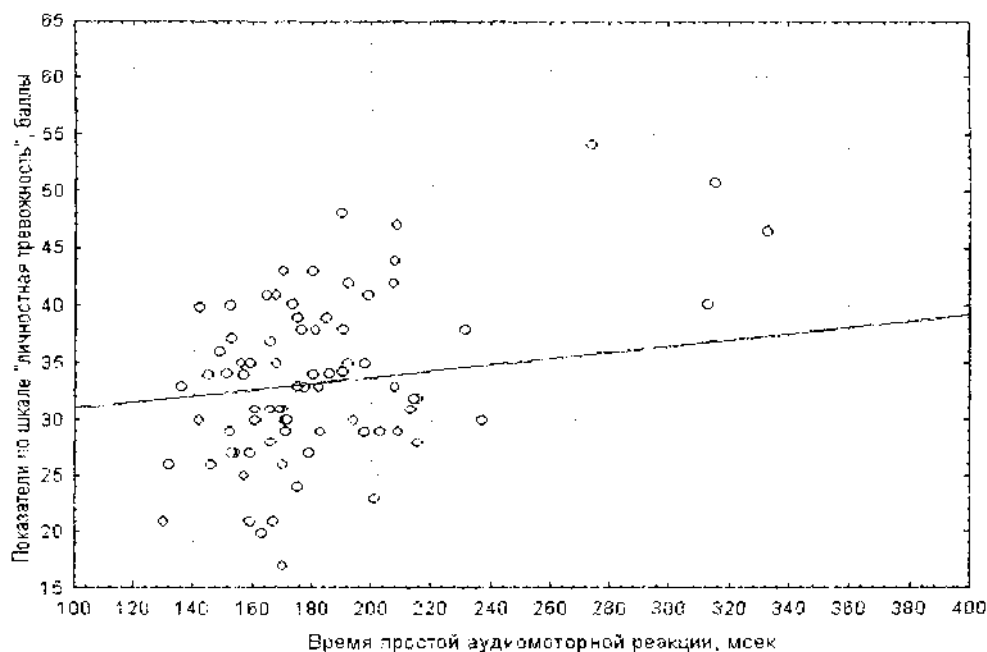


Рис. 2 Связь показателей времени простой аудиомоторной реакции с показателями по шкале «личностная тревожность» опросника Спилбергера – Ханина

Наличие отрицательной корреляции между величиной латентного периода потенциала P300 правого полушария в ответ на предъявление сигнала о неуспешности действия и показателями личностной тревожности по опроснику Спилбергера-Ханина, а также значениями по шкале «тревожность» теста HADS (Рис. 3) говорит о более выраженной реакции (снижение латентного периода потенциала P300) наиболее высокотревожных испытуемых на данные сигналы. Это говорит о снижении времени, необходимого для переработки наиболее значимой информации, и придании этой информации определенной эмоциональной окраски, говорящей об адекватности выполнения задания.

Как известно, правое полушарие всегда первым обрабатывает поступающую информацию; кроме того, именно правое полушарие дает первичную, «эмоциональную» оценку сигнала, тогда как левое полушарие дает «когнитивную» оценку лишь после поступления информации из правого полушария [5, 7]. Известно, что P300 – положительное колебание, возникающее в ответ на релевантный, значимый для испытуемого стимул. Предполагается, что P300 отражает процесс перехода от одной стадии поведения к другой, реорганизации мысленного образа, активацию кратковременной памяти [8]. Исходя из этого, можно предположить, что для тревожных людей наиболее значимой оказывается информация о неуспешном действии, нежели об успешном.



### ОТРАЖЕНИЕ ТРЕВОЖНОСТИ В КОМПОНЕНТАХ СВЯЗАННЫХ С СОБЫТИЕМ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ

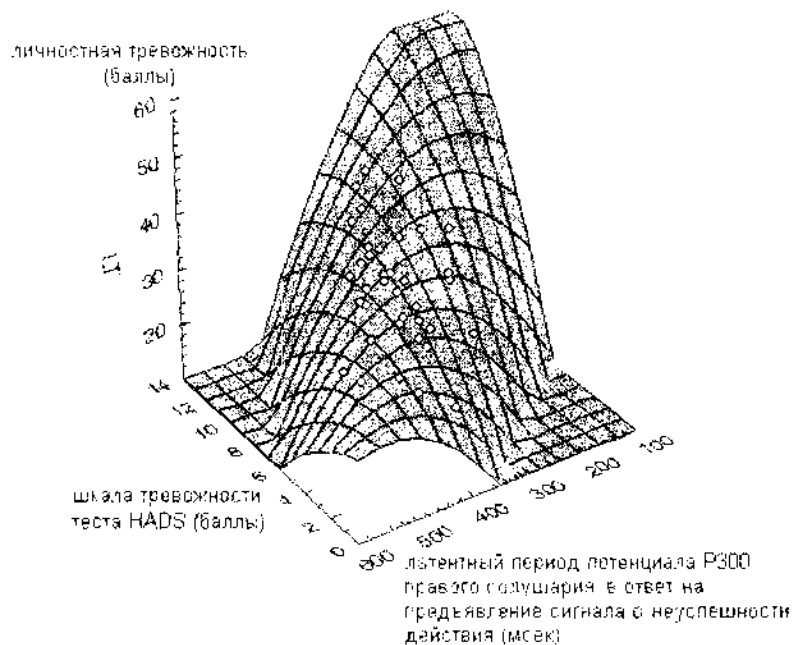


Рис. 3. Взаимосвязь между величиной латентного периода потенциала P300 правого полушария в ответ на предъявление сигнала о неуспешности действия и показателями по шкале «личностная тревожность» опросника Спилбергера-Ханина и шкале тревожности опросника HADS.

Выявленная отрицательная корреляция между латентным периодом компонента N2 в правом и левом полушариях и показателями по шкале тревожности опросника HADS говорит об избыточности восходящих активирующих влияний со стороны стволовых структур на кору больших полушарий [9, 10]. Необходимо принять во внимание тот факт, что указанный компонент наиболее выражен в ответ на неожиданные стимулы [11, 12] и зависит от информационной нагрузки стимула [13]. Исходя из этого, вполне обоснованным выглядит утверждение, что у высоко-тревожных испытуемых обработка сигнала начинается достаточно рано, однако сам процесс обработки информации занимает значительное время, о чем свидетельствует указанная выше связь показателя тревожности со временем аудиомоторной реакции [14].

#### ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты свидетельствуют о тесной связи между тревожностью и паттернами связанных с событием ЭЭГ-потенциалов;
2. У высоко-тревожных испытуемых обработка сигнала начинается рано, однако сам процесс обработки информации занимает значительное время.

### Список литературы

1. Афтанас Л. И., Лотова Н. В., Кошкарров В. И., Махин В. П. Центральные линейные и нелинейные корреляты индивидуальных стилей переживания тревожности. // Бюллетень СО РАМН. – 1998. – №2, – С. 128 – 144, 156, 161.
2. Спилбергер Ч. Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревоги. //Стресс и тревога в спорте. М., – 1983.
3. Абрамов Ю. Б. Стресс и его патогенетические механизмы. //Материалы Вессовозного симпозиума. Кишинев, –1973. – С. 46 – 47.
4. Калуев А. В. Проблемы изучения стрессорного поведения. Киев. – 1998. – 133 с.
5. Деглин В. Л., Николаенко Н. Н. О роли доминантного полушария в регуляции эмоционального состояния человека //Физиология человека. –1975. – №1. – С. 418 – 426.
6. Рутман Ю.М. Вызванные потенциалы в психологии и психофизиологии - М., 1979, -216 с
7. Балолов Л. Я., Деглин В. Л., Николаенко Н. Н. О роли доминантного и недоминантного полушарий мозга в регуляции эмоциональной экспрессии – В кн.: Нейропсихологические тексты под ред. Хомской Е. Д. Изд. МГУ, М., 1984. - С. 183 – 186.
8. Polich J. "P300 in clinical applications: meaning, method and measurement // Amer. J. EEG technol. – 1991. - V. 31, No. 3. – P. 201-231.
9. Серков Ф.Н. Электрофизиология высших отделов слуховой системы. – Киев: Наукова думка, 1977. – 215 с.
10. Гнездинский В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 640 с.
11. Pascalis V., Fiore A., Sparita A. Personality, event-related potential and heart rate: an investigation of Gray's theory // Person. Individ. Diff. – 1996. V. 20, № 6. – P. 733-746.
12. Daffner K., Mesulam M., Scinto L., Cohen L. et al. Regulation of attention to novel stimuli by frontal lobes: an event-related potential study// Neuroreport. – 1998. – V. 9.– No. 5.– P. 787-791.
13. Гаркавенко В.В., Лиманская Л.И., Васильева Р.А., Ващенко Е.А. Влияние интенсивности стимуляции на вариабельность и взаимосвязь некоторых поздних компонентов соматосенсорного вызванного потенциала у человека // Физиологический журнал. – 1990. – Т. 36, № 6. – С. 23-27.
14. Giedke H., Bolz J., Heimann H. Skin resistance variables, acoustically evoked potentials, and contingent negative variation in depressed patients and healthy controls // Arzneimittel – Forsch. – 1980. – № 8 (30). – P. 1197.

*Поступила в редакцию 13.12.2004 г.*

УДК 591.11:547.78

## ВЛИЯНИЕ БЕМИТИЛА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС

*Коренюк И.И., Гамма Т.В., Бавевский М.Ю., Подмарева И.Р.*

### ВВЕДЕНИЕ

Бемитил – новое психотропное средство, которое в настоящее время разрешено к медицинскому применению в психиатрической практике, обладает метаболическим типом действия [1]. В основе такого действия бемитила лежит его положительное влияние на процессы окисления и энергообразования [1, 2]. Установлено также, что в зависимости от концентрации препарата в крови и его фармакокинетических параметров у больных в спектре психотропной активности проявляется либо мягкое психостимулирующее и антиастеническое действие, либо транквилизирующее, при котором наряду с ослаблением астении наблюдаются снижение уровня тревоги, степени эмоциональной лабильности, раздражительности и нарушения сна – основных симптомов невротических расстройств [2].

Ранее в экспериментах на нейронах моллюска нами было установлено [3], что бемитил оказывает угнетающий нейротропный эффект на электробиогенез нейронов. Очевидно, что установленный эффект должен находить свое отражение и в поведении животных. В связи с этим, представлялось интересным выяснить оказывает ли бемитил при системном введении в организм влияние на нервную систему высших животных, а именно на физиологическую реакцию крыс.

### МЕТОДИКА

Эксперименты были проведены на 20 белых беспородных крысах-самцах массой 180-220 г, которых содержали в помещениях, имеющих хорошую вентиляцию, достаточное освещение и равномерную температуру (20-22 °С). Влажность в помещении не превышала 40-45 %. Животных кормили вечером после проведения эксперимента. Доступ к воде не ограничивался.

Оценка влияния бемитила и физиологического раствора на активность животных проводилась с помощью теста «открытого поля» (ОП), который находит широкое применение в исследованиях интегральных функций мозга и позволяет оценить целостную физиологическую реакцию животного на те или иные воздействия [4-6]. Тестирование проводилось при освещенности 90 Лк на площадке с начерченными 21 квадратом, на которых в шахматном порядке были расставлены фишки. При этом регистрировали:

- горизонтальную двигательную активность (ГДА) по числу горизонтальных пересечений линий, засчитывающихся при переходе линии всеми четырьмя лапами;

- вертикальную двигательную активность (ВДА) по числу подъемов на задние лапы;
- исследовательскую активность (ИА) по числу заглядываний и обнюхиванию фишек;
- груминговые реакции (Гр) по числу очистительных реакций;
- число дефекаций (Дф) по количеству фекальных болтосов;
- число урэнаций (Ур).

Для эксперимента были отобраны крысы со средней двигательной активностью [7], которые были разделены на две группы по 10 крыс. Первоначально в ОП регистрировали показатели поведенческой реакции животных обеих групп, не подвергая их воздействию препаратов (фон). Затем одной группе животных вводили по 0,2 мл физиологического раствора (плацебо), а другой – по 0,2 мл бемитила в дозах 50, 100 и 150 мг/кг. Введение растворов осуществлялось по [8] следующим образом: вначале однократно инъецировали тестируемый раствор и в течение 5 дней через 1,5, 3, 24, 27, 30, 48, 51, 72, 75 и 120 ч от момента инъекции регистрировали параметры активности крыс. Затем делался двухдневный перерыв, после которого животным также однократно вводили бемитил в дозе 100 мг/кг и аналогично осуществлялась процедура эксперимента при дозе бемитила и 150 мг/кг. Кроме того, для выяснения изменялось ли после инъекций физиологического раствора и бемитила пищевое и питьевое поведение за крысами велось наблюдение в условиях вивария.

Обработка результатов проводилась с использованием непараметрических критериев Крускала-Уоллиса и Фридмана в программе Statistica 5.0.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

При сравнении фоновых показателей поведенческой реакции животных с таковыми показателями после введения плацебо достоверных изменений не обнаружено. Анализ данных после введения бемитила показал, что тестируемое вещество в диапазоне применяемых доз вызывает однонаправленного угнетающего характера эффекты, выраженность которых была различной (рис. 1-3).

Так, в дозе 50 мг/кг бемитил достоверно угнетал показатели ГДА (рис. 1). Из рисунка видно, что через 1,5 ч от момента инъекции бемитила значительно снизилась ГДА и через 3 часа достигла максимума, то есть равнялась  $1,4 \pm 0,7$  ( $p < 0,006$ ) по сравнению с  $20,4 \pm 4,3$  в фоне.

Кроме того, угнетение физиологической реакции животных выражалось и в снижении ВДА, ориентировочно-исследовательской активности и эмоционального статуса. Так, значительно снизились ВДА (от  $3,4 \pm 1,5$  до 0 ( $p < 0,03$ )), ИА (от  $9,4 \pm 3,0$  до  $3,4 \pm 0,9$ ), Гр (от  $1,6 \pm 0,5$  до  $1,2 \pm 0,2$ ) и Деф (от  $1,8 \pm 1,5$  до  $0,8 \pm 0,4$ ). Для показателей Ур отмечена тенденция их увеличения (от  $0,2 \pm 0,1$  до  $0,6 \pm 0,4$ ). В дальнейшем происходило постепенное восстановление поведенческой активности животных до фонового уровня. Причем, к пятым суткам наблюдалась тенденция к увеличению ГДА до  $25 \pm 5,6$ , ВДА – до  $4,6 \pm 1,7$ , ИА – до  $15,4 \pm 4,05$ , Гр – до  $2,4 \pm 1,1$ , Ур – до  $0,6 \pm 0,2$ , а количество Деф снизилось до  $1 \pm 0,2$  по сравнению с исходным. Следует указать и на то, что в первые сутки от момента инъекции бемитила в дозе 50 мг/кг у всех

## ВЛИЯНИЕ БЕМИТИЛА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС

исследуемых крыс наблюдалось отсутствие интереса к еде и питью, повышенная сонливость, отсутствие перемещений по клетке. На вторые сутки наблюдений появился слабый интерес к питью, а на третьи сутки появился интерес и к еде.

Поскольку к пятым суткам происходило восстановление исходных показателей поведенческой активности животных, то этим же крысам вводили бемитил в дозе 100 мг/кг. При этом, в течение первых суток отмечено достоверное снижение показателей ГДА до  $7.9 \pm 2.3$  ( $p < 0.03$ ) от исходных  $25 \pm 8.3$  (рис. 2) и максимальный эффект отмечался уже через 1.5 часа от момента инъекции. Наблюдалась тенденция и к снижению ВДА (от  $4.6 \pm 1.7$  до  $0.2 \pm 0.1$ ), ИА (от  $15.4 \pm 4.5$  до  $6.6 \pm 1.5$ ), Гр (от  $2.4 \pm 1.1$  до 0), Деф (от  $1.1 \pm 0.1$  до 0) и Ур (от  $0.6 \pm 0.2$  до  $0.2 \pm 0.1$ ). На третьи.

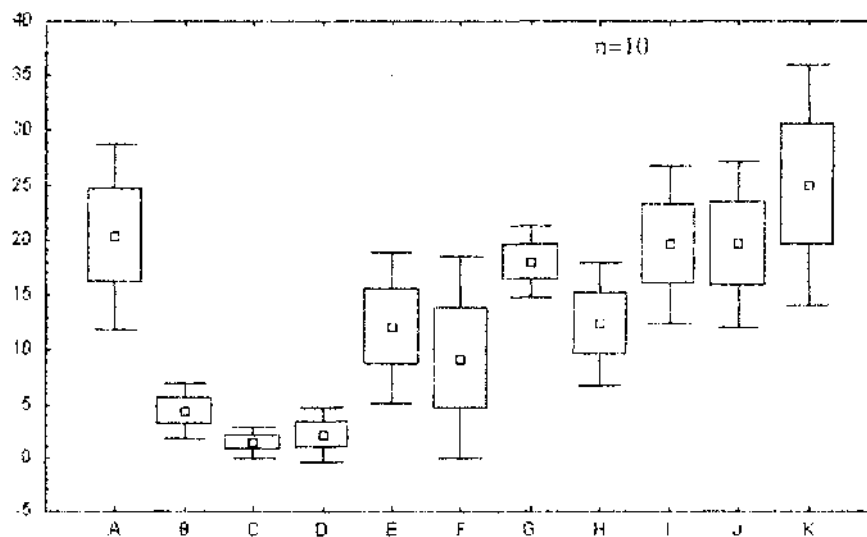


Рис. 1. Динамика горизонтальной двигательной активности после введения бемитила в дозе 50 мг/кг на крыс:

А – фоновая активность, В-К – 1.5, 3, 24, 27, 30, 48, 51, 72, 75 и 120 ч от момента инъекции соответственно.

По оси абсцисс – время, по оси ординат количество пересеченных квадратов.

четвертые и пятые сутки наблюдаемые показатели как и при дозе 50 мг/кг постепенно приближались к фоновым (рис. 2).

Анализ пищевого и питьевого поведения показал, что после применения бемитила в дозе 100 мг/кг отсутствовал интерес к еде и питью, наблюдалась повышенная сонливость, отсутствие перемещений по клетке. Крысы начинали проявлять слабый интерес к питью только к концу вторых, началу третьих суток после инъекции.



Следует отметить, реакция животных на бемитил в этой дозе была менее выраженной, чем при дозе 50 мг/кг. По-видимому, данный факт обусловлен адаптационными механизмами. В связи с этим следует напомнить, что существует два качественно различающихся подхода к адаптации к экстремальным неадекватным условиям: путем повышения резистентности (сопротивляемости, устойчивости) и посредством увеличения толерантности (переносимости, выносливости) [9, 10]. Мы полагаем, что в нашем случае, по-видимому, могли быть задействованы оба вышеописанных механизма адаптации.

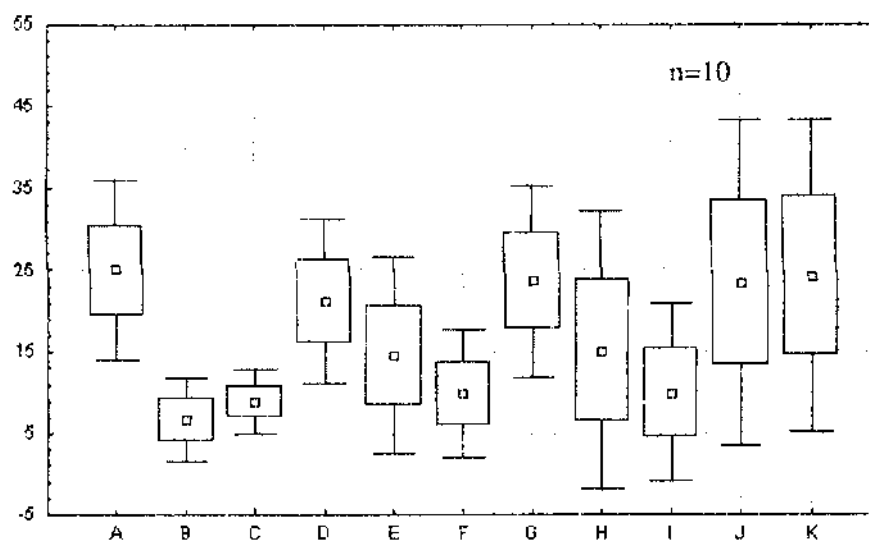


Рис. 2. Влияние бемитила в дозе 100 мг/кг на ГДА крыс: Обозначения такие же как на рис. 1.

Необходимо указать на «лобочный эффект бемитила, сопровождающий его основное действие. Так, на четвертые сутки от момента введения вещества в дозе 100 мг/кг у 40 % животных в месте укола наблюдалась перфорация передней брюшной стенки. При обработке раны стрептоцидом и бриллиантовым зеленым через 25-30 дней происходило ее заживление. Однако эти крысы в дальнейшем эксперименте уже не использовались.

После инъекции оставшимся шести крысам бемитила в дозе 150 мг/кг поведенческая реакция животных была наиболее четко выраженной по сравнению с предыдущими дозами и выражалась в снижении исследуемых показателей. Так, снизились: ГДА от  $23,6 \pm 6,7$  до  $3 \pm 2,2$  (рис. 3), ВДА (от  $2 \pm 1,2$  до  $0,4 \pm 0,2$ ), ИА (от  $8,4 \pm 3,3$  до  $1,6 \pm 1,1$ ), Деф (от  $2 \pm 0,8$  до 0), Ур (от  $0,2 \pm 0,12$  до 0). В отношении груминговой активности следует заметить, что в течение 48 ч от момента инъекции она не изменялась, а затем ингибировалась.

Отметим, что в первые сутки от момента инъекции бемитила в дозе 150 мг/кг также как и при введении вышеописанных доз вещества у всех исследуемых крыс

## ВЛИЯНИЕ БЕМИТИЛА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС

наблюдалось отсутствие интереса к еде и питью, повышенная сонливость, отсутствие перемещений по клетке. На вторые сутки наблюдений появился слабый интерес только к питью. На третьи сутки зарегистрирована смерть 1 крысы. При вскрытии животного обнаружен некроз кишечника. Полученные данные согласуются с исследованиями Бугасовой Л.И., Спасова А.А. и др. [11], в которых описано преобладание трофотропных эффектов бемитила в дозах более 100 мг/кг. К пятым суткам не наблюдалось улучшений в поведении животных. По истечении 120 ч от момента инъекции бемитила исследованные параметры не восстанавливались, что может указывать на токсичность бемитила в этой дозе. Отметим, что регистрируемые показатели у оставшихся в живых животных приближались к фоновым только через 15-20 дней от момента инъекции бемитила в дозе 150 мг/кг.

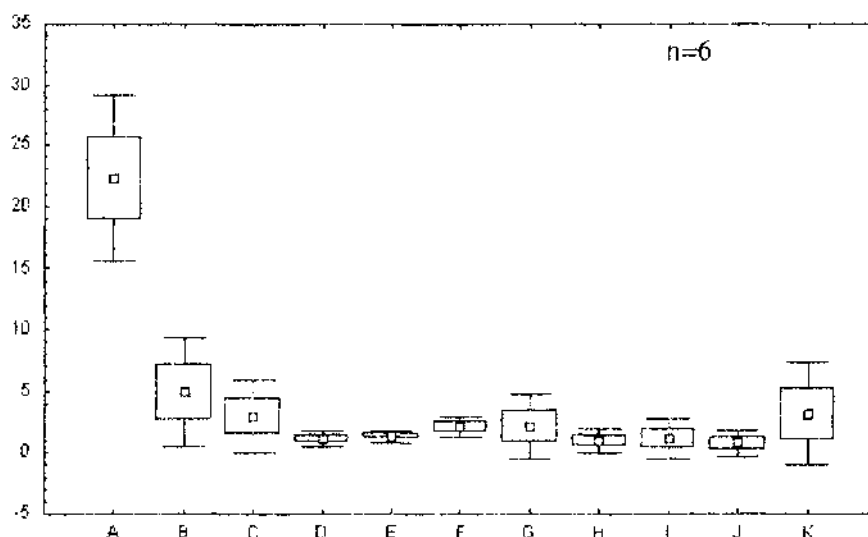


Рис. 3. Влияние бемитила в дозе 150 мг/кг на ГДА крыс: Обозначения такие же как на рис. 1.

### ВЫВОДЫ

Результаты исследования показали, что бемитил в дозах 50, 100 и 150 мг/кг угнетал практически все регистрируемые поведенческие показатели. В первую очередь проявлялись двигательный дефицит и неспецифичное состояние стереотипии. Такой эффект бемитила позволяет ожидать наличие у него анксиогенных свойств. Однако, некоторые авторы указывают на анксиолитические свойства бемитила [12].

Поскольку хорошо известно, что серотонин, норадреналин, дофамин и ГАМК участвуют в регуляции многих форм поведения и физиологических реакций, то можно полагать, что бемитил может воздействовать на ту или иную медиаторную систему.

Описанные выше эффекты бемитила при его системном введении, полученные в настоящей работе, могут быть обусловлены гидрофобными свойствами его молекулы, благодаря которым препарат проникает через гематоэнцефалический барьер и может взаимодействовать с рецепторами мембран нейронов. Ранее нами было установлено [3], что при непосредственном подведении бемитила к нейронам у них снижаются максимумы скоростей нарастания и спада потенциала действия. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что бемитил, проникнув через гематоэнцефалический барьер, взаимодействует с нейронами центральной нервной системы, благодаря чему может реализовываться угнетающее влияние вещества на поведенческую реакцию животных.

### Список литературы

1. Бойко С.С., Жердяев В.П., Незнамов Г.Г. Роль фармакокинетики бемитила в реализации его терапевтической эффективности // Фармакология и токсикология – 1991ю -Т.54, №2ю - С.64-66.
2. Киричек Л.Т., Бобков Ю.Г. Действие бемитила на состояние систем саморегуляции при кратковременной иммобилизации // Фармакология и токсикологияю - 1991. - Т.54, №6. - С.42-44.
3. Гамма Т.В., Кореньюк И.И., Баевский М.Ю. Функциональное состояние нейронов IIIa1 под влиянием дибазола и бемитила // Ученые записки ТНУ, серия «Биология, Химия» – 2003. - Т. 16 (55), №4. - С. 20-27.
4. Маркель А. Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте открытого поля // Журн. вышп. нервн. деятельности. – 1981. - Т.31, №2. - С. 301-307.
5. Hall C.S. Emotional behavior in the rat // J. Comp. Psychol. – 1936. - V.18. - P.385-403.
6. Hall K.R.L. Social organization of the old world monkeys and apes // Sympos. Zool. Soc., London. - 1965. - V.14. - P.265-289.
7. Кулагин Д.А., Болондинский Б.К. Нейрохимические аспекты эмоциональной реактивности и двигательной активности крыс в новой обстановке // Успехи физиологических наук. – 1986. – №1. – С. 92-110.
8. Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.А. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте. – Киев, «Вища школа», 1974. - 304 с.
9. Агаджян Н.А. Материалы X международного симпозиума «Экологофизиологические проблемы адаптации» 29-31 января 2001 г. -М.: Издательство Российского университета дружбы народов, – 2001 – 685 с.
10. Акларинский Б.С. Философские теории адаптации // Космическая биология и авиакосмическая медицина – М.: Наука, 1986. - Т.20, №2. - С. 6-15.
11. Бугаева Л.И., Спасов А.А., Веровский В.Е., Иежица И.Н. Исследование от острой токсичности бемитила и брометага // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2000. - Т.63, №6. - С. 53-57.
12. Спасов А.А., Иежица И.Н., Бугаева Л.И., Анисимова В.А. Спектр фармакологической активности и токсикологические свойства производных бензимидазола (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. – 2000. – Т.33, №5. - С.6-17.

*Поступила в редакцию 13.11.2004 г.*

УДК 591.11: 547.466

## ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОТРОПНОЙ АКТИВНОСТИ N-[N-(1,2:3,4-ДИ-О-ИЗОПРОПИЛИДЕН-А-D-ГАЛАКТОПИРАНУРОНОИЛ)]-ГЛИЦИЛ-ГЛИЦИНА

*Раваева М.Ю., Кореньюк И.И., Курьянов В. О., Чупахина Т.А.*

В ЦНС млекопитающих глицин является тормозным нейромедиатором в нейронных сетях спинного и головного мозга и участвует во многих физиологических и патологических процессах [1, 2]. Известно, что высокая полярность молекулы глицина обуславливает его низкую проницаемость через гематоэнцефалический барьер, что является существенным препятствием использования аминокислоты в качестве психотропного средства при системном введении [3, 4]. Для уменьшения полярности и повышения липофильности молекул используются различные пути химической модификации аминокислот, одним из которых является N-ацелирование базовой структуры [3, 5]. В настоящее время синтезирован ряд соединений с низкой полярностью молекул. К таким соединениям можно отнести новый синтезированный гликопептид N-[N-(1,2:3,4-ди-О-изопропилиден-α-D-галактопирануроноил)-глицил-глицин (DAGU-Gly-Gly) [6], который обладает нейротропной активностью [7]. Основываясь на вышеизложенном, можно предполагать что и при системном введении данное соединение проявит психотропную активность. Исходя из этого, целью нашей работы явилось изучение эффектов как DAGU-Gly-Gly, так и его составляющих: гликозидной основы гликопептида 1,2:3,4-ди-О-изопропилиден-α-D-галактопирануроноилурановой кислоты (DAGU) и дипептидного радикала глицил-глицина (Gly-Gly) на поведение крыс в тесте «открытое поле».

### МЕТОДИКА

Влияние соединений на двигательную, исследовательскую активность и эмоциональность животных изучали с помощью теста «открытого поля» [8]. Поле представляло собой прямоугольник 90x110 см, с деревянными стенками и пластиковым полом, на котором был начерчен 21 квадрат. В центре некоторых квадратов располагались фишки, а в 7-ми крайних, граничащих со стенками квадратах, были проделаны отверстия  $d = 8$  мм. Тестирование проводилось при освещенности 90 лк.

Для экспериментов были отобраны крысы со средней двигательной активностью [9], которых разделили на 4 группы по 10 крыс в каждой: первой группе вводили физраствор (плацебо), второй – DAGU-Gly-Gly, третьей – DAGU, а четвертой – Gly-Gly. Исследуемые вещества растворяли в физиологическом растворе и однократно вводили внутривентриально в объеме 0,2 мл (доза 50 мг/кг). Крыс каждой группы тестировали в течение 2 минут до инъекции (фон), а также

через 1.5, 3 и 24 часа после. Опыты проводили с 10 до 15 ч дня. В течение всего времени эксперимента крысы имели свободный доступ к воде, а еду получали только в вечернее время после тестирований. Животных содержали в стандартных условиях вивария на общем пищевом рационе.

Исследовались следующие поведенческие феномены: горизонтальная двигательная активность – ГДА (определялась по числу пересеченных квадратов, причем засчитывалось пересечение квадрата в случае перехода его границ обеими задними лапами); вертикальная двигательная активность – ВДА (по числу вертикальных стоек); исследовательская активность – ИА (по числу заглядываний в отверстия и обнюхивания фишек); груминг – Гр (по числу сеансов умываний передними лапками головы); дефекация – Деф (по числу болюсов).

После тестирования каждой крысы в «поле», дно камеры тщательно протирали вначале влажной, а затем сухой салфеткой, без применения каких либо дезинфицирующих и дезодорирующих средств. Это исключало возможность внесения корректив в поведение следующего испытуемого животного.

Статистическую обработку результатов проводили, используя непараметрический критерий Friedman-ANOVA. Результаты представлены как средние значения  $\pm$  ошибка среднего, а так же % (за 100 % принимались фоновые значения). Статистически значимыми различия считались при  $p < 0,05$ , а при  $p = 0,05$  – считались тенденцией.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ**

При сопоставлении фоновых показателей поведения крыс с таковыми после инъекции физиологического раствора (плацебо) в тесте «открытое поле» ни достоверных, ни даже тенденций изменений поведенческих показателей не обнаружено (табл.).

После инъекции гликопептида DAGU-Gly-Gly через 1.5, 3 и 24 часа достоверно снижались ГДА и ВДА. Исследовательская активность через 1.5 и 3 ч от момента инъекции была ниже фоновых значений, а через 24 часа достоверно увеличивалась (табл., рис. 1, А). Таким образом, данное соединение в течение суток оказывало угнетающее действие на ГДА и ВДА и кратковременное угнетающее действие на исследовательскую активность.

Число актов груминга через 1.5, 3 и 24 ч после введения препарата достоверно увеличивалось. Количественные показатели дефекации через 1.5 ч после инъекции препарата снизились (табл., рис. 1, А) и оставались примерно на этом же уровне через 3 и 24 ч.

Анализ суточной динамики параметров поведенческих реакций показал, что наиболее выраженный угнетающий двигательную активность эффект регистрировался через 3 ч после инъекции DAGU-Gly-Gly, а максимумы повышения груминга и снижения болюсов наблюдались через 1.5 ч после инъекций.



**ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОТРОПНОЙ АКТИВНОСТИ N-[N-(1,2:3,4-ДИ-O-ИЗОПРОПИЛИДЕН- $\alpha$ -D-ГАЛАКТОПИРАНУРОНОИЛ)]-ГЛИЦИЛ-ГЛИЦИНА**

Таблица. Показатели поведенческой активности крыс в тесте "открытое поле" при действии N-[N-(1,2:3,4-ди-O-изопротипилиден- $\alpha$ -D-галактопирануроноил)-глицил-глицина (DAGU-Gly-Gly), глицил-глицина (Gly-Gly), 1,2:3,4-ди-O-изопротипилиден- $\alpha$ -D-галактопирануроноилурановой кислоты (DAGU) и физиологического раствора (Placebo).

| ПОКАЗАТЕЛИ                             | ВРЕМЯ | СОЕДИНЕНИЯ       |                 |                  |                |
|--|-------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
|  |       | DAGU-Gly-Gly     | Gly-Gly         | DAGU             | PLACEBO        |
| Горизонтальная двигательная активность | Фон   | 21,2 $\pm$ 2,8   | 24 $\pm$ 6,5    | 36 $\pm$ 8,7     | 20,4 $\pm$ 4,6 |
|  | 1,5 ч | 3,2 $\pm$ 1,2**  | 22,6 $\pm$ 5,6  | 21,8 $\pm$ 2,8*  | 19,5 $\pm$ 4,1 |
|  | 3 ч   | 2 $\pm$ 0,7**    | 16,6 $\pm$ 3,3* | 15,8 $\pm$ 2,6** | 22,2 $\pm$ 5   |
|  | 24 ч  | 4,8 $\pm$ 1,3 ** | 31,6 $\pm$ 5,9  | 16,4 $\pm$ 1,4** | 21,9 $\pm$ 4,1 |
| Вертикальная двигательная активность   | Фон   | 4,4 $\pm$ 0,8    | 8 $\pm$ 2,2     | 6,6 $\pm$ 1,3    | 5,7 $\pm$ 1,7  |
|  | 1,5 ч | 1,2 $\pm$ 0,3**  | 5,6 $\pm$ 1,6*  | 2,8 $\pm$ 1,1*   | 6,5 $\pm$ 1,1  |
|  | 3 ч   | 0,4 $\pm$ 0,1 ** | 3,6 $\pm$ 1,4*  | 2,2 $\pm$ 1,3**  | 7,8 $\pm$ 1,9  |
|  | 24 ч  | 1,8 $\pm$ 0,1 ** | 7,6 $\pm$ 1,3   | 3,8 $\pm$ 1,1    | 6,9 $\pm$ 1,9  |
| Исследовательская активность           | Фон   | 6,8 $\pm$ 1,2    | 16,2 $\pm$ 0,8  | 11,2 $\pm$ 1,3   | 10,4 $\pm$ 1,9 |
|  | 1,5 ч | 4,8 $\pm$ 0,2**  | 11 $\pm$ 1,9    | 8,4 $\pm$ 1,9    | 11,4 $\pm$ 1,6 |
|  | 3 ч   | 6,2 $\pm$ 0,3 ** | 12 $\pm$ 1,4**  | 7,6 $\pm$ 1,1*   | 8 $\pm$ 1,9    |
|  | 24 ч  | 7,4 $\pm$ 0,4 ** | 13,4 $\pm$ 1,5* | 12 $\pm$ 0,86    | 12 $\pm$ 1,2   |
| Грумминг                               | Фон   | 1 $\pm$ 0,5      | 4 $\pm$ 1,8     | 3,4 $\pm$ 1,34   | 1,1 $\pm$ 0,5  |
|  | 1,5 ч | 2,6 $\pm$ 0,7 ** | 1,6 $\pm$ 0,7*  | 2,2 $\pm$ 0,97   | 1,6 $\pm$ 0,56 |
|  | 3 ч   | 2,2 $\pm$ 0,9**  | 3,8 $\pm$ 0,9   | 1,8 $\pm$ 0,9*   | 1,8 $\pm$ 0,65 |
|  | 24 ч  | 2,4 $\pm$ 0,6**  | 3,4 $\pm$ 1,3   | 2,8 $\pm$ 1,1    | 1,9 $\pm$ 0,9  |
| Дефекация                              | Фон   | 3 $\pm$ 0,6      | 1,6 $\pm$ 0,65  | 0,6 $\pm$ 0,4    | 1,6 $\pm$ 0,7  |
|  | 1,5 ч | 1 $\pm$ 0,2**    | 0,8 $\pm$ 0,5   | 0,4 $\pm$ 0,2    | 1,2 $\pm$ 0,75 |
|  | 3 ч   | 2 $\pm$ 0,6**    | 0,2 $\pm$ 0,1** | 0,2 $\pm$ 0,1 *  | 1,7 $\pm$ 0,86 |
|  | 24 ч  | 1,2 $\pm$ 0,4**  | 1 $\pm$ 0,4*    | 0,6 $\pm$ 0,2    | 1 $\pm$ 0,65   |

Примечание: \*\* – статистически достоверные различия по сравнению с фоном,  $p < 0,05$ ; \* –  $p = 0,05$ .

При раздельном введении двух компонентов гликопептида было установлено следующее (табл.). Как видно из таблицы, при воздействии дипептида Gly-Gly, в отличие от гликопептида, спустя 3 ч от момента инъекции достоверно снижались показатели исследовательской активности и дефекации (табл., рис. 1, Б), а остальные поведенческие феномены проявляли только тенденцию ( $p = 0,05$ ) к снижению показателей.

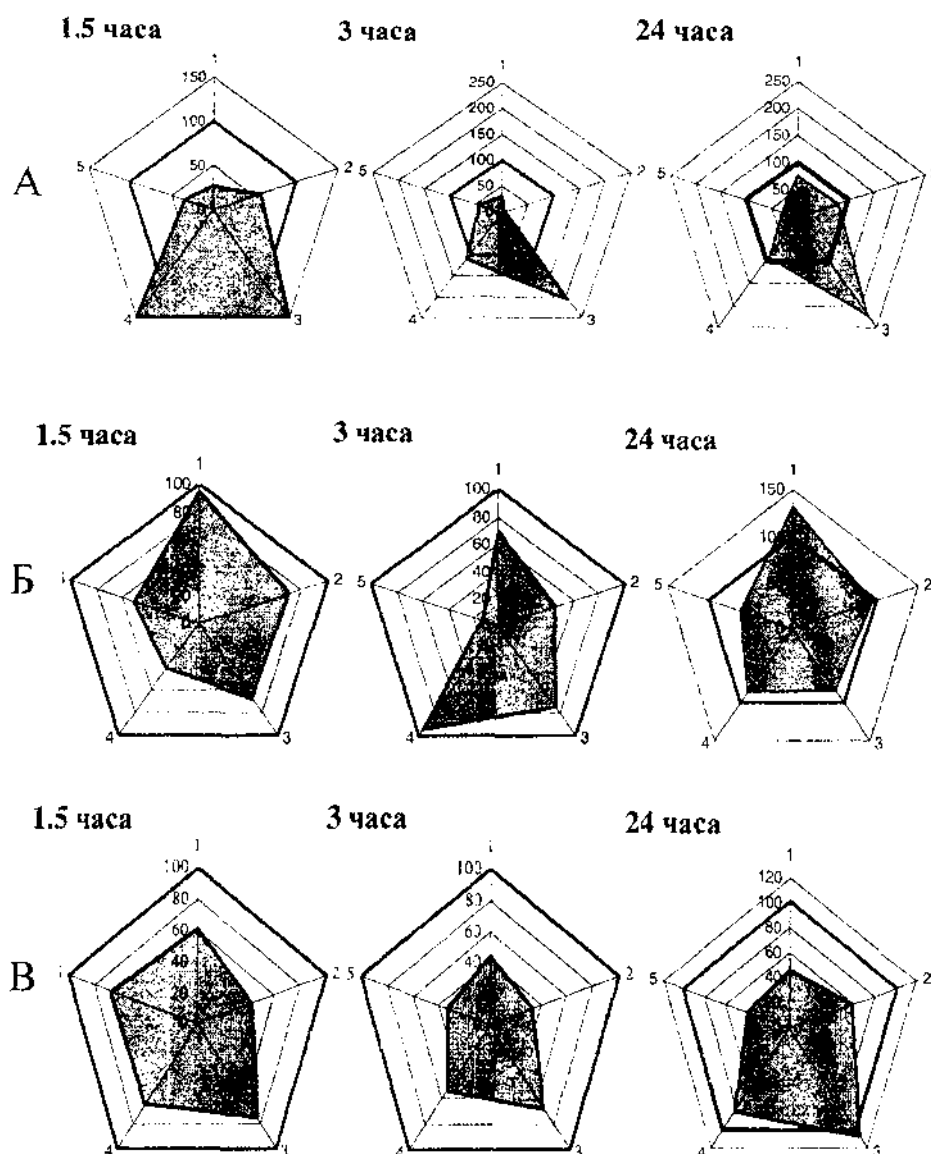


Рис. 1 Динамика относительных (%) показателей поведения крыс при действии гликопептида N-[N-(1,2:3,4-ди-О-изопропилиден- $\alpha$ -D-галактопирануриноил)-глицил-глицина – (DAGU-Gly-Gly) – А, глицил-глицина (Gly-Gly) – Б и 1,2:3,4-ди-О-изопропилиден- $\alpha$ -D-галактопирануриноилурановой кислоты (DAGU) – В через 1,5, 3 и 24 ч от момента инъекции.

Примечание: фон – 100 %, выделено жирным, 1 – горизонтальная двигательная активность, 2 – вертикальная двигательная активность, 3 – исследовательская активность, 4 – груминг, 5 – дефекация

## ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОТРОПНОЙ АКТИВНОСТИ N-[N-(1,2,3,4-ДИ-O-ИЗОПРОПИЛИДЕН-A-D-ГАЛАКТОПИРАНУРОНОИЛ)]-ГЛИЦИЛ-ГЛИЦИНА

После инъекции углеводного фрагмента DAGU в отличие от DAGU-Gly-Gly достоверное снижение ГДА регистрировалось через 3 и 24 ч, а ВДА только через 3 ч после инъекции, а в другие часы измерений наблюдалась только тенденция к снижению двигательной активности ( $p=0,05$ ). Интересно отметить, что только через 3 ч от момента инъекции наблюдалась тенденция к снижению исследовательской активности, актов груминга и дефекации (табл., рис.1, В).

При сравнении эффектов гликопептида DAGU-Gly-Gly с таковыми его фрагментов и плацебо оказалось, что на параметры ГДА и ВДА выраженности угнетающего эффекта, соединения находились в следующем ряду: DAGU-Gly-Gly → DAGU → Gly-Gly.

Количество актов груминга при действии гликопептида в течение всего времени эксперимента было выше фона, а при отдельном воздействии DAGU и Gly-Gly, наоборот, – ниже фона (в первые 3 ч), а затем приближались к фону. Количество болюсов под действием всех соединений снижалось, однако, при действии DAGU-Gly-Gly оно снижалось значительно меньше, чем при изолированном действии DAGU, Gly-Gly и физраствора. Таким образом, можно сказать, что гликопептид DAGU-Gly-Gly оказывало наиболее выраженное действие.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследований, гликопептид DAGU-Gly-Gly вызывает выраженные изменения поведенческих реакций крыс: снижение горизонтальной и вертикальной двигательной активности, сопровождающееся повышением количества актов груминга и снижением количества болюсов. Исходя из того, что двигательная активность отражает величину процессов возбуждения ЦНС, а груминг и реакция дефекации в тесте «открытого поля» является достоверным показателем уровня возбуждения вегетативной нервной системы [10], можно констатировать, что гликопептид оказывает тормозное действие на нервную систему, следствием чего может быть уменьшение стрессированности животных. Следует указать, что снижение двигательной и исследовательской активности грызунов на фоне заметно возросшего груминга по мнению [11-13] свидетельствует о развитии сильного стресса и тревожно-депрессивных изменений поведения. Однако, эти исследователи не показывают количество дефекаций, являющегося маркером стресса. Другие авторы [14, 15] указывают, что подобные изменения поведения возникают при действии различных факторов, таких как гормоны и мозговые пептиды, действие которых направленно на те же механизмы мозга, что и стресс. Таким образом, основываясь на интегрированной картине, отражающей не отдельные показатели, а изменение их в комплексе, можно предположить, что DAGU-Gly-Gly способен индуцировать развитие тормозных процессов в нервной системе животных и уменьшать психоэмоциональное напряжение животных в тесте «открытое поле».

Анализ динамики показателей поведения животных показал, что максимум угнетения двигательной активности при действии гликопептида наступает через 3 ч, а пики увеличения груминга и снижения дефекации регистрировались через 1.5 ч после инъекции. Исходя из того, что груминг и дефекация являются основными показателями деятельности вегетативной нервной системы [10], можно

предположить, что вегетативная нервная система оказалась более чувствительной к действию гликопептида.

Отсутствие достоверных изменений двигательной активности при инъекции Gly-Gly, по сравнению с гликопептидом и его углеводной основой, не вызывает удивления, так как известно, что аминокислоты с трудом преодолевают гематоэнцефалический барьер [1, 2, 16]. Однако, тенденция к снижению двигательной активности, а также достоверное снижение исследовательской активности и болюсов говорит об активации процессов защитного торможения в ЦНС, что обуславливает антистрессорное и ноотропное действие дипептида. Это согласуется с результатами, полученными другими авторами, которые показали, что, глицин, введенный системно, улучшает обучение крыс навыкам активного избегания [17], устраняет амнезию, вызванную скополамином [18].

Углеводная основа гликопептида DAGU, также как и Gly-Gly, подавляя двигательную активность, и незначительно уменьшая исследовательскую активность, груминг и дефекацию, также проявляет тормозное действие, что может свидетельствовать о его антистрессорном эффекте. Несмотря на односторонность угнетающего действия, как гликопептида, так и его фрагментов, выраженность эффектов фрагментов оказалась значительно ниже, чем самого гликопептида DAGU-Gly-Gly. Можно предположить, что DAGU в составе гликопептида потенцировала действие пептидного остатка в результате чего интенсивность эффектов возросла. Нельзя исключить и того, что при поступлении гликопептида в ЦНС, его пептидный фрагмент глицил-глицин отщепляется от углеводной основы и включается в синаптические и метаболические процессы. Такая фармакокинетика предполагается для N-ацилпроизводных аминокислот [16], природа химической связи которых близка к N-ацетилпроизводному, тестированному в нашей работе. Так как глицин, как тормозный нейромедиатор, является агонистом ГАМК [1, 2], можно предположить, что психотропные свойства гликопептида обусловлены его взаимодействием с рецепторами ГАМК. Существующие клинические [19-21] и экспериментальные данные [13, 22-24] показывают, что именно ГАМК может быть связующим звеном в развитии тормозных процессов в ЦНС и проявлении антистрессорного действия.

### **ВЫВОДЫ**

Полученные нами данные косвенно указывают на возможность проникновения через гематоэнцефалический барьер N-[N-(1,2:3,4-ди-O-изопропилиден- $\alpha$ -D-галактопирануроноил)]-глицил-глицина, и способность его активировать процессы защитного торможения в ЦНС, в результате чего уменьшается психоэмоциональное напряжение крыс в тесте «открытое поле».

### **Список литературы**

1. Раевский К.С., Георгиев В.И. Медиаторные аминокислоты: нейрофармакологические и нейрохимические аспекты. – М.: Медицина, 1986. – 239 с.
2. Хухо Ф. Нейрохимия: Основы и принципы: -Перевод с англ. М: «Мир», 1990. – 386 с.



ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОТРОПНОЙ АКТИВНОСТИ N-[N-(1,2:3,4-ДИ-О-ИЗОПРОПИЛИДЕН-А-D-ГАЛАКТОПИРАНУРОНОИЛ)]-ГЛИЦИЛ-ГЛИЦИНА

3. Керцер С.Л., Баев К.В. Связь между строением кристаллической решетки и биологическим действием некоторых агонистов аминокислотных рецепторов // *Нейрофизиология*. – 1992. – Т. 24, № 1. – С. 44 – 51.
4. Storm-Mathisen J., Ottersen O.P. // *Neurotransmitters and Cortical Function*. – New York, 1988. – P. 39-70.
5. Горяев А.П., Думлис М.А., Мишин М.А. и др. // *Всероссийский съезд фармакологов, 6-й: Тезисы докладов*. – Ташкент, 1988. – С.82.
6. Кур'янов В.О., Чупахина Т.О., Чирва В.Я. Синтез N-уроноламиноациламидів // 19 Українська конференція з органічної хімії, Львів, 10 – 14 вересня 2001.: 36. Тез.. С. 239.
7. Равасва М.Ю., Коренюк И. И., Гамма Т.В., Курьянов В.О., Чупахина Т.А. Эффекты воздействия некоторых производных гликопептидов на электрическую активность нейронов моллюска *Helix albescens* Rossm // *Ученые записки ТНУ, серия «Биология»*. – 2003. - Т. 16, №2. - С. 115-123.
8. Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д.П. (Bures J., Buresova O., Houston D.P.) *Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения (пер. с англ.)*: - М., 1991.
9. Кулагин Д.А., Болондинский Б.К. Нейрохимические аспекты эмоциональной реактивности и двигательной активности крыс в новой обстановке // *Успехи физиологических наук*. – 1986. – №1. – С. 92-110.
10. Маркель А. Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте открытого поля // *Журн. выпш. нервн. деятельности*. – 1981. - Т.31, №2. - С. 301-307.
11. Макачук Н.Е., Калуев А.В. *Обоняние и поведение*: Киев: КСФ, 2000. – 148 с.
12. Kaloupek A.V. Today and tomorrow of anxiety research // *Stress Behav.* – 2003. – Vol. 8. – P. 145-147.
13. Калуев А.В. *Стресс и груминг*. Москва: Авице, 2002. – 146 с.
14. Dunn A.J., Berridge C.W., Dunshem P., 1987. Behavioural tests: their interpretation and significance in the study of peptide action. // In: *Neuromethods*. Eds Boulton A., Baker G., Pittman Q.L. Clifton, New York: Humana Press. P. 229-247.
15. Stone E.A., Manavalan S.J., Zhang Yi., Quarterman D., 1995. Beta-adrenoreceptors blockade mimics effects of stress on motor activity in mice // *Neuropsychopharmacol.* - V. 12. - P. 65-71
16. Ковалев Г.В., Васильев С.А., Сажин В.А., Кулешов И.П., Баталина И.Н. Синтез и психофармакологическая активность N-(4-гидрокси-4-метил-3-тетрагидропиранил) производных аминокислот // *Фармак. и токсикология*. – 1990. – Т 53, №1. – С 20-22.
17. Мачула А.И., Наумова В.И., Башнин Ю.И. Системный анализ влияния пирацетама, глицина и N-ацетилглицина на длительное обучение // *Экспериментальная и клиническая фармакология*. – 1993. – Т. 56. – С. 55-57.
18. Комиссаров И.В., Лещинская Е.Я. Глицин: новые аспекты нейрофармакологии // *Архив клинической и экспериментальной медицины*. – 1997. – Т.56. – С. 134-137.
19. Машковский М.Д. *Лекарственные средства*. - М., 1993. – 280 с.
20. Петров В.И., Григорьев И.А., Озеров А.А. и др. // *Тез. докладов Международной конференции "Современные методы биологической терапии психических заболеваний"*. - М., 1994.- С. 48.
21. Петров В.И., Озеров А.А., Григорьев И.А. и др. // *Сб. статей Российской конференции "Пикамилон в современной неврологической и психиатрической практике"*.- М. 1994.- С.44-45.
22. Бондаренко Н.А., Камылева В.А., Минеева М.Ф., Вальдман А.В. Влияние хронического стресса на поведение, соматическое состояние и активность тирозингидроксилазы мозга «эмоциональных» и «неэмоциональных» крыс // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. – 1981. – Т.91, №1. – С. 20-28
23. Калуев А.В. Методологические проблемы и перспективы фармакоэтологии тревожности // *Вестник биологической психиатрии*. – 2003. – №6. – С. 90-95
24. Kopanitsa, M.V., Yakubovska, L.M., Rudenko, O.P., and Krishtal, O.A. Modulation of GABA(A) receptor-mediated currents by benzophenone derivatives in isolated rat Purkinje neurons // *Neuropharmacology*. – 2002. – V.43. – P. 764-777.

*Поступила в редакцию 05.12.2004 г.*



## АННОТАЦИИ

*Белоусов Л.В. Сверхслабые излучения и коллективные процессы в живых системах // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 3-21.*

Обсуждается, при каких условиях сверхслабые излучения (ССИ) в оптическом диапазоне могут быть использованы для выявления и анализа коллективных возбужденных состояний молекулярного субстрата живых систем. Достаточными для этого признаются следующие свойства ССИ: неаддитивность; концентрация на определенных частотах и наличие выраженных гармоник; наличие ССИ деградиационного характера; задержанная люминесценция после засветки. Излагаются соответствующие экспериментальные данные, полученные при анализе ССИ яиц и зародышей рыб, амфибий и птиц, а также монослойных клеточных культур.

**Ключевые слова:** сверхслабые излучения, коллективные возбужденные состояния, когерентность.

*Воейков В.Л., Чапкин С.Ф., Нилов С.Н. Сверх-слабое свечение влажного воздуха, индуцированное УФ-фотонами сверх-низкой интенсивности // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 22-39.*

Обнаружено, что фотоэлектронный умножитель, чувствительный только в ультрафиолетовой области электромагнитного спектра (ФЭУ-142) способен существенно увеличивать счет фотонов фотоумножителем, чувствительным только к видимой области спектра (ФЭУ-101), расположенным на расстоянии 5 см от него (окна ФЭУ обращены друг к другу). Это влияние зависит от влажности и газового состава воздуха в камере, в которую обращены окна ФЭУ. Оно практически отсутствует, если камера заполнена воздухом с влажностью около 0% и значительно возрастает с увеличением степени влажности воздуха. При обогащении влажного воздуха в камере аргоном или гелием, интенсивность счета фотонов как ФЭУ-142, так и ФЭУ-101 (при условии его оптического контакта с включенным ФЭУ-142) дополнительно резко возрастает. При длительной регистрации излучения влажного воздуха в условиях оптического контакта между двумя ФЭУ в воздухе наблюдается развитие сильно нелинейных колебательных процессов, для которых характерны нерегулярные и регулярные всплески излучения. Предложен возможный механизм обнаруженного явления, основанный на развитии во влажном воздухе камеры кислород-зависимого разветвленно-цепного процесса, сопровождаемого излучением в УФ- и видимой области спектра. Этот процесс инициируют редкие высокоэнергетические кванты энергии, излучаемые ФЭУ-142 и возбуждающие первичные реакции в пленке воды, покрывающей окно этого ФЭУ во влажном воздухе. Высказано предположение, что явление возбуждения влажного воздуха, обнаруженное благодаря особой конструкции детектора счета одиночных фотонов, может быть широко распространено в косной и живой природе.

**Ключевые слова:** сверхслабое излучение, свободно радикальные процессы, вода.

*Бинги В.И. Параметрический резонанс в магнитобиологии: критический анализ идей Арбера, Киабрера, Леднева, Жадина, Блэкмана и Бинги // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 40-50.*

В статье исследовано соотношение концепций, моделей и взглядов нескольких авторов на возможную природу нетепловых биологических эффектов слабых электромагнитных

## АННОТАЦИИ

полей, – концепций, объединенных общей темой параметрического резонанса. Определены приоритеты оригинальных результатов.

**Ключевые слова:** электромагнитные поля, параметрический резонанс, интерференции ионных состояний, биологические эффекты.

*Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В.* **Изменение спектральных характеристик метгемоглобина в условиях его взаимодействия с хлороформом под действием магнитного поля крайне низкой частоты // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 50-57.**

Исследовано действие электромагнитного поля КНЧ на спектральные характеристики метгемоглобина при его комплексообразовании с хлороформом. Установлено, что воздействие гидрофобного лиганда приводит к изменению полярности вокруг гема и его доступности молекулам воды, а магнитное поле усиливает этот процесс.

**Ключевые слова:** метгемоглобин, электромагнитное поле, гидрофобные взаимодействия.

*Темурьянц Н.А., Минко В.А.* **Инфранианная ритмика показателей поведения в тесте «открытого поля» у крыс с низким уровнем двигательной активности при воздействии ПемП СНЧ // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 58-64.**

У крыс с низкой и средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью изучена инфранианная ритмика вертикального и горизонтального компонентов двигательной активности в тесте «открытого поля» под влиянием ПемП СНЧ. Выявлено, что ПемП СНЧ вызывает изменения спектров мощности, его структуры, амплитудно-фазовых соотношений у крыс с различными индивидуальными особенностями. Результатом действия ПемП СНЧ на крыс с различными индивидуальными особенностями является сближение параметров инфранианной ритмики показателей поведения. Более чувствительными к действию ПемП СНЧ являются животные с НДА, у которых данный фактор вызывает гиперсинхронизацию временной организации.

**Ключевые слова:** инфранианная ритмика, индивидуальные особенности животных, ПемП СНЧ, тест «открытого поля».

*Шишко Е.Ю., Малыгина В.И.* **Изменение инфранианной ритмики активности стресс-реализующих систем при гипокинетическом стрессе // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 65-71.**

Изучены особенности инфранианной ритмики активности симпатoadреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем при гипокинетическом стрессе. Выявлено, что ограничение подвижности приводит к изменениям инфранианной ритмики стресс-реализующих систем, проявляющихся в развитии десинхроноза.

**Ключевые слова:** гипокинетический стресс, инфранианная ритмика, симпатoadреналовая система, гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система, десинхроноз.

## АННОТАЦИИ

*Чуян Е.Н., Темуриянц Н.А., Верко Н.П.* Налоксон модулирует гидролитическую активность фагоцитов на действие гипокинезии и низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 72-76.

В данной работе изучалась способность неселективного блокатора налоксона модулировать гидролитическую активность фагоцитов слизистой трахеи на действие гипокинезии и низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. Показано, что воздействие ЭМИ КВЧ на фоне блокады опиоидных рецепторов приводит к снижению ЦПС ПР и КФ. Обнаружено, что ЭМИ КВЧ при комбинированном с гипокинезией и налоксоном действии не ингибирует гидролитическую активность моноцитов и нейтрофилов. Наиболее высокие значения показателей гидролитической активности были зафиксированы в фагоцитах слизистой трахеи животных, испытывавших изолированное и комбинированное с действием налоксона ограничение двигательной активности.

**Ключевые слова:** ЭМИ КВЧ, нейтрофины, моноциты, гипокинезия, налоксон, кислая фосфатаза, протеаза.

*Чуян Е.Н., Махонина М.М., Тарков В.Е.* Изменение функционального состояния синтетического аппарата лимфоцитов крови крыс при изолированном и комбинированном с гипокинезией действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 77-82.

Аннотация. Методом люминесцентного микроспектрального анализа проведены исследования функционального состояния синтетического аппарата лимфоцитов крови крыс при изолированном и комбинированном с гипокинезией действии ЭМИ КВЧ. Показано, что при действии ЭМИ КВЧ на интактных животных увеличивается функциональная активность синтетического аппарата лимфоцитов относительно значений в контрольной группе, что свидетельствует о повышении уровня иммунной резистентности организма. Под влиянием девятисуточной гипокинезии произошло снижение показателя синтетической активности лимфоцитов, свидетельствующее о депрессии синтетических процессов в клетках. Действие ЭМИ КВЧ на животных, находящихся в условиях гипокинезии, вызывает коррекцию стресс-индуцированного изменения функциональной активности лимфоцитов, что приводит к увеличению показателя синтетической активности относительно данного показателя у животных, находящихся в состоянии ограничения подвижности, но дополнительно не подвергавшихся действию КВЧ.

**Ключевые слова:** низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ, гипокинезия, лимфоциты, синтетическая активность, флуоресцентный анализ.

*Мищенко С.В., Мищенко В.П., Таряник Е.А.* Влияние поляризованного света на прокоагулянтные и фибринолитические свойства полушарий мозга у крыс // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 83-87.

В экспериментах на белых крысах показано, что полушария мозга (как правого, так и левого) у интактных животных обладают выраженными прокоагулянтными и фибринолитическими свойствами. При облучении пайлер-светом правой половины головы крыс прокоагулянтная активность полушарий мозга возрастала как с той, так и с другой стороны, а фибринолитическая – уменьшалась. Похожие изменения наблюдали и при действии пайлер-светом на правую половину головы. В том и другом случае между правой и левой половиной мозга возрастала асимметрия прокоагулянтных и фибринолитических их свойств.

## АННОТАЦИИ

Обсуждается механизм повышения асимметрии прокоагулянтной фибринолитической активности полушарий мозга в ответ на действие пайлер-света.

**Ключевые слова:** пайлер-свет, прокоагулянтная и фибринолитическая активность тканей мозга, асимметрия.

*Григорьев П.Е., Мартынюк В.С., Темуриянц Н.А. Биологическая значимость индексов космической погоды в разные фазы цикла солнечной активности // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 88-92.*

Синхронизация физиологических процессов с гелиогеофизическими вариациями реализуется, преимущественно, через тот канал действия «космической погоды» на среду обитания (ионосферный или магнитосферный), активность которого преобладает во время эксперимента. Это выражается в минимальной разности фаз между ритмами физиологических процессов и индексов «космической погоды» соответствующего класса – солнечной ( $W$ ,  $F10,7$ ) или магнитной активности ( $Ap$ ,  $Kp$ , знак ММП).

**Ключевые слова:** космическая погода, биологические ритмы, синхронизация.

*Зенченко Т.А., Конрадов А.А., Зенченко К.И. Корреляция динамики амплитуды «эффекта ближней зоны» с гелиогеофизическими индексами // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 93-104.*

С помощью гистограммного метода анализа временных рядов (метода Шноля) получен ряд ежесуточных значений степени выраженности «эффекта ближней зоны» – степени проявления процессов самоорганизации в сложных статистических ансамблях (радиоактивный распад)

Показано, что наблюдается надежная статистическая связь между динамикой амплитуды «эффекта ближней зоны» и индексами, характеризующими солнечную и геомагнитную активность, причем максимумы проявления «эффекта ближней зоны» совпадают с моментами максимальной скорости изменения модуля напряженности межпланетного магнитного поля и магнитного поля Земли.

**Ключевые слова:** геомагнитная активность, солнечная активность, эффект ближней зоны.

*Владимирский Б.М., Конрадов А.А. Трудные вопросы солнечно-биосферных связей // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 105-115.*

Проведен краткий анализ новейших публикаций по проблеме космических влияний на Землю. Основные вопросы: влияние Луны на физико-химические и биологические системы; «планетарный эффект» М. и Ф. Гоклен и его возможное истолкование; суточные вариации в физико-химических системах.

**Ключевые слова:** солнечно-биосферные связи; космофизические корреляции; макроскопические флуктуации.

*Степанюк И.А. Особенности реакций биологических и физикохимических систем на внешние факторы // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 116-122.*

Рассматриваются опасности получения артефактов при комплексном анализе экспериментальных данных по реакциям биологических и физико-химических систем на изменчивость внешних факторов. Эти опасности обусловлены неучетом или отсутствием



## АННОТАЦИИ

информации о ряде специфических особенностей: нелинейности функции связи в статическом режиме, динамических свойств систем, несогласованности дискретности получения данных и спектральных характеристик воздействующих факторов.

**Ключевые слова:** артефакты, нелинейность, статическая функция связи, динамическая функция связи, дискретность, иллюзия дискретизации.

*Павленко В.Б.* Роль аминергических структур ствола мозга в организации целенаправленного поведенческого акта // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 123-130.

Изучали механизмы подготовки, реализации и оценивания результатов целенаправленных поведенческих актов человека и животных, включающих обусловленные временными параметрами произвольные движения. Показано, что характеристики поведения зависят от индивидуальных особенностей активности аминергических систем мозга.

**Ключевые слова:** вызванные ЭЭГ-потенциалы, дофаминергические, норадренергические, серотонинергические нейроны.

*Колотилова О.И., Павленко В.Б., Коренюк И.И., Куличенко А.М., Фокина Ю.О.* Взаимосвязь активности нейронов аминергических систем головного мозга и ритмов электроэнцефалограммы у кошки // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 131-137.

В статье анализируется возможная взаимосвязь активности нейронов аминергических систем головного мозга и ритмов электроэнцефалограммы у кошки.

**Ключевые слова:** норадренергические, серотонинергические системы, голубое пятно, ядра шва, электроэнцефалограмма, нейронная активность.

*Тюнин В.Л., Мадяр С.-А., Ковалевская Е.Э., Павленко В.Б.* Коррекция неблагоприятных влияний напряженной работы на компьютере с помощью цветowych таблиц С.-А. Мадяра // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 138-145.

Показано, что напряженная работа на персональном компьютере в течении часа приводит к неблагоприятным изменениям паттерна ЭЭГ-потенциалов испытуемых. Применение цветowych таблиц С.-А. Мадяра способствует восстановлению их психофизиологического статуса.

**Ключевые слова:** персональный компьютер, визуальная цветостимуляция, психофизиологический статус.

*Трибрат А.Г., Макарова Л.Б., Павленко В.Б.* Стратегии направленной аутокоррекции психофизиологического состояния с использованием биологической обратной связи по ЭЭГ // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 146-153.

Исследовали стратегии релаксации 35 испытуемых при проведении сеансов биологической обратной связи по ЭЭГ. Наиболее оптимальной оказалась стратегия «психической релаксации», при которой достигалось наилучшее соотношение между альфа- и тета-ритмами.

**Ключевые слова:** биологическая связь по ЭЭГ, стратегии релаксации.



## АННОТАЦИИ

*Черный С.В., Махин С.А.* **Отражение тревожности в компонентах связанных с событием ЭЭГ-потенциалов** // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 154-160.

В статье представлена взаимосвязь между уровнем тревожности и компонентами связанных с событием ЭЭГ-потенциалов, описаны возможные механизмы формирования отдельных паттернов вызванных потенциалов у людей с повышенной тревожностью.

**Ключевые слова:** тревожность, связанные с событием потенциалы.

*Коренюк И.И., Гамма Т.В., Баевский М.Ю., Подмарева И.Р.* **Влияние бемитила на физиологическую реакцию крыс** // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 161-166.

С помощью теста «открытого поля» после инъекции бемитила крысам показаны особенности влияния этого вещества в различных дозах на физиологическую реакцию животных. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что бемитил дозозависимо оказывает угнетающий эффект на поведенческую реакцию крыс.

**Ключевые слова:** открытое поле, двигательная активность, бемитил.

*Раваева М.Ю., Коренюк И.И., Курьянов О.В., Чупахина Т.А.* **Изучение психотропной активности N-[N-(1,2,3,4-ди-0-изопропилиден-α-D-галактопирануриноил)]-глицил-глицина** // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Том 18 (57). – № 1. – С. 167-173.

В тесте «открытое поле» изучено действие N-[N-(1,2,3,4-ди-0-изопропилиден-α-D-галактопирануриноил)]-глицил-глицина на поведенческие показатели активности крыс. Установлено, что гликопептид в дозе 50 мг/кг оказывает тормозное действие на нервную систему, следствием чего может быть уменьшение стрессированности животных. Сравнительный анализ действия N-[N-(1,2,3,4-ди-0-изопропилиден-α-D-галактопирануриноил)]-глицил-глицина, его углеводного основания N-[N-(1,2,3,4-ди-0-изопропилиден-α-D-галактопирануриноила)] и радикала глицил-глицина показал, что наиболее выраженный эффект наблюдался при действии N-[N-(1,2,3,4-ди-0-изопропилиден-α-D-галактопирануриноил)]- глицил-глицина.

**Ключевые слова:** открытое поле, гликопептид, глицин, торможение.

## АНОТАЦІЇ

*Білоусов Л.В. Надзвичайно слабкі випромінювання і колективні процеси в живих системах // Ученне записки Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 3-21.*

Розглянуто умови, при яких надзвичайно слабкі випромінювання (НСВ) у оптичному діапазоні можуть бути застосовані для виявлення колективних збуджених станів молекулярного субстрату живих систем. Достатніми для цього є наступні властивості НСВ: неадитивність, концентрація на певних частотах і наявність значущих гармонік, наявність НСВ деградаційного характеру, затримана люмінесценція після освітлення. Надано експериментальні дані, які отримані при аналізі НСВ яєць і зародків риб, амфібій і птахів, а також монопларових клітинних культур.

**Ключові слова:** надзвичайно слабкі випромінювання, колективні збуджені стани, когерентність.

*Восіков В.І., Чалкін С.Ф. Нілов С.М. Надзвичайно слабке світіння волого повітря, яке індуковано УФ-фотонами надзвичайно низької інтенсивності. // Ученне записки Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 22-39.*

Встановлено, що фотоелектронний помножувач, який чутливий тільки в ультрафіолетовій області електромагнітного спектру (ФЕП-142) може значно підвищувати рахування фотонів фотопомножувачем, чутливим тільки до видимій області спектру (ФЕП-101), який рас положено на дистанції 5 см від нього (вікна ФЕП поставлено один напроти одного). Цій вплив залежить від від вологості та газового складу повітря в камері, в яку направлено вікна ФЕП. Вплив практично відсутній, якщо камеру заповнено повітрям з вологістю біля 0% і значно зростає з підвищенням ступеня вологості повітря. При збагаченні вологого повітря в камері аргонем або гелієм, інтенсивність рахування фотонів як ФЕП-142, так і ФЕП-101 (при умовах його оптичного контакту з вимкнутим ФЕП-142) додатково зростає. В умовах пролонгованої реєстрації випромінювання вологого повітря в умовах оптичного контакту між двома ФЕП в повітрі має місце формування сильно нелінійних коливальних процесів, для котрих є характерним наявність нерегулярних і регулярних спалахів випромінювання. Предложено можливий механізм знайденого явища, який оснований на розвитку у вологому повітрі камери кисень-залежного вільно радикального процесу, який супроводжується випромінюванням в УФ та видимій областях спектру. Цій процес ініціюють рідкі високо енергетичні кванти енергії, які випромінюються ФЕП-142 і які збуджують первинні реакції в плівці води, яка вкриває вікно ФЕП у вологому повітрі. Висказано гіпотезу про те, що явище збудження повітря, яке встановлено завдяки особливостям конструкції детектору рахування одиночних фотонів, може бути широко рас простертим у косній та живий природі.

**Ключові слова:** надзвичайно слабке випромінювання, вільно-радикальні процеси, вода.

*Бингі В.Н. Параметричний резонанс у магнітобіології: критичний аналіз ідей Ар бера, Кнабрера, Леднева, Жади́на, Блекмана и Бингі // Ученне записки Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 40-50.*

У роботі досліджено співвідношення нетеплових біологічних ефектів слабких електромагнітних полів, – концепцій, які об'єднані загальною темою параметричного резонансу. Встановлені пріоритети оригінальних результатів.

**Ключові слова:** електромагнітні поля, параметричний резонанс, інтерференції іонних станів, біологічні ефекти.

## АНОТАЦІЇ

*Мартинюк В.С., Цейслер Ю.В. Зміни спектральних характеристик метгемоглобіну в умовах його взаємодії з хлороформом під впливом магнітного поля надто низької частоти // Ученіе запіскі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 51-57.*

Досліджено дію електромагнітного поля ВНЧ на спектральні характеристики метгемоглобіну при формуванні його комплексу з хлороформом. Встановлено, що дія гідрофобного ліганду призводить до зміни полярності навколо гему та його доступності молекулам води, а магнітно польова обробка посилює цей процес.

**Ключові слова:** метгемоглобін, електромагнітне поле, гідрофобні взаємодії.

*Темур'яну Н.А., Мінко В.О. Інфрадіанна ритміка показників поведінки в тесті "відкритого поля" у пацюків з низьким рівнем рухової активності при впливі ЗМП ННЧ // Ученіе запіскі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 58-64.*

Вивчено особливості інфрадіанної ритміки вертикального і горизонтального компонентів рухової активності в тесті "відкритого поля" під впливом змінного магнітного поля (ЗМП) наднизької частоти (ННЧ) у пацюків з низькою і середньою руховою активністю і низькою емоційністю. Виявлено, ЗМП ННЧ викликає зміни спектрів потужності, його структури, амплітудно-фазових взаємин. Результатом дії ЗМП ННЧ на пацюків з різними індивідуальними особливостями є зближення параметрів інфрадіанної ритміки показників поведінки. У тварин із низькою руховою активністю вплив ЗМП ННЧ викликає гіперсинхронізацію тимчасової організації.

**Ключові слова:** інфрадіанна ритміка, індивідуальні особливості тварин, слабе ЗМП ННЧ, тест "відкритого поля".

*Шишко О.Ю., Малигіна В.І. Зміна інфрадіанної ритміки симпатoadреналової та гіпоталамо-гілофізарно-надніркової системи при гіпокінетичному стресі // Ученіе запіскі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 65-71.*

У даній роботі вивчена зміна фізіологічних показників симпато – адреналової та гіпоталамо-гілофізарно-надніркової системи при впливі стрес – реакції. При гіпокінетичному стресі відбувається зміни інфрадіанної ритміки, що свідчить про розвиток десинхронозу.

**Ключові слова:** гіпокінетичний стрес, інфрадіанна ритміка, симпатoadреналова система, гіпоталамо-гілофізарно-наднірковая система, десинхроноз.

*Чуян О.М., Темур'яну Н.А., Верко Н.П. Налоксон модулює гідролітичну активність фагоцитів на дію гіпокінезії і низькоінтенсивного ЕМВ НВЧ // Ученіе запіскі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 72-76.*

При впливові налоксону та ЕМВ НВЧ спостерігалось зниження ЦПС протеази та кислоти фосфатази, але при дії гіпокінезії і налоксону рівень цих показників збільшувался. Виявлено, що ЕМВ НВЧ при комбінованій з гіпокінезією та налоксоном дії не інгібує гідролітичну активність нейтрофілів та моноцитів.

**Ключові слова:** ЕМВ НВЧ, нейтрофіли, гіпокінезія, налоксон, гідролітична активність.

## АНОТАЦІЇ

*Чуян О.М., Махоніна М.М., Тарков В.С.* **Зміна функціонального стану синтетичного апарату лімфоцитів крові щурів при ізольованій і комбінованій з гіпокінезією дії низькоінтенсивного ЕМВ НВЧ** // Ученіє запискі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 77-82.

Методом люмінесцентного мікроспектрального аналізу проведені дослідження функціонального стану синтетичного апарату лімфоцитів крові щурів при ізольованій і комбінованій з гіпокінезією дії ЕМВ НВЧ. Показано, що при дії ЕМВ НВЧ на інтактних тварин збільшується функціональна активність синтетичного апарату лімфоцитів щодо значень у контрольній групі, що свідчить про підвищення рівня імунної резистентності організму. Під впливом дев'ятидобової гіпокінезії відбулося зниження показника синтетичної активності лімфоцитів, що свідчить про депресії синтетичних процесів у клітинах. Дія ЕМВ НВЧ на тварин, що знаходяться в умовах гіпокінезії, викликає корекцію стрес-індукованої зміни функціональної активності лімфоцитів, яка веде до збільшення показника синтетичної активності щодо даного показника у тварин, які знаходяться в стані обмеження рухливості, але додатково не піддавалися дії НВЧ.

**Ключові слова:** низькоінтенсивне ЕМВ НВЧ, гіпокінезія, лімфоцити, синтетична активність, флуоресцентний аналіз

*Мищенко С.В., Мищенко В.П., Таряник К.А.* **Вплив поляризованого світла на прокоагулянтні та фібринолітичні властивості півкуль мозку у щурів** // Ученіє запискі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 83-87.

В експериментах на білих щурах показано, що півкулі мозку (як правої, так і лівої) у інтактних тварин мають виражені прокоагулянтні та фібринолітичні властивості. При опроміненні пайлер-світлом правої половини голови щурів прокоагулянтна активність півкуль мозку зростала як з однієї, так і з іншої сторони, а фібринолітична активність – зменшувалася. Схожі зміни спостерігали і при дії пайлер-світлом на праву половину голови. В тому та іншому випадку між правою та лівою половинами мозку зростала асиметрія прокоагулянтних та фібринолітичних їх властивостей.

Обговорюється механізм підвищення асиметрії прокоагулянтної та фібринолітичної активності півкуль мозку у відповідь на дію пайлер-світла.

**Ключові слова:** пайлер-світло, прокоагулянтна та фібринолітична активність тканин мозку, асиметрія.

*Григор'єв П.Е., Мартинюк В.С., Темур'яніц Н.А.* **Біологічне значення індексів космічної погоди у різні фази циклу сонячної активності** // Ученіє запискі Таврічеського національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 88-92.

Синхронізація фізіологічних процесів з геліогеофізичними варіаціями реалізується, переважно, через той канал дії «космічної погоди» на середовище (іоносферний чи магнітосферний), активність якого домінує під час експерименту. Це виражається в мінімальній різниці фаз між ритмами фізіологічних процесів і індексів «космічної погоди» відповідного класу – сонячної ( $W$ ,  $F_{10.7}$ ) чи магнітної активності ( $A_p$ ,  $K_p$ , знак  $MMF$ ).

**Ключові слова:** космічна погода, біологічні ритми, синхронізація.



## АНОТАЦІЇ

*Зенченко Т.О., Конрадов О.О., Зенченко К.І. Кореляція динаміки амплітуди «ефекту ближньої зони» з геогеліофізичними факторами // Ученіе запіскі Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 93-104.*

За допомогою гистограмного методу аналізу часових рядів (метод Шноля) отримано ряд добових значень ступеню виразливості «ефекту ближньої зони» – ступеню прояву процесів самоорганізації у складних статистичних ансамблях (радіоактивний розпад). Показано, що має місце надійний статистичний зв'язок між динамікою амплітуди «ефекту ближньої зони» і індексами, які характеризують соняшну та геомагнітну активність. При цьому максимуми прояву «ефекту» співпадають з моментами максимальної швидкості зміни модуля напруженності міжпланетного магнітного поля і магнітного поля Землі.

**Ключові слова:** сонячна активність, геомагнітна активність, ефект ближньої зони.

*Володимирський Б.М., Конрадов А.А. Важкі питання сонячно-біосферних зв'язків // Ученіе запіскі Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 105-115.*

Проведено короткий аналіз публікацій з питань космічного впливу на Землю. Основні питання: вплив Луни на фізико-хімічні і біологічні системи, планетарний ефект Гоклена, добові варіації у фізико-хімічних системах.

**Ключові слова:** сонячно-біосферні зв'язки, калічні кореляції, макроскопічні флуктуації.

*Степанюк І.А. Особливості реакцій біологічних і фізико-хімічних систем на зовнішні фактори // Ученіе запіскі Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 116-122.*

Розглянуто небезпеку отримання артефактів при комплексному аналізі експериментальних даних із реакцій біологічних і фізико-хімічних систем на змінність зовнішніх факторів. Ця небезпека зумовлена неврахуванням або відсутністю інформації про ряд специфічних особливостей: нелінійності функції зв'язку у статичному режимі, динамічних властивостей систем, неузгодженості дискретності отримання даних і спектральних характеристик діючих факторів.

**Ключові слова:** артефакти, нелінійність, статична функція зв'язку, динамічна функція зв'язку, дискретність, ілюзія дискретизації.

*Павленко В.Б. Роль амінергічних структур стовбура мозку в організації цілеспрямованого поведінкового акту // Ученіе запіскі Тавріческого національного університета ім. В.І. Вернадского. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 123-130.*

Вивчалися механізми підготовки, реалізації та оцінювання результатів цілеспрямованих поведінкових актів людини й тварин, що включають обумовлені часовими параметрами довільні рухи. Показано, що характеристики поведінки залежать від індивідуальних особливостей активності амінергічних систем мозку.

**Ключові слова:** довільний рух, обумовлювання, амінергічні нейрони, викликані потенціали, риси особистості.



## АНОТАЦІЇ

*Колотілова О.І., Павленко В.Б., Кореток І.І., Куліченко А.М., Фокіна Ю.О.* **Взаємозв'язок активності нейронів амінергічних систем головного мозку і ритмів електроенцефалограми у кішки // Ученіє запискі Таврічеського національного універсітета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 131-137.**

В статті аналізується взаємозв'язок активності нейронів амінергічних систем головного мозку і ритмів електроенцефалограми у кішки.

**Ключові слова:** норадренергічни, серотонінергічни системи, голуба пляма, ядра шва, електроенцефалограма, нейрона активність.

*Тюнин В.Л., Мадяр С.-А., Ковалевська О.Е., Павленко В.Б.* **Корекція несприятливих впливів напруженої роботи на персональному комп'ютері за допомогою кольорових таблиць Мадяра // Ученіє запискі Таврічеського національного універсітета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 138-145.**

Показано, що напружена робота на персональному комп'ютері впродовж години призводить до несприятливих змін патерну ЕЕГ-потенціалів випробуваних. Застосування кольорових таблиць С.А.Мадяра сприяє відновленню їх психофізіологічного статусу.

**Ключові слова:** персональний комп'ютер, візуальна психостимуляція, психофізіологічний статус.

*Трибрат О.Г., Макарова Л.Б., Павленко В.Б.* **Стратегії спрямованої аутокорекції психофізіологічного стану з використанням біологічного зворотного зв'язку за ЕЕГ // Ученіє запискі Таврічеського національного універсітета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 146-153.**

Досліджували стратегії релаксації 35 досліджуваних при проведенні сеансів біологічного зворотного зв'язку за ЕЕГ. Найбільш оптимальною виявилась стратегія «психічної релаксації», при якій досягалось найкраще співвідношення між альфа- і тета-ритмами.

**Ключові слова:** біологічний зв'язок за ЕЕГ, стратегії релаксації.

*Чорний С.В., Махін С.А.* **Відбиток тривожності у компонентах пов'язаних із подією ЕЕГ-потенціалів // Ученіє запискі Таврічеського національного універсітета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 154-160.**

У статті наведено зв'язок між компонентами пов'язаних з подією ЕЕГ-потенціалів і тривожністю, описано можливі механізми формування окремих патернів викликаних потенціалів у людей з підвищеним рівнем тривожності.

**Ключові слова:** тривожність, пов'язані з подією потенціали.

*Кореток І.І., Гамма Т.В., Баєвський М.Ю., Подмарьова І.Р.* **Вплив бемітилу на фізіологічну реакцію щурів // Ученіє запискі Таврічеського національного універсітета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 161-166.**

За допомогою тесту “відкритого поля” після ін'єкції бемітилу щурам показані особливості впливу цієї речовини в різних дозах на фізіологічну реакцію тварин. На підставі отриманих результатів зроблений висновок, що бемітил дозозалежно пригнічує поведінкову реакцію щурів.

**Ключові слова:** відкрите поле, рухова активність, бемітил.

## АНОТАЦІЇ

*Равасва М.Ю., Коренюк І.І., Курьянов О.В., Чупахіна Т.А. Дослідження психотропної активності N-[N-(1,2:3,4-ди-0-ізопропіліден- $\alpha$ -D-галактопірануроноіл)]-гліцил-гліцину // Ученіе запіскі Таврїеского національного університета ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2005. – Т.18 (57). – № 1. – С. 167-173.*

У тесті відкритого поля досліджено дію N-[N-(1,2:3,4-ди-0-ізопропіліден- $\alpha$ -D-галактопірануроноіл)]-гліцил-гліцину на поведінку щурів. Встановлено, глікопептид у дозі 50 мг/кг інгібує активність ЦНС, слідством чого може бути зменшення стресуваності тварин. Порівняльний аналіз дії N-[N-(1,2:3,4-ди-0-ізопропіліден- $\alpha$ -D-галактопірануроноіл)]-гліцил-гліцину, його вуглеводного похідного N-[N-(1,2:3,4-ди-0-ізопропіліден- $\alpha$ -D-галактопірануроноїла)] і радикалу гліцин-гліцину показав, що найбільш виразливий ефект мав місце при дії N-[N-(1,2:3,4-ди-0-ізопропіліден- $\alpha$ -D-галактопірануроноіл)]-гліцил-гліцину.

**Ключові слова:** відкрите поле, глікопептид, гліцин, гальмування.

## SUMMARY

*Belousov L.V. Extremely low radiations and collective processes in the living systems // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 3-21.*

The conditions that allow to use the extremely low radiations (ELR) for detection of collective excited states of molecular substrates in the living systems were reviewed. The sufficient for these purposes there are following properties of ELR: non-additivity; concentration on the some frequencies and the presence of significant harmonics; the presence of the degradation ELR; delayed luminescence after illumination. The data about ELR obtained in experiments with eggs and germs of fishes, amphibians and birds and also with monolayer cell culture.

**Key words:** extremely low radiations, collective excited states, coherence.

*Voikov V.L., Chalkin S.F., Nilov S.M. Damp Air Extremely Low Illumination Indused by Extremely Low Intensity UV-photons // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 22-39.*

It was revealed that the photoelectric multiplier that sensitive in UV-range (PEM-142) can increases the count of photon by visible-range photomultiplier (PEM-101) that placed on 5 sm from each other. This influence depends on damp and composition of air in the measure chamber. It was supposed that the phenomenon of excitation of air, that was revealed due to constructive peculiarities of photon count device, can take place in living and non-living nature.

**Key words:** extremely low irradiation, free-radical processes, water.

*Binhi V.N. Parametric resonance in magnetobiology: critical analysis of of Arber's, Chiabrera's, Lednev's, Zhadin's, Blackman's and Binhi's ideas // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 40-50.*

Ratio of non-thermal biological effects of weak electromagnetic fields – conceptions of parametric resonance were analyzed. The priorities of original results were revealed.

**Key words:** electromagnetic fields, parametric resonance, interference of ionic states, biological effects.

*Martynyuk V.S., Tseyslyer Yu.V. The change of spectral characteristics of met-hemoglobin in conditions of its interaction with chloroform under action of extremely low frequency magnetic field // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 51-57.*

The influence of extremely low frequency magnetic field on met-hemoglobins spectral characteristics on its complex formation with chloroform was researched. It was revealed that influence of hydrophobic ligand results in change of polarity around gem and change accessibility to molecules of water, and the extremely low frequency magnetic field strengthens this process.

**Key words:** met-hemoglobin, extremely low frequency magnetic field, hydrophobic forces.

*Temuryants N.A., Minko V.A. The infradian rhythmicity of behavior parameters in the "an open field" test rats with low level of motorial activity under EMR of ELF influence // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 58-64.*

The infradian rhythmicity futures of vertical and horizontal components in the "open field test" under electromagnetic radiation (EMR) of extremely low frequency (ELF) influence at rats

## SUMMARY

with low and middle motorial activity and low emotionality were study. The EMR of ELF changes amplitude-phase characteristics, long of specters and their structure. The results of EMR of ELF action to animals with various individual features is approach of behavior infradian rhythmicity parameters. EMR of ELF influence causes hypersynchronization of time organization at rats with low motorial activity.

**Key words:** infradian rhythmicity, individual feathens, EMR of ELF, the "open field test".

*Shishko E.Y., Malugina V.I. Change infradian rhythmic of activity stress – realizing systems of rats at hypokinetic stress // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 65-71.*

Summary: in the given work influence of stress reaction on infradian rhythmic sympathetic adrenal system and hypothalamic-pituitary- systems of rats are investigated. At hypokinetic stress change infradian rhythmic, which testifies to development desynchronize.

**Key words:** hypokinetic stress, infradian rhythmic, sympathetic adrenal system, desynchronizes.

*Temuryants N.A., Chuyan E.N., Verko N.P. Naloxone modulation gidrolytic activity of phagocytes on action hypokinesia and EMF EHF // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 72-76.*

The work was devoted to study the gidrolytic phagocytes activity of in action of naloxone, EMF EHF and hypokinesia. Limitation of movement activity and action of naloxone high oscillations gidrolytic activity. Combined action of hypokinesia and EMF EHF limitation gidrolytic activity.

**Key words:** EMF EHF, naloxone, neutrophils, hypokinesia, gidrolytic activity phagocytes.

*Chujan E.N., Makhonina M.M., Tarkov V.E. Change of a functional state of the synthetic kettle of lymphocytes in a rat blood on isolated and combined with a hypokinesia activity effect of low-intensity EMF of VHF // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 77-82.*

Using luminescent microspectral analysis the investigation of a functional state of the synthetic apparatus of lymphocytes of a rat blood on isolated and combined with a hypokinesia activity effect of electromagnetic field (EMF) of extremely high frequencies (EHF) was carried out. Effect of EMF of EHF on intact animal the functional activity of the synthetic kettle of lymphocytes concerning values in control bunch is enhanced, that testifies to rising a level of an immune resistance of an organism. Under influence of a nine-diurnal hypokinesia the drop of a parameter of synthetic activity of lymphocytes was observed, that testifies to depression of synthetic processes in cells. The effect of EMF of EHF on animal in hypokinesia, produces correction of change of functional activity of lymphocytes, which results in increase of a parameter of synthetic activity concerning the given parameter for animal in restricted state of mobility, which does not take place under activity EMF of EHF.

**Key words:** low-intensity EMF of EHF, hypokinesia, lymphocytes, synthetic activity, fluorescent analysis

*Mishenko S.V., Mishenko V.P., Taryanik K.A. The polarized light influence the procoagulative and fibrinolytic brain hemispheres features in rats // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 83-87.*

It is determined in experiments in rats the brain hemispheres (right and left) significant procoagulative and fibrinolytic features in intact animals. At the rats' right head half pifer-light

## SUMMARY

irradiation on the one and on the other hand the procoagulative brain hemispheres activity increased on both sides and the fibrinolytic one-reduced. Similar changes were observed at the piler-light action to the right head half. In both cases the procoagulative and fibrinolytic features hemispheres asymmetry grew between the right and the left brain halves.

The procoagulative and fibrinolytic brain hemispheres activity increasing mechanism in response to the piler-light action is discussed.

**Key words:** piler-light, procoagulative and fibrinolytic brain tissues activity, asymmetry.

*Grigoriev P.E., Martynyuk V.S., Temuryants N.A. The biological significance of the different indices of cosmic weather in the different phases of solar cycle // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 88-92.*

The synchronization of the physiological processes by the heliogeophysical variations is provided by that channel of action of the “cosmic weather” on the environment (ionospheric or magnetospheric), which activity is dominated during the experiment. It is expressed in the minimal phase differences between the rhythms of physiological processes and the indices of the “cosmic weather” of the corresponding class – solar (Wolf numbers, 10.7 cm Solar flux) or magnetic activity (Ap, Kp, IMF polarity).

**Key words:** cosmic weather, biorhythms, synchronization.

*Zenchenko T.A., Konradov A.A., Zenchenko K.I. The correlation of dynamics of amplitude of “near zone effect” with geogeliophysical indices // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 93-104.*

An array of daily values of amplitude of “nearest zone effect” (NZE, or degree of manifestation of self-organization processes in statistical population (radioactive decay) was obtained using histogram method for data analysis (Shnoll method).

It was revealed significant statistical correlation between the dynamics of amplitude of “nearest zone effect” and indices of solar and geomagnetic activity, so that the peaks of NZE amplitude coincide with the moments of the highest rate of changes of absolute value of interplanetary magnetic field and geomagnetic field intensities.

**Key words:** geomagnetic activity, solar activity, near zone effect.

*Vladimirsky B.M., Konradov A.A. Complex problems of solar-biospheric connections // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 105-115.*

The analysis of new works on influence of cosmic factors on Earth was reviewed. Main questions: influence of Moon on physical-chemical systems, Hokelen’s “planetary effect”, daily variations in physical-chemical systems.

**Key words:** solar-biospheric connections, cosmophysical correlations, macroscopic fluctuations.

*Stepanyuk I.A. Features of reactions of biological and physico-chemical systems to external factors // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 116-122.*

The reports considers the dangers of obtaining artifacts while making an overall analysis of experimental data on reactions of biological and physico-chemical systems to variations in external, mostly electromagnetic factors in the cosmos-biosphere system. The dangers are caused by not taking into account the information, or lack thereof, on a number of specific features: nonlinearity



## SUMMARY

of the coupling function in the statistical regime, dynamic features of the systems reacting independently and in various combinations, as well as the conditions of conducting the experiments, in particular, inconsistency in discreteness of obtaining information and spectral characteristics of the involved factors.

**Key words:** artifacts, non-linearity, static function of connection, dynamic function of connection, discretisation, illusion of discretisation.

*Pavlenko V.B. The Role of Subcortex Aminergic Structures in Organization of Voluntary Behavioral Act // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 123-130.*

The study is devoted to elucidation of the mechanisms of preparation for, realization of and estimation of the results of targeted behavioral acts in humans and animals, which include self-initiated movements conditioned by the time parameters. Characteristics of behavioral acts to a great extent depend on the individual peculiarities of the activity of the monoaminergic cerebral systems.

**Key words:** voluntary movement, conditioning, aminergic neurons, evoked potentials, personality traits.

*Kolotilova O.I., Pavlenko V.B., Koreniuk I.I., Kylichenko A.M., Fokina J.O. Interrelation between the activity of neurons of aminergic brain systems and EEG rhythms in cat // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 131-137.*

In the article there is analysed the interrelation between the activity of neurons of aminergic brain systems and EEG rhythms in cat.

**Key words:** noradrenergic, serotonergic systems, locus coeruleus, nucleus raphe, EEG rhythms, neuronal activity.

*Tiunin V.L., Madyar S.A., Kovalevskaya E.E., Pavlenko V.B. Correction of unfavourable influences of intensive computer work using Madyar's color tables // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 138-145.*

It was shown that intensive computer work within an hour leads to unfavorable changes of EEG pattern – probationers' potentials. Application of Madyar's color tables assists to recover their psychophysiological status.

**Key words:** personal computer, visual color stimulation, psychophysiological status

*Tribrat A.G., Makarova L.B., Pavlenko V.B. Strategies of directed auto-correction of psycho-physiological state through use of biological feedback by EEG // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 146-153.*

The article observes the strategies of relaxation by 35 subjects during EEG biofeedback sessions. The most optimal strategy appeared to be the so called "mental relaxation", resulting in best alpha- and theta-rhythms amplitudes ratio.

**Key words:** biological feedback by EEG, relaxation strategies.

## SUMMARY

*Cherniy S.V., Makhin S.A. Anxiety level effect on the components of event-related EEG-potentials // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 154-160.*

The article reviews the interconnection between anxiety level and the components of event-related EEG-potentials (ERP), and states the possible formation mechanisms of ERP patterns in people with high anxiety.

**Key words:** anxiety, event-related potentials.

*Korenyuk I.I., Gamma T.V., Baevsky M.Yu., Podmareva I.R. Influence of bemitile on physiological reaction of rats // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 161-166.*

Summary: With the help of the test of " an open field " after an injection bemitile features of influence of this substance in various dozes on physiological reaction of animals are shown rats. On the basis of the received results the conclusion that bemitile renders oppressing effect on behavioural reaction of rats is made.

**Key words:** an open field, impellent activity, bemitile.

*Ravaeva M.J., Korenjuk I.I., Kur'janov O.V., Chupahina T.A. Studying of psychotropic activity N-[N-(1,2:3,4-di-O-izopropiliden- $\alpha$ -D-galactopyranuronoil)]-glycil-glycine // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2005. – V.18 (57). – № 1 – P. 167-173.*

In the test «open field» action N-[N-(1,2:3,4-di-O-izopropiliden- $\alpha$ -D-galactopyranuronoil)]-glycil-glycine on behavioural parameters of activity of rats is investigated. It is established, that glycopeptides in a doze of 50 mg/kg has brake an effect on nervous system, investigation of that may be reduction stress animals.. The comparative analysis of action glycopeptides, his carbohydrate basis and a radical has shown, that the most expressed effect was observed at action glycopeptide.

**Key words:** open field, glycopeptide, glycine, inhibition.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Белоусов<br>Лев Владимирович      | д.б.н., профессор биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия) и профессор Международного института биофизики (Германия). |
| Бинги<br>Владимир Николаевич      | д.ф.-м.н., профессор Института общей физики РАН, Москва, Россия   |
| Верко<br>Наталья Петровна         | Ассистент кафедры нормальной физиологии, Крымский государственный медицинский университет им. С.И.Георгиевского   |
| Владимирский<br>Борис Михайлович  | ведущий научный сотрудник Крымской астрофизической обсерватории, п. Научный.  |
| Воейков<br>Владимир Леонидович    | д.б.н., профессор, заведующий кафедрой биоорганической химии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия.   |
| Григорьев<br>Павел Евгеньевич     | ассистент кафедры биофизики КГМУ им. С.И. Георгиевского.  |
| Зенченко К.И.                     | Институт Теоретической и Экспериментальной Биофизики РАН, Пущино, Московская обл.   |
| Зенченко Т.А.                     | Институт Теоретической и Экспериментальной Биофизики РАН, Пущино, Московская обл.   |
| Ковалевская<br>Елена Эммануиловна | аспирант Института психологии им. Г.С. Костюка, заместитель директора Международной общественной академии «Модус Колорис».  |
| Колотилова<br>Оксана Ивановна     | ТНУ им. В.И.Вернадского, кафедра физиологии человека и животных и биофизики. аспирант,<br>oxy1978@mail.ru;mailto:oxy1978@mail.ru  |
| <b>Конрадов А.А.</b>              | Институт Биохимической физики РАН, Москва   |
| Кореньюк<br>Иван Иванович         | ТНУ им. В.И.Вернадского, кафедра физиологии человека и животных и биофизики, доктор биологических наук, профессор.  |
| Кореньюк<br>Иван Иванович         | ТНУ, каф. физиологии человека и животных и биофизики, д.б.н., профессор.  |
| Куличенко<br>Александр Михайлович | ТНУ им. В.И.Вернадского, кафедра физиологии человека и животных, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.  |

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

|  |   |
|--|---|
| <b>Курьянов<br/>Владимир Олегович</b>    | ТНУ, каф. органической химии, к.х.н.  |
| <b>Мадяр<br/>Стефан-Арпад Иосифович</b>  | доктор философии, Президент Международной общественной академии «Модус Колорис».  |
| <b>Макарова<br/>Любовь Борисовна</b>     | студентка 5 курса факультета психологии ТНУ им. В.И. Вернадского  |
| <b>Малыгина<br/>Вера Ильинична</b>       | кандидат биологических наук, доцент кафедры реабилитации Таврического национального университета им. В.И. Вернадского.                  |
| <b>Мартынюк<br/>Виктор Семенович</b>     | к.б.н., доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университета им. В.И. Вернадского          |
| <b>Махин<br/>Сергей Анатольевич</b>      | ТНУ им. В.И. Вернадского, кафедра общей психологии, кандидат биологических наук, ассистент.   |
| <b>Махонина<br/>Марина Михайловна</b>    | Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики.                  |
| <b>Минко<br/>Виктория Александровна</b>  | аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университета им. В.И. Вернадского.               |
| <b>Мищенко<br/>Виталий Петрович</b>      | профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Украинская медицинская стоматологическая академия, г. Полтава;                    |
| <b>Мищенко<br/>Сергей Витальевич</b>     | ассистент кафедры биофизики, Украинская медицинская стоматологическая академия, г. Полтава;   |
| <b>Нилов С.Н.</b>                        | Каф. биофизики физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва   |
| <b>Павленко<br/>Владимир Борисович</b>   | Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, кафедра физиологии человека и животных, кандидат биологических наук, доцент. |
| <b>Раваева<br/>Марина Юрьевна</b>        | ТНУ, каф. физиологии человека и животных и биофизики, м.н.с.  |
| <b>Степанюк И.А.</b>                     | д.ф.м.н., профессор Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, Россия.                         |
| <b>Тарков<br/>Виктор Евгениевич</b>      | Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, студент биологического факультета   |
| <b>Таряник<br/>Екатерина Анатольевна</b> | аспирант кафедры нервных болезней, Украинская медицинская стоматологическая академия, г. Полтава.                                       |

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

|   |   |
|---|---|
| <b>Темурьянц<br/>Наталья Арменаковна</b>  | доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университете им. В.И. Вернадского. |
| <b>Трибрат<br/>Александр Георгиевич</b>   | аспирант кафедры человека и животных и биофизики биологического факультета ТНУ им. В. И. Вернадского.<br>3brat@rambler.ru                             |
| <b>Тюнин<br/>Владимир Леонидович</b>      | Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, кафедра физиологии человека и животных, соискатель.  |
| <b>Фокина<br/>Юлия Олеговна</b>           | ТНУ им. В.И.Вернадского, кафедра физиологии человека и животных и биофизики, студентка 3-го курса.  |
| <b>Цейслер<br/>Юлия Вадимовна</b>         | аспирант кафедры биофизики Киевского национального университета им. Тараса Шевченко   |
| <b>Чалкин С.Ф.</b>                        | Российское Космическое Агенство   |
| <b>Черный<br/>Сергей Васильевич</b>       | ТНУ им. В.И. Вернадского, кафедра физиологии человека и животных и биофизики, аспирант.   |
| <b>Чупахина<br/>Татьяна Александровна</b> | ТНУ, каф. органической химии, м.н.с.  |
| <b>Чуян<br/>Елена Николаевна</b>          | Докторант кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского                                 |
| <b>Шишко<br/>Елена Юрьевна</b>            | аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университета им. В.И. Вернадского.                             |



## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Белоусов Л.В.</b><br>СВЕРХСЛАБЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ .....  | 3   |
| <b>Воейков В.Л., Чалкин С.Ф., Нилов С.Н.</b><br>СВЕРХ-СЛАБОЕ СВЕЧЕНИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА, ИНДУЦИРОВАННОЕ УФ-ФОТОНАМИ СВЕРХ-НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ.....  | 22  |
| <b>Бинги В.Н.</b><br>ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В МАГНИТОБИОЛОГИИ: КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИДЕЙ АРБЕРА, КИАБРЕРА, ЛЕДНЕВА, ЖАДИНА, БЛЭКМАНА И БИНГИ .....  | 40  |
| <b>Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В.</b><br>ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТГЕМОГЛОБИНА В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ХЛОРОФОРМОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ .....                               | 51  |
| <b>Темурьянц Н.А., Минко В.А.</b><br>ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ «ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СНЧ.....  | 58  |
| <b>Шишко Е.Ю., Малыгина В.И.</b><br>ИЗМЕНЕНИЕ ИНФРАДИАННОЙ РИТМИКИ АКТИВНОСТИ СТРЕСС-РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ.....   | 65  |
| <b>Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Верко Н.П.</b><br>НАЛОКСОН МОДУЛИРУЕТ ГИДРОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ФАГОЦИТОВ НА ДЕЙСТВИЕ ГИПОКИНЕЗИИ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ .....  | 72  |
| <b>Чуян Е.Н., Махонина М.М., Тарков В.Е.</b><br>ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ КРЫС ПРИ ИЗОЛИРОВАННОМ И КОМБИНИРОВАННОМ С ГИПОКИНЕЗИЕЙ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ ..... | 77  |
| <b>Мищенко С.В., Мищенко В.П., Таряник Е.А.</b><br>ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ПРОКОАГУЛЯНТНЫЕ И ФИБРИНОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУШАРИЙ МОЗГА У КРЫС .....   | 83  |
| <b>Григорьев П.Е., Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А.</b><br>БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ .....   | 88  |
| <b>Зенченко Т.А., Конрадов А.А., Зенченко К.И.</b><br>КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ» С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ .....  | 93  |
| <b>Владимирский Б.М., Конрадов А.А.</b><br>ТРУДНЫЕ ВОПРОСЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ .....   | 105 |
| <b>Степанюк И.А.</b><br>ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ .....   | 116 |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Павленко В.Б.</b><br>РОЛЬ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА МОЗГА<br>В ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АКТА .....  | 123 |
| <b>Колотилова О.И., Павленко В.Б., Коренюк И.И.,<br/>Куличенко А.М., Фокина Ю.О.</b><br>ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ АМИНЕРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ<br>ГОЛОВНОГО МОЗГА И РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У КОШКИ ..... | 131 |
| <b>Тюнин В.Л., Мадяр С.-А., Ковалевская Е.Э., Павленко В.Б.</b><br>КОРРЕКЦИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВЛИЯНИЙ НАПРЯЖЕННОЙ РАБОТЫ<br>НА КОМПЬЮТЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ЦВЕТОВЫХ ТАБЛИЦ С.-А. МАДЯРА .....                         | 138 |
| <b>Трибрат А.Г., Макарова Л.Б., Павленко В.Б.</b><br>СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОЙ АУТОКОРРЕКЦИИ<br>ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ .....                    | 146 |
| <b>Черный С.В., Махин С.А.</b><br>ОТРАЖЕНИЕ ТРЕВОЖНОСТИ В КОМПОНЕНТАХ СВЯЗАННЫХ<br>С СОБЫТИЕМ ЭЭГ-ПОТЕНЦИАЛОВ .....   | 154 |
| <b>Коренюк И.И., Гамма Т.В., Бавеский М.Ю., Подмарева И.Р.</b><br>ВЛИЯНИЕ БЕМИТИЛА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС .....  | 161 |
| <b>Раваева М.Ю., Коренюк И.И., Курьянов В. О., Чупахина Т.А.</b><br>ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОТРОПНОЙ АКТИВНОСТИ N-[N-(1,2:3,4-ДИ-О-<br>ИЗОПРОПИЛИДЕН-А-D-ГАЛАКТОПИРАНУРОНОИЛ)]-ГЛИЦИЛ-ГЛИЦИНА .....                      | 167 |
| АННОТАЦИИ .....   | 174 |
| АННОТАЦІЇ .....   | 180 |
| SUMMARY .....   | 186 |
| СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....   | 191 |
| СОДЕРЖАНИЕ .....  | 194 |