

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
INTERNATIONAL CONFERENCE **В Л И Я Н И Е**
КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ЧЕЛОВЕКА
В КОСМОСЕ И НА ЗЕМЛЕ 4-8 ИЮНЯ/JUNE 2012
SPACE WEATHER EFFECTS ON HUMANS
IN SPACE AND ON EARTH ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
SPACE RESEARCH INSTITUTE

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

2

Под редакцией

вице-президента РАН
академика

А. И. Григорьева

и академика РАН

Л. М. Зелёного

В двух томах

МОСКВА
2013

Space Weather Effects on Humans: in Space and on Earth Proceedings of the International Conference

Space Research Institute, Moscow, Russia, June 4–8, 2012, Ed. A. I. Grigoriev, L. M. Zeleny

In two volumes

Volume 2

During the last thirty years there has been steady progress in our understanding of the influence that space weather has on the state of human health both in Space and at Earth. This development is mainly based on research conducted on humans onboard space stations and spacecrafts, as well as on ground based observations and experimental studies simulating conditions in space. This interdisciplinary field of research requires a wide exchange of expertise in various topics. Only with a global approach it will be possible to establish a mutual understanding, in regard to defining the current state of this research problem as well as identifying what should be pursued in future research activities.

Main Topics of Conference

1. Space Weather and its role in defining the Local Environment. Physical factors and their effects (e.g. solar and geomagnetic activity, interplanetary disturbances, galactic cosmic rays).
2. Space weather and Human health on Earth. Laboratory investigations and natural observations. Combined influence of space and terrestrial weather on biological objects and sick and healthy people. Health risks. Space weather biotropic effects and its role in human survival.
3. Assessment and paths of risks reduction of diseases caused by the impact of weather and climatic and environmental factors in a changing climate.
4. Space Weather and Human health in Space. Human habitation in stress situation associated with weightlessness, combined with additional risks (e.g. increased radiation, weakening of the influence of Earth's magnetic field, long duration isolation in limited space on stations etc.). Ground based laboratory studies, in particular Roscosmos – ESA project MARS-500.

Keywords: space weather, geomagnetic field, solar activity, cosmic rays, climate, radiation load, human health on the Earth, human health in Space.

Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле

Труды Международной конференции

ИКИ РАН, Москва, Россия, 4–8 июня 2012 г. Под ред. А. И. Григорьева, Л. М. Зелёного

В двух томах

Том 2

В последние тридцать лет наши знания о влиянии космической погоды на состояние здоровья людей на Земле и в Космосе получили существенное развитие. Развитие это опиралось главным образом на исследования в космосе на орбитальных станциях и космических аппаратах, на наземные наблюдения и экспериментальные исследования, имитирующих многофакторные условия в космическом пространстве. Эта междисциплинарная область нуждается в широком обмене мнениями между специалистами разного профиля, и определении основных направлений дальнейших исследований.

На конференции обсуждались следующие темы:

1. Космическая погода и её роль в формировании свойств локальной окружающей среды. Физические факторы и их эффекты (солнечная и геомагнитная активность, межпланетные возмущения, галактические космические лучи и т. д.).
2. Космическая погода и здоровье человека на Земле. Лабораторные исследования и натурные наблюдения. Комбинированное воздействие космической и земной погоды на биологические объекты и здоровых и больных людей. Группы риска. Биотропность космической погоды, и её роль в выживании человека.
3. Оценка и пути снижения рисков заболеваний, обусловленных влиянием погодно-климатических и экологических факторов в условиях изменяющегося климата.
4. Космическая погода и здоровье людей в Космосе. Здоровье людей в стрессовых условиях, связанных с невесомостью и другими факторами (возросшей радиацией, ослаблением влияния магнитного поля Земли, длительной изоляцией в ограниченном пространстве станции и т. д.). Наземные лабораторные исследования.

Ключевые слова: космическая погода, геомагнитное поле, климат, солнечная активность, космические лучи, радиационная опасность, здоровье людей на Земле, здоровье людей в космосе.

Редактор: Корниленко В. С.

Компьютерная вёрстка: Комарова Н. Ю.

Дизайн обложки: Захаров А. Н.

Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

Электронная версия сборника размещена на сайте ИКИ РАН: <http://www.iki.rssi.ru/print.htm>.

Том 2

Часть 4

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И ЗДОРОВЬЕ

<i>Бреус Т. К.</i> Формирование ритмической структуры биологических объектов в процессе эволюции.	463
<i>Бинги В. Н.</i> Общие характеристики магнитобиологических явлений.	484
<i>Germaine Cornelissen, Kuniaki Otsuka, Franz Halberg</i> Remove and Replace for a Scrutiny of Space Weather and Human Affairs.	508
<i>Takahiro Kawasaki, Akiyo Yatagai, Takashi Nakaoka, Keiko Otsuka, Yumie Otsuka, Yoshihiko Watanabe, Kuniaki Otsuka, Kiyohito Okumiya, Kozo Matsubayashi, Tsering Norboo, Germaine Cornelissen, Franz Halberg</i> Astro-glocal spatially and temporally (global & local) comprehensive health watch especially at high altitude.	539
<i>Stoupe E.</i> Space Weather and Medical Events: Medical Observations for 45 years (Clinical Cosmobiology)	551
<i>Гурфинкель Ю. И.</i> Физиологические и патофизиологические аспекты влияния космической погоды на человеческий организм.	560
<i>Загускин С. Л., Крылов А. К., Гуров Ю. В., Загускина С. С.</i> Стратегии адаптации организма человека к геомагнитным бурям и погодным аномалиям.	570
<i>Рагульская М. В., Обридко В. Н., Чибисов С. М.</i> Биотропное воздействие космической погоды: мифы, реальность и новые направления исследования.	581
<i>Мотин В. Н., Белоусов А. В., Загускин С. Л., Гуров Ю. В., Кобыляцкий С. В., Котов А. В.</i> Устройство «Квант-Био» для прогнозирования и профилактики неблагоприятной реакции организма человека на геомагнитные бури и погодные аномалии.	605
<i>Рапопорт С. И.</i> Мелатонин в профилактике магнитных бурь.	615
<i>Гурфинкель Ю. И., Васин А. Л., Матвеева Т. А.</i> Реакция сердечно-сосудистой системы здоровых добровольцев на нулевое магнитное поле в условиях эксперимента.	619
<i>Зенченко Т. А.</i> Метод последовательных приближений в задаче исследования механизма индивидуальных гелиометеотропных реакций.	633
<i>Katsavrias Ch., Preka-Papadema P., Moussas X., Apostolou Th., Hillaris A., Theodoropoulou A., Papadima Th.</i> Solar and Space Weather Effects on Acute Coronary Syndromes — An Approach Based on Wavelet Analysis.	649
<i>Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., Katsavrias Ch.</i> The potential effect of cosmic ray intensity variations on human cardiovascular functionality.	660
<i>Gkotsinas A., Preka-Papadema P., Dimisianos N., Papachristou P., Antonakopoulos G., Papathanasopoulos P., Moussas X., Hillaris A.</i> The Possible Solar and Geomagnetic Activity Effects on the Neurological Disease of Multiple Sclerosis.	669
<i>Ioannidou S. P., Papailiou M., Mavromichalaki H., Apostolou Th., Paravolidakis K., Kouremeti M., Rentifis L., Simantirakis E., Xystouris G.</i> Impact of Cosmic Ray Intensity and Geomagnetic Activity on Human Heart Rate.	683

<i>Исайкина О. Ю., Кукса Ю. И., Шибеев И. Г.</i> Оценка характеристик длительного мониторинга артериального давления и пульса	695
<i>Парфёнова Л. М., Гурфинкель Ю. И., Митрофанова Е. А., Васин А. Л.</i> Влияние геомагнитной обстановки на показатели суточного мониторинга электрокардиограммы у больных с постинфарктным кардиосклерозом	708
<i>Novik O. B., Smirnov F. A.</i> Geomagnetic storm's influence on electric potentials of a human cerebral cortex	715
<i>Giannaropoulou E., Papailiou M., Mavromichalaki H., Gigolashvili M., Tvildiani L., Janashia K., Preka-Papadema P., Papadema Th.</i> Possible Influence of the Polarity Reversal of the Solar Magnetic Field on the Various Types of Arrhythmias	722
<i>Самсонов С. Н., Маныкина В. И.</i> Проявление космической погоды в состоянии сердечно-сосудистой системы человека в высоких широтах	730
<i>Степанюк И. А., Фролова Н. С., Зимин А. В., Перевозчиков Н. Ф.</i> Поиск механизмов влияния гидрометеорологических процессов на штормгласс.	739
<i>Солонин Ю. Г.</i> О связи функциональных показателей с атмосферными и геомагнитными факторами у мужчин-северян в многомесячном исследовании	746
<i>Хорсева Н. И., Григорьев П. Е., Поскотинова Л. В., Килесса Г. В., Гливенко А. В.</i> Интегративный подход к изучению влияния космофизических факторов на функциональное состояние человека: создание первой общедоступной информационной системы мониторинга психофизиологических показателей. . . .	756
<i>Катинас Г. С., Юлдашова О. М., Алексина Л. А.</i> Возможные и необходимые условия влияния геомагнитного поля на массу тела новорождённых	769
<i>Syutkina E. V., Cornélissen G., Mitish M. D., Krylova O. S., Narogan M. V., Masalov A. V., Halberg F.</i> Decadal solar activity cycles modulate neonatal health	782
<i>Дорман Л. И.</i> О роли космических лучей и других факторов космической погоды в глобальных изменениях земного климата.	789

Том 2

Часть 4

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И ЗДОРОВЬЕ

ФОРМИРОВАНИЕ РИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ

Т. К. Бреус

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН),
Москва, Россия, e-mail: breus36@mail.ru

В 90-х годах прошлого столетия была предложена гипотеза о том, что ритмы гелиогеомагнитной активности (ГМА) (слабые естественные электромагнитные поля ЭМП) могут быть внешними синхронизаторами биологических ритмов, по аналогии с тем, как ритмы освещённости и температуры сформировали циркадианные (суточные) ритмы. Основными проблемами в настоящее время являются вопросы о том, что представляют собой мишени ЭМП в биологических объектах — рецепторы ГМА? Каковы механизмы воздействия низкочастотных электромагнитных полей очень слабой интенсивности (интенсивность этих полей лежит в области 10^{-4} ... 10^{-12} Т)? Какие характеристики солнечной и геомагнитной активности наиболее биотропны? Эти проблемы обсуждаются в данной работе. Представлены результаты тестовых экспериментов и исследований.

ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени предполагалось, что циркадианные ритмы (24 часа) лидируют в иерархии биологических ритмов живых организмов. Считается, что суточные (циркадианные) ритмы сформировались на ранней стадии зарождения живых организмов под влиянием суточного ритма температуры и освещённости, возникшего из-за собственного вращения Земли с периодом сутки. Эти ритмы в процессе эволюции закрепились на всех уровнях сложных биологических систем — от клеток до целостного организма — и превратились в эндогенные циркадианные биологические ритмы.

Инфраниантные биологические ритмы (с периодом <28 дней и >24 ч) не привлекали значительного внимания, несмотря на то, что они были известны ещё с античных времён (например, ритмы обострений — кризисов — в различных заболеваниях). На эмпирическом уровне инфраниантные ритмы хорошо знакомы врачам в современной медицине (рис. 1, 2) [Halberg et al., 1991].

На рис. 2 показан классический пример развития ритмической структуры у новорождённого младенца, как бы повторяющего эволюционный путь биологического организма. Очевидно, что инфраниантные ритмы возникают и развиваются раньше циркадианных, что довольно удивительно, так как в материнском организме циркадианный ритм является доминирующим. Очевидно сходство наблюдавшихся ритмов с периодами собственного вращения Солнца 28 дней и его гармониками, а также с «лунными ритмами».

Стабильные «лунные» инфраниантные гравитационные ритмы, интегрированные во временную структуру живых организмов и ставшие эндогенными, были, по-видимому, тем фоном для других ритмов и флуктуаций, которые возникали под влиянием других внешних факторов сходных периодов. Эти постоянно действующие дополнительные внешние факторы включали в себя широкий спектр ритмов с различными периодами, к которым живые организмы также должны были адаптироваться, чтобы не погибнуть от десинхроза, представляющего потенциальную опасность для выживания.

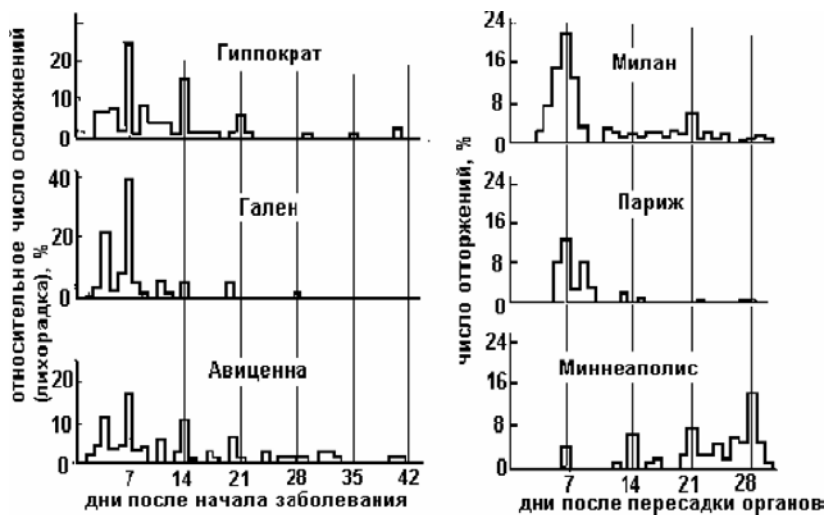


Рис. 1. Спектры заболеваний лихорадкой в древности (анализ протоколов древних врачей — Гиппократ, Галена и Авиценны) — слева; критические дни отторжения трансплантатов после операций по пересадке почек и сердца у пациентов различных клиник в Милане, Миннеаполисе и Париже — справа. В Миннеаполисе пациентам давали соответствующие препараты для предотвращения отторжений. Отчетливо видны ритмы с периодом неделя, две недели, 21 день и 28 дней на обоих графиках

Инфранианная часть этих ритмов была, очевидно, связана с солнечно-геомагнитной активностью и создаваемыми ею ритмами, синхронными с собственным вращением Солнца. Ультранианная область частот электромагнитных полей соответствует частотам природных шумановских резонансов (ШР) (8 и 14 Гц), электромагнитным колебаниям в области частот 0,8...2,5 Гц, свойственным различным природным альфвеновским осцилляторам (микропульсациям геомагнитного поля).

В 90-х гг. прошлого столетия была предложена гипотеза о том, что ритмы гелио-геомагнитной активности (ГМА) (слабые естественные электромагнитные поля ЭМП) могут быть внешним синхронизатором биологических ритмов, по аналогии с тем, как ритмы освещённости и температуры сформировали циркадианные (суточные ритмы). Основные проблемы в настоящее время — вопросы о том, что является мишенью в биологических объектах — рецепторами ГМА? Каковы механизмы воздействия низкочастотных электромагнитных полей очень слабой интенсивности (интенсивность этих полей лежит в области 10^{-4} ... 10^{-12} Т)? **Какие характеристики солнечной и геомагнитной активности наиболее биотропны?**

Эти проблемы обсуждаются в данной работе. Показано, что сердечно-сосудистая система, включая ритмы сердца и мозга, представляет собой достаточно чувствительную мишень для воздействия ГМА и метеорологических факторов, в то время как ритмы геомагнитных пульсаций типа Рс 1 и Рс 5 и шумановские резонансы являются наиболее подходящими биотропными агентами, которые, по-видимому, интегрировались во временную структуру живых организмов и запустили «биологические часы». Сбои ритмов этих показателей во время возмущений космической погоды могут сопровождаться физиологическими последствиями, опасными для выживания.

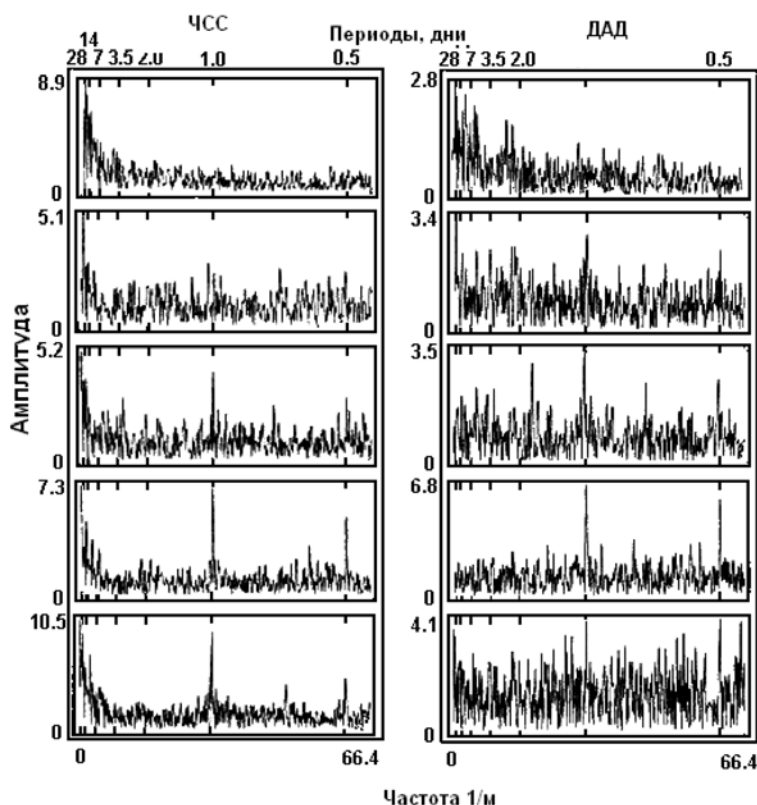


Рис. 2. Усредненные спектры мониторингирования на протяжении 26 месяцев частоты сердечных сокращений (ЧСС) и диастолического артериального давления (ДАД) новорожденного младенца, оставленного в госпитале Миннесоты. Весь период мониторингирования разбит на пять усредненных спектров по пять месяцев каждый. На верхней оси показаны периоды наиболее выделяющихся ритмов. Видны ритмы с периодами 28 дней, 14 дней, одна неделя, 3 дня, 4 дня. Суточный ритм появляется у новорожденного только на 5–11-м месяце жизни и начинает доминировать к году жизни

ПОДОБИЕ ИНФРАДИАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ РИТМАМ ГЕЛИО-ГЕОМАГНИТНЫХ ФАКТОРОВ

Длительное время природа происхождения инфрадианных эндогенных биологических ритмов оставалась непонятной. Внешний природный синхронизатор, который мог бы породить подобно ритмику биологических объектов, не был обнаружен.

Причиной существования биологической недели, которую биологи наблюдали как на клеточном, так и на органном и организменном уровне, считалась интеграция (и созревание) за недельный период неких внутренних процессов — т. е. внутренняя эволюция, но не адаптация к воздействию внешних синхронизаторов [Halberg et al., 1991]. После появления в 90-х гг. прошлого столетия гипотезы об интеграции во временную структуру биологических систем ритма внешнего инфрадианного синхронизатора начались поиски этого фактора и сопоставление его ритмов с ритмами биологических

объектов [Бреус и др. 1995; Комаров и др., 1994, 2000; Halberg et al., 1991]. К роли искомого фактора со сходной структурой ритмов больше всего оказались подходящими ритмы солнечной и геомагнитной активности, порождающие вариации электрических и магнитных полей в магнитосфере Земли.

На рис. 3. показаны данные измерения солнечного ветра вблизи орбиты Земли на различных космических аппаратах на протяжении нескольких оборотов Солнца.

Отчётливо заметны «волны» скорости протяжённостью около 7 дней.

На рис. 4 показана секторная структура межпланетного магнитного поля ММП, полученная усреднением данных измерений на космических аппаратах [Wilcox, Ness, 1965]. Отчётливо видны околонедельный и полунедельные ритмы вариаций секторной структуры ММП.

Крупномасштабные электрические и магнитные поля в околоземном пространстве создаются вследствие взаимодействия собственного магнитного поля Земли (магнитосферы Земли) с потоками солнечных заряженных частиц, называемых солнечным ветром (СВ). Эти потоки, истекая из Солнца радиально, уносят с собой в межпланетное пространство солнечное магнитное поле. Магнитное поле Солнца в межпланетном пространстве (ММП) из-за вращения Солнца и радиального движения его носителей — солнечных заряженных частиц, в поток которых оно «вморожено», — закручивается и образует объёмную спиралевидную структуру, напоминающую складки балетной пачки вращающейся балерины. Плоскость магнитного экватора Солнца наклонена к плоскости эклиптики, в которой находится орбита Земли.

При вращении Солнца Земля, двигаясь по своей орбите, вследствие наклона орбиты пересекает эти складки и попадает то в северное, то в южное полушарие солнечной магнитосферы. Магнитное поле Солнца, как известно, имеет противоположное направление в северном и южном полушариях.

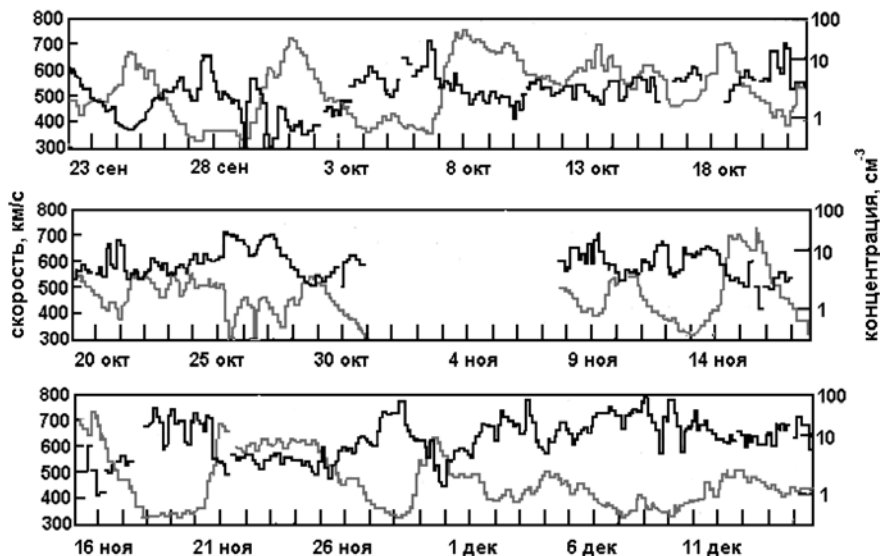


Рис 3. Околонедельные «волны» скорости и концентрации солнечного ветра, измеренные на искусственных спутниках Земли (из сборника [Солнечно-земная..., 1968])

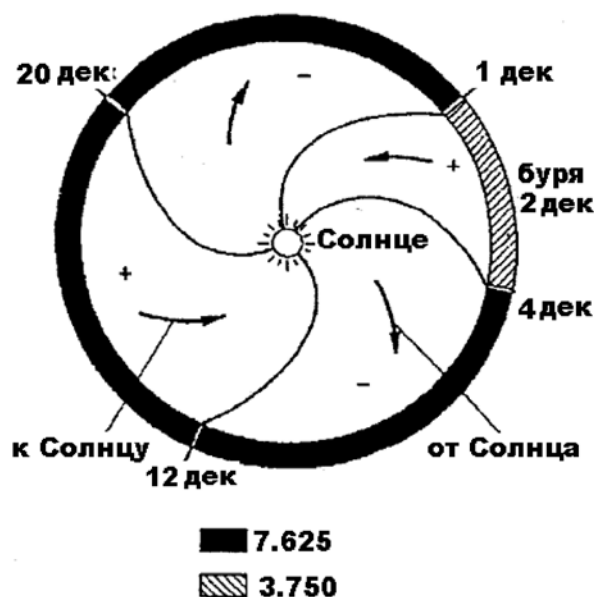


Рис. 4. Секторная структура межпланетного магнитного поля, полученная усреднением данных измерений на космических аппаратах [Wilcox, Ness, 1965]. Стрелки — направления силовых линий ММП. (+) и (–) соответствуют направлениям от Солнца и к Солнцу соответственно. Внизу различной штриховкой показаны сектора с различной временной протяженностью — околополусеmidневной и околосеmidневной

Соответственно, направление магнитного поля, измеряемого на космических аппаратах, находящихся на орбитах вблизи Земли, будет резко изменяться на противоположное — от Солнца или к Солнцу. Именно этот эффект и отражён на рис. 4, где наблюдается четыре сектора с различным направлением ММП, которые и представляют собой секторную структуру межпланетного магнитного поля. Таких секторов бывает два в период минимума солнечной активности (СА) и четыре в период максимума СА.

В тех случаях, когда ММП вблизи орбиты Земли имеет вертикальную к плоскости эклиптики компоненту B_z и ориентированную на юг от плоскости эклиптики, может происходить явление, называемое пересоединением магнитных полей солнечного ветра и геомагнитного поля, сопровождающееся их аннигиляцией в области пересоединения. Через области пересоединения, где нет уже магнитного поля, останавливающего солнечные заряженные частицы, они проникают внутрь магнитосферы Земли и начинают дрейфовать, образуя кольцевой ток, магнитное поле которого создаёт депрессию напряжённости собственного магнитного поля Земли (Dst-вариация). Заряженные частицы, дрейфуя в хвост магнитосферы, накапливаются там, вытягивая замкнутые силовые линии дипольного магнитного поля. При этом в хвосте образуется конфигурация магнитного поля в форме натянутой рогатки — хвостовой касп. Когда давление частиц в каспе превосходит давление магнитного поля, происходит разрыв магнитной ловушки в каспе, и заряженные частицы «выстреливаются» как из рогатки в сторону Земли. Происходят выпадение энергичных частиц в авроральных и полярных областях, ионизация и свечение атмосферы (полярные сияния). Этот процесс высвобождения частиц

уменьшает их концентрацию в кольцевом токе и, соответственно, магнитное поле, создаваемое этим током. Поэтому он сопровождается фазой восстановления геомагнитного поля до нормального уровня. Весь же описанный выше процесс от момента пересоединения, через фазу депрессии геомагнитного поля (**Dst-вариация — главная фаза**), **заканчивающийся фазой его восстановления** и представляет собой сильно упрощённую схему развития явления, называемого геомагнитной бурей.

Имеется, по крайней мере, два типа явлений в солнечном ветре, приводящих к возникновению геомагнитных бурь на Земле, — корональные выбросы массы (СМЕ) и коротящие области сжатия при взаимодействии разноразностных потоков солнечного ветра (CIR). Распространение СМЕ в межпланетном пространстве геоэффективно из-за присутствия в таком выбросе сильного магнитного поля Солнца или поля, возникшего вследствие сжатия ММП ударной волной, генерированной СМЕ. Это распространение СМЕ сопровождается обычно образованием различного рода структур в солнечном ветре (ICME), включая магнитные облака и сильные всплески B_z -компоненты ММП, когда она принимает значения, на порядок величины превышающие средние значения, и изменяет свою ориентацию. Другой причиной геомагнитных бурь могут быть CIR, которые представляют собой структуры, возникающие в случае, когда высокоскоростные потоки солнечного ветра, возникающего в области открытых магнитных силовых линий в корональных дырах, взаимодействуют с потоками медленного солнечного ветра, образующегося в области замкнутых силовых линий (см., например [Zang, 2003]). Имеются также геомагнитные бури, связанные со вспышками на Солнце и межпланетными ударными волнами, порождаемыми этими вспышками, однако только примерно 20 % всех геомагнитных бурь можно связать с этими явлениями, в то время как примерно 30 % всех бурь связана с СМЕ и примерно 30 % — с CIR [Ермолаев, Ермолаев, 2002]).

Наиболее сильные планетарные геомагнитные бури как в максимуме, так и в минимуме СА почти всегда (97 %) связаны с приходом к Земле структур, относящихся к СМЕ. Умеренные бури в основном связаны с CIR в минимуме СА и с СМЕ в максимуме СА [Richardson et al., 2001; Tsurutani, Gonzalez, 1997]. Следует подчеркнуть, что распределение Кр-индексов, соответствующее возмущениям, генерированным СМЕ и CIR, не зависит от цикла СА, а также что наибольшие значения Кр-индекса, соответствующие приходу к Земле СМЕ, наблюдаются в присутствии южной компоненты ММП, т.е., когда B_z отрицательна [Richardson et al., 2001].

Гелиогеофизические ритмы с периодами, соответствующими периоду собственного вращения Солнца, стали известны ещё с начала космических исследований. В частности, приходы к Земле рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра с околосдвадцатисемидневной периодичностью и их роль в формировании геомагнитной активности широко обсуждались в литературе. Однако детальной структурой этих и более короткопериодических гелиогеофизических ритмов и их динамикой в цикле солнечной активности в 80-х гг., когда начались обсуждающиеся здесь исследования, никто всерьёз не занимался. Некоторый интерес к околоснедельным ритмам скорости солнечного ветра возник в связи с объяснением околоснедельных вспышек яркости блеска комет взаимодействием с крупномасштабной структурой высокоскоростных потоков солнечного ветра в работе [Бреус и др., 1986].

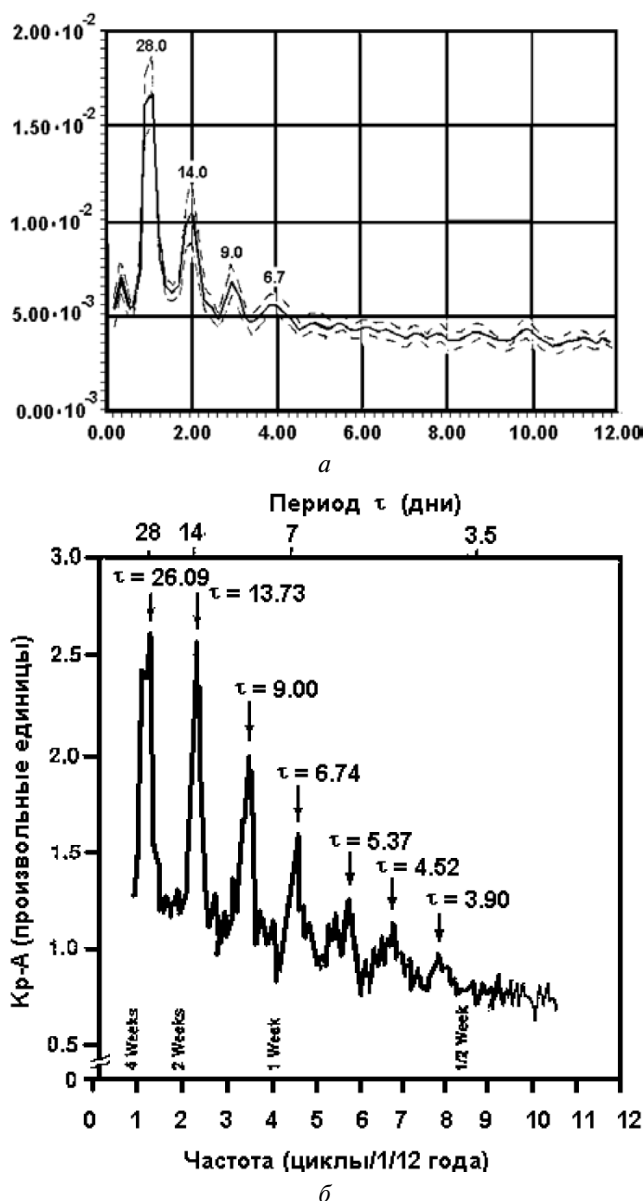


Рис. 5. Спектры вариаций секторной структуры ММП за 1958–1989 гг. (а) и Кр-индекса геомагнитной активности за 1932–1990 гг. (б)

На рис. 5 показаны спектры короткопериодических (с $T < 28$ дней) вариаций Vz-компоненты ММП и планетарного Кр-индекса, полученные при спектральном анализе данных наблюдений за 32 и 59 лет, соответственно [Бреус и др., 1995; Breus et al., 1994].

Фурье-спектр Vz ММП (данные были получены из Мирового Центра NOAA) рассчитывался следующим образом: дням, когда Vz была в среднем отрицательна, приписывались значения -1 , положительным дням приписывались значения $+1$, а дням с неопределённым знаком Vz — 0 . Пропуски

данных в спутниковых измерениях восстанавливались методом Мансурова — Свалгарда по данным магнитных обсерваторий в высоких широтах. При расчёте спектров использовался шаг по частоте 10 колебаний в год, окно в 168 дней и смещение 20 дней.

Спектр Кр-индекса рассчитывался методом косинор-анализа в спектральной области периодов от одного месяца до 3,5 дней. Этот довольно архаичный метод был введён Ф. Халбергом на заре биоритмологических исследований [Мусин и др., 1985] и использовался нами в ряде совместных работ с ним и его коллегами из Университета в Миннесоте. Он также широко используется в биоритмологических исследованиях до настоящего времени.

Как известно, изменения магнитных полей активных областей на Солнце, формирующих коронарные дыры и определяющих выход высокоскоростных потоков солнечного ветра в межпланетное пространство, также имеют ритмическую структуру. Отчётливо выраженные ритмы с периодами порядка 27,03 дня и 13,5 дней были выделены в ряде работ как для скоростей солнечного ветра, так и для фотосферных магнитных полей (см., например, работу [Neugebauer et al., 2000] и цитированную в ней литературу). Период 13,5 дней связывают, в частности, с инерциальными осцилляциями [Gilman, Guenther, 1987], которые возникают при вращении жидких тел (звёзд или планет).

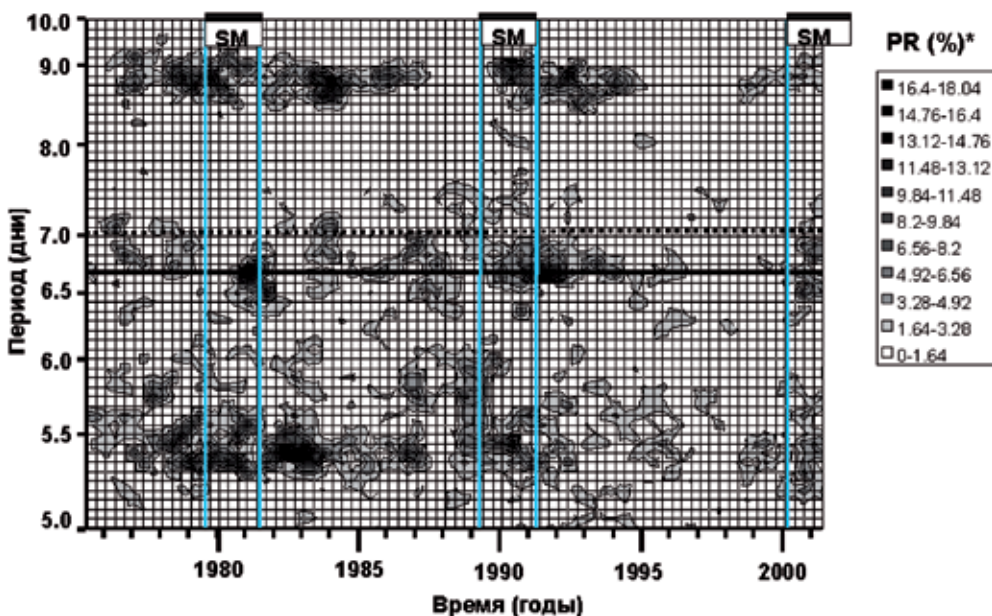


Рис. 6. Спектрально-временная диаграмма вариаций магнитных полей на Солнце в области периодов менее 10 дней за 1975–2000 гг. PR (%) — степень выраженности данного периода на уровне достоверности $p > 0,95$ в процентах, показанная штриховкой (см. таблицу справа). Вертикальными линиями выделены периоды максимумов СА (SM). Горизонтальной сплошной линией показан период 6,75 дней, наиболее характерный для спектра Кр-индекса геомагнитной активности и отчетливо выделяющийся в ритмах магнитных полей Солнца. Пунктирной линией показан семидневный период

Было показано, что ритмические компоненты более выражены в вариациях магнитных полей Солнца, чем в скоростях солнечного ветра [Neugebauer et al., 2000], по-видимому, и из-за того, что на последние оказывают влияние взаимодействия высокоскоростных потоков с медленным солнечным ветром в межпланетном пространстве, в то время как полярность магнитных полей в межпланетном пространстве остаётся неизменной.

На рис. 6 показана полученная Г. С. Катинасом спектрально-временная диаграмма вариаций средних значений магнитных полей Солнца по данным за 26 лет (1975–2001) в области периодов меньше 10 дней. Для расчёта использовались данные измерений магнитного поля Солнца по расщеплению линии кислорода с $\lambda = 5250 \text{ \AA}$ вследствие эффекта Зеемана (из базы ftp://ngdc.noaa.gov/stp/solar_data/sun_as_a_star/stanford).

Помимо приведённых на рис. 1 и 2 примеров инфранианых биологических ритмов на **организменном уровне**, ниже приводятся биологические ритмы на клеточном и органном уровне, сходные с ритмами гелио-геомагнитных факторов.

На уровне клетки

Наибольший интерес представляло исследование существования инфранианых ритмов на уровне клетки. На клеточном уровне упомянутые инфранианые ритмы уже обнаруживали у некоторых простейших морских организмов, незнакомых с социальной организацией жизни. Например, у одноклеточной морской водоросли *Acetabularia mediterranea* [Schweiger et al., 1986]. При этом наблюдался чёткий околонеделный ритм скорости роста водоросли, амплитуда которого в несколько раз превосходила суточную амплитуду. Полунеделный ритм получался в случае удаления ядер у клеток. Следует подчеркнуть, что клетка с удалённым ядром имеет ритмы меньшей продолжительности (около 3,5 дней) по сравнению с нормальной сформировавшейся клеткой.

Аналогичный околонеделный ритм наблюдался у другого одноклеточного морского организма *Gonium polyedra* при его биолюминесценции [Cornelissen et al., 1986]. **Суточные амплитуды оказывались существенным образом модулированы околонеделным и полунеделным ритмами.**

Нами совместно с китайскими специалистами из Института биофизики в Пекине были проведены исследования сокращений изолированной клетки миокарда крысы, помещённой в культуру [Halberg et al., 1991]. Позднее для проверки полученных результатов теми же авторами, но без участия американских и русских специалистов, была проведена серия исследований агрегатов клеток миокарда [Han et al., 1991]. **С помощью специальной процедуры** суспензия клеток из вентрикулярного отдела сердечной ткани молодых здоровых крыс инкубировалась при температуре 37 °С в течение 2 ч, чтобы уменьшить количество фибробластов (их число в использованной для анализа суспензии не превышало 5 %). Затем клетки помещались в культуру, содержащую 15 % сыворотки бычьей крови, пенициллина и стрептомицина (по 100 миллилитров каждой компоненты). Культурная среда обновлялась каждые 3–4 дня. Биения клеток регистрировалось фотоэлектрически: сжатия клеток индуцировали изменения света в поле зрения микроскопа, и они

трансформировались в электрические сигналы, которые затем усиливались и регистрировались компьютером. В первой и во второй сериях измерений для регистрации использовалась также видеосистема. На рис. 7а и б показаны результаты, полученные для изолированной клетки и агрегатов клеток соответственно. Статистически достоверные ритмы с периодами 84, 101 и 96 ч (около 3,5 дней) найдены в обоих исследованиях. Необходимо подчеркнуть, что в данном эксперименте изолированная клетка миокарда или агрегаты клеток функционировали вне связи с другими клетками ткани, т.е. в отсутствие нервных или мышечных стимуляторов. Таким образом, они были анатомически и функционально изолированы от нервной системы и пейсмейкеров. Окружающие условия проведения эксперимента сохранялись постоянными, насколько это было возможно, и не могли повлиять на результаты. Следует подчеркнуть также, что во время эксперимента с изолированной клеткой она регулярно экспонировалась светом большой интенсивности при видеозаписи результатов, в то время как в последующих экспериментах освещённость сохранялась постоянной (при компьютерной регистрации). Все эти особенности, очевидно, не повлияли на результаты, представленные на рис. 7.

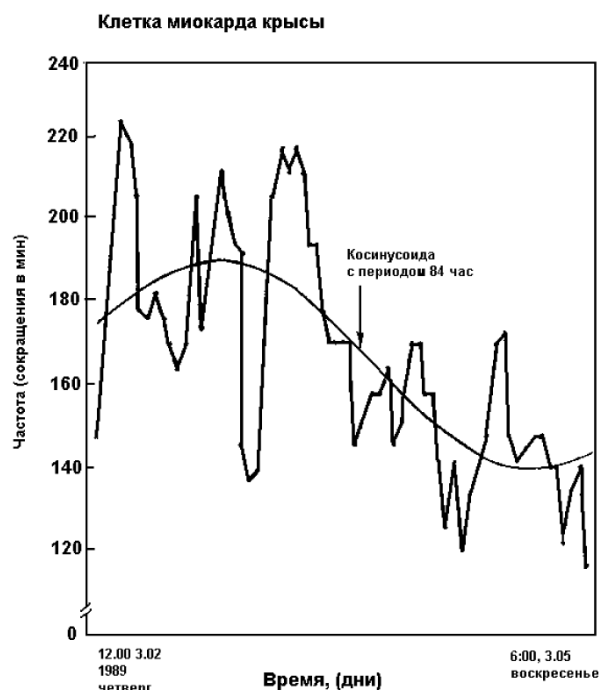
Таким образом, очевидно, что биения клеток с периодом около 3,5 дня являлись эндогенными и отражали собственную временную структуру сердечной клетки. Амплитуда полунедельного ритма, как и в предыдущих исследованиях, в несколько раз превышала суточную амплитуду. На следующих стадиях эволюции, по-видимому, когда возникла специализация функций различных клеток у сложных биологических организмов, развились специальные рецепторные клетки, регулирующие взаимодействие организма с внешней средой.

На уровне систем и органов

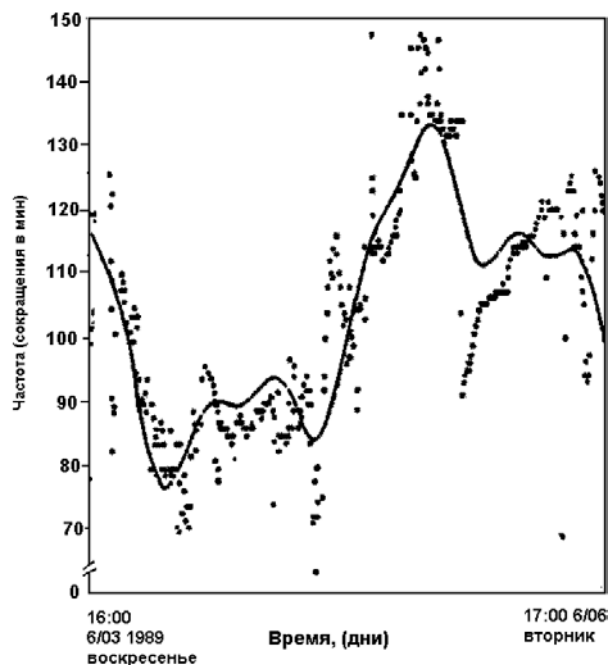
На рис. 8 показан суточный и околонедельный ритмы секреции гормона мелатонина — регулятора суточных ритмов — в шишковидной железе — эпифизе у крыс-самок [Breus et al., 1995; Halberg et al., 1991]. Исследовано 47 животных. Кривые на рисунке получены аппроксимацией экспериментальных данных косинусоидами с периодом 24 и 168 ч методом наименьших квадратов. Выявляются статистически достоверные ритмы обоих периодов. Очевидно, что суточный ритм продукции мелатонина модулирован недельным ритмом. Полученный выше результат был затем подтверждён исследованием ритмов продукции мелатонина эпифизом цыплят (745 особей) и шук [Bolliet et al., 1994; Leung et al., 1992].

УЛЬТРАДИАННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ СИНХРОНИЗАТОРЫ

Всё околоземное космическое пространство в периоды геомагнитных бурь и повышенной геомагнитной активности находится в возмущённом состоянии, и в различных оболочках Земли, таких, например, как ионосфера и магнитосфера, заметно возрастает амплитуда возбуждаемых там низкочастотных электромагнитных колебаний.



a



б

Рис. 7. Околополунедельные ритмы: *a* — изолированной клетки миокарда крысы, выявляемые со статистической достоверностью $p < 0,001$; *б* — агрегата клеток миокарда крысы (101; 96 и 12 ч), выявляемые со статистической достоверностью $p < 0,001$ по данным, собранным с 10-минутным интервалом

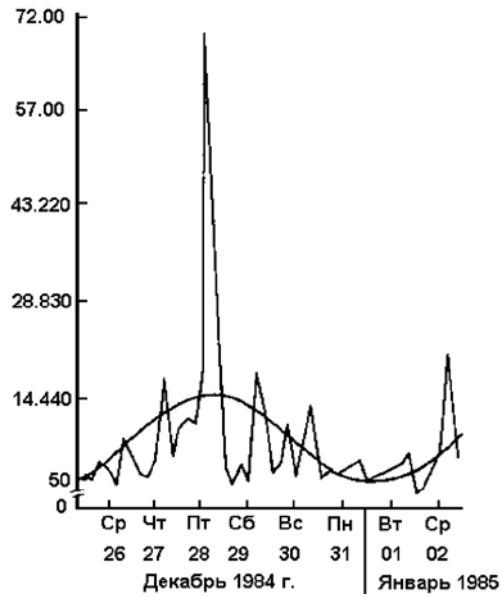


Рис. 8. Околосуточные и околонедельные ритмы содержания мелатонина в эпифизе крыс-самок

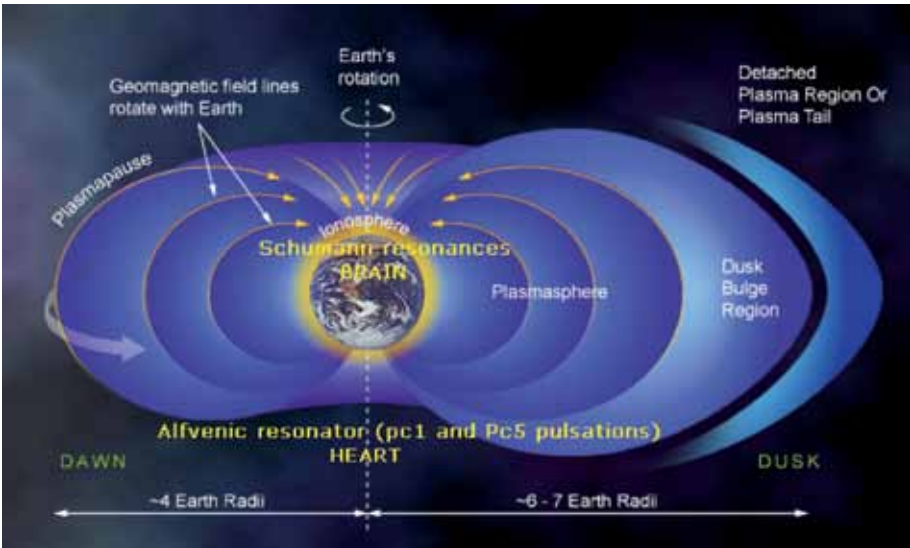


Рис. 9. Схематическое представление околоземного пространства и зон действия альфвеновских резонаторов, возбуждающих микропульсации геомагнитного поля, и шумановские резонансы

Частоты этих колебаний — это частоты магнитосферного или альфвеновского резонатора ниже 6 Гц (геомагнитные микропульсации) и частоты ионосферного резонатора выше 6 Гц (шумановские резонансы) (рис. 9). Детальное описание различного рода геомагнитных пульсаций и их биотропности дано в работе Н. Г. Клейменовой настоящего сборника.

Частоты альфвеновского магнитосферного и ионосферного резонатора ниже 6 Гц близки к частоте сердечных сокращений — 0,8...2,5 Гц и такими частотами обладают геомагнитные микропульсации (рис. 10): $Pc\ 1=0,2...5\ с$; $Pc\ 5=150...600\ с$.

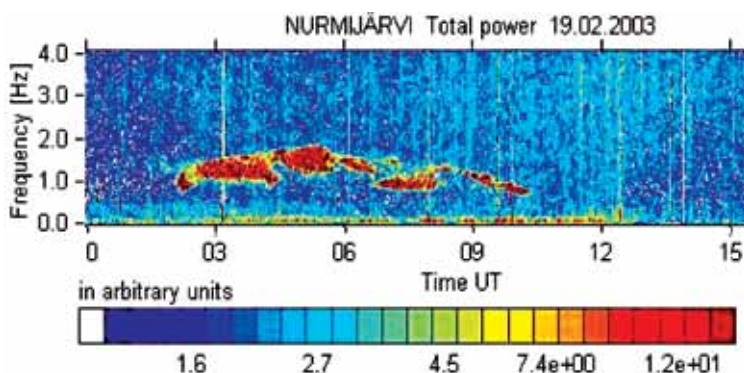


Рис. 10. Характерный вид микропульсаций, зарегистрированных на магнитной обсерватории в Финляндии

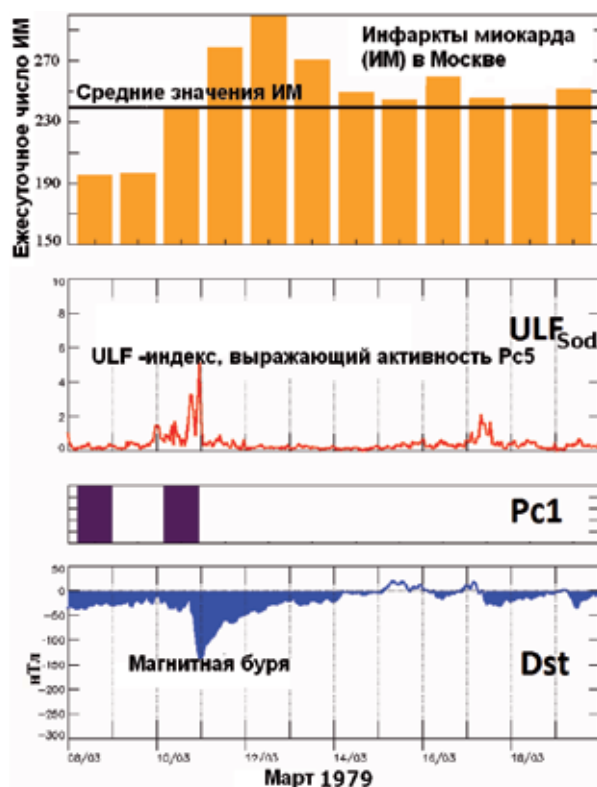


Рис. 11. Пример наблюдения геомагнитной бури в марте 1979 г., сопровождавшейся значительной активностью геомагнитных пульсаций $Pc\ 1$ и $Pc\ 5$ и аномальным числом зарегистрированных скорой медицинской помощью города Москвы инфарктов миокарда [Клейменова, Козырева, 2008]

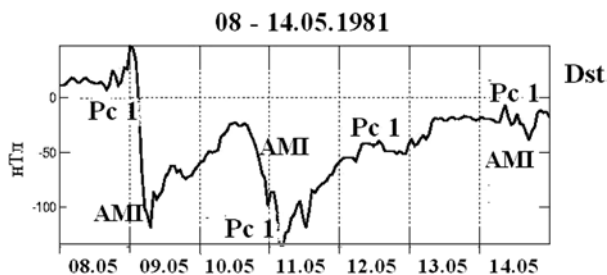


Рис. 12. Пример двух наложившихся магнитных бурь в мае 1981 г., когда anomальное число инфарктов миокарда (АМИ) по ежесуточным данным скорой медицинской помощи в Москве наблюдалось одновременно с появлением $Pc\ 1$ пульсаций (обсерватория Борок) на всем протяжении бури в различные ее фазы [Kleimenova et al., 2007]

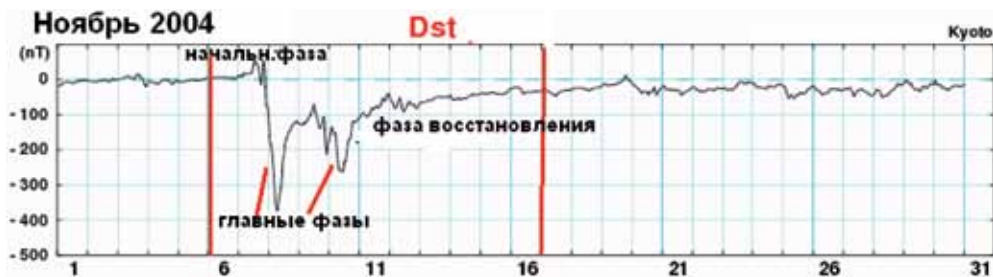


Рис. 13. Dst-вариация двух сильных наложившихся геомагнитных бурь 24 ноября 1994 г.

Как уже отмечалось в статье Н.Г. Клейменовой, по данным скорой медицинской помощи Москвы за три года наблюдалась существенная корреляция в сезонном ходе суточного числа инфарктов миокарда (ИМ) в Москве и в Болгарии с сезонным ходом суточной продолжительности микропульсаций в диапазоне $Pc\ 1$. Этот ход давал отчётливые пики в зимнее время. В то же время анализ характера магнитных бурь и появлений микропульсаций во время этих бурь показал, что примерно в 60 % случаев бури с присутствием микропульсаций $Pc\ 1$ перед начальной фазой, в главную фазу и в особенности на фазе восстановления сопровождалась появлением anomального числа инфарктов миокарда по сравнению со средним значением. На рис. 11 и 12 показаны примеры бури, во время которой наблюдалась значительная активность микропульсаций $Pc\ 1$ и $Pc\ 5$ перед её началом. В примере рис. 11 также одновременно возрастало на 12,5 % число инфарктов миокарда в Москве, по данным городской скорой медицинской помощи; на рис. 12 — пример двух наложившихся бурь в мае 1981 г.

На рис. 13 и 14 показаны синхронные вариации Dst- и микропульсаций во время геомагнитных бурь в ноябре 2004 г. **Использовались записи с разрешением 0,5 с вариаций H -компоненты геомагнитного поля на американской станции Hot Springs (HOTS) (47,6° N, 245,3° W — геомагнитных координат; 54,730° N, 53,498° W — географических координат) и их вейвлет-спектры сравнивались с развивающейся Dst-вариацией во время двух наложившихся геомагнитных бурь, начавшихся 24 ноября 2004 г. в 6 ч утра и продолжавшихся до 16 ч (см. рис. 13).**

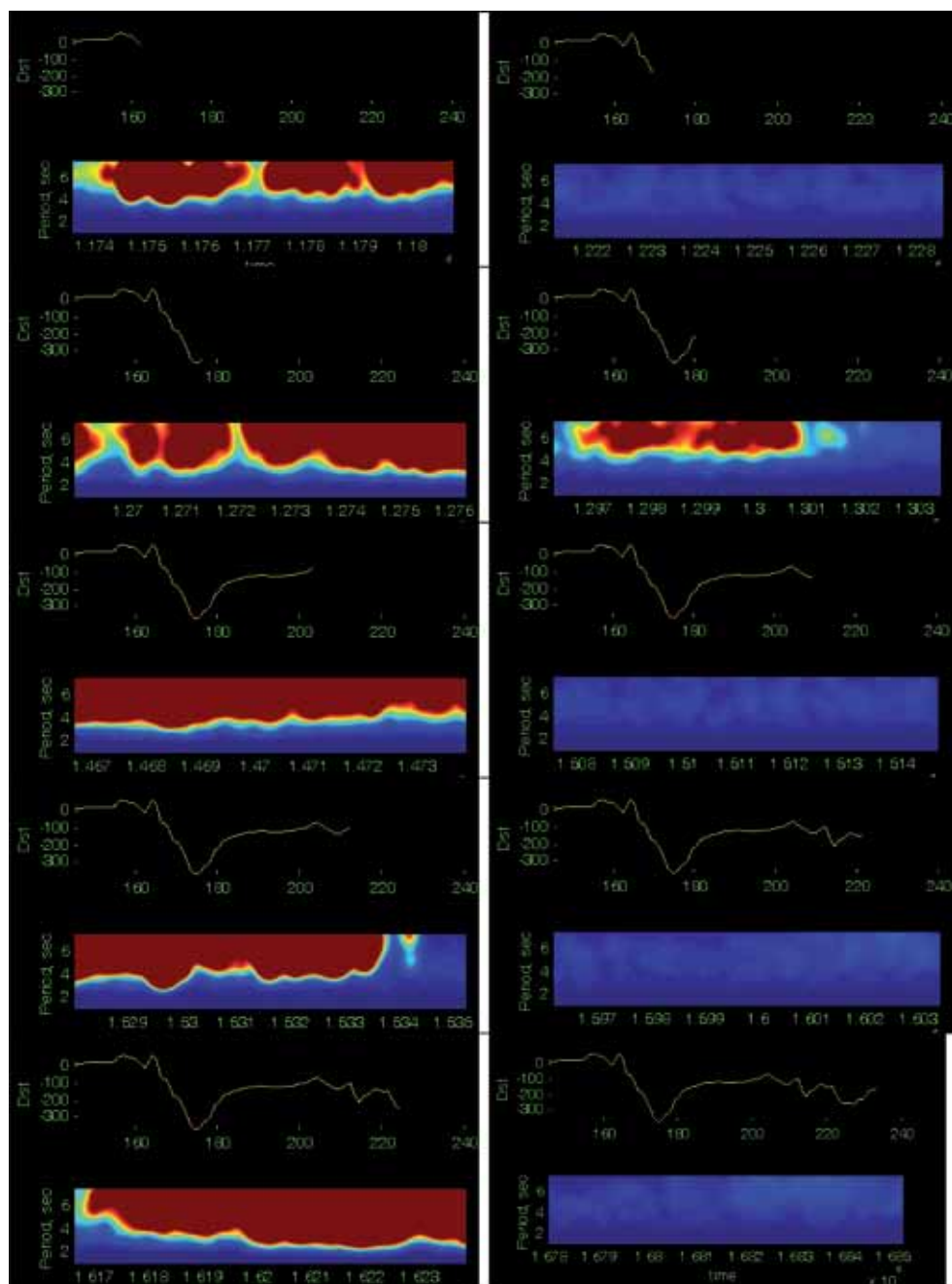


Рис. 14. Фрагменты развития геомагнитной бури (скриншоты) и одновременного появления микропульсаций (объяснения в тексте)

На рис. 14 показаны фрагменты (скриншоты), на которых вейвлет-спектры микропульсаций в диапазоне 2...6 с сопровождают Dst-вариацию по мере развития геомагнитной бури. Для построения спектров использовался вейвлет Морле.

Расчёты для этой иллюстрации произведены Ожередовым В.А. (ИКИ РАН) и Козыревой О.В. (ИФЗ РАН). Графики желательно рассматривать последовательно слева направо. Как можно видеть из сравнения масштабов, каждому вейвлет-спектру на нижнем графике соответствует параметр Dst на конце кривой Dst на верхнем графике. Очевидно, что интенсивные микропульсации в диапазоне, соответствующем Pс 1, видны не непрерывно, но отчётливо проявляются в начальную фазу первой бури, в главную фазу перед самым началом фазы восстановления и в первой части фазы восстановления, а затем исчезают.

Как следует из описанных выше результатов по наблюдению возникновения аномального числа инфарктов миокарда в Москве, а также по данным многих других авторов, например, [Гурфинкель и др., 1995; Комаров и др., 2000; Чибисов и др., 1995; Breus et al., 1994; Cornelissen et al., 1996; Halberg et al., 1991], реакции сердечно-сосудистой системы, как правило, запаздывают относительно начала геомагнитного возмущения. Они наблюдаются в главную фазу и в начале фазы восстановления, но в некоторых нечастых случаях они опережают главную фазу и видны перед или во время начальной фазы, что хорошо согласуется с представленной картиной вариаций геофизических параметров и может служить основанием для дальнейших исследований биотропности микропульсаций и механизмов их воздействия.

Как уже отмечалось выше, другим биотропным агентом, имеющим сходный с биологическими объектами диапазон ритмов, являются шумановские резонансы.

Сигналы ШР существенно коррелированы с солнечной и геомагнитной активностью, а именно с числами Вольфа и Кр-индексом геомагнитной активности. Физический механизм этой корреляции определяется вариациями плотности электронов/ионов в области D ионосферы, которая является верхней границей альфвеновского резонатора, формирующего ШР, которая варьирует с изменением СА и ГМА [Cherry, 2002].

Частоты ШР в ионосфере выше 6 Гц близки к резонансным частотам ритмов мозга — α -ритму 8...12 Гц и β -ритму 14...21 Гц (рис. 15).

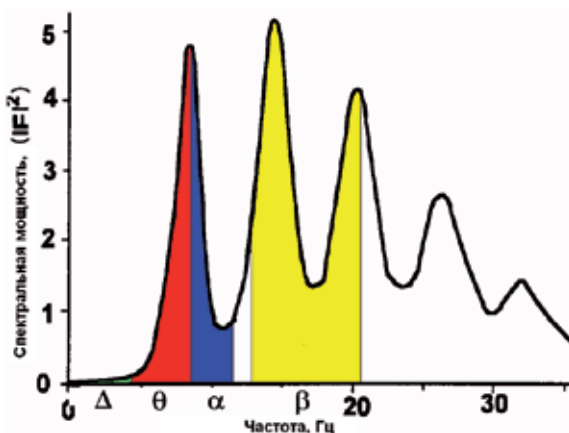


Рис. 15. Типичный спектр для вертикальной компоненты электрического поля в ионосфере в дневное время, иллюстрирующий первые пять мод шумановских резонансов [Polk, 1982]

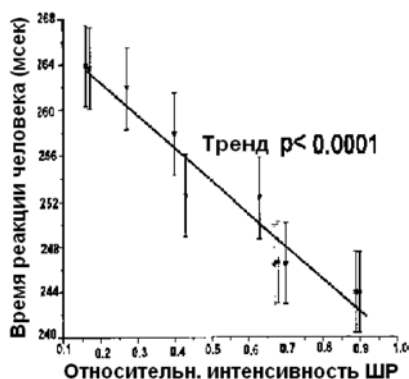


Рис. 16. Время реакции человека на световую вспышку в зависимости от относительной интенсивности ШР на частотах 8...10 Гц. Испытания проводились в течение 18 дней (Мюнхен) [Cherry, 2002]

Первые шесть мод ШР (0...35 Гц) совпадают с первыми четырьмя частотами электроэнцефалограммы мозга (ЭЭГ). На рис. 15 они показаны различной раскраской: Δ — 0,5...4 Гц; θ — 4...8 Гц; α — 8...12 Гц; β — 14...21 Гц [Холодов, 1975; Malmivuo, Plonsey, 1995].

На рис. 16, где представлены испытания реакции человека на вспышку света, включаемую с помощью ключа Морзе во время наблюдения ШР в полосе частот 8...10 Гц, видно достоверное снижение скорости реакции с ростом относительной интенсивности ШР.

ОСНОВНЫЕ НЕРЕШЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕХАНИЗМЫ

Что же является мишенями для воздействия очень низкочастотных и сверхнизкочастотных электромагнитных полей на биологические объекты и каковы механизмы этого воздействия с учётом того, что интенсивность их находится в пределах 10^{-4} ... 10^{-12} Т?

В настоящем сборнике опубликованы детальные анализы состояния проблемы воздействия подобных полей на биологические объекты и обсуждаются предлагаемые, к сожалению, несовершенные ещё механизмы воздействия (Бинги В. Н., Мартынюк В. С.). В настоящей работе ставилась другая задача и в рамках этой задачи хотелось отметить лишь следующее.

Очень низкие и средние частоты ЭМП низкой интенсивности как всепроникающий фактор действуют, по-видимому, одновременно на все клетки и ткани организма, поэтому на разных уровнях организации синхронно реализована иерархия, которая, в конечном счёте, на уровне всей системы, т. е. на организменном уровне, приводит к формированию обобщённого ответа в форме, как правило, неспецифической адаптивной реакции.

Для механизмов действия ЭМП, вероятнее всего, нет принципиальной разницы между тем, является ли сигнал периодическим или подобен шуму. Сравнительный анализ литературных данных показывает, что на уровне системы в целом развиваются рутинные неспецифические реакции, проявление которых в значительной степени зависит от индивидуально-типологических особенностей биологических объектов и от частотных характеристик сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в 90-х гг. прошлого века гипотеза о формировании ритмической структуры биологических объектов под воздействием внешнего синхронизатора — геомагнитной активности — получила в последнее время аргументы в свою пользу, как это было показано в настоящем работе:

- это, прежде всего, сходство биологических и гелиогеофизических ритмов и их динамики на всех уровнях биологических систем — от клетки к популяции;
- эндогенный характер биологических инфраничных и ультрадианных ритмов и их схожесть с ритмами гелио-геомагнитной активности;
- подобие полос частот внутренних биологических резонаторов и гелио-геомагнитных синхронизаторов;
- появление адаптационных реакций, когда внешний синхронизатор сбивает свой ритм — во время геомагнитных бурь.

Все эти аргументы могут быть приведены в пользу того, что очень слабые природные шумы электромагнитного поля сыграли важную роль в самоорганизации открытых нелинейных и неустойчивых биологических систем на ранней стадии эволюции.

ЛИТЕРАТУРА

- [Бреус и др., 1986] *Бреус Т. К., Птицына Н. Г., Иванова С. В.* Многоспутниковые исследования рекуррентных потоков в солнечном ветре на фазе спада солнечной активности // Геомагнитные вариации и токи в магнитосфере Земли. Троицк: Изд-во ИЗМИРАН, 1986. С. 155.
- [Бреус и др., 1995] *Бреус Т. К., Халберг Ф., Корнелиссен Ж.* Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып. 4. С. 737–749.
- [Владимирский и др., 1994] *Владимирский Б. М., Нарманский В. Я., Темурьянц Н. А.* Космические ритмы / Под. ред. проф. С. Э. Шноля. Симферополь, 1994. 176 с.
- [Гурфинкель и др., 1995] *Гурфинкель Ю. И., Любимов В. В., Ораевский В. Н., Парфёнова Л. М., Юрьев А. С.* Влияние геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток больных ишемической болезнью сердца // Биофизика. 1995. Т. 4. Вып. 4. С. 793–800.
- [Ермолаев, Ермолаев, 2002] *Ермолаев Ю. И., Ермолаев М. Ю.* О некоторых статистических взаимосвязях солнечных, межпланетных и геомагнитных возмущений в период 1976–2000 гг. // Космич. исслед. 2002. Т. 40. № 1.
- [Клейменова, Козырева, 2008] *Клейменова Н. Г., Козырева О. В.* Магнитные бури и инфаркты: всегда ли бури опасны? // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7. № 3. С. 5–24.
- [Комаров и др., 1994] *Комаров Ф. И., Бреус Т. К., Рапопорт С. И., Ораевский В. Н., Гурфинкель Ю. И., Халберг Ф., Корнелиссен Ж.* Медико-биологические эффекты солнечной активности // Вестн. Академии мед. наук. 1994. Вып. 11. С. 37–50.
- [Комаров и др., 2000] *Комаров Ф. И., Рапопорт С. И., Бреус Т. К., Баевский Р. М., Гурфинкель Ю. И., Рогоза А. Н., Ораевский В. Н., Большакова Т. Д., Малиновская Н. К., Петров В. М.* Хронобиологические аспекты природы и характера воздействия магнитных бурь на функциональное состояние организма людей // Хронобиоло-

- гия и хрономедицина / Под. ред. Ф. И. Комарова, С. И. Рапопорта. М.: Триада, 2000. С. 299–317.
- [Мусин и др., 1985] *Мусин М. М., Журбенко И. Г., Бреус Т. К.* Комплексный математический подход к исследованию квазипериодических процессов в хронобиологии и геофизике: Препринт ИКИ АН СССР. М.: ИКИ АН СССР, 1985. Пр-1024. 72 с.
- [Солнечно-земная..., 1968] Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1968. 428 с.
- [Холодов, 1975] *Холодов Ю. А.* Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 208 с.
- [Чибисов и др., 1995] *Чибисов С. М., Бреус Т. К., Левитин А. Е., Дрогова Г. М.* Биологические эффекты планетарной магнитной бури // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып. 5. С. 959–968.
- [Bolliet et al., 1994] *Bolliet V., Begay Halberg F., Revault J.-P., Ali M. A., Collin J. P., Falcon J.* Multiple circadian oscillators in the photosensitive pike pineal gland: a study using organ and cell culture // J. Pineal Research. 1994. N. 16. P. 77–84.
- [Breus et al., 1994] *Breus T. K., Golishev S. A., Ivanova S. V., Levitin A. E., Oraevskii V. N., Papitashvili V. O.* Influence of the interplanetary magnetic field on human health // Solar Terrestrial Energy Program. COSPAR Colloquia series / Ed. D. N. Baker, V. O. Papitashvili, M. J. Teague. Pergamon Press, 1994. V. 5. P. 581–605.
- [Breus et al., 1995] *Breus T., Cornelissen G., Halberg F., Levitin A. E.* Temporal associations of life with solar and geophysical activity // Annales Geophysicae. 1995. N. 13. P. 1211–1222.
- [Cherry, 2002] *Cherry N.* Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar/Geomagnetic Activity // Natural Hazards. 2002. V. 26. P. 279–331.
- [Cornelissen et al., 1986] *Cornelissen G., Broda H., Halberg F.* Does Gonuaulax Polyedra ea-sure a week? // Cell Biophysics. 1986. V. 8. P. 69–85.
- [Cornelissen et al., 1996] *Cornelissen G., Halberg F., Wendt H. W., Bingham C., Sothorn R. B., Haus E., Kleitman E., Kleitman N., Revilla M. A., Revilla M. Jr., Breus T. K., Pimenov K., Grigoriev A. E., Mitish M. D., Yatsyk G. V., Syutkina E. V.* Resonance of about-weekly human heart rate rhythm with solar activity change // Biologia (Bratislava). 1996. N. 51. P. 749–756.
- [Cornelissen et al., 2002] *Cornelissen G., Halberg F., Breus T. K., Syutkina E. V., Bae-vskii R. M., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E.* Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // J. Atmospheric and Terrestrial Physics. 2002. V. 64. P. 707–728.
- [Gilman, Guenther, 1987] *Gilman P. A., Guenther D. B.* // Astrophysical J. 1987. V. 318. P. 904.
- [Han et al., 1991] *Han H., Ahao D., Wu J.* Germain Cornelissen and Franz Halberg, Chronobiologic Approach to beat-to beat Variations of Cultured Murine Myocardial Cells // Cell Biophysics. 1991. N. 18. P. 217–229.
- [Halberg et al., 1991] *Halberg F., Breus T. K., Cornelissen G., Bingham C., Hillman D. C., Rigatuso J., Delmore P., Bakken E.* International Womb-to-Tomb Chronome Initiative Group: Chronobiology in space // Keynote. 37th Annu. Meeting of the Japanese Soc. For Aerospace and Environmental Medicine. Nagoya, Japan, Nov. 8–9, 1991. University of Minnesota. Medtronic Chronobiology Seminar Series. 1991. N. 1.
- [Kleimenova et al., 2007] *Kleimenova N. G., Kozyreva O. V., Breus T. K., Rapoport S. I.* Pc1 geomagnetic pulsations as a potential hazard of the myocardial infarction // J. Atmospheric and Terrestrial Physics. 2007. V. 69. P. 1759–1764.
- [Leung et al., 1992] *Leung B., Cornelissen G., Hillman D., Wang Z. R., Binkley S., Bingham C., Halberg F.* Halting steps toward a circadian-infradian pineal melatonin chronome

- // Proc. Workshop on Computer Methods on Chronobiology and Chronomedicine. Tokyo, Sept. 13, 1990 / Eds. Halberg F., Watanabe H. Tokyo: Medical Review, 1992. P. 263–285.
- [Malmivuo, Plonsey, 1995] *Malmivuo J., Plonsey R.* Bioelectromagnetism: Principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields. Oxford, England: Oxford University Press, 1995.
- [Neugebauer et al., 2000] *Neugebauer M., Smith E.J., Ruzmaikin A., Feynman J., Vaughan A.H.* The solar magnetic field and the solar wind: existence of preferred longitudes // J. Geophysical Research. 2000. V. 105. N. A2. P. 2315–2324.
- [Polk, 1982] *Polk C.* Schumann Resonances // CRC Handbook of Atmospherics. 1982. V. 1. P. 111–177.
- [Richardson et al., 2001] *Richardson I. G., Cliver E. W., Cane H. V.* Sources of geomagnetic storms for solar minimum and maximum conditions during 1972–2000 // Geophysical Research Letters. 2001. V. 28. N. 13. P. 2569–2572.
- [Schweiger et al., 1986] *Schweiger H-G., Berger S., Kretschmer H., Morler H., Halberg E., Sothorn R. B., Halberg F.* Evidence of a circaseptan and circasemiseptan growth response to light/darkness cycle shifts in nucleated and enucleated *Acetabularia* cells respectively // Proc. National Academy of Sciences. USA. 1986. N. 83. P. 8619–8623.
- [Tsurutani, Gonzalez, 1997] *Tsurutani B., Gonzalez W.* The interplanetary Causes of Magnetic storms: Rev. // Magnetic storms. AGU Geophys. Monograph Series. / Ed. B. T. Tsurutani, W. D. Gonzalez, Y. Kamide, J. K. Arballo. 1997. P. 77–91.
- [Wilcox, Ness, 1965] *Wilcox J. M., Ness N. F.* Solar Wind Sector Structure // J. Geophysical Research. 1965. V. 70. P. 5793.
- [Zang et al., 2003] *Zang J., Dere K. P., Howard R. A., Bothmer V.* Identification of solar sources of major geomagnetic storms between 1996 and 2000 // Astrophysical. J. 2003. V. 582. P. 520–533.

BIOLOGICAL RHYTHM STRUCTURE FORMATION BY EVOLUTION

T. K. Breus

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia,
e-mail: breus36@mail.ru

Until recently it was thought that **circadian rhythm (24 hours)** is the leader in the hierarchy of biological rhythms of living organisms. **Infradian biological rhythms** (with period <28 days and > 28 hours) and **ultradian rhythms** (with periods lesser than one hour) did not attract attention of researchers despite these rhythms, apparently, were known in ancient times (e.g. the infradian rhythms of exacerbations (crises) of various disease). At the empirical level, they are familiar to doctors in modern medicine.

Stable “lunar” infradian gravitational rhythms that are integrated into the temporal structure of living organisms and become endogenous were, apparently, the background, which were overlapped with another rhythms of some external factors similar and different periods. These additional external factors had to include a wider range of periods, to which living organisms had to adapt, because it can cause of desynchronization and represented potential danger to the survival.

In ultradian region the frequency range of electromagnetic fields (EMF) generated by the human brain is close enough to the frequency range of natural ionospheric Schumann resonator (8 and 14 Hz). The cardiovascular system of humans (heart rate) also has the ability to generate electromagnetic fields characterized by a set of harmonics of different frequencies and intensities in the range of the fundamental natural Alfvén oscillators — 0.8...2.5 Hz.

In 90th of previous century an idea on helio-geomagnetic activity (GMA) rhythms (**weak natural electromagnetic fields**) as one of the external synchronizers of the biological rhythms, by analogy with the solar radiation and temperature variations on premature Earth forming the circadian (diurnal) biorhythms, had been invented. Basic problems to be solved up to nowadays: what is a target in biological objects — i.e. receptors of GMA? What kind of mechanisms participates in action of VLF low intensity EMF on biological objects? (Intensity range is $10^{-4} \dots 10^{-12}$ T). Which ones of numerous characteristics of the solar and geomagnetic activity are most biotropic? These problems are discussed in this presentation. It is shown that cardio-vascular system including heart and brain rhythms is a very sensitive target for the GMA and meteorological effects (the space weather), while rhythms of geomagnetic pulsations and Schumann resonances frequencies are most plausible agents, which rhythms were integrated in the endogenous biological structure by evolution and generated an action of “biological clock”. The disturbances during breakdown of quiet space weather conditions may lead to some acute physiological consequences for humans. Results of experimental investigations and tests of these concepts are presenting in this article.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

В. Н. Бинги

Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН),
Москва, Россия, e-mail: v.binhi@yahoo.com

Приведён краткий обзор состояния исследований в магнитобиологии — науке, изучающей эффекты, прежде всего, полей порядка геомагнитного поля и менее с частотами до 100 Гц. Есть несколько исследовательских областей, которые изучают такие эффекты. Это междисциплинарные лабораторные исследования, магнитная навигация животных, эпидемиологические исследования, корреляции между геомагнитной возмущённостью и состоянием здоровья людей.

Представлены общие свойства магнитобиологических эффектов, данные о характере неоднозначной связи состояния электромагнитного фона и здоровья населения, некоторые статистические данные об исследованиях проблемы за рубежом.

Рассмотрены основные результаты исследований, их особенности, несущие физическую информацию о природе процессов магниторецепции, которая всё ещё не известна. Объяснение затруднено, так как квант энергии поля низкой частоты пренебрежимо мал в сравнении с характерной энергией химических реакций; токи, индуцированные в тканях, также малы; мал и нагрев ткани излучением. Об этой проблеме говорят как о проблеме нетепловых биологических эффектов.

Особое внимание уделено обсуждению главных свойств нетепловых эффектов — парадоксально малой величине магнитного поля, вызывающего реакцию, и специфически сниженному уровню воспроизводимости эффектов в разных лабораториях. Последнее вызывает постоянную научную полемику в отношении существования нетепловых эффектов и необходимости их учёта в стандартах электромагнитной безопасности.

Обсуждаются общие теоретические вопросы нетепловых биологических эффектов электромагнитных полей. Показано, что механизмы, наиболее правдоподобные с точки зрения физики магниторецепции, основаны на магнитных наночастицах, долгоживущих спин-коррелированных парах радикалов, состояниях жидкой воды, пока неизвестной природы, и вращательных состояниях макромолекул.

ВВЕДЕНИЕ

Кажется очевидным, что электромагнитные (ЭМ) поля должны оказывать влияние на живые системы, так как электромагнетизм широко представлен в биологических процессах на микроуровне. Это, например, проведение нервных импульсов, обусловленных упорядоченными потоками ионов, через плазматические биомембраны, биологическое структурирование и др. Однако видны и противоречия: внутренние электрические поля несравненно сильнее тех, что обыкновенно окружают живые организмы в природе. Магнитные же поля (МП) природного уровня вообще, на первый взгляд, не имеют мишеней в живой ткани вследствие её диамагнитных свойств. Тем не менее, биологическое действие слабых МП надёжно установлено. Изучением этого противоречивого явления занимается магнитобиология.

Магнитобиология имеет дело с явлениями, которые пока не получили удовлетворительного объяснения. Проблема связана с парадоксальностью биологического действия слабых низкочастотных магнитных полей, которые по энергии далеко не сопоставимы с характерной энергией биохимических превращений. Из-за этого вопрос о самом существовании такой проблемы вызывает неоднозначную реакцию значительной части научного сообщества — несмотря на громадное число экспериментальных свидетельств.

Опыт многолетних наблюдений говорит о том, что некоторые электромагнитные поля (ЭМП) представляют потенциальную угрозу для здоровья людей и являются не менее существенным фактором, чем температура, давление и влажность, см., например, [Бреус и др., 2010]. По мере роста осознания этого факта задача изучения механизмов биологического действия ЭМП, или механизмов магниторецепции — способности живых систем реагировать на изменения магнитных полей геомагнитного уровня — становится всё более актуальной.

Специализированных биологических магниторецепторов, помимо частиц биомagnetита в некоторых бактериях, в природе не существует, поэтому важно понять, каким путём сигналы магнитного поля трансформируются в отклик биологической системы. В низкочастотном диапазоне МП практически свободно проникает в живую ткань. Оно действует на все частицы ткани, но не все из частиц вовлечены в процесс передачи информации о магнитном поле на биологический уровень. Первичные процессы взаимодействия МП с частицами материи — электронами, атомами, молекулами — чисто физические процессы. Заряженные частицы живого вещества, ионы, участвующие в биофизических и биохимических процессах, магнитные моменты атомов и молекул становятся посредниками в передаче сигналов магнитного поля на биохимический уровень. Тонкая регуляция активности белков, осуществляемая биофизическими механизмами с участием магниточувствительных интермедиатов, приводит к смещению процессов метаболизма. Начиная с этого уровня можно наблюдать действие МП по изменению концентрации продуктов метаболизма.

Часто биологические эффекты МП наблюдают по параметрам жизнедеятельности и поведению отдельных особей и популяций. Эксперименты, как правило, состоят в наблюдении связи между характеристиками внешнего МП и вызванным им биологическим эффектом. Промежуточные уровни организации живой системы — биофизический, биохимический и физиологический — оказываются за рамками эксперимента, но при этом сильно влияют на его результат. Между причиной и следствием как бы возникает «чёрный ящик» с неконтролируемыми свойствами, что препятствует выяснению причинно-следственных отношений.

В то же время проследить результат действия слабых МП на уровне отдельных биохимических реакций или биофизических структур почти не удаётся. Известные магнитохимические эффекты реализуются в относительно сильных магнитных полях и их возможная вовлеченность в магниторецепцию обсуждается [Зельдович и др., 1988; Пирузян, Аристархов, 2005]. Таким образом, магнитобиология сталкивается с объективными трудностями, связанными с необходимостью совмещать в себе вопросы физики, биофизики, биохимии и биологии.

Магнитобиология сосредоточена на изучении биологических реакций и механизмов действия преимущественно слабых, менее 1 мТ, магнитных полей. Возможность выделения магнитной и электрической компонент в ЭМП, обладающем известной целостностью, зависит от ряда условий, которые относятся не к самому ЭМП, но к способу его регистрации. Приёмники ЭМП, в том числе биологические системы, способны обнаруживать различные его характеристики. Однако в случае биологических реакций на ЭМП не всегда ясно, какая из характеристик ЭМП имеет главное значение для возникновения

реакции. Наличие малого параметра в виде отношения размера организма к длине электромагнитной волны (ЭМВ) создаёт определённые удобства. В частности, в диапазоне НЧ ЭМП почти всегда удаётся связать биологическую реакцию либо с магнитной, либо с электрической компонентой ЭМП.

Однозначность размывается в ряде важных случаев, когда приходится учитывать не только частоту ЭМП и размер организма, но и размеры и конкретное устройство источника ЭМП, относительное расположение источника и организма. Чаще эта необходимость возникает при экспозиции в ЭМП микроволнового диапазона.

Ввиду такой неопределённости термины *магнитобиология* и *электромагнитобиология* часто употребляют в одном и том же смысле. Кроме того, термин электромагнитобиология употребляется ещё и в смысле объединяющего определения для электро- и магнитобиологии.

Электромагнитобиология есть часть общей проблемы биологической эффективности слабых и сверхслабых физико-химических факторов. Как полагают, действие таких факторов лежит ниже порога включения защитных биологических механизмов и, вероятно, способно накапливаться на субклеточном уровне, на уровне генетических процессов.

Заметный рост научных исследований в электромагнитобиологии инициирован разработкой и созданием школой Н. Д. Девяткова в СССР в 1960 гг. генераторов ЭМ-излучений миллиметрового диапазона. Почти сразу же было обнаружено, что такие микроволны оказывают воздействие на организмы. Эти работы были воспроизведены за рубежом. Представляло интерес, что мощность излучения зачастую слишком мала, чтобы вызвать сколько-нибудь значительный нагрев тканей. В то же время квант энергии излучения меньше характерной энергии химических превращений kT (кинетической энергии молекул при температурах, свойственных живым организмам) на два порядка. Эффекты наблюдали лишь на некоторых, а не на всех частотах, что также указывало на их нетепловую природу. Эффекты микроволн зависели и от частоты их низкочастотной модуляции. Поэтому уже в 1980-х гг. надёжно зафиксированы биологические эффекты и самих низкочастотных МП в диапазоне порядка 10...100 Гц. Эти факты важны, поскольку данный диапазон охватывает частоты промышленных и бытовых электроприборов.

В среднем, по характеру и степени воздействия на здоровье эффект повышенного ЭМ-фона можно сравнить с результатами сна в освещённом или шумном помещении или с последствиями пребывания в помещении с запахом табачного дыма. Ярких специфических эффектов нет, но ЭМ-фон, наряду с другими неблагоприятными факторами окружающей среды, повышает уровень стресса.

Средняя интенсивность фоновых ЭМП намного ниже уровня геомагнитного поля, естественного для развития жизни. Поэтому биологическое действие ЭМ-фона следует отнести к эффектам сверхслабых факторов. Если эффект, а точнее, корреляция, наблюдаемая при воздействии каким-либо малым сигналом, выглядит парадоксально и противоречит принятым взглядам, то данный сигнал можно отнести к сверхслабым факторам. Для ЭМП НЧ-диапазона это фоновый уровень, который возникает при работе производственных и даже бытовых электроприборов, обычно менее 1 мкТ.

Понимание физико-химических механизмов биологического действия сверхслабых естественных и искусственных агентов пока отсутствует.

Следовало бы говорить о наличии парадокса: эти явления не просто не находят объяснения, они как бы противоречат современной научной картине мира. В то же время накоплен громадный объём фактических и экспериментальных данных, что указывает на реальность явления. Биологическое действие сверхслабых факторов — это фундаментальная научная проблема, ожидающая своего решения.

В обсуждении магнитных биологических эффектов, особенно эффектов низкоинтенсивных МП, существенна терминология.

Обычно для обозначения диапазонов частот радиоизлучений используют термины: низкие (НЧ) 30...300 кГц, очень низкие (ОНЧ) 3...30 кГц, инфранизкие (ИНЧ) 0,3...3 кГц, сверхнизкие (СНЧ) 30...300 Гц и крайне низкие частоты (КНЧ) 3...30 Гц. Так как с точки зрения первичных физических механизмов биологической эффективности МП существенных различий между этими диапазонами нет, часто используют единый термин *низкочастотные МП*.

Величины МП в магнитобиологии определяют по отношению к естественному для биологии уровню геомагнитного поля около 50 мкТ. Для таких полей, впрочем при отсутствии чётких границ, в профильной литературе принят термин *слабые МП*. Поля, превышающие 1 мТ, естественно, определяют как *сильные МП*. Соответственно, поля менее 1 мкТ определены как *сверхслабые МП*. Термин *магниторецепция* часто используют в широком смысле как способность живых систем реагировать на изменения магнитных полей геомагнитного уровня.

Нередка ситуация, когда отклик биологической системы зависит от частоты, амплитуды или от других параметров. Характер зависимости таков, что не всегда её удобно назвать спектральной, т.е. имеются относительно широкие области изменения параметров, в которых эффект существует, а вне этих областей нет. Обычно в отношении таких интервалов применяют термин *окна эффективности*. К существенным для организмов характеристикам ЭМП относятся величины и направления постоянной и переменной составляющих магнитного и электрического полей, их поляризация, частота, неоднородность и др. Совокупность существенных характеристик поля представляет *электромагнитные условия* пребывания организмов. Для описания экспериментов, в которых организм помещён в изменённые магнитные условия, в сравнении с некоторыми контрольными условиями, используется термин *магнитная экспозиция*.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОН И ЗДОРОВЬЕ

Магнитные поля, так или иначе вовлечённые в жизнь человека, занимают огромный диапазон величин — 10^{-15} ... 10^3 Т. С точки зрения физиологии важны поля, занимающие лишь относительно узкий диапазон. Это МП с величиной, отличающейся от геомагнитного поля ~50 мкТ, естественной «точки отсчёта», на один-два порядка в обе стороны. В этот диапазон попадают относительно небольшие природные вариации геомагнитного поля, включая магнитные бури, техногенные фоновые поля, обусловленные передачей электроэнергии, а также МП, часто встречающиеся в быту и на производствах в условиях непосредственной близости к их источникам.

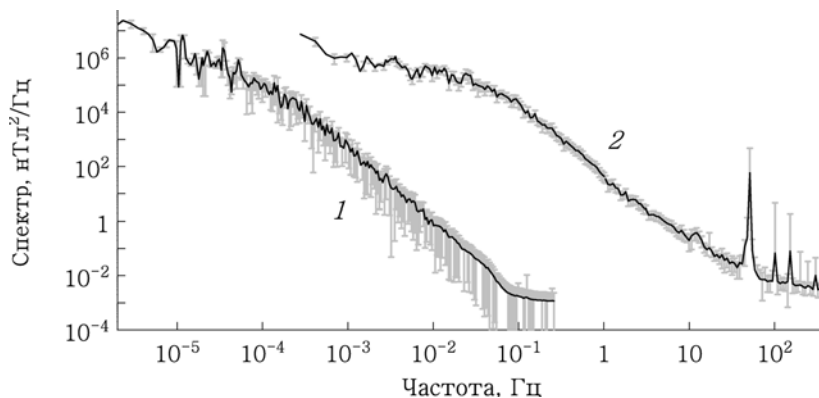


Рис. 1. Спектральная плотность мощности вариаций МП естественных (1) и городских (2) источников магнитного шума

Отдельную проблему составляет влияние отсутствия естественного МП на здоровье космонавтов в условиях длительных полётов в межпланетном пространстве [Бреус и др., 2008; Космическая..., 2005; Труханов, 2003], где уровень МП около 4 нТ.

Рисунок 1 даёт представление о спектральном составе МП низкочастотного диапазона *естественного* происхождения (1). Вариации геомагнитного поля ниже 1 кГц сильно зависят от места измерения, погоды, сезона и т.д., поэтому данный спектр отражает лишь порядки величин. На рис. 1 показан усреднённый спектр мощности магнитного шума, флуктуаций модуля МП в лаборатории физического института (2) [Бинги, 2011]. Видно, что в диапазоне частот 0,1...0,001 Гц **разница составляет 4...6 порядков. Городской магнитный шум** создаётся случайными импульсами включения и выключения электрических цепей. Помимо дискретных компонент на частоте 50 Гц и её гармоник, он на несколько порядков превышает естественный геомагнитный фон.

Ранее считалось, что слабые низкочастотные МП, ЭМП нетепловой интенсивности безопасны для человека, биологическое действие таких полей казалось невозможным с точки зрения физики. Со временем были накоплены опытные данные, показывающие потенциальную опасность этих полей и излучений, часто скрытый характер их действия. Последствия могут проявиться через месяцы и даже годы.

Существует множество искусственных физических и химических факторов воздействия на живую природу. Не все они безопасны для человека. Широко известны примеры вредных факторов воздействия — ионизирующая радиация, химические канцерогены, вибрации, шум. Они нанесли обществу огромный ущерб, прежде чем их вредное действие было обнаружено, изучено и регламентировано соответствующими нормами безопасности. Опасность, следовательно, связана не только с вредным фактором воздействия, но и с наличием длительного интервала времени, в течение которого остаются неизвестными природа и долговременные последствия воздействия и отсутствуют защитные меры.

Осознание этих угроз произошло не сразу. Оно явилось следствием разработки и создания широкого спектра новых химических соединений, биохимических

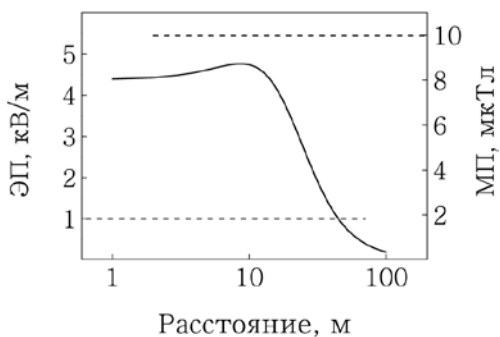
мических препаратов и биологических образцов во второй половине прошедшего столетия. Начиная с 1970-х гг. в качестве меры противодействия разрабатывается сначала общественными национальными организациями, а затем и международными объединениями гуманитарной направленности принцип *предупредительности*, предписывающий снижать уровень действия неизученных факторов на людей даже при отсутствии понимания природы такого действия и в условиях непредсказуемости возможных отдалённых последствий. Здесь сталкиваются интересы индустрии, здравоохранения, политики, юриспруденции и науки. На сегодня принцип предупредительности всесторонне исследован и является одним из эффективных инструментов Всемирной организации здравоохранения и ЮНЕСКО. Используется он и в отношении фоновых ЭМП.

Значительная часть научного сообщества полагает, что ЭМ-экспозицию людей следует целенаправленно и повсеместно снижать даже в отсутствие понимания природы возможных биологических эффектов слабых ЭМП [Martuzzi, Tickner, 2004]. Американское периодическое издание *Microwave News* приводит список из нескольких сотен организаций, связанных с исследованиями в области электро- и магнитобиологии; многие из них борются за снижение ЭМ-нагрузки населения.

Экологическая значимость ЭМП становится предметом специального изучения. Санитарно-гигиеническое нормирование, прогнозирование, контроль и защита от ЭМ-смога являются важными аспектами электромагнитной экологии. Стандарты ЭМ-безопасности разрабатывают различные национальные и международные организации: НИИ медицины труда РАМН, Европейский комитет по электротехническому нормированию, Немецкий институт по нормированию, Национальный американский институт стандартов, Международный комитет по неионизирующей радиации, Международная ассоциация защиты от радиации и др. Всемирная организация здравоохранения координирует эту деятельность с целью создания единых мировых стандартов. В настоящее время стандарты безопасности для некоторых диапазонов могут отличаться в десятки и сотни раз, что указывает на недостаточность научных исследований в этой области.

Изучают биологическое действие многих устройств и систем. Это линии электропередач, автомобили, телевизоры, производственные и бытовые приборы, компьютеры. В последнее время особенно интенсивно исследуют возможное нетепловое действие средств сотовой связи. Представление об уровне ЭМП промышленной частоты от линий электропередач даёт рис. 2, где показано расчётное распределение электрических и магнитных полей в зависимости от расстояния до точки под трехфазной линией.

Рис. 2. Оценка величины ЭМП на высоте 1 м для трехфазной линии 330 кВ, 400 А высотой 20 м с межфазным расстоянием 6 м; пунктир — нормативы для жилых помещений СанПиН-212.1002-00, 2001



В 2009 г. Европейский научный комитет по идентификации рисков для здоровья связал риск болезни Альцгеймера с увеличенной экспозицией ЭМП промышленных частот. Основанием послужили несколько эпидемиологических исследований, в одном из которых [Huss et al., 2008] обследовали около 4,7 млн жителей Швейцарии на предмет связи между экспозицией ЭМП линий электропередач и смертностью от нейродегенеративных заболеваний. Риск, связанный с болезнью Альцгеймера, был почти в 1,24 раза выше для тех, кто проживал ближе 50 м от 220...380 кВ линий, чем для тех, кто проживал далее 600 м. Имелась зависимость от времени проживания вблизи линий электропередач: коэффициент риска составил 1,51; 1,78 и 2 для тех, кто проживал в условиях увеличенной экспозиции по крайней мере 5, 10 и 15 лет соответственно. Из рис. 2 видно, что на расстоянии менее 50...60 м электрическое и магнитное поля становятся больше 0,5 кВ/м и 1 мкТ, по порядку величины.

Многократно измерены поля излучений бытовых приборов. Диапазон 0,1...1 мкТ характерен для большинства офисных и публичных помещений и транспортных средств, хотя пиковые значения могут быть и на три порядка больше.

На рис. 3 приведена характерная для домашних условий плотность распределения МП, или частота их встречаемости, по данным Института исследования электроэнергии [Syfers, 2006]. Были обследованы жилые помещения около 1000 домов в США. Заметно, что облучение МП, превышающими уровень 0,3...0,4 мкТ вполне вероятно. При хронической экспозиции такие МП, согласно классификации IARC, могут оказывать канцерогенное действие на организм человека.

В связи с этим уместно привести спектр мощности вариаций модуля МП внутри салона легкового автомобиля при движении по оживлённой московской магистрали, рис. 4.

Видно, что езда в легковом автомобиле по магистралям с интенсивным движением сопряжена со значительным изменением характеристик МП в сравнении с теми, которые имеются в более распространённых условиях, например, в лабораториях и офисах. Квазипостоянная часть МП снижается на 25...30 % против величины геомагнитного поля. Переменная часть МП, напротив, возрастает. Среднее МП в автомобиле в движении составило 32,2 мкТ со стандартным отклонением 3,45 мкТ, и отдельными выбросами от 15 до 70 мкТ. В то время как амплитуда дискретных компонент промышленной частоты практически не меняется, сплошная часть спек-

тральной плотности мощности МП в движущемся автомобиле увеличена в 100...1000 раз в широком интервале частот от 0.001 до 100 Гц. Вопрос о возможном влиянии таких изменений ЭМ-обстановки на здоровье водителей и пассажиров остаётся открытым.

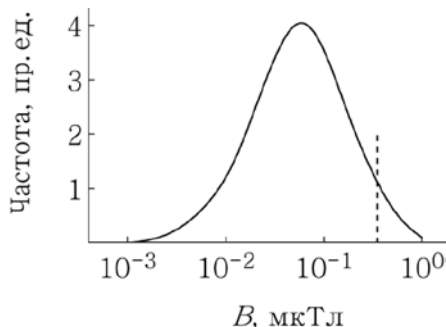


Рис. 3. Данные о средней частоте встречаемости магнитных полей промышленной частоты разной величины в домашних условиях. Пунктиром указан уровень 0,35 мкТ

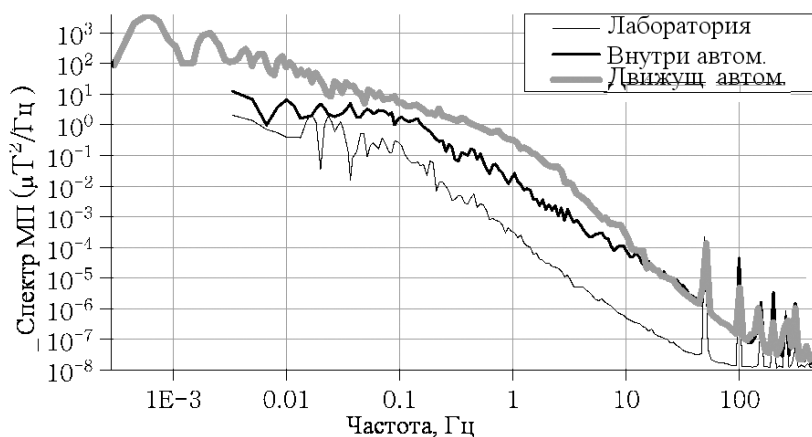


Рис. 4. Спектральная плотность мощности вариаций модуля МП в салоне движущегося легкового автомобиля; обработка записи МП по трем осям при объезде Садового кольца (серая линия). Также показаны спектры МП внутри стоящего автомобиля (средняя линия) и в лаборатории (узкая линия)

Профессиональные рабочие часто подвержены воздействию более сильных МП. Например, при проведении электросварочных работ МП на расстоянии 10 см от кабеля достигает 500 мкТ. На электроплавильных предприятиях возможны экспозиции в полях, ещё в сто раз больших. Изучение распределения интенсивности фонового магнитного поля индустриальной частоты в городских условиях показало, что до половины населения пребывает в местах, где эффективное значение МП превышает 0,2 мкТ, и около нескольких процентов там, где поле превышает 1 мкТ. Биологическая значимость подобных электрических и магнитных полей выявлена во многих эпидемиологических исследованиях, показывающих существенное увеличение риска, например, раковых заболеваний для населения, проживающего вблизи линий электропередач, и для рабочих, занятых в электроёмких производствах. Во всех случаях уровень МП попадал в среднем в интервал 0,1...10 мкТ [Draper et al., 2005].

Фирмы по торговле недвижимостью начинают учитывать ЭМ-фактор в оценке своих объектов. Прогнозы «электромагнитной погоды», действие на биосферу со стороны космических и геофизических электромагнитных факторов [Владимирский и др., 2004], таких как магнитные бури (0,1...1 мкТ), являются уже регулярными не только в биометеорологии, но и в космонавтике.

Вредное воздействие ЭМП электрических бытовых приборов может носить и косвенный характер. Известно, например, что в обычных условиях в воздухе жилых помещений имеется некоторая естественная концентрация аэроионов вследствие ионизации воздуха продуктами распада радиоактивного газа радона. Она составляет около $10^3...10^4$ см⁻³. Аэроионы, с одной стороны, способны концентрироваться вблизи электрооборудования, а с другой — адсорбироваться вредными аэрозолями. Вдыхание заряженных аэрозольных частиц сопряжено с повышенной вероятностью их осаждения в лёгких. Особенно много аэрозольных частиц приобретают заряд вблизи высоковольтных линий электропередач: вблизи проводов происходит коронный разряд, генерирующий ионы в большом количестве. Заряженные аэрозоли

затем распространяются намного дальше, на сотни и тысячи метров. Одна из гипотез связывает это обстоятельство с повышенной заболеваемостью некоторыми формами рака у живущих вблизи линий электропередач.

За рубежом такие исследования, особенно эпидемиологического плана, обширны. Созданы научные общества, получающие правительственную поддержку. Кроме того, проявляют интерес и финансируют исследования в области электромагнитобиологии производители радиотелефонов, энергоёмкого оборудования, крупные национальные объединения, занятые в производстве и поставке электроэнергии.

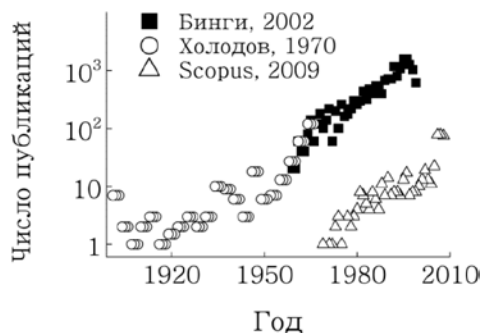
Интенсивно исследуют связь ЭМП и с риском сердечно-сосудистых заболеваний. В этом отношении существенны ЭМП естественного происхождения, в частности, геомагнитное поле.

Несмотря на в целом ещё скептическое отношение физиков к обсуждаемым явлениям, физическая энциклопедия последнего издания уже содержит утверждение, что некоторые вариации геомагнитного поля могут оказывать влияние на живые организмы. Это утверждение не совсем корректно: в отсутствие опытов, надёжно подтверждающих биологическое действие флуктуаций геомагнитного поля, следует говорить не о влиянии, а о корреляции вариаций и параметров жизнедеятельности некоторых организмов. Однако важен факт признания возможности такого влияния. Действительно, сегодня уже имеется внушительный объём информации, подтверждающий это.

В то же время мнения о ценности результатов магнитобиологии противоречивы. Национальная академия наук США в попытке выработать какое-нибудь окончательное мнение по данному вопросу создала специальную комиссию. Отчёт этой комиссии — фактически, обзор большинства литературных источников по проблеме — вызвал, наоборот, многочисленные вопросы. Даже члены этой комиссии имели разную точку зрения на результаты обзора. Годом позже, по завершении многолетней исследовательской программы EMF Research и Public Information Dissemination Program, Национальный институт здоровья и окружающей среды США опубликовал обширный отчёт Конгрессу США. По мнению составителей отчёта, низкочастотные МП могут вызывать раковые заболевания у людей. Это мнение, очевидно, противоположно академической точке зрения. Интересно, что аналогичное несходство точек зрения на проблему имело место и в СССР между отраслевыми институтами, установившими жёсткие стандарты ЭМ-безопасности, и академической наукой, склонной считать невозможными эффекты, на которых были построены стандарты [Бинги, 2011]. Причина противоречий обусловлена неясностью физических механизмов биологического действия слабых ЭМП.

Общее состояние дел в области электромагнитобиологии отражено в открытом письме президентов общества «Биоэлектромагнетикс», объединяющего несколько сотен членов из более чем 30 стран. Письмо [Luben et al., 1996] обращено к представителям сената США, ведающим вопросами государственного бюджета и научно-технической политики. В частности, в нём говорится: «Биологические процессы при заболеваниях человека сложны и многогранны. Более того, электрические и магнитные поля, в отличие от многих других факторов окружающей среды, характеризуются не только количеством, но и разными другими свойствами. Должные подходы к таким сложным научным вопросам могут быть достигнуты только в междисциплинарном сотрудничестве биологов, врачей, инженеров и биофизиков.

Рис. 5. Рост числа публикаций в год по ЭМ-биологии. Данные Scopus для дескриптора *magnetotherapy*



Обилие опубликованных рецензируемых научных доказательств указывает, что экспозиция различными комбинациями электрических и магнитных полей согласованно действует на биологические системы в естественных условиях, а также в лабораториях».

Как видно, существуют множественные причины, заставляющие относиться к электро- и магнитобиологии со всей серьёзностью. Число обзоров экспериментальных работ в этой области, различных руководств, отчётов и книг велико и продолжает расти [Пресман, 1968; Холодов, 1970]. Появляются обзорные академические издания. Существуют электронные банки данных по всем аспектам электромагнитобиологии — научным, медицинским, социальным — размером в несколько десятков тысяч библиографических единиц. В последнее время в мире публикуется более тысячи статей по ЭМ-биологии ежегодно (рис. 5).

Расширяются исследования способов снижения рисков, связанных с длительной экспозицией в ЭМП. В этом отношении городское население находится в неблагоприятных условиях хронической экспозиции техногенными ЭМП. Максимальные магнитные вариации испытывает вертикальная компонента МП внутри трамваев, поездов, рядом с другими силовыми установками. Эти вариации в полосе 0,05...0,2 Гц могут превышать амплитуду сильной магнитной бури в тысячу раз.

Наиболее полная защита достигается пребыванием в естественных природных условиях, вдали от городов, где уровень ЭМ-фона приближен к естественному. Заметное снижение, на два—три порядка, по сравнению с городскими условиями, возможно на расстояниях в десятки километров. Подавление ЭМ-фона является общей мерой снижения рисков вследствие облучения ЭМП. В то же время подавление фона — это сложная и дорогостоящая техническая задача, и не всегда ею нужно заниматься.

Эволюция человека происходила на фоне естественного ЭМП Земли. Поэтому ЭМП как таковые не являются вредным фактором для человека. Определённые поля природного уровня и спектра полезны и даже, как полагают, необходимы для нормальной жизни.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕРАПИЯ

Существует множество эффективных лечебных процедур с использованием ЭМ-полей и излучений. Практический осознанный опыт использования электричества и магнетизма с оздоровительными целями можно проследить до начала нашей эры и в более ранние времена.

Сегодня существенное развитие получает магнитотерапия. Известно, что низкочастотные импульсы МП, например, способствуют заживлению

костных переломов. Предварительная экспозиция организма в слабом низкочастотном МП может увеличить его сопротивляемость неблагоприятным внешним факторам. В экспериментальных условиях экспозиция биологических систем в НЧ-магнитном и микроволновом поле в ряде случаев приводила к снижению темпов роста и даже к уменьшению размеров опухолей.

Фундаментальные работы Н.Д. Девяткова в области ЭМ-излучений мм-диапазона явились основой медицинского применения этих излучений [Девятков и др., 1991]. Только в России различные модификации аппаратов КВЧ-терапии используют более чем в тысяче медицинских учреждений. За несколько десятилетий лечение прошли сотни тысяч пациентов с десятками различных заболеваний.

Вместе с тем, лечебная эффективность ЭМП указывает и на их потенциальную опасность. Здесь имеется аналогия с применением химических препаратов. Полезные в определённых дозах лекарственные средства становятся опасными в условиях их бесконтрольного и хронического применения. Поэтому использование ЭМП в медицинских целях, с одной стороны, и мероприятия по снижению риска заболеваний вследствие хронического пребывания в фоновом ЭМП, с другой, являются двумя практическими сторонами одной научной проблемы. Её решение связано с углублением понимания тех физических процессов, которые предшествуют магниторецепции и развиваются на молекулярном уровне.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ХАРАКТЕР ИССЛЕДОВАНИЙ

За десятки лет развития магнитобиологии поток публикаций возрос многократно, ежегодно проводятся несколько международных научных съездов. Так, во II Всемирном конгрессе по электричеству и магнетизму в биологии и медицине, состоявшемся в Италии в 1997 г., **приняли участие исследователи из 35 стран, было представлено свыше 600 докладов, рис. 6. Конгресс охватил вопросы биологии, медицины, технологии и физики, связанные с различными проявлениями биологических эффектов ЭМП.**

На конференциях «Биоэлектромагнетикс» 2002 (Квебек, Канада) и 2008 г. (Сан-Диего, США) было представлено около 260 докладов на каждой. Участвовали представители 28 и 34 стран соответственно.

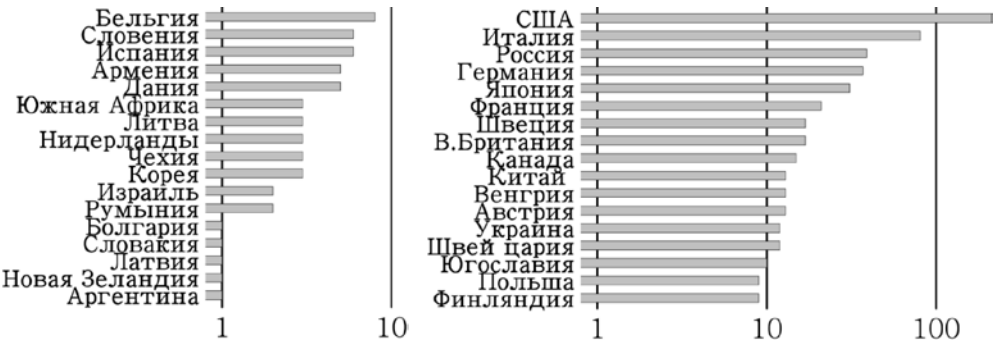


Рис. 6. Число докладов разных стран, представленных на II Всемирный конгресс по электричеству и магнетизму в биологии и медицине, Болонья, 1997

Россия к 2008 г. выбыла из списка двадцати наиболее активных в этом отношении стран. Южная Корея, напротив, увеличила интенсивность работ по ЭМ-биологии, достигнув среднего уровня развитых европейских стран.

Довольно заметно упал интерес данной конференции к нетепловым биологическим эффектам ЭМП. В материалах конференции 2002 г. отношение дескрипторов *nonthermal* и *thermal* равнялось 0,36, а в 2008 г. — 0,16. В то же время следует иметь в виду, что за 30 лет своей деятельности один только журнал *Bioelectromagnetics* опубликовал около 1500 статей, из которых 20...25 % посвящены нетепловым эффектам.

МАГНИТОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Магнитобиологический эффект, или сокращённо МБЭ, имеет следующий смысл. С одной стороны, термин обозначает любое изменение каких-либо свойств биологической системы, вызванное изменением магнитных условий её пребывания. Это могут быть биологические свойства организма *in vivo* или биохимические параметры живой системы *in vitro*.

Биофизические структуры на микроуровне являются для большинства живых систем общими — это белки, мембраны и т.д. Понятно, что первичный механизм магниторецепции, реализованный на уровне биофизических структур, обладает такой же общностью. Но один и тот же первичный механизм в разного рода биологических системах может проявить себя в изменении самых разных свойств.

С точки зрения изучения первичного механизма биологические системы являются лишь особенными инструментами его исследования. В этом смысле все биологические системы, обнаруживающие магниточувствительность, одинаковы. Важно, что характер изменения какого-то свойства в зависимости от варьируемых магнитных условий позволяет извлечь информацию о природе первичной магниторецепции. Не имеет значения, какое именно свойство меняется в системе. Поэтому удобно говорить о магнитобиологическом эффекте, имея в виду лишь зависимость от параметров МП и абстрагируясь от конкретного биологического воплощения этой зависимости.

С другой стороны, термин МБЭ, в рамках физики, выделяет магнитные условия из общей электромагнитной обстановки. Здесь нужны комментарии. Известно, что электромагнитные поля вызывают биологические эффекты в широком диапазоне амплитуд и частот. Например, мощные ЭМП порождают токи проводимости, нагрев, вращения молекулярных диполей. Они вызывают сдвиги скоростей реакций и ведут к ярким биологическим эффектам. Тепловые и электрохимические эффекты широко используют в практике, в том числе медицинской: УВЧ-терапия, ионофорез и т.д. Эти явления понятны и объяснимы в терминах физики. Напротив, парадоксально биологическое действие слабых постоянных и низкочастотных МП, сантиметровых и миллиметровых волн нетепловой интенсивности. В то же время как переменные низкочастотные МП, так и СВЧ-волны могут обладать значимой электрической компонентой. Вопрос о её роли в биологических эффектах ЭМП этих диапазонов непрост. В эксперименте и в попытках теоретического анализа эффектов слабого низкочастотного МП электрической компонентой обычно пренебрегают.

С ростом частоты низкочастотного МП рано или поздно необходимо учесть индуцированную электрическую компоненту, ведь она пропорциональна частоте поля. Возможность пренебречь электрической компонентой зависит и от конкретного экспериментального воплощения источника ЭМП, наличия условий ближней или дальней зоны по отношению к источнику. С уменьшением интенсивности поля или с ростом частоты наступает момент, когда адекватным описанием ЭМП становится квантовая электродинамика. Язык ЭПВ сменяется языком квантов поля. Разделение ЭМП на магнитную и электрическую компоненты становится невозможным. Таким образом, критерии «магнитности» ЭМП определяют границы магнитобиологии «снизу» и поэтому нуждаются в уточнении.

Термин МБЭ не применим в ситуации, когда ЭМП имеет интенсивность, достаточную для биологически существенного нагрева тканей организма или индукции биологически значимых токов. Тепловые и индукционные эффекты ЭМП не составляют парадокса. Они служат основой как существующих стандартов ЭМ-безопасности, так и медицинского применения ЭМП. Однако имеется огромная база наблюдений, подтверждающая существование *нетепловых эффектов* или, как иногда говорят, волновых эффектов, не сводимых к нагреву или индукции.

Свойства магнитобиологического эффекта

Хотя первые документированные наблюдения биологических эффектов низкоинтенсивных ЭМП проведены в начале прошлого века, оформление темы нетепловых биологических эффектов ЭМП как физической проблемы относится к 1960-м гг., когда были впервые обнаружены резонансоподобные биологические отклики при варьировании частоты ЭМП. Начиная с этого времени в исследовании проблемы принимают участие не только биологи и медики, но и физики, хотя и в малом числе.

Регулярные исследования нетепловых эффектов ЭМП в России в течение нескольких десятилетий проводят в институтах Пушинского научного центра, в московских Институте биофизики, Институте общей физики, Институте биохимической физики, Институте медико-биологических проблем, Институте космических исследований, в МГУ, в других академических, ведомственных и образовательных учреждениях.

Разработка более совершенных стандартов ЭМ-безопасности требует объяснения физической природы нетепловых эффектов ЭМП. Как уже ясно, нетепловые эффекты в НЧ-области — это МБЭ. Общепризнанного объяснения МБЭ на сегодня нет. Более того, часть физиков полагает, что объяснение вообще невозможно вследствие так называемой проблемы *kT*, а само наблюдение МБЭ противоречит физическим законам и, следовательно, является артефактом.

В то же время вовлечённые в проблему специалисты предлагают всё новые и новые гипотезы. Эксперименты демонстрируют определённую общность в проявлениях МБЭ в разных лабораториях, во множестве экспериментальных конфигураций и на разных биологических объектах. Эти общие элементы или факты являются основой теоретических обобщений.

Гипотезы и обобщения не произвольны. Каждый опытный факт, указывая на физически недопустимые механизмы МБЭ, сужает зону поиска механизмов допустимых.

Хорошо известный факт: многие биологические процессы коррелируют с медленными вариациями геомагнитного поля. Вариации геомагнитного поля следует рассматривать как квазистатические, поскольку в биофизических структурах нет объектов со столь низкими собственными частотами. Имеются основания полагать, что вариации постоянного МП уровня геомагнитных вариаций 10...1000 нТ могут оказывать *прямое* действие на организм человека, хотя это ещё не установлено с определённойностью.

Яркий магнитный биологический эффект — магнитная навигация, осуществляемая многими видами мигрирующих организмов, от насекомых до китов. Надёжно установлено, что локальные особенности МП Земли используются такими организмами для «привязки» к географическим координатам и определения своего местоположения. Необходимая для этого чувствительность первичного рецептора составляет порядка 10...100 нТ.

Лабораторные исследования, которых очень много, также показывают чувствительность организмов, от клеток до популяций млекопитающих, к изменениям МП, на порядки меньшим геомагнитного поля, — изменениям уровня 100...1000 нТ, как квазистатическим, так и регулярным в диапазоне НЧ.

Таким образом масштабы энергии МП как причины и энергии биохимической реакции как следствия несопоставимы. Обычно это обстоятельство формулируют в виде *проблемы kT* : квант энергии слабого низкочастотного МП на много порядков меньше характерной энергии единичного акта химических превращений порядка kT , как тогда возможна реакция?

Надо отметить некорректность данной формулировки, ведь в низкочастотной области даже очень слабое МП с большим запасом является классическим полем и применимость понятия кванта такого поля ограничена. Но даже рассмотрение ЭМП как классического поля не снимает парадокса. Здесь он связан с тем, что заряд или ион, вступающий в химическую реакцию, должен иметь достаточную энергию, чтобы преодолеть энергетический барьер реакции. Обычно эта энергия сообщается ему окружающими частицами, участвующими в тепловом движении, и вклад слабого МП здесь исчезающе мал.

Можно оценить время, необходимое для того, чтобы низкочастотное МП сообщило иону энергию, необходимую для инициирования химического процесса. В идеальных условиях, когда ион является частью осциллятора, — а только так и можно накопить энергию, — и полностью отсутствует затухание или трение, потребуется около года даже в условиях резонанса, при резком увеличении скорости обмена энергией между МП и осциллятором. Следовательно, первичный физический механизм, отвечающий за магнито-рецепцию, не может быть связан с резонансным накоплением энергии колебаний.

В ряде случаев наблюдали частотный спектр действия МП на биологические системы, когда эффективные частоты совпадают с циклотронными частотами биологически важных ионов Са, Mg и других, — частотами, пропорциональными уровню МП. Неизвестны макроскопические заряженные объекты с отношением заряд/масса как у ионов кальция, магния и др. Отсюда

следует, что в частотно-селективных МБЭ слабое НЧ МП действует в биологических тканях на мишени атомно-молекулярного масштаба. В то же время нельзя заключить, что циклотронный резонанс является первичным механизмом МБЭ. Любой механизм с участием ионов, движущихся в МП, будет оперировать частотами циклотронного ряда, так как других комбинаций из параметров иона и МП не существует. Кроме того, организмы обладают собственными периодическими процессами метаболизма, которые могут интерферировать с внешним воздействием.

Стоит отметить, что последнее десятилетие практически не добавило новых лабораторных данных о возможности резонансоподобного биологического действия НЧ МП. Не сомневаясь в качестве ранее проведённых исследований, следует признать, в то же время, что статистическая устойчивость «резонансных» закономерностей первичной магниторецепции всё ещё не установлена. Это обстоятельство затрудняет разработку теоретических механизмов этого типа, или, по крайней мере, диктует необходимость комментариев, почему резонансоподобный отклик в нетепловых биологических реакциях на МП столь редко возникает?

Наблюдают нелинейность МБЭ. С ростом амплитуды поля эффект сначала растёт, а затем падает; наблюдали и более сложные амплитудные спектры. Нелинейный характер МБЭ проявляется также в том, что биологическая реакция на сумму ЭМ-стимулов не равна сумме реакций на каждый из стимулов по отдельности. В частности, МБЭ может быть разрушен добавлением магнитного шума в поле экспозиции. Такие явления невозможны для линейных систем.

Казалось бы, наличие эффективных частот или частотного спектра говорит о резонансном действии МП на первичную мишень. Однако факт нелинейности МБЭ опровергает такой вывод. Резонанс, т.е. рост скорости обмена энергии в системе при совпадении частоты возбуждения и собственной частоты осциллятора, при слабом уровне возбуждения является линейным эффектом. Единственная возможная нелинейность здесь связана с насыщением резонанса в относительно сильных полях, но не с его разрушением. Известное же явление нелинейного резонанса далеко не соответствует тем условиям возбуждения, которые имеются в экспериментах по наблюдению МБЭ.

Иногда наблюдают биологические эффекты ЭМП, имеющие противоположное направление по сравнению с эффектами, вызываемыми нагревом биологической системы. Это также указывает на нетепловую природу эффектов.

Полемика в отношении воспроизводимости магнитобиологического эффекта

Сложен для комментария с физической точки зрения вопрос об особенностях воспроизводимости нетепловых эффектов ЭМП. Остановимся на нём подробнее.

Далеко не все разделяют ту точку зрения, что нетепловые биологические эффекты существуют. Это могло бы показаться странным ввиду обилия экспериментальных свидетельств. Основанием скептицизма обычно служит низкая воспроизводимость результатов экспериментов, повторенных в разных

лабораториях. Однако правомерность применения простейших методов статистики в данной ситуации спорна. Низкая воспроизводимость результатов в разных группах при высокой, часто более чем десятилетней, воспроизводимости в каждой из групп, говорит о низкой воспроизводимости *условий* проведения опытов [Henshaw, Reiter, 2005].

В одной и той же лаборатории конкретный МБЭ, как правило, воспроизводим. Однако многие МБЭ пока не подтверждены исследованиями независимых лабораторий. Причина затруднений с повторением экспериментов связана с разными электромагнитными условиями проведения экспериментов: в число существенных параметров входят не только частота и амплитуда ЭМП, но и постоянные магнитное и электрическое поля и их ориентация. Небольшие вариации физиологического состояния организма и принадлежность его к той или иной генетической разновидности также могут определять величину МБЭ [Juutilainen et al., 2006].

Причины недостаточной воспроизводимости МБЭ до конца не ясны. Встречаются парадоксальные наблюдения. В целом, экспериментальное наблюдение МБЭ до сих пор носит в определённом смысле вероятностный характер.

Нетепловые эффекты микроволновых ЭМП хорошо документированы и обладают лучшей воспроизводимостью, чем МБЭ.

Встречается мнение: если результаты лабораторных исследований трудно воспроизводимы, значит они некачественны. Здесь имеет место подмена тезиса: аргументация построена на подмене понятия воспроизводимости понятием качества эксперимента. Но это разные понятия. Многие сотни, если не тысячи, экспериментов в магнитобиологии проведены на современном методическом и приборном уровне известными профессионалами.

Понятие воспроизводимости не абсолютно, в каждом конкретном случае надо определять, о какой воспроизводимости идёт речь. Это имеет место во всех науках, не только в магнитобиологии. В физике, например, результаты квантовых измерений или фотографии треков элементарных частиц не повторяются. Воспроизводимость здесь означает воспроизводимость в среднем, а процедура усреднения всякий раз оговаривается. Другой пример, биологический. Появление особей одного или другого пола в результате оплодотворения является случайным событием, и случайность эта возникает уже на молекулярном уровне. Здесь воспроизводимость существует также лишь в среднем по достаточно большому ансамблю.

Магнитобиология характерна тем, что условия проведения экспериментов, все существенные для результата факторы пока не могут быть воспроизведены в разных лабораториях, главным образом из-за неизвестной природы нетепловых магнитобиологических эффектов. Поэтому процедура усреднения в магнитобиологии ещё не определена полностью. Неясно даже, на каком множестве наблюдений следует проводить усреднение. Однако предприняты серьёзные и дорогостоящие усилия к воспроизведению нетепловых эффектов в разных лабораториях. Так, действие ЭМП на активность мелатонина — гормона, участвующего в регуляции иммунитета и способности организма человека противостоять развитию онкологических заболеваний [Анисимов, 2007], исследовали более чем в десяти лабораториях. Приблизительно в половине из них наблюдали статистически значимый эффект.

Можно было бы заключить, что сниженная воспроизводимость обусловлена так называемым эффектом выборки. Тогда, если использовать для усреднения достаточно большие множества наблюдений, такие, например, как в эпидемиологических исследованиях, то эффекты, если они существуют, обязательно проявятся.

Между тем данные эпидемиологических исследований тоже неоднозначны. К результатам эпидемиологических исследований апеллируют как сторонники, так и противники нетепловых эффектов ЭМП. Полемику в этой области удобно прокомментировать на примере книги американского исследователя и публициста Р. Парка [Park, 2000]. В ней он рассказывает, в частности, о беспокойстве населения, вызванном драматизированными газетными публикациями о результатах эпидемиологических исследований. Парк занимает крайнюю позицию, ссылаясь лишь на те исследования, которые не подтверждают корреляции между уровнем фонового ЭМ-излучения и онкологическими заболеваниями и согласуются с его позицией. Критикуются же хронологически первые и, очевидно, слабые эпидемиологические исследования в этой области.

Для того чтобы убедить читателя в своей правоте, Парк привлекает мнение авторов оригинальных эпидемиологических исследований и их рецензентов — разумеется, тех, кто никакой корреляции не обнаружил. Какими критериями должен пользоваться читатель, чтобы отдать предпочтение той или иной точке зрения? Парк предлагает два критерия — возможное предубеждение исполнителей работ, где корреляция обнаружена, и респектабельность имён тех организаций, в частности Национальной академии наук США, под эгидой которых выпущена та или иная работа, где корреляция отвергается. Не сомневаясь в достоинствах этих организаций, надо всё же отметить, что изучение списка исполнителей, привлечённых для выполнения этих работ или обзоров, и мест их работы или службы позволяет, по крайней мере, ставить вопрос уже об их возможном предубеждении в отношении проведённых исследований. Это, вообще говоря, уравнивает шансы обеих сторон на доверие со стороны читателя. А вот мнение другой крупной организации, заслуживающей не меньшего доверия, чем Национальной академии наук США. Сформулировано оно рабочей группой Международного агентства по исследованию рака, в которую вошли исследователи из 10 стран, всего 21 эксперт: «Объединённый анализ данных нескольких хорошо выполненных исследований показывает довольно тесную статистическую связь между лейкозом у детей и магнитными полями промышленной частоты в местах проживания — полями величиной более 0,4 мкТ — приблизительно с двукратным риском заболевания. Маловероятно, что эта связь носит случайный характер, но на неё может влиять эффект выборки. Поэтому эта связь между лейкозом у детей и магнитными полями повышенного уровня в местах проживания была расценена как ограниченное свидетельство дополнительного риска рака у испытавших воздействие.»

Итак, имеются разные мнения по поводу опасности для здоровья фоновых ЭМП нетепловой интенсивности. Мнения разные, поскольку они опираются на противоречивые результаты эпидемиологических исследований. Но могли ли результаты таких исследований быть однозначны? Ведь проверяемая статистическая гипотеза состояла в возможной связи уровня заболеваний только лишь со средней интенсивностью ЭМП, в некоторых случаях с учётом

дисперсии интенсивности. Другими словами, исследователи заведомо искали связь заболеваемости с тепловыми эффектами. Но их и не должно быть при малых уровнях фонового ЭМП!

На развитие заболеваний в слабых ЭМП могут влиять лишь нетепловые эффекты. Но они зависят не только, точнее не столько, от интенсивности, сколько от определённых её сочетаний с другими не менее важными параметрами ЭМП — уровнем постоянного магнитного и электрического полей, спектром частот, поляризацией полей. Весьма трудно было бы поставить надёжный эпидемиологический эксперимент для выявления роли нетепловых эффектов. Для этого нужны как минимум четыре группы специалистов. Первая собирает медицинские сведения, вторая проводит мониторинг ЭМ-условий с измерением всех факторов, которые важны с точки зрения теории нетепловых механизмов, а не только интенсивности ЭМ-фона, третья группа вычисляет вероятности биологических эффектов для измеренных распределений. И, конечно, нужны специальные методы статистического анализа, которые использует четвёртая группа, сопоставляя расчётные вероятности с медицинскими наблюдениями. Все эти требования трудно выполнимы, что заметно обесценивает уже проведённые эпидемиологические исследования. Обнаружение в них связи между заболеваемостью и ЭМП может носить лишь случайный характер, при существовании, однако, самой такой связи.

СЛОЖНОСТЬ СТАНДАРТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ввиду вероятностного характера биологического действия слабых ЭМП в организме могут меняться ход и направленность тех или иных процессов метаболизма в тех или иных ЭМ-условиях. Эти изменения могли бы быть случайными для данного конкретного организма. Но это не означает ни того, что такие эффекты обязательно должны быть обнаружены в эпидемиологических исследованиях, ни того, тем более, что обязательно существует связь средней заболеваемости человека с уровнем ЭМ-фона [Бинги, 2012], если этот уровень, разумеется, не превышает установленного предела.

Помимо эпидемиологических исследований выполнено множество лабораторных, подтверждающих, что нетепловые эффекты существуют как явление. Только в Пушинском научном центре выполнены сотни таких исследований, например в циклах работ Е. Е. Фесенко, А. Б. Гапеева и В. В. Новикова.

Отметим, что отечественные отраслевая и медицинская науки, профессионально связанные с охраной здоровья населения, также проводили соответствующие исследования. В них наблюдали разнообразные биологические эффекты при хронической экспозиции лабораторных животных в ЭМП нетепловой интенсивности. Наблюдали и неблагоприятные последствия вынужденного хронического облучения ЭМП некоторых категорий работников в связи с условиями их труда. По результатам этих исследований в СССР, а теперь и в России приняты самые жёсткие в мире стандарты электромагнитной безопасности.

Большинство зарубежных стандартов существенно мягче, поскольку они учитывают лишь тепловые эффекты. Российские стандарты иногда подвергают критике. Некоторые основания действительно имеются. Приблизительные расходы индустриально развитых стран на исследования

в области ЭМ-биологии в последнем десятилетии по порядку величины — миллионы долларов в год на страну. Результаты этих исследований используют, в частности, для совершенствования стандартов. В России аналогичных по масштабу программ не существовало, и это, конечно, ставит вопрос, не являются ли жёсткие отечественные стандарты ЭМ-безопасности устаревшими и не согласованными с новыми уточнёнными данными электромагнитной биологии.

Разный уровень ЭМ-стандартов порождает массу трудностей, например, в сфере международной торговли оборудованием персональной сотовой связи. Здесь проблема научная становится проблемой социальной. Если признать существование нетепловых эффектов, то надо пересматривать не только множество уже принятых стандартов ЭМ-безопасности, но и основу, на которой они строились.

Например, повсеместно используют понятие *дозы* как произведения величины фактора на время его действия. Для нетепловых эффектов ЭМП это понятие в значительной мере теряет свой смысл, так как меньшая доза может вызвать больший эффект. Даже представить трудно необходимый уровень финансовых затрат, связанных с пересмотром стандартов под углом зрения нетепловых эффектов ЭМП. Это и есть причина, по которой признание реальности нетепловых эффектов встречает серьёзные трудности: оппоненты магнитобиологии уходят от обсуждения веских экспериментов, не замечают перспективных теоретических разработок, критикуют откровенно спорные работы, лоббируют принятие решений по научным публикациям, инвестициям и стандартам.

Оппоненты магнитобиологии высказывают мнение, что средства налогоплательщиков и инвесторов расходуются впустую на исследования, не заслуживающие внимания. Тезис сомнительный и спорный. Легко ввести в заблуждение одного человека, но невозможно согласиться с тем, что ошибку допускает социальный организм — носитель современного научного мировоззрения, частью которого являются как исследователи, так и инвесторы.

ФИЗИКА МАГНИТОРЕЦЕПЦИИ

В комментариях физической природы явления биологической эффективности МП используются термины *механизм* и *модель*, обладающие близким, но неодинаковым смыслом. Термин *механизм* используют в том случае, когда речь идёт о концепции, о физических процессах или их последовательности, возможно лежащей в основе явления. Если требуется подчеркнуть, что данный механизм воплощён или реализован в виде уравнений или иных математических соотношений, используют термин *модель*. Может не быть ни одной, или наоборот, быть несколько математических моделей одного и того же механизма биологической эффективности МП. Важной характеристикой модели является её прогностическая способность — способность рассчитывать или предсказывать исход эксперимента в разнообразных ЭМ-условиях.

Термин *мишень магнитного поля* специфичен для магнитобиологии и обозначает частицу или целостную физическую систему, например молекулу или биофизическую структуру, состояние которой меняется на самом первом этапе взаимодействия с внешним МП.

Итак, главные факты, касающиеся МБЭ — это 1) парадоксально малая величина МП, квазистатического и НЧ-диапазона, вызывающая биологические реакции; 2) **нелинейность отклика на магнитное воздействие**; 3) **вероятностный характер МБЭ**, проявляющийся в специфически сниженной восприимчивости явления. Сопутствующее обстоятельство: первичные мишени МП в организмах ещё не идентифицированы.

Первый факт, или, другими словами, проблема kT , естественно, наиболее важен. Его можно выразить в виде неравенства

$$mH \ll kT,$$

где H — величина МП; m — магнитный момент предполагаемой мишени; k — постоянная Больцмана; T — эффективная температура мишени.

Одна из основных гипотез магниторецепции: мишень МП в организме обладает большим постоянным магнитным моментом. Последнее справедливо для магнитных наночастиц, естественно возникающих в организмах, — это попросту снимает проблему [Binhi, 2006, 2008]. Однако нетепловые эффекты МП известны и в тех организмах, где магнитных наночастиц заведомо нет. Поэтому продолжается поиск молекулярного механизма магниторецепции.

Обычно рассматривают в качестве мишени простейшие микроскопические одночастичные системы с электрическим зарядом — осциллятор, ротор или спин, обладающий магнитным моментом, — поскольку уже на этом уровне возникают серьёзные трудности.

Естественно, в отношении молекулярного механизма приходится предполагать, в соответствии с необходимостью преодоления вышеуказанного неравенства, т.е. уравнивания его правой и левой частей, что мала эффективная температура мишени. Это возможно только в том случае, если пренебрежимы эффекты диссипации (трение), обусловленные взаимодействием динамической системы с хаотическими колебаниями степеней свободы окружения, термостата. Эффекты диссипации пренебрежимы для степеней свободы, эволюция которых завершается до установления теплового равновесия: мало либо время жизни этих степеней, либо масштаб энергии взаимодействия с термостатом.

Такие степени свободы известны — это, например, промежуточные спин-коррелированные состояния пар радикалов в магнитохимических реакциях.

Однако трение — не единственная причина, препятствующая надёжному преобразованию сигнала МП в изменение скорости химической реакции. Другой причиной является инерция. Каждая из этих причин существенна, и для построения надёжного механизма магниторецепции надо преодолеть оба фактора.

Инерция проявляется в том, что скорость обобщённой координаты выбранной степени свободы не возникает одновременно с приложением силы, а является линейной функцией времени. Соответственно, энергия — квадратичная функция времени. Поэтому при малых силах энергия долго остаётся также малой. При естественной в физике силе действия меняющегося МП (с параметрами, обычными для магнитобиологии) на частицу с элементарными зарядом и массой, её энергия даже в отсутствие трения приобретает уровень kT через нереально большое время.

Мыслимы ли безынерционные механизмы? Да. Они основаны на закономерностях динамики углового момента и квантовой фазы. В динамике

углового момента угловая скорость (частота) прецессии не зависит от времени явно. Угловая скорость свободной прецессии возникает одновременно с приложением силы. Это является следствием неизменности энергии вращения, меняется лишь направление момента, по которому энергия выражена. Таким образом, направление углового момента можно менять пропорционально t , т.е. безынерционно. Аналогичная закономерность имеет место в отношении квантовой фазы, от которой энергия квантовой частицы также не зависит. В отношении спина, или собственного углового момента: угловой момент и квантовая фаза неразделимы, так как эти величины являются взаимно *дополнительными* — выбор той или другой становится вопросом удобства описания.

Безынерционными являются наиболее перспективные и часто обсуждаемые гипотетические молекулярные механизмы магниторецепции, рассматривающие: а) влияние МП на скорость реакций с участием спин-коррелированных пар радикалов; б) квантовые вращения молекулярных групп внутри белков; в) изменения свойств жидкой воды в МП. Описания этих механизмов — все они квантовые, связаны с эффектом Зеемана — можно найти в различных публикациях, например [Афанасьева и др., 2007; Бинги, 1997; Бинги, Рубин, 2007]. Особого упоминания заслуживает быстро развивающаяся концепция вовлеченности состояний воды в магниторецепцию, см. например [Бинги, 1998]. В последнее время здесь получены интересные данные, свидетельствующие о возможности разнообразных спиновых и структурных перестроек воды в ЭМП [Бункин и др., 2006; Рыжкина и др., 2009].

Несмотря на то, что все эти макроскопические и молекулярные механизмы магниторецепции обсуждаются сравнительно давно, ни один из них ещё не идентифицирован экспериментально. Дело в том, что результат расчёта по модели зависит от большого числа параметров модели, и связать его с наблюдаемой в эксперименте закономерностью часто затруднительно.

Можно заметить, что проблема kT в форме приведённого выше неравенства не включает важнейшую переменную — время, что расходится с обычной моделью детектирования слабого зашумленного сигнала. Это обстоятельство указывает на ещё одну перспективу решения проблемы магниторецепции, связанную с поиском таких структур или характеристик организма, внешних по отношению к первичной мишени, в которых малые изменения способны накапливаться до уровня, различимого биологическими дискриминаторами. Однако данная тема выходит за рамки настоящего ограниченного обзора, и явится предметом отдельной публикации.

ЛИТЕРАТУРА

- [Анисимов, 2007] *Анисимов В. Н.* Хронометр жизни // Природа. 2007. Т. 7. С. 3–11.
- [Афанасьева и др., 2007] *Афанасьева М. С., Пуртов П. А., Тарабан М. Б., Лешина Т. В.* Спиновая химия ферментативных процессов // Успехи химии. 2007. Т. 76. № 7. С. 651–668.
- [Бинги, 1997] *Бинги В. Н.* Механизм магниточувствительного связывания ионов некоторыми белками // Биофизика. 1997. Т. 42. № 2. С. 338–342.
- [Бинги, 1998] *Бинги В. Н.* Дефекты структуры жидкой воды в магнитном и электрическом полях // Биомед. радиоэлектроника. 1998. Т. 2. С. 7–16.

- [Бинги, 2011] *Бинги В. Н.* Принципы электромагнитной биофизики. М.: Физматлит, 2011.
- [Бинги, 2012] *Бинги В. Н.* Два типа магнитных биологических эффектов: индивидуальный и групповой // *Биофизика*. 2012. Т. 57. № 2. С. 338–345.
- [Бинги, Рубин, 2007] *Бинги В. Н., Рубин А. Б.* Фундаментальная проблема магнитобиологии // *Биомед. технологии и радиоэлектроника*. 2007. Т. 2–4. С. 63–76.
- [Бреус и др., 2008] *Бреус Т. К., Баевский Р. М., Фунтова И. И., Никулина Г. А., Алексеев Е. В., Черникова А. Г.* Влияние возмущений геомагнитного поля на реакцию адаптивного стресса у космонавтов // *Космич. исслед.* 2008. Т. 46. № 4. С. 378–383.
- [Бреус и др., 2010] *Бреус Т. К., Гурфинкель Ю. И., Зенченко Т. А., Ожередов В. А.* Сравнительный анализ чувствительности различных показателей сосудистого тонуса к метеорологическим и геомагнитным факторам // *Геофиз. процессы и биосфера*. 2010. Т. 9. № 2. С. 23–36.
- [Бункин и др., 2006] *Бункин А. Ф., Нурматов А. А., Першин С. М.* Когерентная четырехфотонная спектроскопия низкочастотных либраций молекул в жидкости // *Успехи физ. наук*. 2006. Т. 176. № 8. С. 883–889.
- [Владимирский и др., 2004] *Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А., Мартынюк В. С.* Космическая погода и наша жизнь. Фрязино: ВЕК 2, 2004.
- [Девятков и др., 1991] *Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
- [Зельдович и др., 1988] *Зельдович Я. Б., Бучаченко А. Л., Франкевич Е. Л.* Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // *Успехи физ. наук*. 1988. Т. 155. № 1. С. 3–45.
- [Космическая..., 2005] *Космическая погода: её влияние на человека и биологические объекты* / Под ред. Атькова О. Ю., Ю. И. Гурфинкеля. М.: «РепроЦЕНТР М», 2005.
- [Пирузян, Аристархов, 2005] *Пирузян Л. А. Аристархов В. М.* Спиновые и магнитные эффекты в биосистемах — привилегия мембранных фосфолипидов // *Докл. Акад. наук*. 2005. Т. 401. № 4. С. 560–562.
- [Пресман, 1968] *Пресман А. С.* Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968.
- [Рыжкина и др., 2009] *Рыжкина И. С., Муртазина Л. И., Киселёва Ю. В., Коновалов А. И.* Свойства супрамолекулярных ассоциатов, образующихся в водных растворах низких и сверхнизких концентраций биологически активных веществ // *Докл. Акад. наук*. 2009. Т. 428. № 4. С. 487–491.
- [Труханов, 2003] *Труханов К. А.* Некоторые магнитобиологические аспекты длительных и дальних космических полётов // *Радиац. биология. Радиоэкология*. 2003. Т. 43. № 5. С. 584–589.
- [Холодов, 1970] *Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. М.: Наука, 1970.
- [Binhi, 2006] *Binhi V. N.* Stochastic dynamics of magnetosomes a mechanism of biological orientation in the geomagnetic field // *Bioelectromagnetics*. 2006. V. 27. N. 1. P. 58–63.
- [Binhi, 2008] *Binhi V. N.* Do naturally occurring magnetic nanoparticles in the human body mediate increased risk of childhood leukaemia with EMF exposure? // *Intern. J. Radiation Biology*. 2008. V. 84. N. 7. P. 569–579.
- [Draper et al., 2005] *Draper G., Vincent T., Kroll M. E., Swanson J.* Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in Engl and Wales: A case-control study // *British Medical J.* 2005. V. 330. N. 7503. P. 1290–1292.
- [Henshaw, Reiter, 2005] *Henshaw D. L., Reiter R. J.* Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? // *Bioelectromagnetics*. 2005. V. 26. Suppl. 7. S. 86–97.

- [Huss et al., 2008] *Huss A., Spoerri A., Egger M., Roosli M.* Residence near power lines mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal study of the Swiss population // *American J. Epidemiology*. 2008. V. 169. N. 2. P. 167–175.
- [Juutilainen et al., 2006] *Juutilainen J., Kumlin T., Naarala J.* Do extremely low frequency magnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? A meta-analysis of experimental studies // *Intern. J. Radiation Biology*. 2006. V. 82. N. 1. P. 1–12.
- [Luben et al., 1996] *Luben R. A., Mild K. H., Blank M.* BEMS Presidents' letter goes to Congress following strong urging from members // *Bioelectromagnetics Newsletters*. 1996. V. 131. P. 1–4.
- [Martuzzi, Tickner, 2004] *Martuzzi M., Tickner J. A.* The precautionary principle: protecting public health, the environment the future of our children. World Health Organization, Geneva, 2004.
- [Park, 2000] *Park R. L.* Voodoo Science. N. Y.: Oxford University Press, 2000.
- [Syfers, 2006] *Syfers R.* EMF and Childhood Leukemia // *Electric Power Research Institute (EPRI) J.* 2006. P. 26–31.

GENERAL CHARACTERISTICS OF MAGNETOBIOLOGICAL PHENOMENA

V. N. Binh

A. M. Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia, e-mail: v.binh@yahoo.com

World Health Organization has recently classified cell phone radiation as a possible human carcinogen. Some earlier, the magnetic fields (MFs) of industrial frequencies, where they exceed 300 nT, have also been classified as a possible carcinogen (WHO/IARC, 2011). At the same time, the nature of biological effects of such fields remains unclear. Explanation is difficult, because the energy quantum of a weak low-frequency field is negligible as compared to that of the elementary act of a chemical reaction. Electric currents, induced in tissues, are also small, and heating of tissues by radiation is not great, as well. This problem is known as the problem of nonthermal biological effects. Nonthermal effects are, first of all, those caused by MFs on the order of the geomagnetic field at frequencies below 100 Hz. There are several research areas that study these effects. It is interdisciplinary laboratory studies, research into magnetic navigation in animals, epidemiological studies, and correlation between geomagnetic disturbances and human health.

Considered are main results of these studies, their particular characteristics that bring information about physics of underlying primary processes of magnetoreception. Special attention is paid to the known hypotheses on the physical nature of nonthermal magnetobiological effects. The hypotheses are listed and commented on. Some most plausible hypotheses are discussed with more detail. It is those that received major attention in publications on the nature of animal navigation. One of them states that magnetic nanoparticles that appear in a biological tissue artificially, either grow in the course of the crystallization process, are the primary targets for weak MFs. The other hypothesis relates magnetoreception in some animals with the presence of cryptochromes in the photoreceptor cells in eye's retina. Cryptochromes are a class of proteins found in plants and animals; they include magnetically sensitive radical pairs. The latter are suggested to have a lifetime long enough for appreciable changes in their spin state even in a weak magnetic field. There are many published "evidences" both the pros and cons, concerning these two hypotheses.

Recently reported data about the properties of water dilutions of some chemicals with a specific biological activity are mentioned. These water dilutions have been shown to be electromagnetically sensitive, which revives the known hypothesis that water might be an intermediate in the process of magnetoreception.

Rotational states in macromolecules, like molecular gyroscopes, remain one of the most attractive magnetoreception mechanisms.

These mechanisms fit diverse experimental data much better than others. However, many experiments they fit have not yet been reproduced in other labs. Years of the absence of replicative data and of practical applications make it justified to re-evaluate the statistical validity of the experiments themselves, particularly those concerned with frequency selectivity.

General theoretical problems of nonthermal biological effects from electromagnetic fields are discussed. It is shown that magnetoreception mechanisms based on magnetic nanoparticles, cryptochrome long-living radical pairs, liquid water states, of yet unknown origin, and rotational macromolecular states are most plausible from the physical viewpoint.

REMOVE AND REPLACE FOR A SCRUTINY OF SPACE WEATHER AND HUMAN AFFAIRS

Germaine Cornelissen¹, Kuniaki Otsuka², Franz Halberg¹

¹ Halberg Chronobiology Center, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA,
e-mail: corne001@umn.edu

² Tokyo Women's Medical University, Medical Center East, Tokyo, Japan

Assessing influences of space weather on human physiology, pathology and other affairs often relies on correlations between the socio-biological variable and the environment. One major pitfall of such an approach is the disregard for periodicities characterizing both biology and inanimate nature, many of them shared between the two systems. Correlations are notoriously known to lead to spurious results in the presence of rhythms, as the correlation coefficient is largely dependent on the phase difference of a given periodic component between the two variables being compared. In the presence of cycles, and they are ubiquitous, methods other than the Pierson product-moment correlation are advocated. Cross-spectra and coherence spectra are one option. Superposed epoch analysis is another option. Yet another method illustrated herein is the remove-and-replace approach, so named after the precedent in endocrinology where a gland or organ (such as the pancreas) is first removed to determine what the resulting health problems are, and its hormone (such as insulin) or other secretion is then administered to find out whether health can thus be restored. For the purpose herein, the environment itself is doing the removal and replacement. It can be the presence versus the absence of a given condition such as a magnetic storm, or of a given spectral component (such as the week). Biological states during spans corresponding to the presence or absence of given environmental features, or at least during their decrease (subtraction) or increase (addition) in amplitude, can then be compared by an armamentarium of standard statistical tools.

INTRODUCTION

Despite numerous reports of non-photic solar influences on pandemics [Chizhevsky, 1936] and other human affairs [Chizhevsky, 2010] from Russia, including studies by Breus et al. on myocardial infarction and other vascular diseases [Kleimenova et al., 2007; Ozheredov et al., 2010], scholars in the West have been skeptic [Lipa et al., 1976; Feinleib et al., 1975]. While studies by [Lipa et al., 1976; Feinleib et al., 1975] included large populations, the daily data were limited in time, spanning only 3–5 years bracketing a minimum in solar activity.

We owe the first opportunity to examine the possibility that space weather affected human health to Dr Tamara Breus who provided a database of 6.3 million calls for an ambulance in Moscow during 1979–1981, a stage of maximal solar activity. Along with the index of local geomagnetic activity K and Wolf numbers gauging solar activity, ambulance calls related to myocardial infarctions, other vascular diseases as well as other conditions were available as daily incidences. The task on hand was to test whether magnetic storms were associated with an increase in myocardial infarctions. To our question on how to recognize the occurrence of a magnetic storm, Tamara instructed us to look for a southward change in the vertical component of the interplanetary magnetic field, Bz. From results of chronobiologic serial sections [Halberg et al., 1977] on the time course of Bz, the occurrence of a magnetic storm was (admittedly arbitrarily) defined as a change in average daily Bz from ≥ 1 nT to < 1.5 nT. Using superposed epoch analysis, an about 7 % increase in the incidence of myocardial infarctions was indeed found one day after the storm [Cornelissen et al., 1994; Halberg et al., 1991], Figure 1. The result was obtained

after normalizing the data by equating average incidences in each 6-day epoch to 100 % to reduce the variance associated with the large-amplitude circannual rhythm. Similar results on the same database were subsequently published by physicists who performed independent analyses [Villoresi et al., 1994]. An influence of space weather on the incidence of myocardial infarctions was further corroborated by cross-spectral coherence with respect to both Bz and Moscow K [Halberg et al., 1991; Breus et al., 1995, 1992; Cornélissen et al., 1993], Figure 2. The results confirm a similar finding by Stoupel et al. [Stoupel, 1976] who showed by superposed epoch analysis a peak incidence in myocardial infarctions and of overall cardiovascular diseases on stormy days.

Further supporting evidence stems from a 29-year database of mortality from myocardial infarction in Minnesota [Cornélissen et al., 2002a]. In addition to the anticipated circannual and circaseptan variations, an about 11-year cycle similar to the solar activity cycle was detected, Figure 3. By comparison with years of minimal solar activity, there is an excess of 220 cases/year during years of maximal activity ($P=0.023$). The results stem primarily from the data collected during the first two solar activity cycles. The 11-year component is not statistically significant during the last third of the record. An association between mortality from myocardial infarction in Minnesota and solar activity is further supported by phase synchronization analyses [Schack et al., 2000; cf. Halberg et al., 2003] Figures 4 and 5.

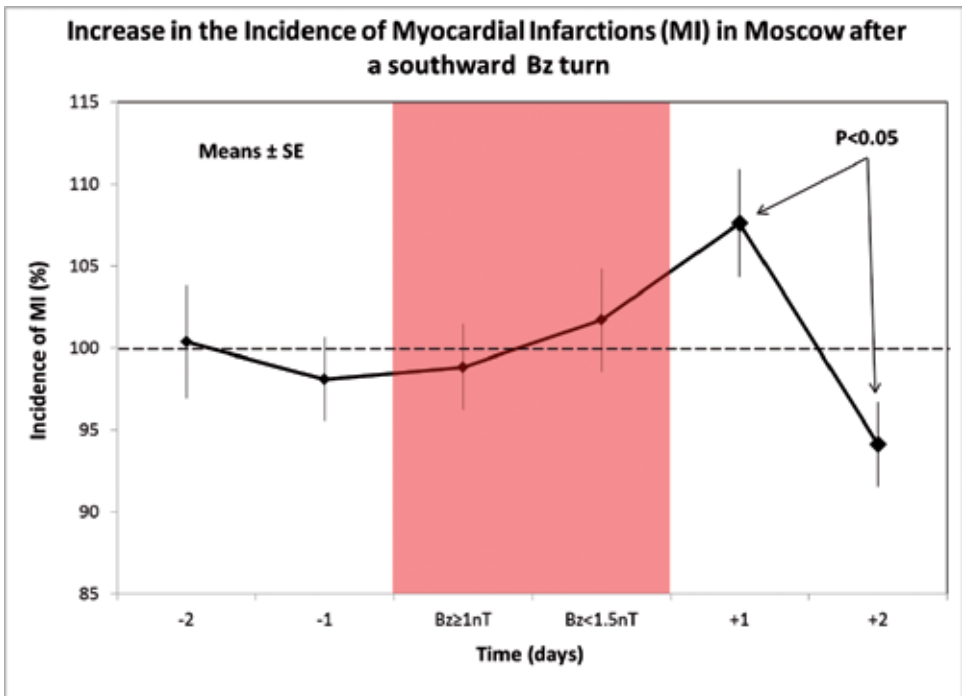


Figure 1. In a database of 6.3 million calls for an ambulance in Moscow, Russia during 1979–1981, a span of high solar activity, superposed epoch analysis reveals an about 7 % increase in the incidence of myocardial infarctions on the day following a magnetic storm, gauged by the southward turn of the vertical component of the interplanetary magnetic field, Bz. Data of each 6-day epoch are expressed as a percentage of the 6-day mean in order to reduce the variance due to the large-amplitude circannual rhythm. © Halberg

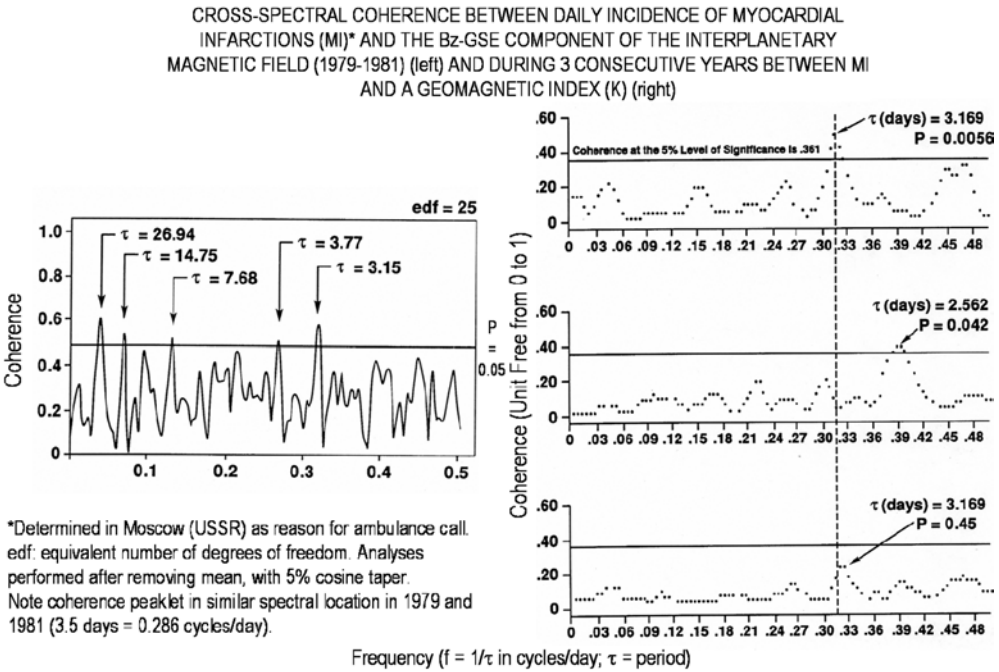


Figure 2. Cross-spectral coherence of the daily incidence of myocardial infarctions (Moscow, 1979–1981) with the vertical component of the interplanetary magnetic field (Bz) found at periods of about 26.9, 14.8 and 7.7 days, corresponding to major spectral peaks of the planetary geomagnetic disturbance index (Kp) likely associated with the rotation of the sun around its axis (left). Cross-spectral coherence at a period of about 3.2 days is also found with Kp in 1979 and in 1981 (right). © Halberg

REMOVE-AND-REPLACE: CIRCASEPTAN COMPONENT

A weekly component was prominently detected in the incidence of all cardiovascular conditions as well as in the overall number of ambulance calls in Moscow [Cornélissen et al., 1993], Figure 6. The increase in myocardial infarctions on Mondays was corroborated by meta-analysis of 47 different time series retrieved from 9 published papers involving a total of 104,412 patients, Figure 7. A circaseptan component is also detected in a longitudinal record of human heart rate, Figure 8. The same heart rate data had been reported to show cross-spectral coherence with the planetary geomagnetic disturbance index Kp [Halberg et al., 1991; Watanabe et al., 1994], Figure 9.

In 1983, [Vernova et al., 1983] reported on the intermittent detection of an about-weekly variation in the rate of change in sunspot area, providing results from Walsh spectra during different spans. This report prompted the investigation whether a weekly variation in human physiology may be affected by the presence or absence in solar circaseptans. To answer this question, we turned to all 5 longitudinal records of self-measurements available during two or more spans considered in the study by [Vernova et al., 1983]. In the case of heart rate, we found that circaseptans were invariably amplified when present in the sun and dampened when absent in the sun [Cornélissen et al., 1996], Figure 10.

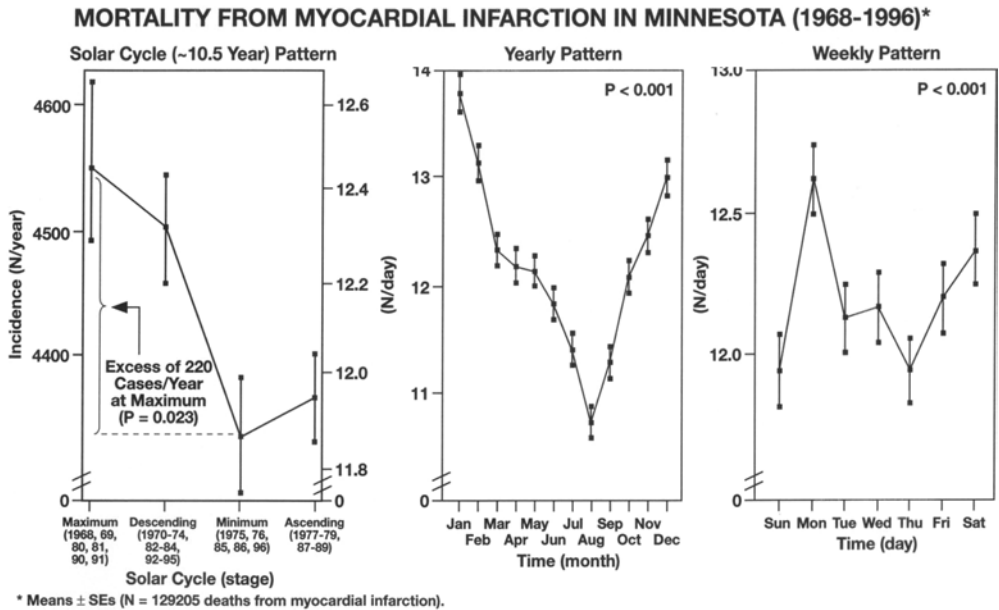


Figure 3. In addition to prominent about yearly and about weekly variations in the daily incidence of mortality from myocardial infarction in Minnesota during 1968–1996, an about 10-year cycle similar to the solar activity cycle is detected with statistical significance, accounting for an excess mortality of 220 cases per year at maximal versus minimal solar activity.

© Halberg

Resonance of circaseptans in human heart rate with solar circaseptans was also demonstrated with statistical significance on an individual basis for the longest self-measurement record ($P < 0.001$) [Cornelissen et al., 1996]. Moreover, the MESOR (rhythm-adjusted mean), the circaseptan amplitude and the circaseptan-to-circadian amplitude ratio all underwent an about 11-year cycle similar to the solar activity cycle [Cornelissen et al., 1996].

A similar remove-and-replace approach was applied to mortality from myocardial infarction in the Republic of Georgia [Amiranashvili et al., 2002]. As seen in Figure 11, a 7-day component in mortality from myocardial infarction is detected with statistical significance during 1980–1982 when solar activity is high and circaseptans characterize the interplanetary magnetic field. During 1984–1987, however, solar activity is down as are circaseptans in the interplanetary field. During this “removal” stage, circaseptans are no longer detected in the spectrum of myocardial infarctions. But in 1989–1992, during the next solar maximum, circaseptans are again detected both in myocardial infarctions and in the environment that has done the “replacement”, Figure 11.

REMOVE-AND-REPLACE: MAGNETIC STORMS AND HEART RATE VARIABILITY

Heart rate variability is reduced in patients who suffered a myocardial infarction [Orth-Gomér et al., 1982]. Too-low a heart rate variability, gauged by the standard deviation of heart rate from around-the-clock ambulatory monitoring, was also predictive

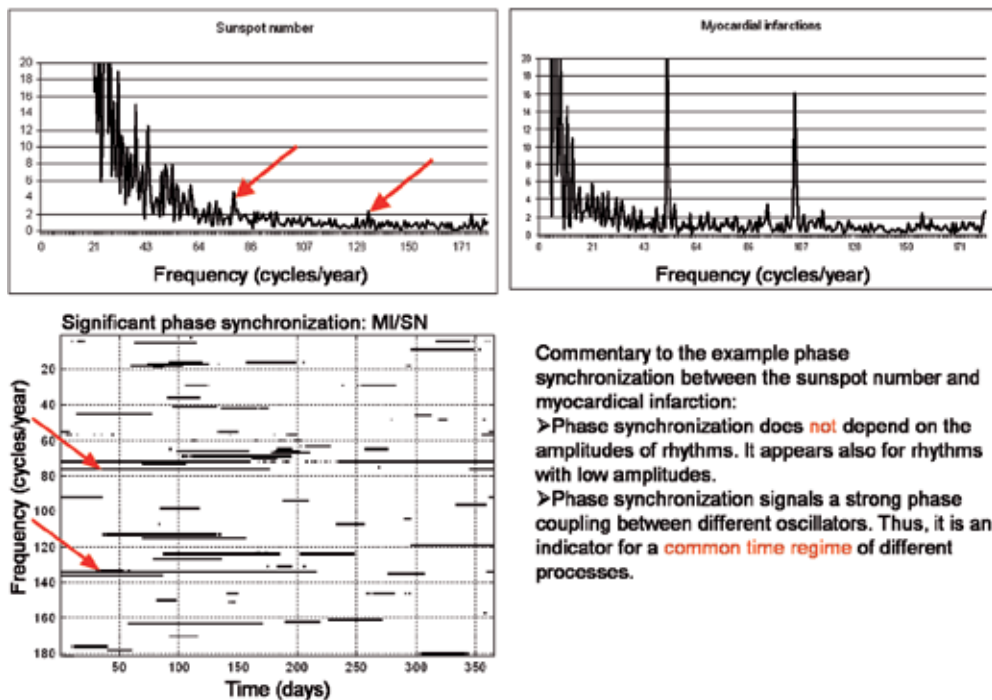


Figure 4. Spectra of Wolf numbers (top left) and of the daily incidence of myocardial infarction (Moscow, 1979–1981; top right) reveal prominent low-frequency changes in both variables and a prominent weekly and half-weekly variation in myocardial infarctions. Despite the relatively small amplitudes of components with periods of about 4.7 and 2.7 days (arrows), a phase synchronization method [Schack et al., 2000; cf. Halberg et al., 2003] suggests that myocardial infarctions and solar activity share a common time regime at these two frequencies. © Halberg

of patients who were to be diagnosed with coronary artery disease during the next 6 years in a study by [Otsuka et al., 1997]. Holter monitoring of cosmonauts on the MIR station revealed an about 30 % lower heart rate variability on stormy days by comparison with quiet days [Baevsky et al., 1997], Figure 12.

On a day when around-the-clock ECG monitoring of a clinically healthy man showed an abnormal pattern, the lowered heart rate variability happened to occur in association with a magnetic storm [Cornélissen et al., 1999], Figure 13. The decrease in spectral power was found primarily at frequencies lower than 0.04 Hz and was not statistically significant around one cycle in about 3.6 s. This result suggests that the physiological mechanism involved may be other than the parasympathetic, usually identified with spectral power centered around one cycle in 3.6 s [Cornélissen et al., 1999].

A follow-up study [Otsuka et al., 2001, 2003] involved the around-the-clock ECG monitoring for 7 days of 19 subjects in Alta, Norway (above the Arctic Circle). An increase in the 24-hour average of heart rate and a decrease in heart rate variability were documented on days of high geomagnetic disturbance as compared to quiet days, Figure 14. Again, the decrease in heart rate variability was more pronounced at frequencies lower than 0.04 Hz. In the circaminutan (“VLF”) range, there was a 21.9 % decrease ($P < 0.001$) and in the “ULF” range there was a 15.5 % decrease

($P=0.009$). This finding is clinically relevant because a reduction in the “VLF” range of the spectrum is associated with an increased risk of cardiac death. It has been proposed that the VLF” component may relate to several mechanisms, such as thermoregulation, the renin–angiotensin–aldosterone system and other humoral factors [Otsuka et al., 2003]. In 5- of the 7-day ECG records, it was possible to compare measures of heart rate variability in separate 24-hour spans among days of low, middle and high geomagnetic activity. A graded response was demonstrated, the extent of decrease in heart rate variability depending on the degree of geomagnetic activity, suggesting the existence of human magnetoreceptors [Otsuka et al., 2002, 2003].

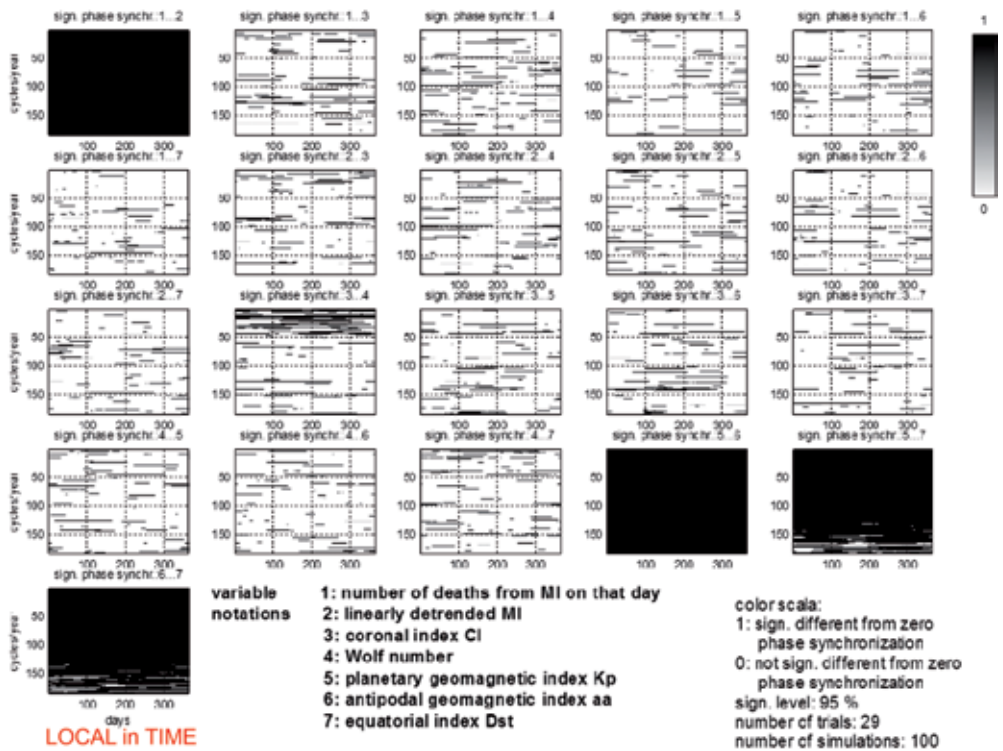


Figure 5. Non-zero phase synchronization between pairs of variables [Schack et al., 2000; Halberg et al., 2003]. The data set consists of the daily incidence of mortality from myocardial infarction (MI) in Minnesota during 1968–1996 (29 years) (variable 1), the same data after removal of a linear decreasing trend (variable 2), and different physical environmental variables reflecting the influence of the sun (coronal index and Wolf numbers, variables 3 and 4, respectively) or that of geomagnetism (the planetary index of geomagnetic disturbance Kp, the antipodal index of geomagnetic disturbance aa, and the equatorial index of geomagnetic activity Dst, variables 5, 6, and 7, respectively). Thresholds for the phase synchronization index are computed at each time-frequency for each pair of variables by random permutation of trials, here represented by 29 1-year spans, used as replications. Anticipated results are obtained, such as the identical time-frequency structure of MI and detrended MI, and the very close — but not identical — time-frequency structure of Kp, aa, and Dst, Kp and aa being very similar to each other but both showing some slight differences, mostly at higher frequencies, with Dst, and the similarity in the low-frequency region between the two solar variables.

© Halberg

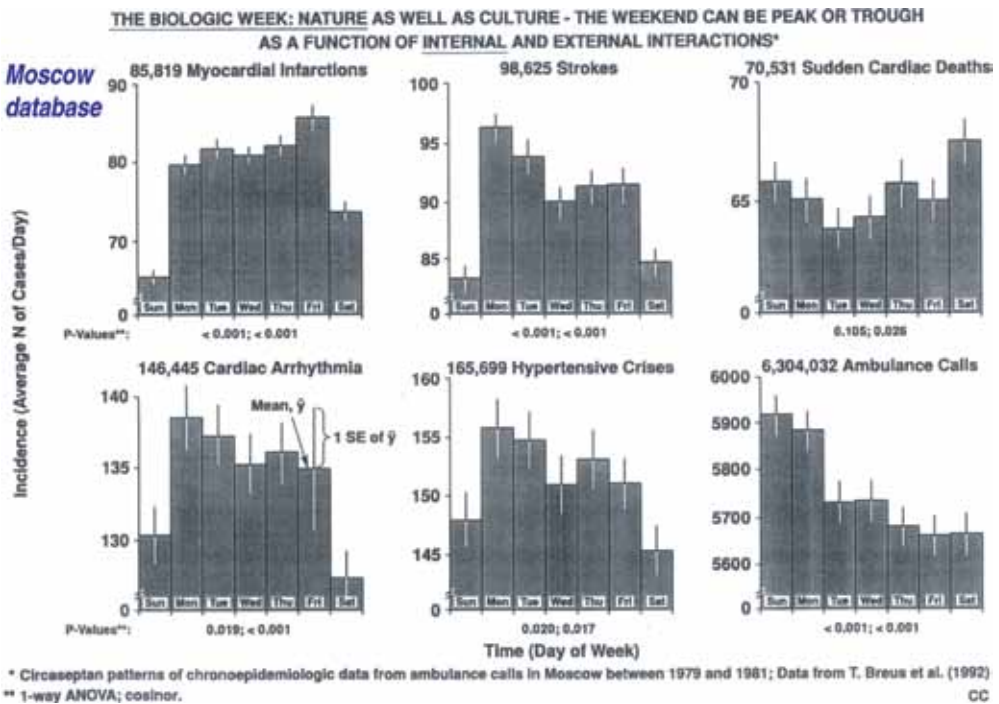


Figure 6. Different weekly patterns characterize the incidence of myocardial infarctions, strokes, sudden cardiac deaths, cardiac arrhythmia, and hypertensive crises, as well as the total number of calls for an ambulance in Moscow (1979–1981). © Halberg

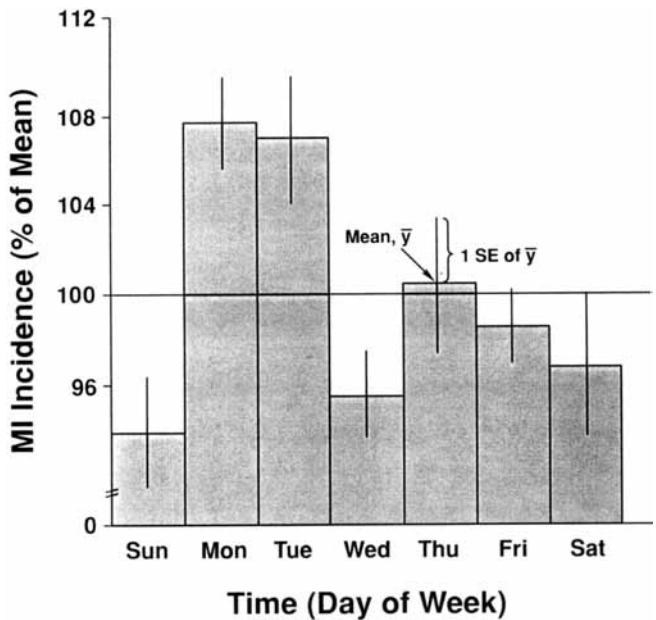


Figure 7. The increase in myocardial infarctions on Mondays seen in the Moscow database (see Figure 6) is corroborated by a meta-analysis of 47 different time series retrieved from 9 published papers involving a total of 104,412 patients. © Halberg

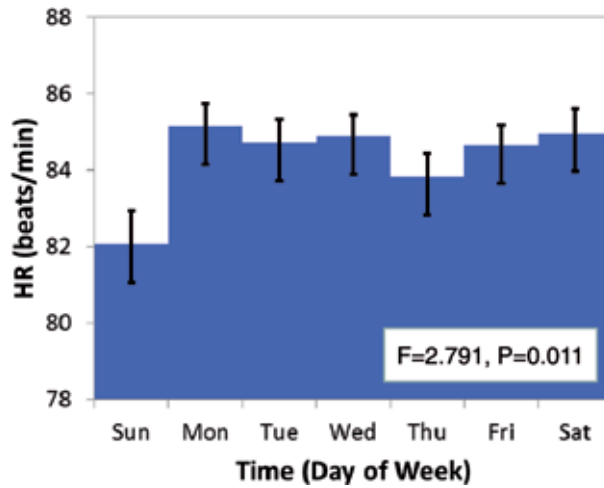


Figure 8. Weekly pattern of heart rate from a clinically healthy man measured automatically around the clock between August 1989 and April 1991. © Halberg

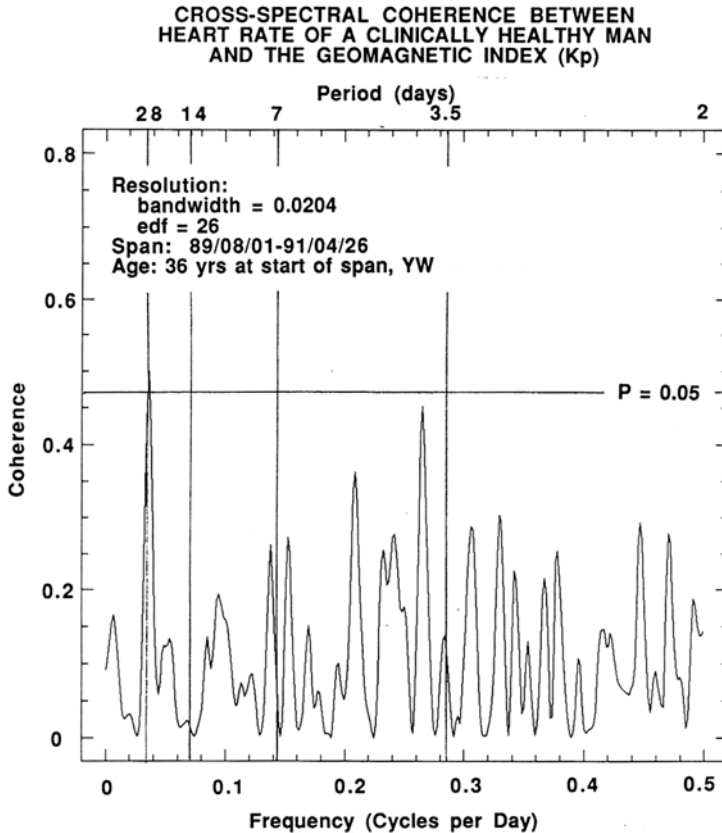


Figure 9. During the same span (August 1989 – April 1991, see Figure 8), there is cross-spectral coherence of this clinically healthy man’s heart rate with the planetary index of geomagnetic disturbance Kp at a period of 27.7 days (coherence=0.50, $P=0.032$), with a secondary peak at 3.8 days ($P=0.064$). © Halberg

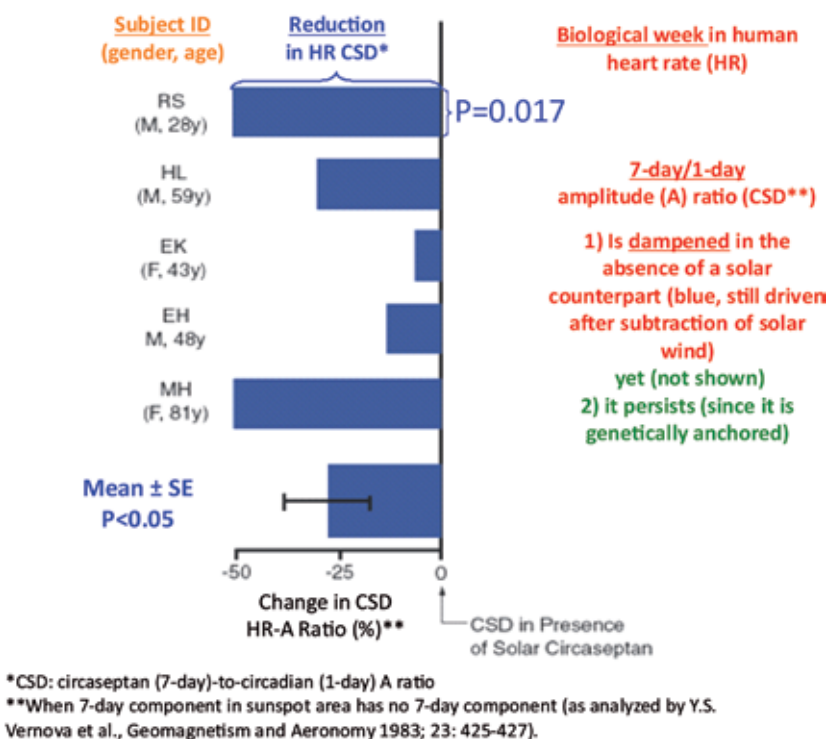


Figure 10. An about 7-day spectral component in the heart rate of five men is less prominent when the rate of change in sunspot area loses its counterpart of corresponding length.
© Halberg

Four-hourly sampling for 7 days on rats standardized for 1 month in two rooms on antiphasic lighting regimens happened to start on the day after the second extremum of a moderate double magnetic storm gauged by the planetary geomagnetic Kp index and by an equatorial index Dst. Circadian characteristics of melatonin and corticosterone differed during magnetically affected and quiet days. Pineal melatonin was lower, had a reduced circadian amplitude and tended to peak earlier in the day, whereas hypothalamic melatonin was higher and had a larger circadian amplitude during the days with the storm [Jozsa et al., 2005], Figure 15. The circadian parameters of circulating corticosterone were more labile during the days including the storm than during the last three quiet days [Jozsa et al., 2005].

REMOVE-AND-REPLACE: ABOUT 15-DAY COMPONENT

Chronobiological serial sections [Halberg et al., 1977] at trial periods of 7 and 3.5 days of Moscow K and Bz (the North-South component of the interplanetary magnetic field), as well as of the daily incidence of myocardial infarctions and strokes in Moscow (1979–1981) reveal occasional phase trapping, a situation also found for human heart rate and Bz [Halberg et al., 1991]. In contrast to other cardiovascular morbidity statistics, all showing a very prominent weekly pattern [Cornélissen et al., 1993], the circaseptan component characterizing sudden cardiac death, although statistically significant, is much less pronounced.

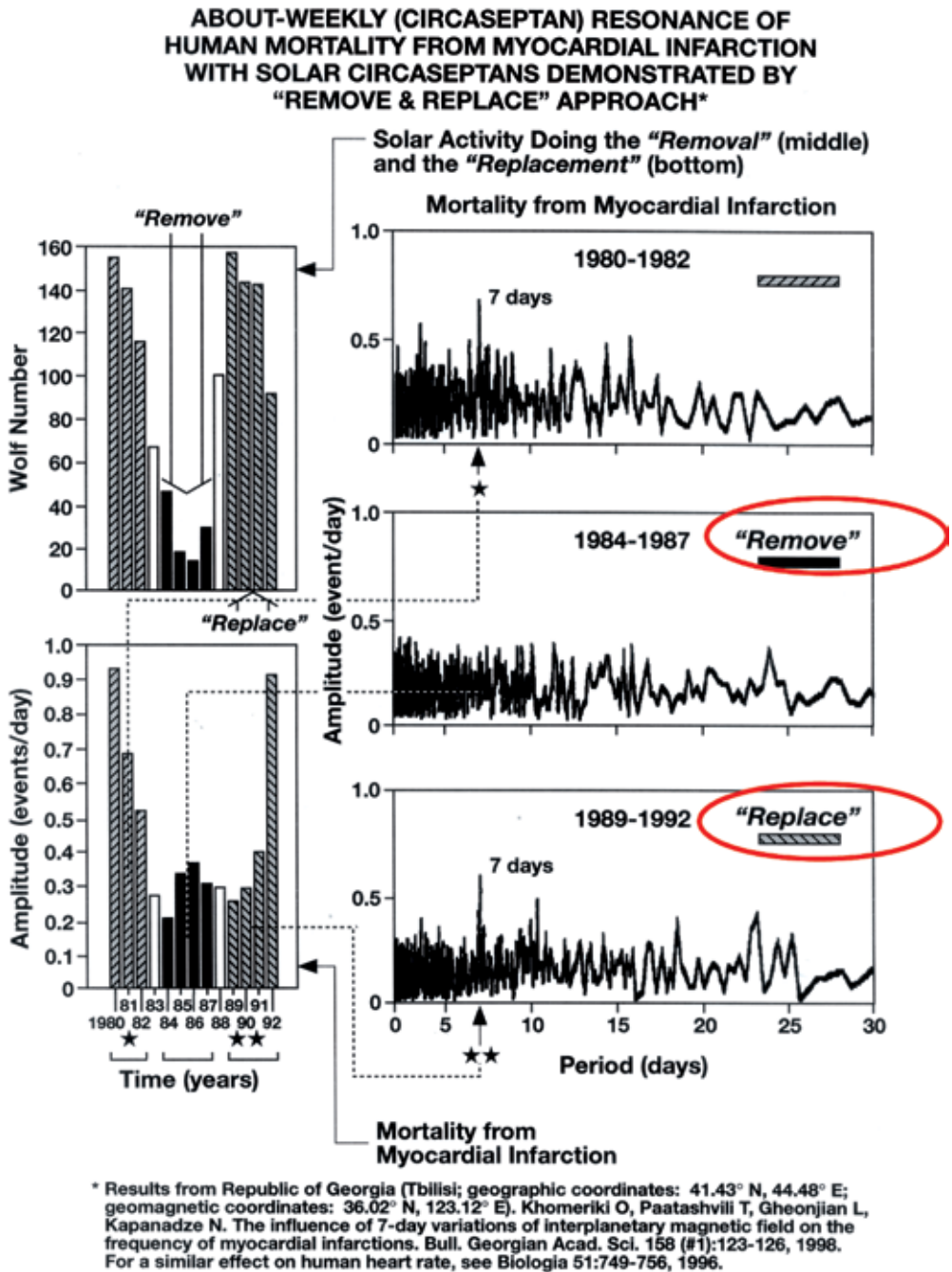


Figure 11. An about 7-day component in mortality from myocardial infarction in Tbilisi, Republic of Georgia, is detected with statistical significance during 1980–1982 and again during 1989–1992 when solar activity is high but not during 1984–1987 when solar activity is low.

© Halberg

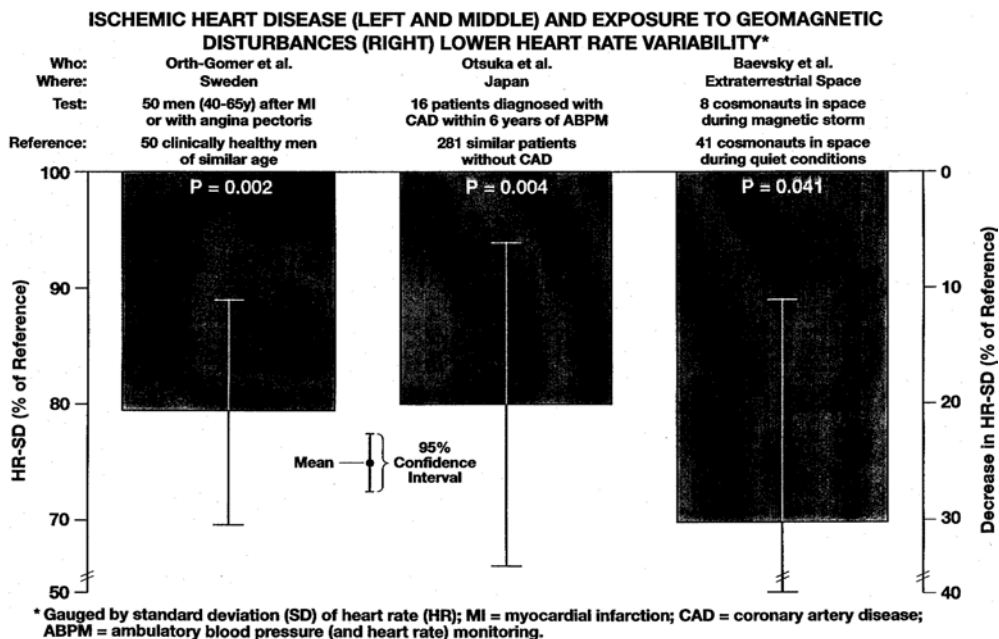


Figure 12. A deficient heart rate variability, observed after-the-fact of a myocardial infarction (left), is predictive of coronary artery disease to develop in the ensuing 6 years (middle). The fact that it is reduced by about 30 % in cosmonauts monitored during a magnetic storm by comparison to quiet days (right) suggests that magnetic storms may be hazardous to cardiovascular health. © Halberg

Instead, an about half-monthly component is detected with a period of about 2 weeks in least squares and population-mean cosinor spectra, Figure 16. Nonlinearly, this component's period estimate is 15.2 days (95 % CI: 15.15–15.30 days), originally thought to be related to a twice-a-month salary schedule in this population (Figure 17), but not seen for other conditions [Halberg et al., 1991]. According to the criterion of a non-overlap of 95 % confidence intervals, this period is statistically significantly different from the half-monthly period characterizing local K analyzed during the same 3-year span. For K, the corresponding period is estimated to be 14.0 (95 % CI: 13.94–14.17) days [Cornélissen et al., 2002b].

Whereas the about half-monthly period of both sudden cardiac death and K is estimated with a relatively tight 95 % confidence interval when analyzed over the entire 3-year span, this component's period shows great wobbliness when the data are analyzed by moving spectra over a shorter interval of 3 months, progressively displaced by 1.5 weeks throughout the time series. This component is not consistently detected either for sudden cardiac death or for local K, Figure 18. A possible resonance with occasional frequency trapping between the multiseptans of K and sudden cardiac death is suggested by the fact that the half-monthly component is seemingly more prominently expressed in sudden cardiac death when it is detected in the spectrum of K [Cornélissen et al., 2002b; Halberg et al., 2005a].

Additional supporting evidence for a natural environmental influence, in contrast with a societal one, is the detection of an about 15-day component characterizing magnetic disturbances recorded by a stand-alone magnetometer in the Antarctic [Cornélissen et al., 2001, 2007], Figure 19.

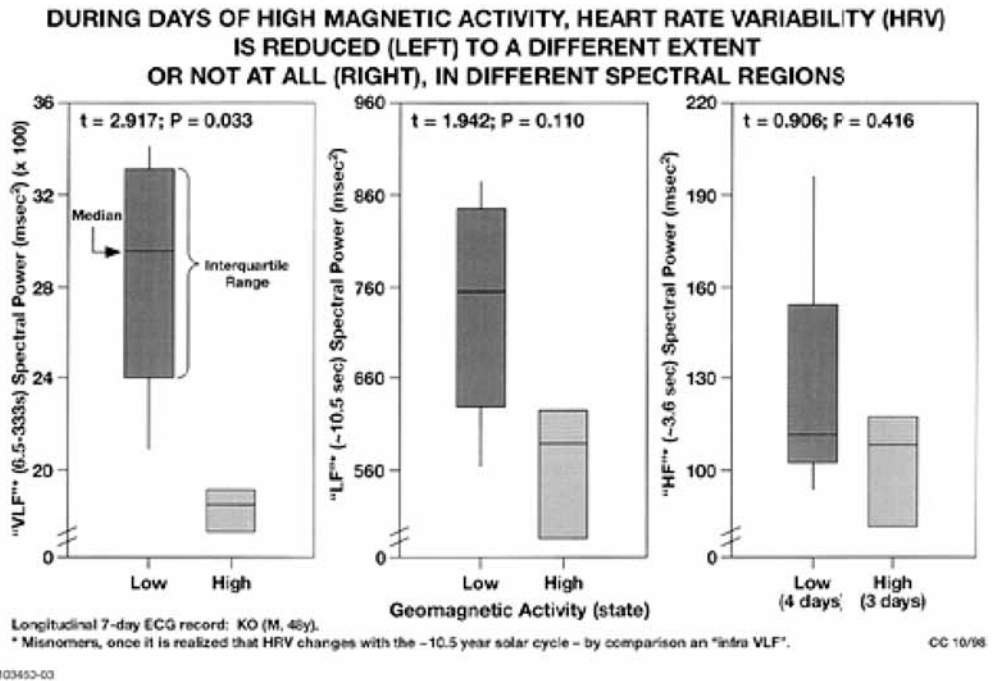


Figure 13. In a 7-day ECG record, heart rate variability (HRV) of a clinically healthy 48-year-old man is reduced during days of high versus days of low magnetic activity, to a different extent or not at all in different spectral regions: the decrease is more pronounced for periods in the spectral region between 6.5 and 33.3 s than in other spectral regions [Cornélissen et al., 1999]. This result has been confirmed on additional cases. It may point to some underlying physiological mechanism responsible for the physiological response to changes in magnetic activity other than the parasympathetic, usually identified with spectral power in the 3.5-s region. © Halberg

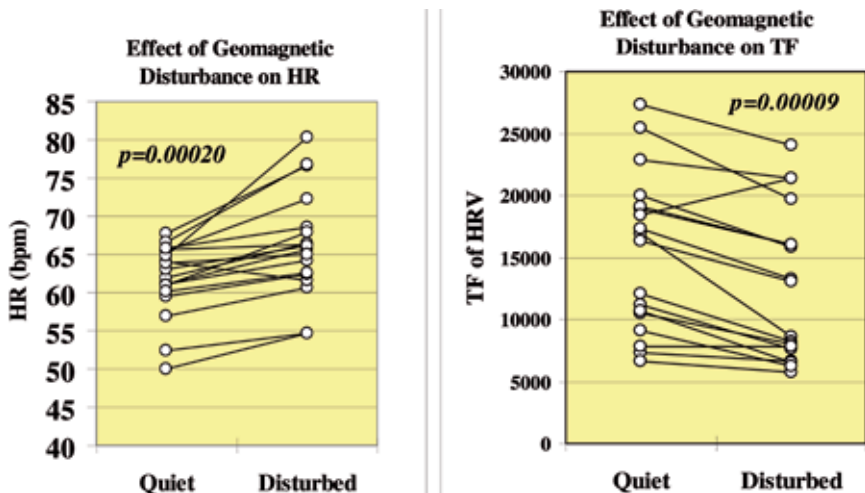


Figure 14. In clinically healthy individuals monitored in Alta, Norway, above the Arctic circle, heart rate variability is almost invariably decreased in all longitudinal records on days of high versus days of low geomagnetic activity [Otsuka et al., 2001, 2002, 2003]. © Halberg

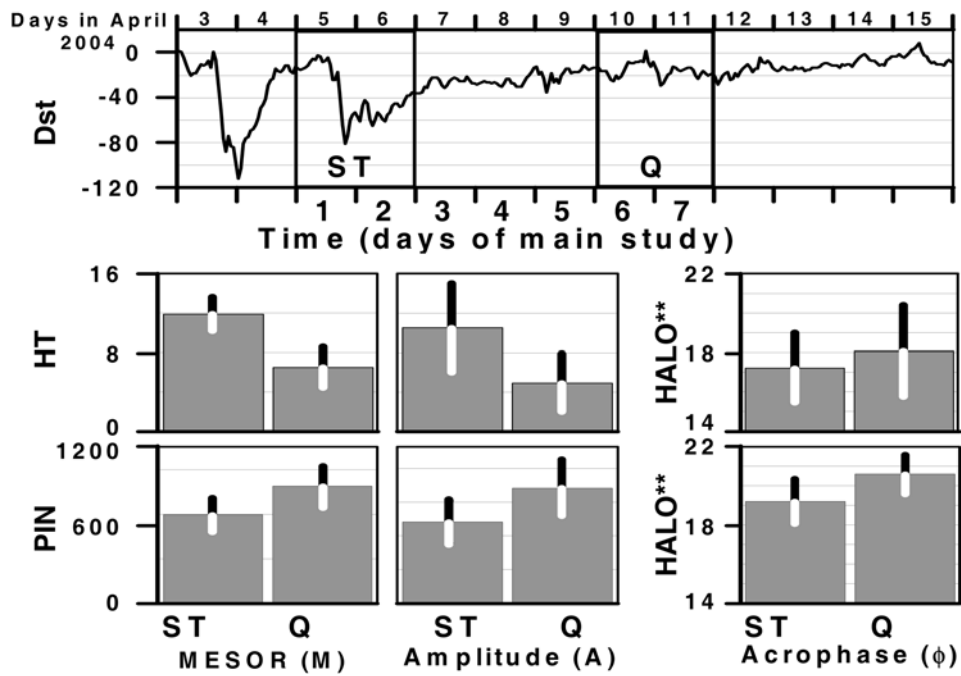


Figure 15. Observations on the equatorial geomagnetic index Dst (top), on the hypothalamus, Ht (middle) that may be activated via the storm directly and/or via the pineal, Pin (bottom). This “experiment of nature” offers a putative mechanism that cannot be dissected *in vivo* in humans. © Halberg

Among others, a component with a period of about 15 days, presumably related to the solar rotation, is detected with statistical significance in the least squares spectral analysis of the longitudinal series of daily means, standard deviations, MESORs (rhythm-adjusted means), and circadian amplitudes of all three components of dB/dt , covering the span of 1 January 1997 to 31 January 1999 [Cornélissen et al., 2001].

REMOVE-AND-REPLACE: DECADEAL MODULATION OF CIRCADIAN

During 1985–1986, on 161 babies in Florence, Italy, the circadian amplitude of blood pressure, albeit small, was larger in babies with a positive than in those with a negative family history of high blood pressure and/or other CVD [Cornélissen et al., 1990], in keeping with a similar finding in children [Scarpelli et al., 1986]. In 1987–1989 we could not find this difference [Halberg et al., 1990]. A statistically significant ($P < 0.05$) secular increase in 1987–1989 versus 1985–1986 in the circadian amplitude but not in the MESOR of blood pressure of newborns with a negative family history may account for the failure in 1987–1989 to confirm the difference observed in 1985–1986 [Halberg et al., 1990].

An about 10-year cycle was later found to modulate the blood pressure MESOR of 527 babies studied in Moscow by Dr E. V. Syutkina over 8 years [Syutkina et al., 1996]. Follow-up studies in Moscow on 154 newborns from 1995 to 2005 revealed a circadecadal cycle in the 24-hour amplitude, as well as in the MESOR of blood pressure and heart rate [Syutkina et al., 2012].

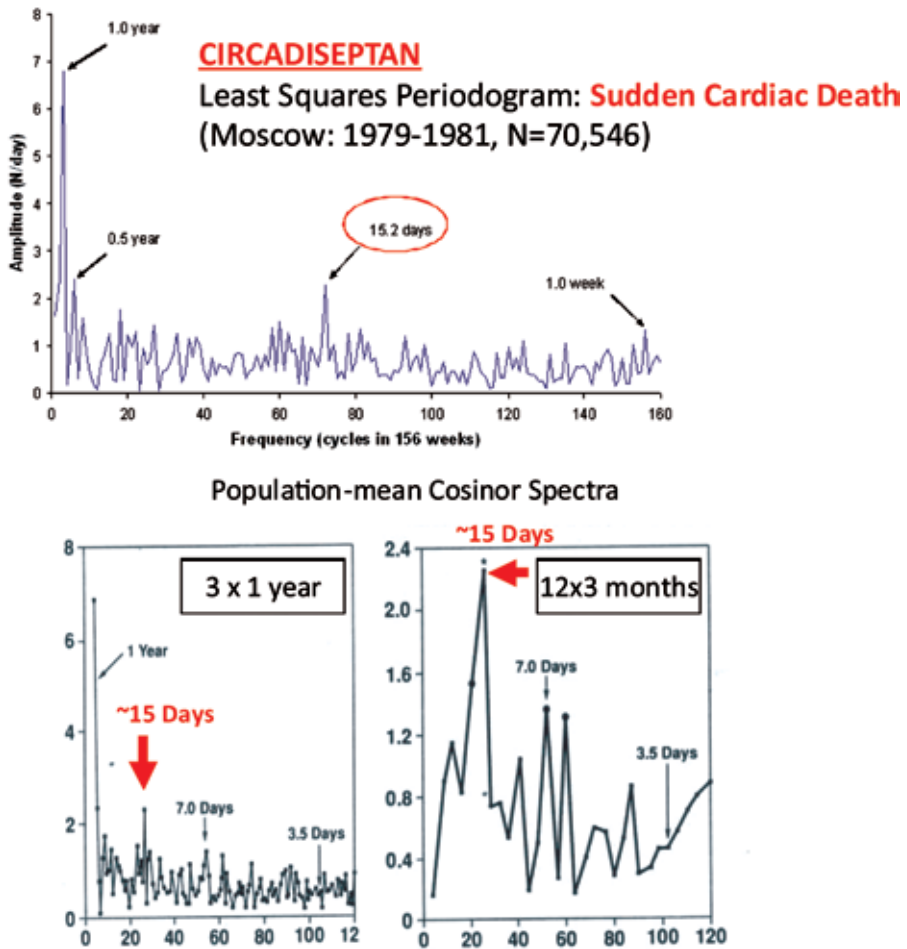


Figure 16. In the daily incidence record of sudden cardiac deaths in Moscow (1979–1981), an about half-monthly component is detected with a period of about 2 weeks in least squares (top) and population-mean cosinor (bottom) spectra. The half-monthly component is more prominent than the circaseptan variation in both cases, and whether 3 1-yaer or 12 3-month replications are used for the population-mean cosinor approach. © Halberg

Differences in decadal characteristics between babies with a negative or positive family history of high blood pressure seen for the MESOR of systolic (Figure 20) and diastolic blood pressure illustrate how interactions among rhythms of several frequencies (e.g., one cycle per day and one cycle per decade) may lead to differences in opposite directions at different stages of the lower-frequency component [Syutkina et al., 2012].

Thus, knowing the stage of the solar activity cycle when monitoring took place may help predict whether a given test (such as the estimation of the circadian amplitude of blood pressure) will fail or work. There are precedents for such interactions among rhythms with different frequencies: a large difference in the circadian amplitude of circulating prolactin observed in winter between Minnesotan and Japanese women differing in terms of breast cancer risk is of a lesser extent in spring and is greatly reduced in summer and fall [Halberg et al., 1981].

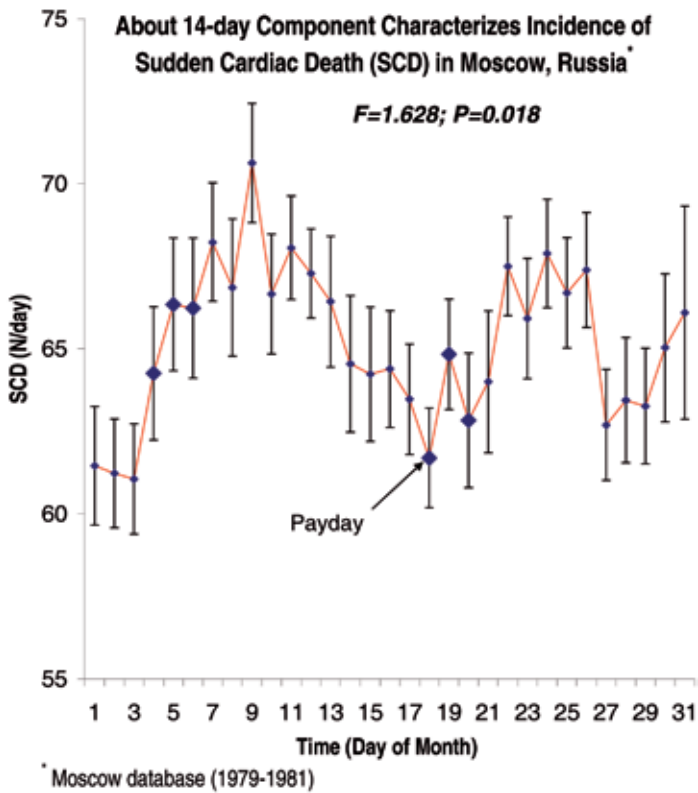
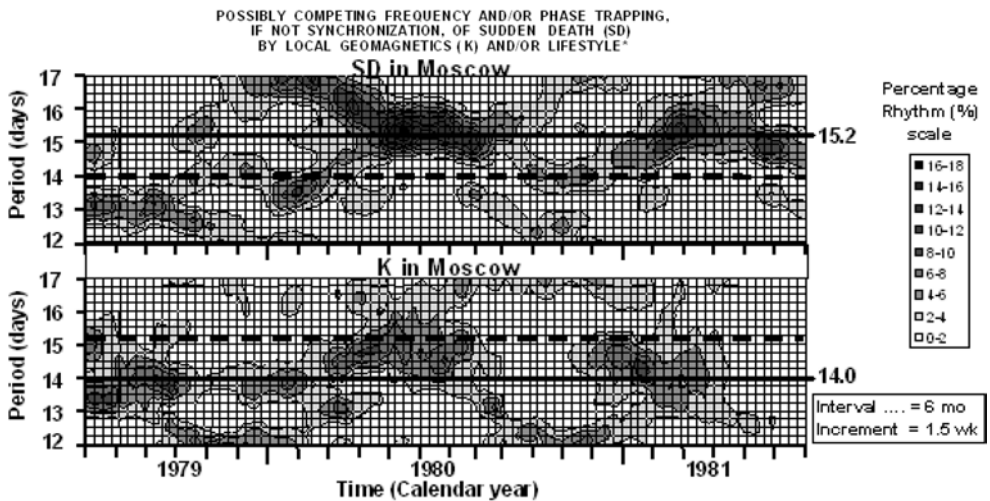


Figure 17. Originally, the half-monthly component characterizing the incidence of sudden cardiac death (see Figure 16) was thought to be related to a twice-a-month salary schedule in this population. © Halberg

In this large Minnesota-Japan chronoepidemiologic study, results led to a schedule for stepwise seasonal sampling for the estimation of circadian and circannual rhythm characteristics to assess the risks of developing breast cancer, cardiovascular disease or other disease conditions [Halberg et al., 1981]. The findings extend the scope of the differences in the circadian acrophase of eosinophil counts in relation to two competing external synchronizers that led to Minnesotan Chronobiology [Halberg et al., 2003].

REMOVE-AND-REPLACE: TRANSYEARS

Since the 10th revision of the International Classification of Diseases (ICD10), sudden cardiac death (code I46.1) has been separated from cardiac arrest associated with a myocardial infarction and is defined as unexpected death from cardiac causes within 1–24 hours of the onset of acute symptoms. Daily incidences of sudden cardiac death (ICD10, code I46.1, excluding death from myocardial infarction) in Minnesota during 1999–2003 (5 years), obtained from the Minnesota Department of Health (courtesy of Ms Judy Palermo) were analyzed by a combination of linear and nonlinear least squares regression of periodic functions, known as the extended cosinor method [Halberg, 1980; Cornélissen, Halberg, 2005; Refinetti et al., 2007].



*Black lines correspond to spectral components of data analyzed over entire 3-year span, with peaks at ~15.2 days for SD (associated with bimonthly salary schedule?) and at ~14 days for K. A posteriori correlation of percentage rhythms of SD and K at respective best-fitting components in infradian range investigated for 6 selected non-overlapping 4-month spans yields $r = 0.875$ ($P = 0.022$).

Figure 18. Wobbliness of the about 2-week variation in the incidence of sudden cardiac death (top) and the Moscow geomagnetic disturbance index K (bottom) is revealed by gliding spectra, wherein data in a 6-month interval are progressively displaced by a 1.5-week increment. Detection of the about 2-week component is not consistent throughout the 3-year span. A possible resonance with occasional frequency trapping between the multiseptans of K and the incidence of sudden cardiac death is suggested by the more prominently expressed (darker) about half-monthly variation in sudden cardiac death observed when this component is also detected in the spectrum of K. © Halberg

Results were compared to those of daily incidences of mortality from myocardial infarction during the same span (1999–2003) in Minnesota, and with those of daily (or monthly) incidences of sudden cardiac death (ICD10, code I46.1) in some other geographic locations.

Whereas the incidence of myocardial infarctions in Minnesota during 1999–2003 is characterized by a prominent about-yearly variation ($P < 0.001$) with a 1.009-year period and a 95 % CI (0.965, 1.052) overlapping the precise calendar year, this is not the case for sudden cardiac death, for which a transyear with a period of about 1.3 years ($P = 0.014$) yields a better fit, Figure 21. Nonlinearly, its period is estimated to average 1.39 years (95 % CI: 1.17, 1.61 years). These results resemble those observed in Tokyo, Japan, over a slightly longer span of 8 years (1998–2005; 225 cases) [Hamamatsu et al., 2007], Figure 22. Whereas a transyear is detected in the absence of a calendar year in Minnesota and Tokyo, Japan, both components are detected in Arkansas and the Czech Republic. A calendar year, in the absence of a transyear, is also detected in North Carolina, Switzerland, and Tbilisi, the Republic of Georgia [Halberg et al., 2006]. Transyears are likely a non-photoc signature of space weather since they have been detected in the geomagnetic disturbance index Ap [Fraser-Smith, 1972], the incidence of aurorae [Silverman, Shapiro, 1983], the interplanetary magnetic field [Gonzalez, Gonzalez, 1987], in solar wind speed [Richardson et al., 1994; Mursula, Zieger, 2000] and in helioseismology [Howe et al., 2000], also leaving their signature in the terrestrial environment [Prabhakaran Nayar, 2006].

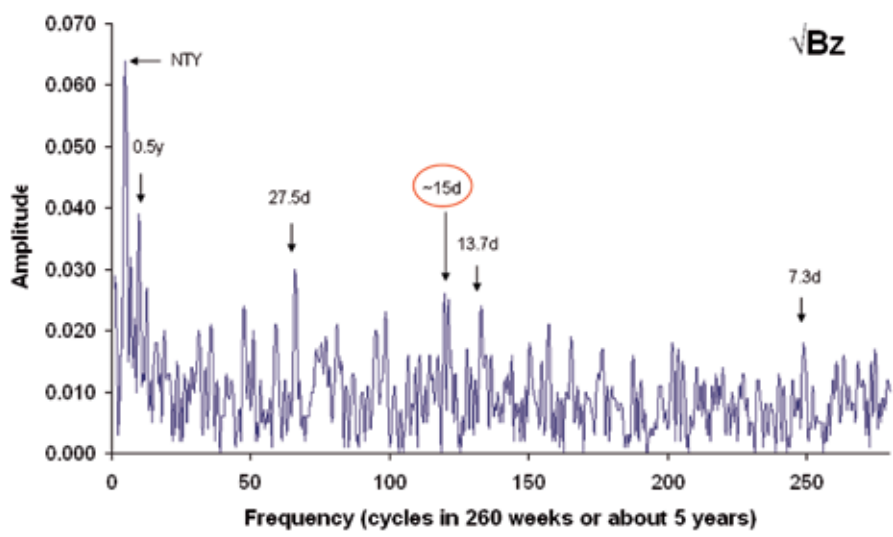


Figure 19. Supporting evidence for a natural environmental influence of the half-monthly component characterizing the incidence of sudden cardiac death in Moscow (1979–1981) is provided by the detection of an about 15-day component in magnetic disturbances recorded by a stand-alone magnetometer in the Antarctic, far away (>600 km) from any human habitation. © Halberg

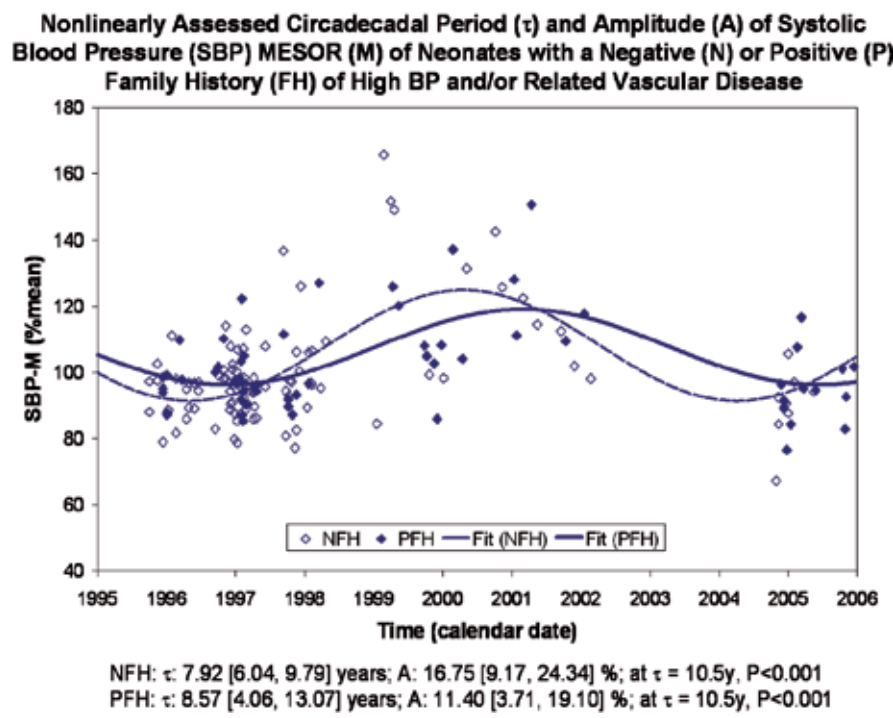


Figure 20. Differences in the circadecadal characteristics of the MESOR of systolic blood pressure (and diastolic blood pressure, not shown) between neonates with a positive or negative family history of high blood pressure illustrate how differences in circadian endpoints between the two groups may change as a function of a time. © Halberg

Least Squares Spectrum of the Daily Incidence of Sudden Cardiac Deaths in Minnesota (1999-2003)

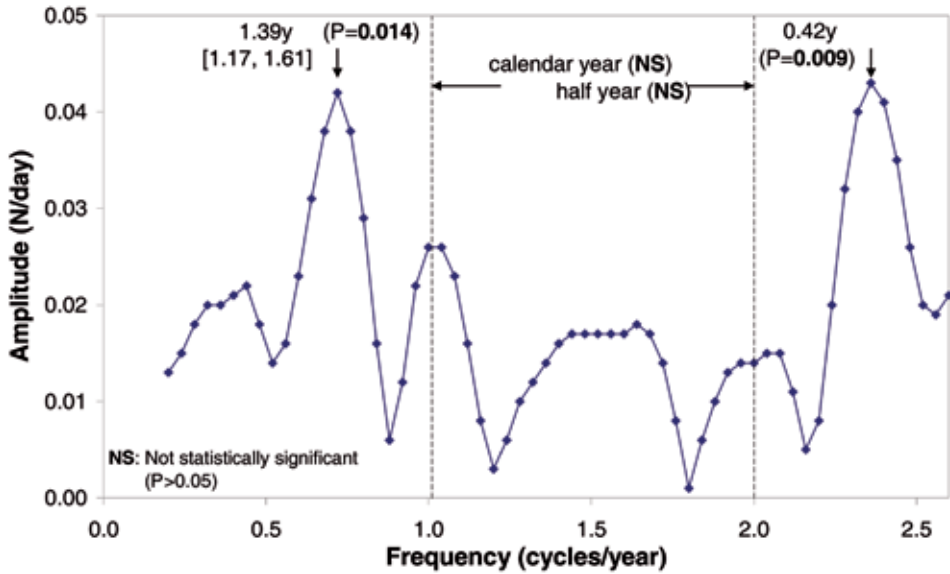


Figure 21. A yearly variation is not detected with statistical significance in the daily incidence of sudden cardiac death in Minnesota (1999–2003) with a mid-continental climate of cold winters and hot summers. Instead, there is a transyear with a period of about 1.3 years ($P=0.014$). © Halberg

Sudden Cardiac Deaths in Tokyo (1998-2005)

ICD10 I46.1 - 225 men and women

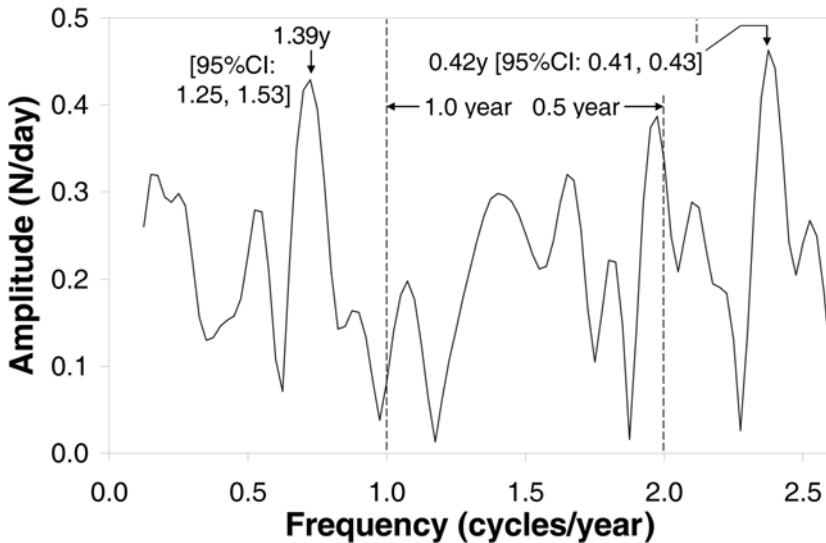
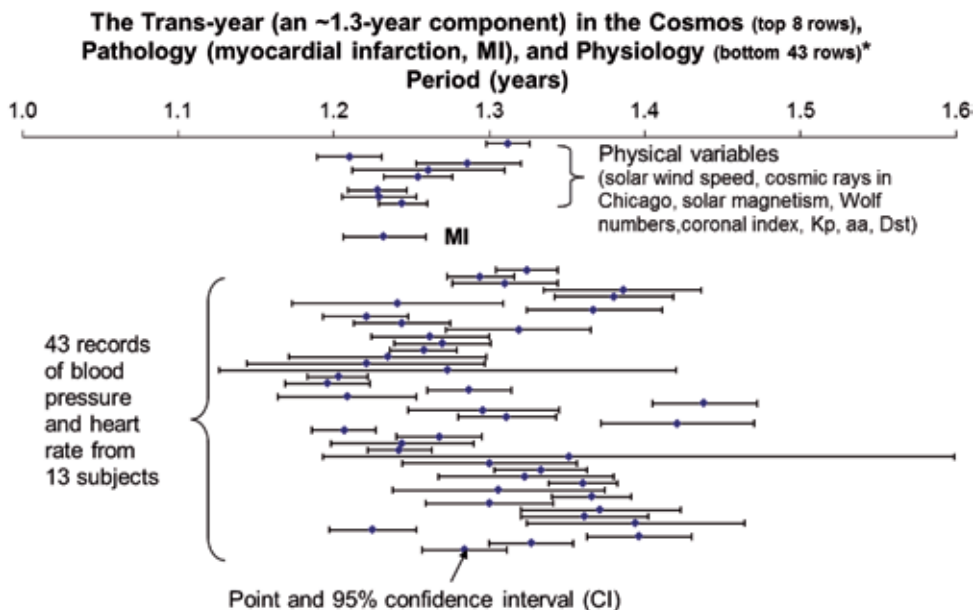


Figure 22. In the absence of a calendar year, the monthly incidence of sudden cardiac death in Tokyo, Japan (1998–2005) is also characterized by a transyear with a period of about 1.39 years. © Halberg

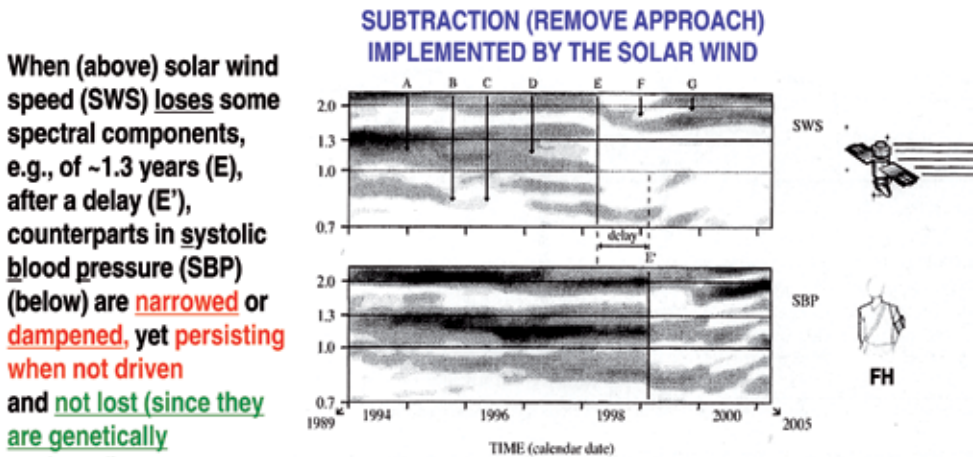


* All differing by non-overlapping 95% CIs from the precise calendar year and many differing among each other.

Figure 23. A transyear with a period of about 1.3 years has been detected in all longitudinal records of blood pressure and heart rate available for analysis thus far. Its period and 95 % confidence interval estimates from 43 different physiological time series are compared with those of 8 environmental variables gauging space weather and with that found for mortality from myocardial infarction in Minneosta (1968–1996). © Halberg

A transyear with a period of about 1.3 years has been detected in all longitudinal records of blood pressure and heart rate available for analysis thus far [Cornéllissen et al., 2011], Figure 23. The Aeolian nature of transyears, however, is such that this component is not necessarily detected with statistical significance at all times, and its characteristics change as a function of time: the amplitude may increase or decrease and the frequency wobbles, drifting to slightly longer or shorter periods, sometimes splitting into separate components. This kind of behavior lends itself well to a remove-and-replace analysis, as illustrated in Figure 24, showing a partial resonance of the about 1.3-year component in the systolic blood pressure of an elderly man with solar wind speed [Halberg et al., 2006].

Non-stationary intermittent signals are seen to characterize solar wind speed (Figure 24, top). Changes in frequency can occur smoothly [A] or abruptly [B, C, D], with bifurcations [D, F] and rejoining [G], sometimes accompanied by changes in amplitude [B]. In particular, a transyear with a period of about 1.3 years is prominent at the beginning of the record, as seen from the darker shading corresponding to larger amplitudes. Around 1995 and until 1998, the transyear splits into two weaker components, one with a period slightly shorter and one with a period slightly longer than 1.3 years. Thereafter, it weakens even further to the point of no longer being detected with statistical significance. By comparison, systolic blood pressure (Figure 24, bottom), measured around the clock with an ambulatory monitor during the same span (with some interruptions) by an elderly man (FH) shows a somewhat similar behavior.



Gliding spectra of FH, M, 70 y of age at start of measurements q 30 minutes, with gaps; prepared by George S. Katinas. AEOLIAN cycles (after Aeolus, ruler of winds in ancient Greek mythology) of SWS and SBP change in frequency (smoothly [A] or abruptly [B,C,D], bifurcating [D,F] and rejoining [G]; they also change in amplitude (A) (up to disappearing [C,E] and reappearing).

Figure 24. Wobbliness of the transyear component is observed for both solar wind speed (top) and the systolic blood pressure of an elderly man (bottom) in gliding spectra computed with an interval of 8 years displaced by 1-month increments in the frequency range of one cycle in 2.5 years to 2.5 cycles per year with a 0.05 harmonic increment. Results suggest that the transyear may be partly built-in while also being influenced by space weather (see text). © Halberg

In the absence of a calendar yearly component, a transyear is prominently detected, with a period of about 1.3 years. It is strongest toward the middle of the record, following with a delay the prominence seen in the solar wind speed's transyear. Its prominence lasts longer than that seen for solar wind speed, showing again a delay of about 1.3 years, the length of one transyear cycle. Whereas by 1999, the transyear in systolic blood pressure has weakened, it persists until the end of the record. These results suggest that non-photic components (such as the transyear) characterizing a physiological variable (systolic blood pressure) may be partly built-in while also being influenced by space weather.

A transyear with a period of about 1.3 years is also detected in a 39-year record of the incidence of international terrorist acts reported by the Memorial Institute for the Prevention of Terrorism's (MIPT) [Halberg et al., 2008b]. As seen in Figure 25, not only is there a communality of cycles between terrorism and space weather, gauged by solar wind speed on the one hand and the antipodal geomagnetic disturbance index aa on the other hand, there is also a coincidence in time, the transyear being most prominent in all three variables during solar cycle 22, as indicated by the darker shading in the gliding spectra. Results from chronobiologic serial sections at the average transyear period shows that this component is detected with statistical significance in terrorism after a lag following its detection in solar wind speed and aa. This happens on two different occasions, once at the beginning of the record, lasting only a short while, and a second time during most of solar cycle 22. As for the case of systolic blood pressure discussed above (see Figure 24), the transyear in terrorism follows that in space weather after a lag but persists during most of solar cycle 23 after it is no longer detected for either solar wind speed or aa.

Statistical significance (*) of 1.33-year transyear in 39 years of terrorist acts from MIPT (bottom) in solar cycle 22 occurring (bottom right) following amplification (right) in solar wind speed (top) and in antipodal geomagnetic index (middle)

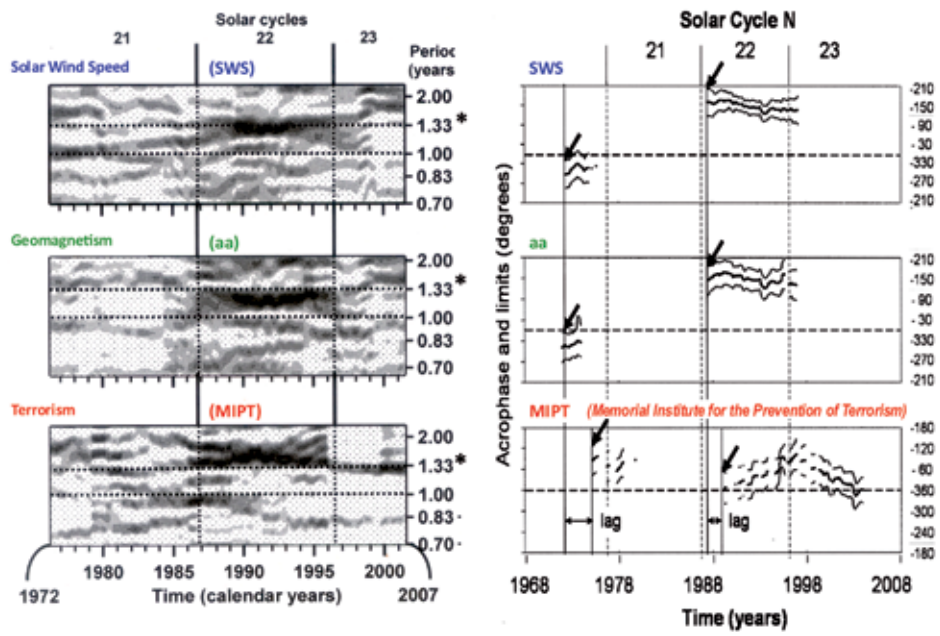


Figure 25. A transyear with a period of about 1.3 years is detected in a 39-year record of the incidence of international terrorist acts. It is most prominent during solar cycle 22, coincident with a larger prominence of this component in solar wind speed and the antipodal geomagnetic disturbance index aa. At the average transyear period, chronobiologic serial sections reveal a relatively stable phase when it is detected with statistical significance, terrorism lagging behind solar wind speed and aa. © Halberg

REMOVE-AND-REPLACE: CIS-HALF-YEARS (QUINMENSALS)

As seen in Figures 21 and 22, in addition to the transyear detected for the incidence of sudden cardiac death in Minnesota and Tokyo, an about 0.4-year component (a cis-half-year) is also resolved nonlinearly in both locations. In Minnesota, its period is 0.42 (95 % CI: 0.40, 0.44) year, and in Tokyo, it is 0.42 (95 % CI: 0.41, 0.43) year. Albeit of small amplitude, a cis-half-year is also detected in the 29-year series of mortality from myocardial infarction in Minnesota (1968–1996; 129,205 deaths), with an estimated period of 0.424 (95 % CI: 0.421, 0.427) year. Cis-half-years have been reported to characterize solar flares, physicists estimating the period to be approximately 154 days [Rieger et al., 1984], ranging between about 150 to 160 days from different studies by different investigators [Cornélissen et al., 2012]. Our own analysis of the solar flare index for the span from 1968 to 2006 found a double peak around 0.42 year and an additional spectral line around 0.40 year.

Three spectral components with periods of about 0.41, 0.5 and 1.0 year were found with serially independent sampling in human circulating melatonin. Figure 26 summarizes results related to the cis-half-year [Tarquini et al., 1997; Cornélissen et al., 2009b]. The results stem from a study involving 40 men and 132 women in

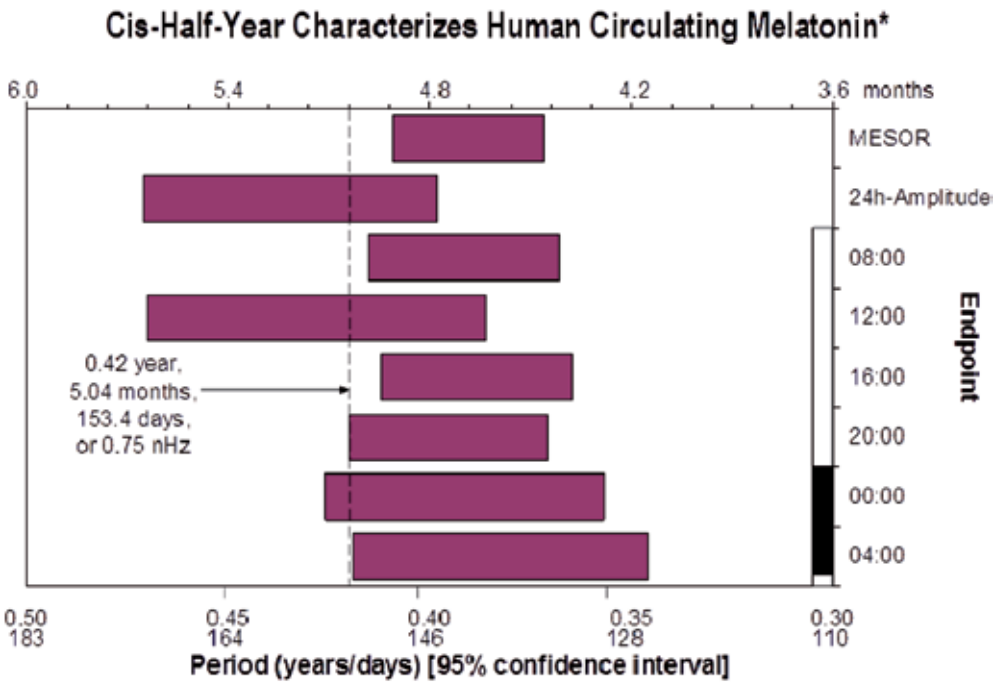
Florence, Italy, who each provided 4-hourly blood samples for 24 hours between October 1992 and December 1995 [Tarquini et al., 1997]. Circadian rhythm parameters were estimated for each of the 172 individual subjects and pooled to form longitudinal records for an assessment of the broader spectral structure. An about 0.4-year component was detected and validated by nonlinear least squares for the time series of MESORs and circadian amplitudes, as well as for those of samples collected at each of the six timepoints (at 00:00, 04:00, 08:00, 12:00, 16:00, and 20:00) [Cornélissen et al., 2009b], Figure 26. The results suggest that melatonin may mediate some of the Sun's effects upon the biosphere in certain frequency windows such as the cis-half-year of about 5 months.

The multiple components characterizing circulating melatonin are also be found in a record of self-measurements from a clinically healthy man as he aged from about 20 to 60 years. A multi-component model consisting of cosine curves with periods of 0.41, 0.50 and 1.00 year was fitted to weekly means of systolic and diastolic blood pressure and heart rate collected about 5 to 6 times a day over 39 years [Cornélissen et al., 2009a; Cornélissen et al., 2010]. All three components can coexist for a while, although all of them are non-stationary in their characteristics and come and go by the criterion of statistical significance, Figure 27. Statistical significance ($P < 0.05$) of 1.0-year, 0.5-year, and 0.41-year (cis-half-year) components fitted concomitantly to the data is represented as dark-filled symbols, borderline statistical significance ($0.05 < P < 0.10$) as lightly-filled symbols, and non-significance ($P > 0.10$) as open symbols. It can readily be seen from Figure 27 that instances when the cis-half-year reaches statistical significance do not occur at random but mostly as clusters in time. Intermittently, heart rate (and blood pressure, not shown) are synchronized selectively with one or the other aspect of the physical environment, namely the seasons (at about 1.0 year), earth magnetism (at about 0.5 year) and/or solar flares (at about 0.42 year). Cosmic-biotic transfer of information, albeit hardly of energy (the biospheric amplitudes are very small) may be mediated in this set of frequency windows.

The about 0.41-year cycle in heart rate may be associated with changes in solar flares, the cis-half-year amplitude of heart rate showing a cross-correlation coefficient of 0.79 with the total solar flare index (from both solar hemispheres) at a lag of about 3.2 years, Figure 27 (left). The superposed time courses of these two variables indicate the presence of a shared Horrebow-Arago-Schwabe sunspot cycle of about 11 years, the cis-half-year in heart rate being more prominent after the total solar flare index reaches its about 11-year peak. Prominence of the cis-half-year in heart rate is gauged by the 0.41-year amplitude estimated over a 4-year interval displaced in 2.5-month increments. A larger cis-half-year amplitude in heart rate is also associated with a larger cis-half-year amplitude of the solar flare index, Figure 27 (right).

CONCLUDING REMARKS

It has long been known how the photic environment affects circadian and circannual rhythms. More surprising is the observation that sometimes, in some geographic locations, non-photoc features of the sun and space weather more generally can override seasonal effects, even in places such as Minnesota where the contrast between winter and summer is strong. This is for instance the case of the incidence of sudden cardiac death during the years 1999–2003 [Cornélissen et al., 2007; Halberg et al., 2006].



* 172 patients (Oct 1992 - Dec 1995), each providing 4-hourly blood samples for 24 hours in Florence, Italy.

Figure 26. An about 0.4-year component was detected and validated by nonlinear least squares for the serially-independent time series of MESORs and circadian amplitudes of circulating melatonin, as well as for those of samples collected at each of the six timepoints (at 00:00, 04:00, 08:00, 12:00, 16:00, and 20:00) from each of 172 subjects examined between October 1992 and December 1995. © Halberg

This is also the case of other conditions, such as the incidence of suicides in Minnesota [Halberg et al., 2005b] and in Australia [Halberg et al., 2008a], with additional gender differences, a topic beyond our scope herein.

Too often are associations between space weather and the biosphere examined by correlation analysis, disregarding ever-present rhythms. This over-simplified approach should be strongly discouraged since it notoriously leads to spurious results in view of the many cycles shared between the two systems. A host of alternative methods that take periodicity into consideration are available and some have been illustrated herein. One method that is particularly appealing is the remove-and-replace approach since it focuses not only on shared cycles but also on the coincidence in time between, or the manifestation after a lag, of features (often the presence of special spectral components) either present or absent in space weather and the biosphere, thus bringing an element of causality into the equation.

Chizhevsky's genius conveyed very poetically the sun's influence on human affairs [Chizhevsky, 1976]. The evidence in Figure 25 of long-term resonance of a transyear on a population basis with both solar and earth magnetism, and the results in Figure 24 showing that a transyear persists in an individual record of systolic blood pressure well after the loss of its environmental counterpart (solar wind speed) suggest that the transyear is a partly intrinsic component, just like circadians are built into the genome [Halberg et al., 2012b].

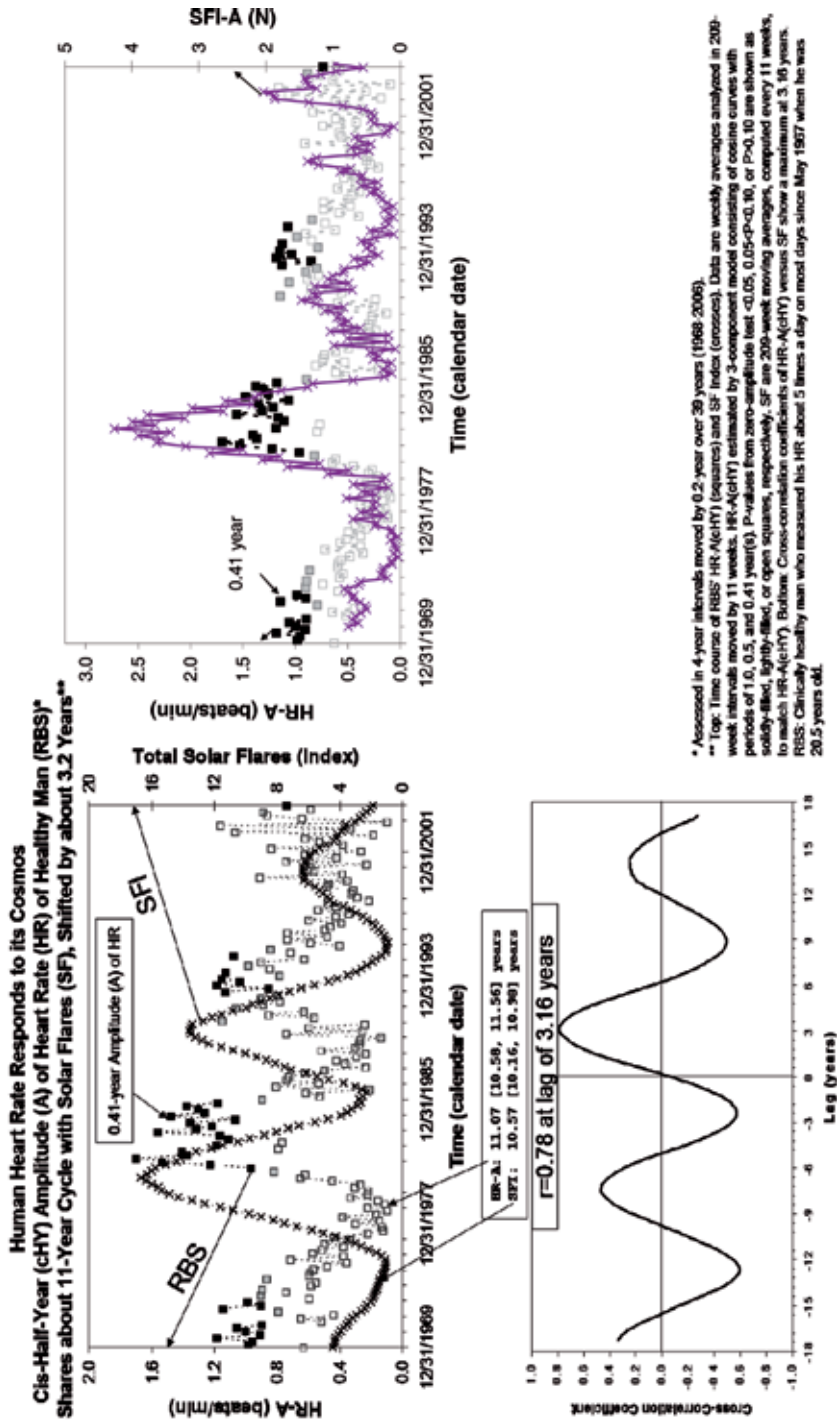


Figure 27. A 3-component chronobiologic serial section consisting of cosine curves with periods of 1.0, 0.5 and 0.41 year was fitted to a 40-year record of self-measurements of heart rate of a clinically healthy man in a 4-year interval displaced by 2.5-month increments. The amplitude of the 0.41-year component is plotted as a function of time, together with the total solar flare index (left, top). An about 10-year cycle characterizes both variables (left, middle), the cross-correlation reaching a maximum after a 3.16-year lag (left, bottom). The changes in the prominence of the cis-half-year in heart rate follow similar changes in the prominence of the cis-half-year of solar flares (right). © Halberg

Evidence for a partly built-in biological week is also available, as reviewed elsewhere [Halberg et al., 2012b], see also [Halberg et al., 2012b]. The existence of so many coperiodisms, shared components between space weather and biota, speaks in favor of at least a resonance but perhaps also of a partly inherited broad time structure that living matter may have readily acquired from the open environment in which it evolved. These same coperiodisms, emerging from the Cornélissen series [Halberg, 2000], constitute the backbone of Vladimir Ivanovich Vernadsky's noösphere [Vernadsky, 1988], structuring this concept into a measurable chronosphere of transdisciplinary cycles [Halberg et al., 2012b].

With examples drawn primarily from the cardiovascular field, results presented herein indicate that associations between space weather and human health occur at several frequency levels. From the relatively high-frequency components characterizing heart rate variability to the week, half-month, cis-half-year (about 5-month), and transyear (about 1.3-year), human physiology is influenced by space weather. These associations can involve more than a single spectral component, as evidenced from the beautiful results of Elena V Syutkina who showed that the circadian variation in neonatal blood pressure is modulated by the solar activity cycle [Syutkina et al., 2012]. This about 11-year variation prominently present in solar activity is also associated with important changes in the characteristics of other spectral components (such as the week, half-month and month) observed for instance in the planetary index of geomagnetic disturbance Kp [Cornélissen et al., 2002b]. Modulation by the about 11-year solar activity cycle has also been observed in relation with the cis-half-year, both in the spectral structure of solar flares and of human heart rate [Cornélissen et al., 2009a, 2010]. As longitudinal records of blood pressure and heart rate spanning decades become available for analysis, decadal cycles are being uncovered that characterize not just the daily or weekly mean values but also the circadian and circaseptan amplitudes of these variables [Halberg et al., 2012a].

It is no longer disputed that magnetic storms, more frequent when solar activity is high, can affect electronic circuits of satellites, with tangible consequences in terms of the electric grid on earth and the global positioning system that planes rely on. It is perhaps not so surprising then that magnetic storms, and space weather more generally, also affect human health, the cardiovascular system in particular, since the heart is also the strongest electrical system of the human body, yet effects are also seen in the rest of the body at the levels of the brain and the cell.

REFERENCES

- [Amiranashvili et al., 2002] *Amiranashvili A. G., Cornélissen G., Amiranashvili V., Gheonjian L., Chikhladze V. A., Gogua R. A., Matiashvili T. G., Paatashvili T., Kopytenko Yu. A., Siegelova J., Dusek J., Halberg F.* Circannual and circadecennian stages in mortality from cardiovascular causes in Tbilisi, Republic of Georgia (1980–1992) // *Scripta medica (Brno)*. 2002. V. 75. P. 255–260.
- [Baevsky et al., 1997] *Baevsky R. M., Petrov V. M., Cornélissen G., Halberg F., Orth-Gomér K., Åkerstedt T., Otsuka K., Breus T., Siegelova J., Dusek J., Fiser B.* Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease / *Scripta medica (Brno)*. 1997. V. 70. P. 199–204.
- [Breus et al., 1992] *Breus T. K., Cornélissen G., Bingham C., Hillman D. C., Halberg E., Guillaume F., Wang Z. R., Han H. W., Shao D. L., Wu J. Y., Komarov F. I., Rapoport S. I.,*

- Levitin A. E., Romanov Y. A., Musin M. M., Naborov I. V., Grigoriev A. E., Safin S. R., Syutkina E. V., Grigoriev A. I., Halberg F.* Cardiovascular and other chronoepidemiology via ambulance calls versus geomagnetic and sunspot variability / Eds. Halberg F., Watanabe H. // Proc. Workshop on Computer Methods on Chronobiology and Chronomedicine. Tokyo, Sept. 13, 1990. Tokyo: Medical Review; 1992. P. 203–231.
- [Breus et al., 1995] *Breus T., Cornélissen G., Halberg F., Levitin A. E.* Temporal associations of life with solar and geophysical activity // *Annales Geophysicae*. 1995. V. 13. P. 1211–1222.
- [Chizhevsky, 1936] *Chizhevsky A. L.* Les épidémies et les perturbations électromagnétiques du milieu extérieur// *Hippocrate*. Pans. 1936. V. 4. N. 10. 1937. V. 5. N. 1–10.
- [Chizhevsky, 1976] *Chizhevsky A. L.* Earth echo of solar storms. Moscow “Thought”, 1976. 367 p.
- [Chizhevsky, 2010] *Chizhevsky A. L.* Physical Factors of the Historical Process : Transl. and condensed V. P. de Smitt // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2010. V. 46. N. 7. Thirty-five-year climatic cycle in heliogeophysics 59 Cycles 22 11–27 (1971). (see also: <http://www.cyclesresearchinstitute.org/chizhevsky/chizhevsky1.pdf>.)
- [Cornélissen et al., 1990] *Cornélissen G., Sitka U., Tarquini B., Mainardi G., Panero C., Cugini P., Weinert D., Romoli F., Cassanas G., Maggioni C., Vernier R., Work B., Einzig S., Rigatuso J., Schuh J., Kato J., Tamura K., Halberg F.* Chronobiologic approach to blood pressure during pregnancy and early extrauterine life // *Progress in Clinical and Biological Research*. 1990. N. 341°. P. 585–594.
- [Cornélissen et al., 1993] *Cornélissen G., Breus T. K., Bingham C., Zaslavskaya R., Varshitsky M., Mirsky B., Teibloom M., Tarquini B., Bakken E., Halberg F.* International Womb-to-Tomb Chronome Initiative Group: Beyond circadian chronorisk: worldwide circa-septan-circasemiseptan patterns of myocardial infarctions, other vascular events, and emergencies // *Chronobiologia*. 1993. V. 20. P. 87–115.
- [Cornélissen et al., 1994] *Cornélissen G., Wendt H. W., Guillaume F., Bingham C., Halberg F., Breus T. K., Rapoport S., Komarov F.* Disturbances of the interplanetary magnetic field and human pathology // *Chronobiologia*. 1994. V. 21. P. 151–154.
- [Cornélissen et al., 1996] *Cornélissen G., Halberg F., Wendt H. W., Bingham C., Sothorn R. B., Haus E., Kleitman E., Kleitman N., Revilla M. A., Revilla M.-Jr., Breus T. K., Pimenov K., Grigoriev A. E., Mitish M. D., Yatsyk G. V., Syutkina E. V.* Resonance of about-weekly human heart rate rhythm with solar activity change // *Biologia (Bratislava)*. 1996. V. 51. P. 749–756.
- [Cornélissen et al., 1999] *Cornélissen G., Halberg F., Schwartzkopff O., Delmore P., Katinas G., Hunter D., Tarquini B., Tarquini R., Perfetto F., Watanabe Y., Otsuka K.* Chronomes, time structures, for chronobioengineering for “a full life” // *Biomedical Instrumentation and Technology J*. 1999. V. 33. P. 152–187.
- [Cornélissen et al., 2001] *Cornélissen G., Engebretson M., Johnson D., Otsuka K., Burioka N., Posch J., Halberg F.* The week, inherited in neonatal human twins, found also in geomagnetic pulsations in isolated Antarctica // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2001. V. 55. Suppl. 1. P. 32s–50s.
- [Cornélissen et al., 2002a] *Cornélissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E. V., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E.* Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Cornélissen et al., 2002b] *Cornélissen G., Hillman D., Katinas G. S., Rapoport S., Breus T. K., Otsuka K., Bakken E. E., Halberg F.* Geomagnetism and society interact in weekly and broader multiseptans underlying health and environmental integrity // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. Suppl. 2. P. 319s–326s.

- [Cornélissen et al., 2007] *Cornélissen G., Halberg F., Rostagno C., Otsuka K.* A chronomic approach to cardiac arrhythmia and sudden cardiac death // *Autonomic Nervous System*. 2007. V. 44. P. 251–254.
- [Cornélissen et al., 2009a] *Cornélissen G., Halberg F., Sothorn R. B., Hillman D., Siegelova J.* Parasemiannuality: selectively environmentally congruent biotic cis-halfyear unmasked with neighboring spectral components / Eds. Halberg F., Kenner T., Fiser B., Siegelova J. // *Proceedings, Noninvasive Methods in Cardiology*. Brno, Czech Republic, July 7–10, 2009. P. 112–140.
- [Cornélissen et al., 2009b] *Cornélissen G., Tarquini R., Peretto F., Otsuka K., Gigolashvili M., Halberg F.* Investigation of solar about 5-month cycle in human circulating melatonin: signature of weather in extraterrestrial space? // *Sun and Geosphere*. 2009. V. 4. N. 2. P. 55–59.
- [Cornélissen et al., 2010] *Cornélissen G., Halberg F., Sothorn R. B., Hillman D. C., Siegelova J.* Blood pressure, heart rate and melatonin cycles synchronization with the season, earth magnetism and solar flares // *Scripta med*. 2010. V. 83. P. 16–32.
- [Cornélissen et al., 2011] *Cornélissen G., Grambsch P., Sothorn R. B., Katinas G., Otsuka K., Halberg F.* Congruent biospheric and solar-terrestrial cycles // *J. Applied Biomedicine*. 2011. V. 9. P. 1–40. doi: 10.2478/v10136-009-0023-7.
- [Cornélissen et al., 2012] *Cornélissen G., Burioka N., Halberg F.* Other-than-annual variations in morning determinations of uric acid [editorial] // *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2012. V. 50. N. 5. P. 765–770.
- [Cornélissen, Halberg, 2005] *Cornélissen G., Halberg F.* Chronomedicine / Eds. Armitage P., Colton T. *Encyclopedia of Biostatistics*. 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 2005. P. 796–812.
- [Feinleib et al., 1975] *Feinleib M., Rogot E., Sturrock P. A.* Solar activity and mortality in the United States // *Intern. J. Epidemiology*. 1975. V. 4. P. 227–229.
- [Fraser-Smith, 1972] *Fraser-Smith A. C.* Spectrum of the geomagnetic activity index Ap // *J. Geophysical Research*. 1972. V. 77. N. 23. P. 4209–4220. [“The Ap spectrum also has weak lines at periods of 1.43 and 1.09 years that may not be related to anything connected with the sun (There are no lines in the sunspot spectrum at either period.)”].
- [Gonzalez, Gonzalez, 1987] *Gonzalez A. L. C., Gonzalez W. D.* Periodicities in the interplanetary magnetic field polarity // *J. Geophysical Research*. 1987. V. 92. P. 4357–4375.
- [Halberg, 1980] *Halberg F.* Chronobiology: methodological problems // *Acta Medica Romana*. 1980. V. 18. P. 399–440.
- [Halberg, 2000] *Halberg F.* Historical encounters between geophysics and biomedicine leading to the Cornélissen-series and chronoastrobiology / Ed. Schröder W. // *Long- and Short-Term Variability in Sun’s History and Global Change*. Bremen: Science Edition, 2000. P. 271–301.
- [Halberg et al., 1977] *Halberg F., Carandente F., Cornélissen G., Katinas G. S.* Glossary of chronobiology // *Chronobiologia*. 1977. V. 4. Suppl. 1. 189 p.
- [Halberg et al., 1981] *Halberg F., Cornélissen G., Sothorn R. B., Wallach L. A., Halberg E., Ahlgren A., Kuzel M., Radke A., Barbosa J., Goetz F., Buckley J., Mandel J., Schuman L., Haus E., Lakatua D., Sackett L., Berg H., Wendt H. W., Kawasaki T., Ueno M., Uezono K., Matsuoka M., Omae T., Tarquini B., Cagnoni M., Garcia Sainz M., Perez Vega E., Wilson D., Griffiths K., Donati L., Tatti P., Vasta M., Locatelli I., Camagna A., Lauro R., Tritsch G., Wetterberg L.* International geographic studies of oncological interest on chronobiological variables / Ed. Kaiser H. *Neoplasms — Comparative Pathology of Growth in Animals, Plants and Man*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1981. P. 553–596.
- [Halberg et al., 1990] *Halberg F., Cornélissen G., Bakken E.* Caregiving merged with chronobiologic outcome assessment, research and education in health maintenance organizations (HMOs) // *Progress in Clinical and Biological Research*. 1990. N. 341B. P. 491–549.

- [Halberg et al., 1991] *Halberg F., Breus T. K., Cornélissen G., Bingham C., Hillman D. C., Rigatuso J., Delmore P., Bakken E.* International Womb-to-Tomb Chronome Initiative Group: Chronobiology in space // University of Minnesota/Medtronic Chronobiology Seminar Series. 1991. N. 1. December. 21 p. of text, 70 figures.
- [Halberg et al., 2003] *Halberg F., Cornélissen G., Bingham C., Witte H., Ribary U., Hesse W., Petsche H., Engebretson M., Geissler H. G., Weiss S., Klimesch W., Rappelsberger P., Katinas G., Schwartzkopff O.* Chronomics: Imaging in time by phase synchronization reveals wide spectral-biospheric resonances beyond short rhythms. (“Wenn man über kurze Rhythmen hinausgeht”) In memoriam — lost future: Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. Barbara Schack: 1952–2003 // *Neuroendocrinol Lett.* 2003. V. 24. P. 355–380.
- [Halberg et al., 2003] *Halberg Franz, Cornelissen G., Katinas G., Syutkina E. V., Sothorn R. B., Zaslavskaya R., Halberg Francine, Watanabe Y., Schwartzkopff O., Otsuka K., Tarquini R., Perfetto P., Siegelova J.* Transdisciplinary unifying implications of circadian findings in the 1950s // *J. Circadian Rhythms.* 2003. V. 1. N. 2. 61 p. (see also: www.JCircadian-Rhythms.com/content/pdf/1740-3391-2-3.pdf.)
- [Halberg et al., 2005a] *Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K., Fiser B., Mitsutake G., Wendt HW., Johnson P., Gigolashvili M., Breus T., Sonkowsky R., Chibisov SM., Katinas G., Siegelova J., Dusek J., Singh RB., Berri B. L., Schwartzkopff O.* Incidence of sudden cardiac death, myocardial infarction and far- and near-transyears // *Biomedicine and Pharmacotherapy.* 2005. V. 59. Suppl. 1. P. S239–S261.
- [Halberg et al., 2005b] *Halberg F., Cornélissen G., Panksepp J., Otsuka K., Johnson D.* Chronomics of autism and suicide // *Biomedicine and Pharmacotherapy.* 2005. V. 59. Suppl. 1. P. S100–S108.
- [Halberg et al., 2006] *Halberg F., Cornélissen G., Katinas G., Tvildiani L., Gigolashvili M., Janashia K., Toba T., Revilla M., Regal P., Sothorn R. B., Wendt H. W., Wang Z. R., Zeman M., Jozsa R., Singh R. B., Mitsutake G., Chibisov S. M., Lee J., Holley D., Holte J. E., Sonkowsky R. P., Schwartzkopff O., Delmore P., Otsuka K., Bakken E. E., Czaplicki J.* International BIOCOS Group. Chronobiology’s progress: season’s appreciations 2004–2005. Time, frequency, phase, variable, individual, age- and site-specific chronomics // *J. Applied Biomedicine.* 2006. V. 4. P. 1–38. (see also: http://www.zsf.jcu.cz/vyzkum/jab/4_1/halberg.pdf.)
- [Halberg et al., 2008a] *Halberg F., Cornélissen G., Berk M., Dodd S., Henry M., Wetterberg L., Nolley E., Beaty L., Siegelova J., Fiser B., Wolff C.* BIOCOS project. Solar signatures in Australian suicide incidence: gender differences in prominence of photic vs. nonphotic spectral components Eds. Halberg F., Kenner T., Fiser B., Siegelova J. // *Proc. Noninvasive Methods in Cardiology.* Brno, Czech Republic, Oct. 4–7, 2008. P. 44–62.
- [Halberg et al., 2008b] *Halberg F., Cornélissen G., Sothorn R. B., Katinas G. S., Schwartzkopff O., Otsuka K.* Cycles tipping the scale between death and survival (= “life”) // *Progress of Theoretical Physics.* 2008. Suppl. 173. P. 153–181.
- [Halberg et al., 2012a] *Halberg F., Cornélissen G., Gumarova L., Halberg Francine, Ulmer W., Hillman D., Siegelova J., Watanabe Y., Hong S., Otsuka K., Wu J., Lee J. Y., Schwartzkopff O., Wendt H.* Integrated and as-one-goes analyzed physical, biospheric and noetic monitoring: Preventing personal disasters by self-surveillance may help understand natural cataclysms: a chronosphere (chrono-noosphere). IC GEOCHANGE. 2012. 106 p.
- [Halberg et al., 2012b] *Halberg F., Cornélissen G., Katinas G. S., Hillman D., Otsuka K., Watanabe Y., Wu J., Halberg Francine, Halberg J., Sampson M., Schwartzkopff O., Halberg E.* Many rhythms are control information for whatever we do: an autobiography // *Folia anthropologica.* 2012. V. 12. P. 5–134(see also: ttk.nyme.hu/blgi/Knyvek%20kiadvnyok/fofia%20anthropologica/fofia12.pdf.)
- [Hamamatsu et al., 2007] *Hamamatsu A., Cornélissen G., Otsuka Ku., Halberg F., Chibisov S.* (presenter). Linear-nonlinear rhythmometry documents a transyear and a cishalfyear in

- sudden cardiac death (ICD 10, code I46.1) in Tokyo // Proc. Intern. Symp. Problems of ecological and physiological adaptation. People's Friendship University of Russia, Moscow, 30–31 Jan. 2007. 2007. P. 542–545.
- [Howe et al., 2000] *Howe R., Christensen-Dalsgaard J., Hill F., Komm R. W., Larsen R. M., Schou J., Thompson M. J., Toomre J.* 2000. Dynamic variations at the base of the solar convection zone // *Science*. 2000. V. 287. P. 2456–2460.
- [Jozsa et al., 2005] *Jozsa R., Halberg F., Cornélissen G., Zeman M., Kazsaki J., Csernus V., Katinas GS., Wendi HW., Schwartzkopff O., Stebelova K., Dulkova K., Chibisov SM., Engelbretson M., Pan W., Bubenik GA., Nagy G., Herold M., Hardeland R., Hüther G., Pöggeler B., Tarquini R., Peretto F., Salti R., Olah A., Csokas N., Delmore P., Otsuka K., Bakken EE., Allen J., Amory-Mazaudier C.* Chronomics, neuroendocrine feedsideways and the recording and consulting of nowcasts forecasts of geomagnetics // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2005. V. 59. Suppl. 1. P. S24–S30.
- [Kleimenova et al., 2007] *Kleimenova N. G., Kozyreva O. V., Breus T. K., Rapoport S. I.* Pc1 geomagnetic pulsations as a potential hazard of the myocardial infarction // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics*. 2007. V. 69. P. 1759–1764.
- [Lipa et al., 1976] *Lipa B. J., Sturrock P. A., Rogot E.* Search for correlation between geomagnetic disturbances and mortality // *Nature*. 1976. V. 259. P. 302–304.
- [Mursula, Zieger, 2000] *Mursula K., Zieger B.* The 1.3-year variation in solar wind speed and geomagnetic activity // *Advances in Space Research*. 2000. V. 25. P. 1939–1942.
- [Orth-Gomér et al., 1982] *Orth-Gomér K., Halberg F., Sothorn R., Åkerstedt T., Theorell T., Cornélissen G.* The circadian rhythm of ventricular arrhythmias / Eds. Takahashi R., Halberg F., Walker C. // *Toward Chronopharmacology: Proc. 8th The International Union of Basic and Clinical Pharmacology (IUPHAR) Congr. and Satellite Symposia*. Nagasaki, July 27–28, 1981. Oxford; N. Y.: Pergamon Press, 1982. P. 191–202.
- [Otsuka et al., 1997] *Otsuka K., Cornélissen G., Halberg F., Oehlert G.* Excessive circadian amplitude of blood pressure increases risk of ischemic stroke and nephropathy // *J. Medical Engineering and Technology*. 1997. V. 21. P. 23–30.
- [Otsuka et al., 2001] *Otsuka K., Cornélissen G., Weydahl A., Holmeslet B., Hansen T. L., Shinagawa M., Kubo Y., Nishimura Y., Omori K., Yano S., Halberg F.* Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2001. V. 55. Suppl. 1. P. 51s–56s.
- [Otsuka et al., 2002] *Oinuma S., Kubo Y., Otsuka K., Yamanaka T., Murakami S., Matsuoaka O., Ohkawa S., Cornélissen G., Weydahl A., Holmeslet B., Hall C., Halberg F.* On behalf of the ICEHRV Working Group. Graded response of heart rate variability, associated with an alteration of geomagnetic activity in a subarctic area // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. Suppl. 2. P. 284s–288s.
- [Otsuka et al., 2003] *Otsuka K., Murakami K., Kubo Y., Yamanaka T., Mitsutake G., Ohkawa S., Matsubayashi K., Yano S., Cornélissen G., Halberg F.* Chronomics for chronoastrobiology with immediate spin-offs for life quality and longevity // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2003. V. 57. Suppl. 1. P. 1s–18s.
- [Ozheredov et al., 2010] *Ozheredov V. A., Breus T. K., Gurfinkel Yu. I., Revich D. A., Mitrofanova T. A.* Influence of some weather Factors and geomagnetic activity on the development of severe cardiological pathologies // *Biophysics*. 2010. V. 55. P. 110–119.
- [Prabhakaran Nayar, 2006] *Prabhakaran Nayar S. R.* Periodicities in solar activity and their signature in the terrestrial environment // *Intern. Living With a Star (ILWS) Workshop*. Goa. Feb. 19–24, 2006. 9 p.
- [Refinetti et al., 2007] *Refinetti R., Cornélissen G., Halberg F.* Procedures for numerical analysis of circadian rhythms // *Biological Rhythm Research*. 2007. V. 38. N. 4. P. 275–325. (see also: <http://dx.doi.org/10.1080/09291010600903692>. NIHMSID: 249029.)

- [Richardson et al., 1994] *Richardson J. D., Paularena K. I., Belcher J. W., Lazarus A. J.* Solar wind oscillations with a 1.3-year period // *Geophysical Research Letters*. 1994. V. 21. P. 1559–1560.
- [Rieger et al., 1984] *Rieger A., Share G. H., Forrest D. J., Kanbach G., Reppin C., Chupp E. L.* A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? // *Nature*. 1984. V. 312. P. 623–625.
- [Scarpelli et al., 1986] *Scarpelli P. T., März W., Cornélissen G., Romano S., Livi R., Scarpelli L., Halberg E., Halberg F.* Blood pressure self-measurement in schools for rhythmic assessment of hyperbaric impact to gauge pressure “excess” / Eds. Dal Palù C., Pessina A. C. // *Proc. Intern. Symp. Ambulatory Monitoring (ISAM-1985)*. Padua, March 29–30, 1985. Padua: CLEUP Editore. 1986. P. 229–237.
- [Schack et al., 2000] *Schack B., Rappelsberger P., Anders C., Weiss S., Möller E.* Quantification of synchronisation processes by coherence and phase and its application in analysis of electrophysiological signals // *Bifurcation and Chaos*. 2000. V. 10. N. 11. P. 2565–2586.
- [Silverman, Shapiro, 1983] *Silverman S. M., Shapiro R.* Power spectral analysis of auroral occurrence frequency // *J. Geophysical Research*. 1983. V. 88. N. A8. P. 6310–6316.
- [Stoupel, 1976] *Stoupel E.* *Forecasting in Cardiology*. N. Y.: John Wiley and Sons, 1976. 141 p.
- [Syutkina et al., 1996] *Syutkina E. V., Cornélissen G., Halberg F., Johnson D., Grigoriev A. E., Mitish M. D., Turti T., Abramian A. S., Yatsyk G. V., Syutkin V., Tarquini B., Mainardi G., Breus T., Pimenov K., Wendt H. W.* Could the blood pressure of newborns track the solar cycle? // 4° Convegno Nazionale, Società Italiana di Cronobiologia, Gubbio (Perugia): Abstr. Italy, June 1–2, 1996. P. 62–63.
- [Syutkina et al., 2012] *Syutkina E. V., Cornélissen G., Mitish M., Narogan M. V., Surgyk A. V., Krylova O. S., Masalov A., Schwartzkopff O., Halberg F.* The neonate, a particularly sensitive magnetoreceptor? Population rhythms reveal cycles // *Proc. Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization*. Istanbul, 19–21 Sept. 2011. L.: SWB Intern. Publishing House, 2012. P. 241–246.
- [Tarquini et al., 1997] *Tarquini B., Cornélissen G., Perfetto F., Tarquini R., Halberg F.* Chronome assessment of circulating melatonin in humans // *In vivo*. 1997. V. 11. P. 473–484.
- [Ulmer et al., 2012] *Ulmer W., Cornélissen G., Halberg F.* Interaction among (Quantum Mechanical) Resonance-Coupled Electromagnetic Circuits Relevant to a Natural Week // *World Heart J*. 2012. (In press.)
- [Vernadsky, 1988] *Vernadsky V. I.* *Philosophical Thought of Naturalist*. M.: Science, 1988. 520 p.
- [Vernova et al., 1983] *Vernova Ye. S., Pochtarev V. I., Ptitsyna N. G., Tyasto M. I.* Short-period variations in the rate of change of solar activity as a geosensitive parameter // *Geomagnetism and Aeronomy*. 1983. V. 23. P. 425–427.
- [Villoresi et al., 1994] *Villoresi G., Breus T. K., Iucci N., Dorman L. I., Rapoport S. I.* The influence of geophysical and social effects on the incidences of clinically important pathologies (Moscow 1979–1981) // *Physica Medica*. 1994. V. 10. P. 79–91.
- [Watanabe et al., 1994] *Watanabe Y., Hillman D. C., Otsuka K., Bingham C., Breus T. K., Cornélissen G., Halberg F.* Cross-spectral coherence between geomagnetic disturbance and human cardiovascular variables at non-societal frequencies // *Chronobiologia*. 1994. V. 21. P. 265–272.

МЕТОД «УДАЛЕНИЯ И ЗАМЕНЫ» ПРИ ПРОВЕРКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

Ж. Корнелиссен¹, К. Отсука², Ф. Халберг¹

¹ Халберговский центр хронобиологии, Университет Меннесоты, Миннеаполис, США

² Токийский женский медицинский университет, Токио, Япония

Оценка влияния космической погоды на физиологические параметры человека, или патологии и другие явления, зависит от корреляции между социально-биологическими переменными и характеристиками окружающей среды. Один из основных недостатков такого подхода — игнорирование периодичности, характеризующей как биологию, так и свойства неживой природы.

Корреляция, как известно, приводит к ложным результатам в присутствии ритмов, так как коэффициент корреляции во многом зависит от разности фаз между сравниваемыми периодическими составляющими. В присутствии ритмов (а они существуют повсеместно) необходимы другие методы, помимо поисков коэффициентов корреляции по Пирсону. Поиски кросс-спектральной когерентности — один из дополнительных методов. Другим вариантом является метод наложенных эпох. В настоящей работе иллюстрируется ещё один метод, «удаления и замены», названный так по аналогии с ситуацией в эндокринологии, когда железа или орган (например, поджелудочная железа) сначала удаляется, чтобы определить, какие проблемы со здоровьем при этом возникают, а затем больному вводят гормоны (такие, как, например, инсулин) или другие продукты секреции удалённого органа, чтобы выяснить, может ли быть восстановлено таким образом здоровье. В наших исследованиях сама природа осуществляет это удаление и замену. Это может быть наличие или отсутствие данного условия, такого как, например, магнитные бури, или данной спектральной компоненты (например, недели). Биологическое состояние, соответствующее наличию или отсутствию исследуемой особенности окружающей среды, или, по крайней мере, во время снижения (вычитания) или увеличения (дополнения) её амплитуды, может быть исследовано с помощью арсенала стандартных статистических методов.

ASTRO-GLOCAL SPATIALLY AND TEMPORALLY (GLOBAL & LOCAL) COMPREHENSIVE HEALTH WATCH ESPECIALLY AT HIGH ALTITUDE

*Takahiro Kawasaki*¹, *Akiyo Yatagai*², *Takashi Nakaoka*¹, *Keiko Otsuka*¹, *Yumie Otsuka*¹, *Yoshihiko Watanabe*¹, *Kuniaki Otsuka*¹, *Kiyohito Okumiya*², *Kozo Matsubayashi*³, *Tsering Norboo*⁴, *Germaine Cornelissen*⁵, *Franz Halberg*⁵

¹ Department of Medicine, Tokyo Women's Medical University, Medical Center East, Tokyo, Japan, e-mail: nakaokgm@dnh.twmu.ac.jp

² Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan

³ The Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, Kyoto, Japan

⁴ Ladakh Institute of Prevention, Leh, Ladakh

⁵ Halberg Chronobiology Center, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA

A chronoecologic health watch was done in 3418 Ladakh residents since 2004 to 2010. Ladakh is a very arid region of east Kashmir, adjacent to Tibet, at an altitude of 2500 to 4600 m between the Karakoram and the Himalaya ranges. From June 2009 to September 2011, meteorological indices were monitored, every 30-min, including air temperature, relative humidity, air pressure, wind direction, wind speed, rainfall, upward/downward long/short wave radiation and UV-radiation, investigated in chronomic serial sections with a 24-hour and a separate 7-day cosine fit. Disastrous floods on 5 August followed the CME on 1 August 2010, seen in serial sections of rainfall. Meteorological observation disclosed a disruption of 1/f fractal scaling of the environmental temperature before the floods in Ladakh, whereas serial sections showed the circannual acrophase. Floods on 5 August affected the health of Ladakh citizens: blood pressure increased from 130.1/81.7 to 135.2/85.7 mmHg ($p < 0.005$) and the percentage of citizens suffering from depressive mood increased from 5.3 to 8.8 % ($p < 0.0001$). An astro-glocal (in space and time) assessment is recommended as background for diagnosis and treatment, especially at high altitude. A relatively short (about 11-year) and long (up to and beyond about 30 or 37-million-years) cycle can be monitored in the future in us, as soon as we transfer the technology now available to monitor pressure in our tires to humans at all ages from womb to tomb.

INTRODUCTION

Ladakh is one of the most remote regions of India, located with the Karakoram to the northwest, the Himalayas in the southwest, and the Trans-Himalayas at its core. There lies a sparsely populated area of Indian Himalaya at 2500...4600 m altitude, consisting mainly of arid desert. High altitude environments are generally harsh and fragile. They have little oxygen, low pressure, cold temperature and strong ultra violet radiation and the weather in the mountains is very changeable. Certainly individuals living there at high altitude showed changeable SpO₂ level as well as severe hypoxemia, to which women seem to be more sensitive than men. Meteorological and broader climatological environments should affect the health of citizens in Ladakh. There have been no precise reports there, however. Thus, we started the weather and climate monitoring and tried to make an interdisciplinary approach for the relation between the mountains' weather and the citizens' health.

We have continued free health screening of a chronoecological health watch annually since 2001 to 2010. The first visit to Ladakh was 2001, coincident with a span of high solar activity, that is in the solar maximum, and the 6th visit of 2006 was a span of the solar minimum. Space weather could have a strong effect on the high-altitude

environment and in this investigation we assessed a relation between solar activity and the health of citizens in Ladakh.

AIM

A chronoecologic health watch in Ladakh, using “glocal comprehensive assessment (GCA)” to study the human circulation, autonomic nervous system activity and health quality as a physiological system at high altitude, complements a chronoecological study in Japanese towns. Ladakh is a very arid region of east Kashmir, adjacent to Tibet, at an altitude of 2500 to 4600 m between the Karakoram and the Himalaya ranges.

SUBJECTS

In association with the 23rd solar cycle, 3418 Ladakh residents (13...92 years, average 51.4 years of age, 1428 men and 1990 women), i.e., 549 citizens in 2004 (13...82 years, average 51.1 years of age), 461 citizens in 2005 (19...89 years, average 54.9 years of age), 447 citizens in 2007 (20...86 years, average 47.8 years of age), 164 citizens in 2008 (18...92 years, average 55.7 years of age), 788 citizens in 2009 (19...92 years, average 53.1 years of age), 420 citizens in 2010 (in June and July) (19...85 years, average 55.9 years of age) and 589 citizens in 2010 (in August and September) (22...91 years, average 55.7 years of age), were checked out annually from 2004 to 2010.

METEOROLOGICAL OBSERVATIONS

High-altitude environments have generally less oxygen, lower pressure, cold temperature and strong UV-radiation. From June 2009 to September 2011, we monitored the climate at Ladakh, north India (34° 27', 76° 49', 3808 m altitude) every 10-min. Air temperature (°C), relative humidity (%), air pressure (hPa), wind direction (degree), wind speed (m/s) and rainfall (mm) were measured by using a complex sensor (Vaisala CVS-WXT520). Upward/downward long/short wave radiation (W/m²) were assessed by an instrument of Huksefulx CHF-NR01, and UV-radiation (305...385 nm, W/m²) by KIPP&ZONEN CUV4 [Yatagai, 2010]. Rhythmicity and 1/f fluctuati^ons of the time-series of measurements were analyzed by the maximum entropy method (MemCalc software Ver2.0, GMS, Tokyo), also investigated in chronomic serial sections with a 24-hour and a separate 7-day cosine fit, by fitting polynomials and by the nonlinearly extended cosinor.

CHRONOECOLOGICAL HEALTH-WATCH

Examinations of health-watch were as follows. Pulse oximetry (SpO₂), blood pressure (BP), heart rate (HR), respiration rate (RR), and body mass index (BMI). BP and HR were measured twice in each of the sitting, supine and standing positions using a semi-automated BP device (UA-767PC, A&D Co, Ltd, Tokyo, Japan). Aortic stiffness of cardio-ankle vascular index (CAVI) of right and left ankles [Shirai et al.,

2006; Nakaoka et al., 2012] was measured twice using a VaSera instrument (Fukuda Denshi, Tokyo). For the glocal comprehensive assessment, we checked out a sleep-habit, depressive mood, questionnaire, and cognitive function of the Kohs block design test and the time estimation test. The Up&Go test measured, in seconds, the time it took the subject to stand up from a chair, walk a distance of 3 meters, turn, walk back to the chair, and sit down again. Functional Reach, used to evaluate balance, represents the maximal distance a subject can reach forward beyond arm's length while maintaining a fixed base of support in the standing position. Manual dexterity was assessed using a panel with combinations of 10 hooks (hook-on), 10 big buttons (button-on-and-off), and 5 small buttons (button-on-and-off). The total manual dexterity time in sec., defined as the button score (Button) was calculated by adding the average times for one hook-on and one big or small button-on-and-off.

STATISTICAL ANALYSIS

All data from Ladakh were analyzed with the Statistical Software for Windows (StatFlex Ver.5.0, Artec, Osaka, <http://www.statflex.net>) and some of these and other data from controls in Minnesota, by methods in the Halberg Chronobiology Center (University of Minnesota, Minneapolis, MN). Student's t-tests and one-way analyses of variance (ANOVA) served for the comparison of 2 or more groups. Significance was considered at $p < 0.05$.

RESULTS

1. Association of readings of blood pressure in Ladakh and solar-terrestrial cycle

The first visit to Ladakh was 2001 at the sunspot maximum. From then on, solar activity decreased for 6...7 years and the 23rd solar cycle became the sunspot minimum in 2008. The 8th visit was in 2010 and we have checked out citizens in Ladakh from the solar maximum to the minimum (Figure 1).

Chronoecological health watch showed a variation of the systolic BP readings as follows; in 2004 (135.1 ± 22.1 mmHg, $n = 546$), in 2005 (130.6 ± 25.2 mmHg, $n = 433$), in 2007 (129.4 ± 20.1 mmHg, $n = 444$), in 2008 (128.8 ± 21.2 mmHg, $n = 164$), in 2009 (128.0 ± 22.3 mmHg, $n = 786$) and in 2010 (130.0 ± 23.6 mmHg, $n = 418$). It was compared with the 23rd solar cycle and fitted functions of them were surprisingly similar, Figure 2a, yet differing between men and women, with the men apparently resonating with their systolic blood pressure and the women with their diastolic blood pressure, Figure 2b. Systolic but much less so, if at all, diastolic blood pressure was damped when a 1.3-year far-transyear component was no longer detected in the spectrum of the solar wind [Halberg et al., 2006].

Figures 2c and d are from a man and a woman monitored longitudinally in Minnesota during the same, or much of the same span. Both individuals (Figures 2c and d) and a population such as that in Ladakh can monitor the sun but such studies must be extended before drawing comparative inferences. It seems clear, however, that measurements in populations, preferably much longer than that in Ladakh, can mirror solar activity and hence routine clinic and home measurements may well be tested worldwide from this possible use.

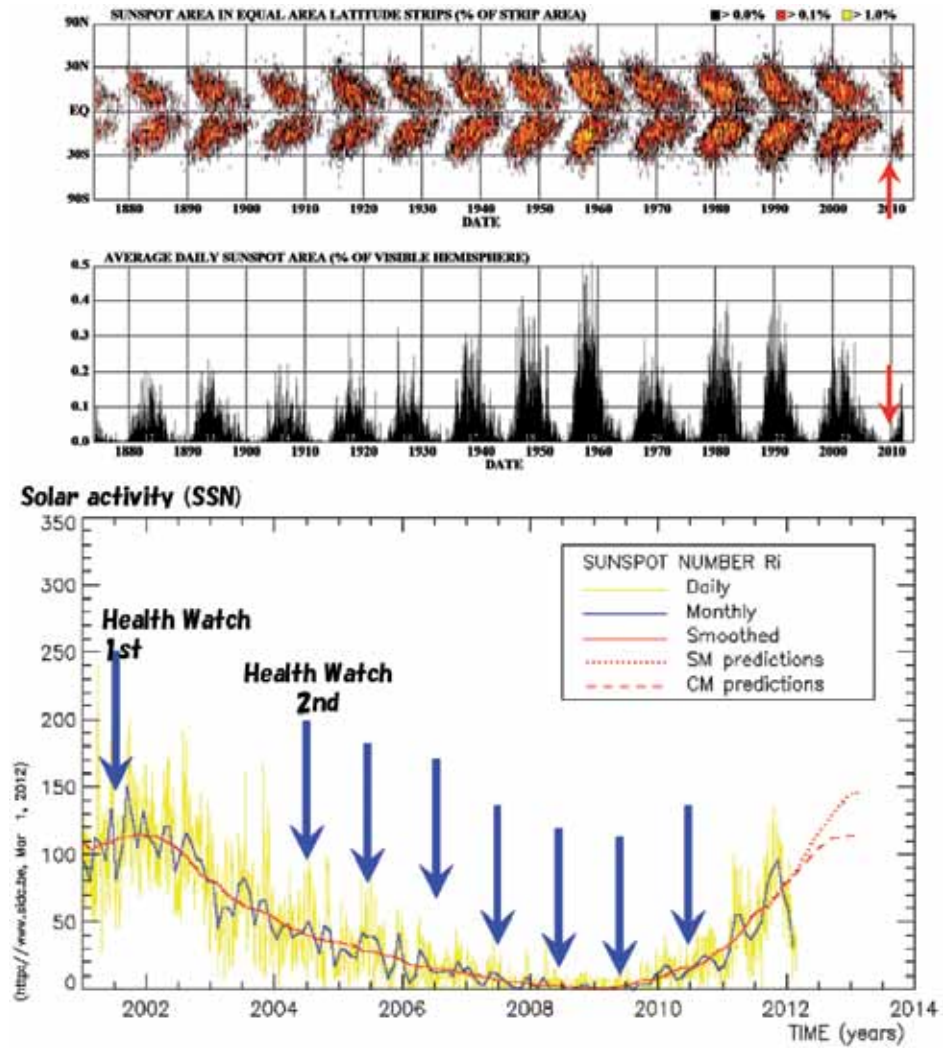


Figure 1. Solar cycle and chronoecological health watch in Ladakh. Top: Time series of the solar cycle. Bottom: Timing of 8 times of visit to Ladakh for chronoecological health watch since 2004 to 2010 (blue ↓, which coincides with the 23rd solar cycle (to December, 2007) and with the 24th one (from January, 2008). Red ↓ shows the timing of disastrous flooding in Ladakh

2. CME on 1 August 2010

On 1 August 2010, an entire hemisphere of the sun erupted. Filaments of magnetism snapped and exploded, shock waves raced across the stellar surface, and billion-ton clouds of hot gas billowed into space. A coronal mass ejection (CME) headed directly for Earth. The huge solar storm triggered unusual northern and southern auroras appearing on the night of 3 August. Geomagnetic turbulence in Japan was observed on 4 August. The CME could have driven disastrous flooding occurring in Ladakh on 5 and 6 August 2010 in association with an annual acrophase of environmental temperature recorded by us there.

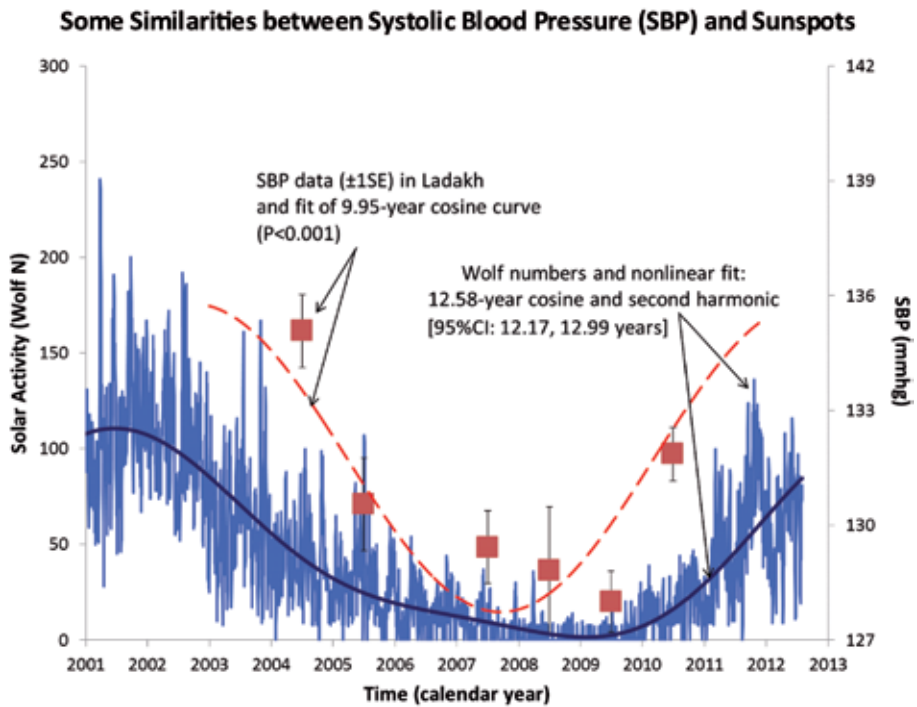


Figure 2a. Daily values of Wolf numbers from 1 January 2001 to 31 July 2012 were analyzed by the linear-nonlinear extended cosinor. Using a trial period of 10 years, nonlinearly, the period estimate was about 17 years but converged to 12.58 (95 % CI: 12.17, 12.99) years when adding a second harmonic in the model, as shown here (blue curve). Using a similar model (10-year trial period, with addition of a second harmonic) for the SBP data from Ladakh, the period estimate is about 9.95 years but the 95 % CIs of the amplitude of both the fundamental and second harmonic covers zero, likely because the time series covers a shorter span of 7 years, shorter than a single solar activity cycle. The dashed red curve was obtained by using the parameters from the linear cosinor corresponding to a trial period of 9.95 years, with the qualification that linearly, the best fitting period is longer than 15 years, as was the case for Wolf numbers in the absence of a second harmonic term

3. Space climate altered systematic co-ordination of ambient temperature in Ladakh at high-altitude

Weather indices were monitored for 2 years from 9 June 2009 to 11 September 2011 in Ladakh at altitude 3808 m. Time series of ambient temperature, seen on the top left of Figure 3, show a definite circannual rhythm with a large annual amplitude and its annual acrophase is in summer. Fractal analysis by the $1/f$ fluctuations shows a definite disruption in August which precedes disastrous flooding occurring in Ladakh on 5 and 6 August 2010, as shown on the right of Figure 3.

Ambient temperature investigated in chronomic serial sections with a 7-day cosine fit also shows a change of circaseptan rhythmicity as seen in the third upper panel of Figure 4. From June to winter in 2009 ambient temperature showed a stable circaseptan rhythm in Ladakh (at an altitude of 3808 m). From the winter to summer the circaseptan starts to drift in phase advance. However, around July to August the circaseptan rhythmicity changes coincident with a change of space weather.

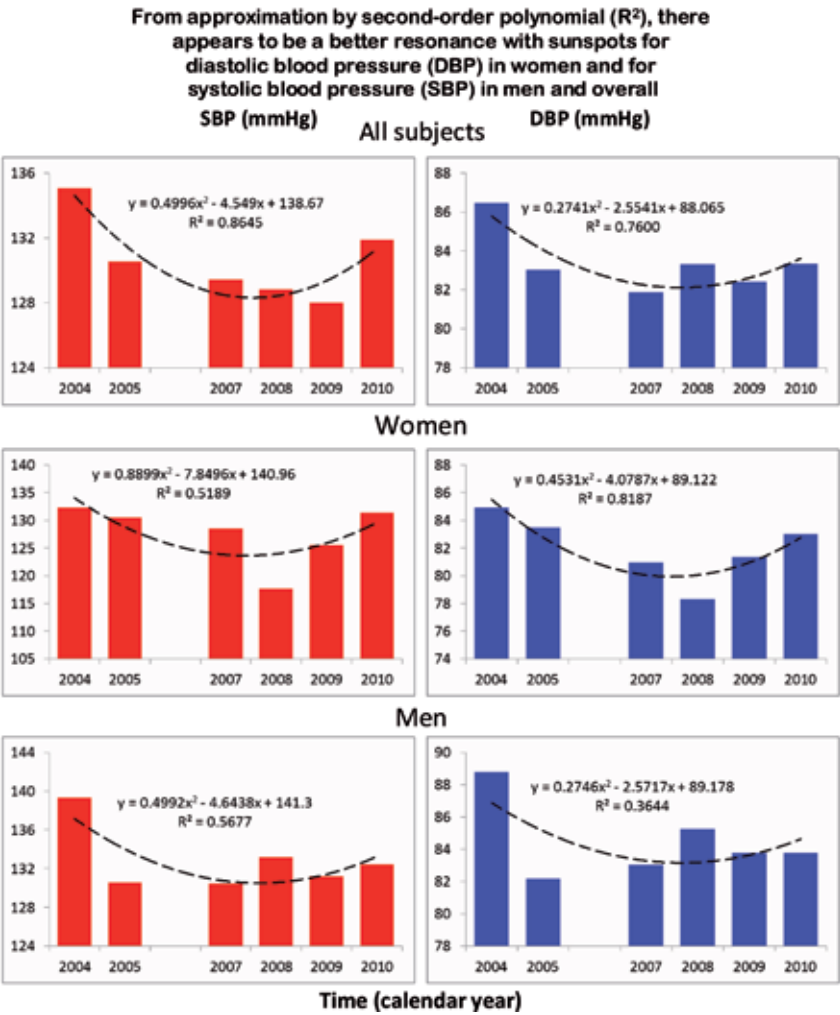


Figure 2b. Yearly mean values of systolic and diastolic blood pressure of all Ladakh's residents as well as of women and men considered separately. Results are shown as bar graphs assigned to the year of data collection, taking into consideration the fact that no data were collected in 2006

4. Disastrous flooding caused by the huge CME on 1 August 2010

Disastrous floods on 5 August followed the CME on 1 August 2010, seen in serial sections of rainfall. Meteorological observation disclosed a disruption of $1/f$ fractal scaling of the environmental temperature before the floods in Ladakh, whereas serial sections showed the circannual acrophase. Annual Health Watch shows, as compared to Japanese subjects, that residents in Ladakh slept less (7.8 vs. 6.9 hours, $p < 0.001$), a lower SpO₂ (84.4 vs. 96.0 %, $p < 0.00001$), decreased parasympathetic activity (lower LF and HF; $p < 0.05$), higher sympathetic activity (increased LF/HF ratio, $p < 0.05$), higher diastolic blood pressure (BP) and heart rate ($p < 0.00001$) [Nakaoka et al., 2012].

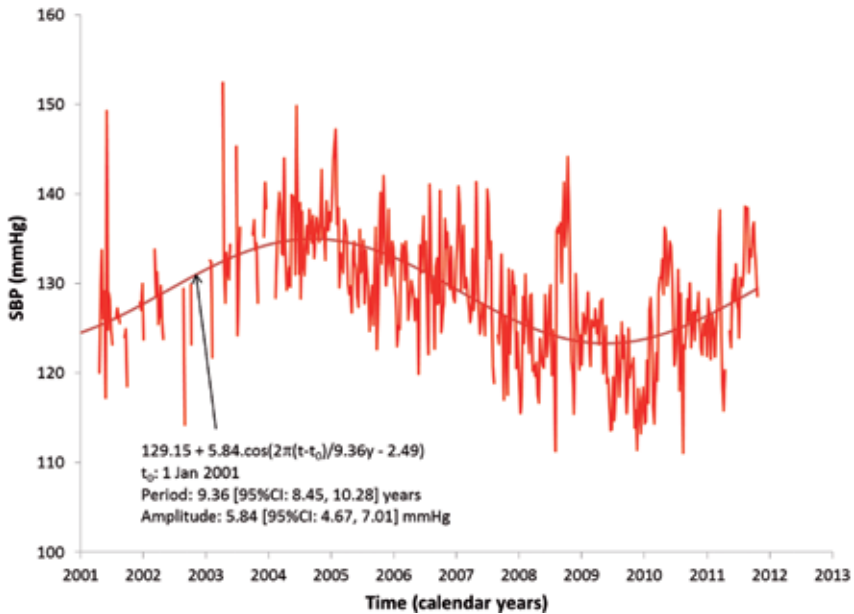


Figure 2c. Plot of an elderly man's (FH) SBP data from 2001 to 2011. The weekly mean values were fitted nonlinearly with a cosine curve using 10 years as a trial period. The model converges to a period of 9.36 years, similar to that found for the residents of Ladakh. There is, however, a large phase difference between the SBP data in Ladakh and those of FH

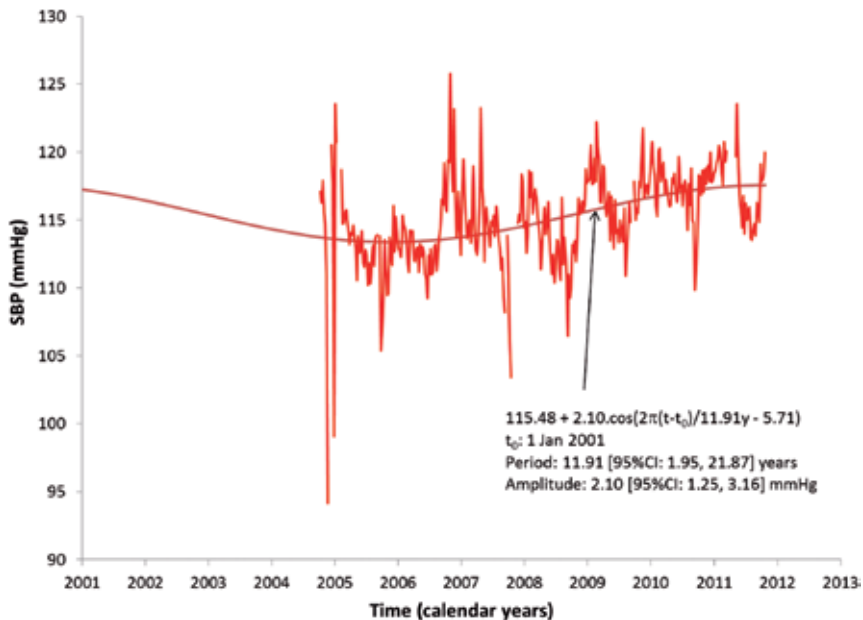


Figure 2d. Plot of a clinically healthy woman's (GC) SBP data from 2004 to 2011 (no data collected between 2001 and 2004). The weekly mean values were fitted nonlinearly with a cosine curve using 10 years as a trial period. The model converges to a period of 11.91 years. The 95 % CI of the period is quite wide in view of the very short span of data available for analysis. Nevertheless, the model reaches statistical significance but with a relatively small amplitude

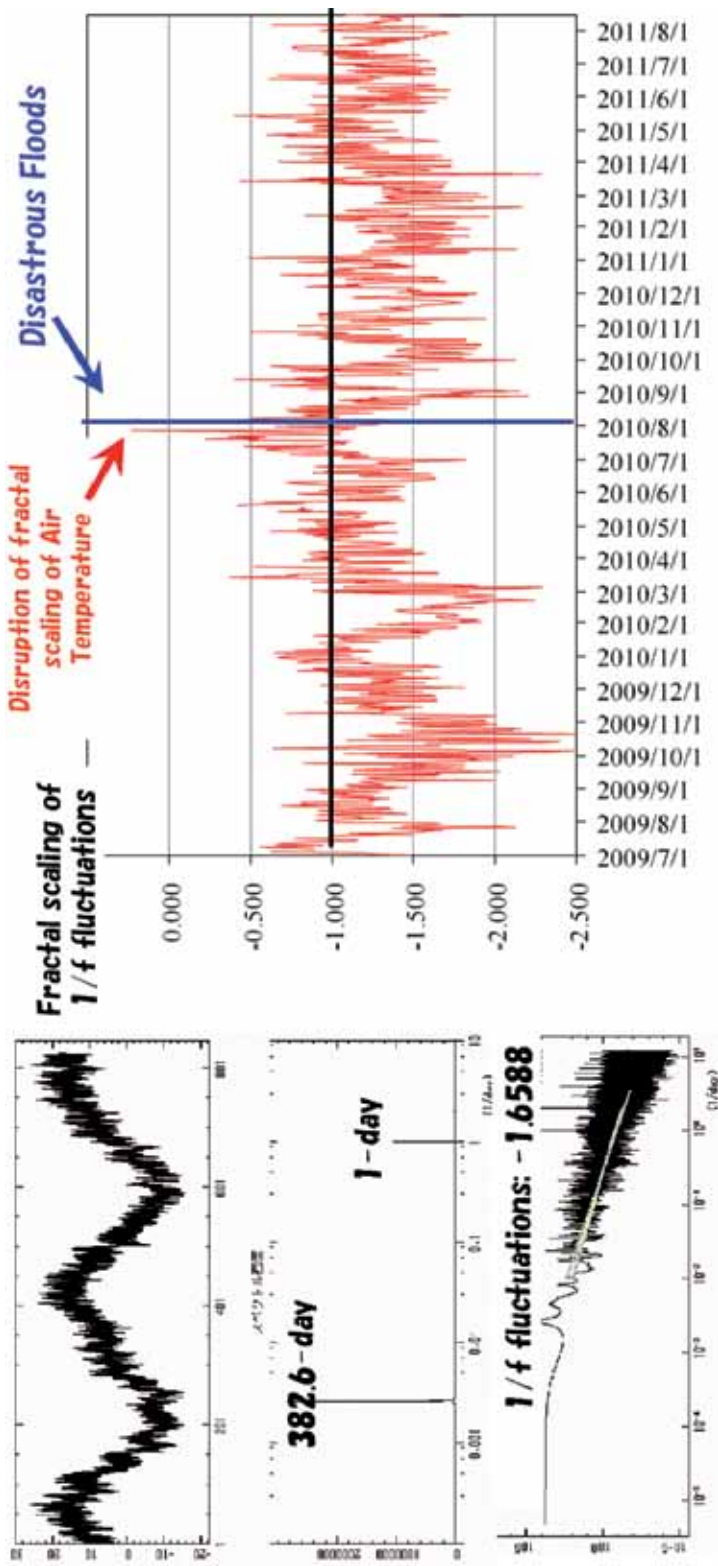


Figure 3. Disturbed fractal scaling of the ambient temperature precedes flood disasters in Ladakh. Left Top: Time-series data of ambient temperature from June 9th 2009 to September 11th 2011 in Ladakh at high altitude (3898 m). Left Middle: MEM spectrum shows 2 rhythms of 382.6 day and 1.00 day periodicities. Left Bottom: Fractal analysis of total data of the ambient temperature. Right: Time-series of its 1/f fractal scaling of the 90-day records at an increment of 7-day

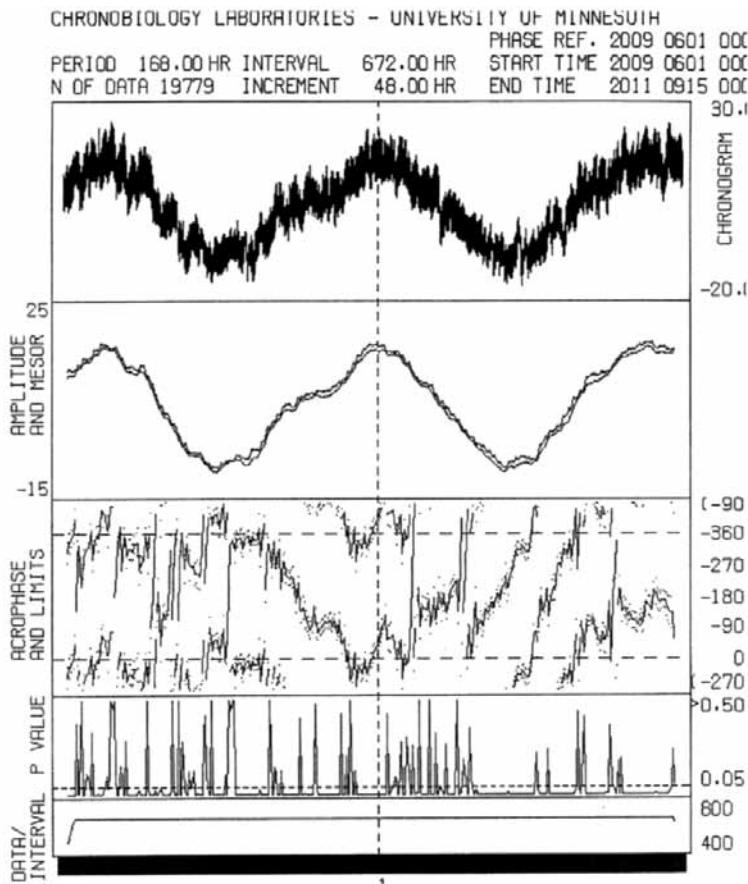


Figure 4. Circannual rhythm of ambient temperature and its fluctuating circaseptan rhythmicity

Floods on 5 August affected the health of Ladakh citizens as shown in Table. Systolic and diastolic BPs increased from 130.1/81.7 to 135.2/85.7 mmHg ($p < 0.005$), arterial stiffness CAVI increased from 7.72 to 8.22 m/s ($p < 0.0001$). The percentage of citizens suffering from depressive mood increased from 5.3 to 8.8 % ($p < 0.0001$).

DISCUSSION

We advocate aligned biospheric and space-terrestrial weather monitoring as a feature of both health care and a unified science. To learn whether more than one solar cycle stage may be considered in relation to human cataclysms, we use an illustrative example asking (only rhetorically!) whether one of the many longer than ~11-year solar or galactic cycles can lead to cataclysms [Halberg et al., 2009].

The CME could have driven disastrous flooding occurring in Ladakh on 5 and 6 August 2010 in association with an annual acrophase of environmental temperature recorded by us there and also reported in Pakistan and in Gansu, China. A heat wave and smog were presumably associated with the CME in Moscow on 2–9 August.

Chronoecological health-watch before and after the disastrous flooding in Ladakh

	2005 (control 1)			2010 Before Flood			2010 After Flood			Statistics; Before vs. After		Statistics; Control 1 vs. After	
	Mean	S.D.		Mean	S.D.		Mean	S.D.		t-value	P-value	t-value	P-value
Subjective Number	461			420			590						
Altitude (m)	3775 (3390-4590)			3089 (2500-3800)			3673 (3200-3800)			-16.08	<0.0001	3.634	<0.0005
Age (yr)	54.9			55.9			55.7			0.254	N.S.	-0.821	N.S.
range (yr)	19-89			19-85			22-91						
Gender	0.356			0.438			0.381			1.812	N.S.	-0.853	N.S.
BMI	21.9	3.1		22.3	3.4		23.4	3.9		-4.737	<0.0001	-6.831	<0.0001
Syst BP (mm Hg)	130.6	25.2		130.1	23.6		135.2	24.3		-3.335	<0.001	-2.969	<0.005
Diast BP (mm Hg)	83.0	14.3		81.7	14.7		85.7	13.7		-4.352	<0.0001	-2.953	<0.005
Pulse Rate (bpm)	79.9	16.5		77.8	14.7		77.9	13.8		-0.131	N.S.	2.111	<0.05
SpO2 (%)	86.8	5.8		86.3	6.3		91.9	3.6		-17.645	<0.0001	-17.201	<0.0001
C/AVI (m/sec)	8.38	2.04		7.72	1.68		8.22	1.51		-0.4801	<0.0001	1.318	N.S.
ABI	1.130	0.121		1.120	0.107		1.153	0.098		-4.568	<0.0001	-2.845	<0.005
Functional Reach (cm)	*	*		25.0	1.0		28.5	8.4		-4.612	<0.0001	*	*
Depression Q1	0.020	0.139		0.014	0.339		0.113	0.317		X ² ; 32.0	<0.000001	X ² ; 32.9	<0.000001
Depression Q2	0.015	0.123		0.053	0.224		0.088	0.287		X ² ; 4.38	<0.05	X ² ; 25.3	<0.000001

We can ask (again only rhetorically) whether one of the longer solar or galactic geological cycles can override the conditions of the minimum in a Horrebow-Schwabe about 11-year sunspot cycle [Thiele, 1859; Schwabe, 1844]. In 2010 [Khain, Khalilov, 2009] we were presumably near the end of one of the ~30 million-year (possibly a Hans Stille geological cycle as the sun passes through the galactic equator area (1, personal communication from Elchin Khalilov) but cannot sufficiently resolve the stage of a myriadennian biospheric possible copperiodisms [Cornélissen et al, 2005] of ~37.8 million years that may have peaked or reached a critical stage during a minimum of the undecennian sunspot cycle stage [Thiele, 1859; Schwabe, 1844]. Only prospective monitoring of ourselves, preferably longitudinally (see Figures 2c and d) and around us, in the steps of others, can provide an answer to this speculation.

CONCLUSION

An astro-glocal (in space and time) assessment is recommended as background for diagnosis and treatment, especially at high altitude. Both a relatively short (about 11-year) and long (up to and beyond about 30 or 37-million-years) cycle [Cornélissen et al., 2005] can be monitored in the future in us, as soon as we transfer the technology now available to monitor pressure in our tires to humans at all ages from womb to tomb (whether or not we drive).

Acknowledgments. This study was mainly supported by Grant-in-Aid of Research Institute for Humanity and Nature (D-03): Human Life, Aging, and Disease in High-Altitude Environments: Physiomedical, Ecological and Cultural Adaptation in “Highland Civilizations”; Leader: Kiyohito Okumiya)

REFERENCES

- [Cornélissen et al., 2005] *Cornélissen G., Bakken E.E., Sonkowsky R.P., Halberg F.* A 38-million-year cycle among myriadennians in the diversity of oceanic genera // 3th Intern. Conf. Civilization diseases in the spirit of V.I. Vernadsky: Abstr. People’s Friendship University of Russia, Moscow, Oct. 10–12, 2005. P. 47–49.
- [Halberg et al., 2006] *Halberg F., Cornélissen G., Katinas G., Tvildiani L., Gigolashvili M., Janashia K., Toba T., Revilla M., Regal P., Sothern R.B., Wendt H.W., Wang Z.R., Zeman M., Jozsa R., Singh R.B., Mitsutake G., Chibisov S.M., Lee J., Holley D., Holte J.E., Sonkowsky R.P., Schwartzkopff O., Delmore P., Otsuka K., Bakken E.E., Czaplicki J.* International BIOCOS Group. Chronobiology’s progress: season’s appreciations 2004–2005. Time-, frequency-, phase-, variable-, individual-, age- and site-specific chronomics // *J. Applied Biomedicine*. 2006. V. 4. P. 1–38. (see also: http://www.zsf.jcu.cz/vyzkum/jab/4_1/halberg.pdf.)
- [Halberg et al., 2009] *Halberg F., Cornélissen G., Sothern R.B., Czaplicki J., Schwartzkopff O.* Thirty-five-year climatic cycle in heliogeophysics, psychophysiology, military politics, and economics // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2010. V. 46. N. 7. P. 844–864. (Backtranslation from *Geophysical Processes and Biosphere*. 2009. V. 8. N. 2. P. 13–42.)
- [Khain, Khalilov, 2009] *Khain V.E., Khalilov E.N.* Cycles in geodynamic processes: their possible nature. M.: Scientific World, 2009. 520 p.

- [Nakaoka et al., 2012] *Nakaoka T., Kawasaki T., Okumiya K., Norboo T., Otsuka K., Matsubayashi K., Singh R. B., Cornélissen G., Halberg F.* Chronoecological “glocal (global and local) health-watch: men better adapted to ambient hypoxia than women // *World Heart J.* 2012. (In press.)
- [Schwabe, 1844] *Schwabe H.* Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1843 // *Astronomische Nachrichten.* 1844. V. 21. P. 254–256 (No. 495).
- [Shirai et al., 2006] *Shirai K., Utino J., Otsuka K.* et al. A novel blood pressure-independent arterial wall stiffness parameter: cardio-ankle-vascular index (CAVI) // *J. Atherosclerosis and Thrombosis.* 2006. V. 13. P. 101–107.
- [Thiele, 1859] *Thiele Th. N.* De Macularum Solis antiquioribus quibusdam observationibus Hafniae institutis // *Astronomische Nachrichten.* 1859. V. 50. P. 259–261.
- [Yatagai, 2010] *Yatagai A.* // *J. Himalaya.* 2010. V. 11. P. 116–126. (In Japanese with English abstract.)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ (ГЛОБАЛЬНОЕ И ЛОКАЛЬНОЕ) ИССЛЕДОВАНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ, ОБИТАЮЩИХ НА БОЛЬШИХ ВЫСОТАХ

*Т. Кавасаки*¹, *А. Ятагаи*², *Т. Накаока*¹, *К. Оцсука*¹, *Ю. Оцсука*¹, *Е. Ватанабе*¹, *К. Оцсука*¹,
*К. Окумия*², *К. Мацубаяши*³, *Т. Норбу*⁴, *Ж. Корнелиссен*⁵, *Ф. Халберг*⁵

¹ Медицинский факультет, Токийский женский медицинский университет, Токио, Япония

² Научно-исследовательский институт человека и природы, Киото, Япония

³ Исследовательский центр Юго-восточной Азии, Университет Киото, Киото, Япония

⁴ Ладакхский институт прогнозов, Лех, Ладакх, Индия

⁵ Халберговский центр хронобиологии, Университет Меннесоты, Меннеаполис, США

Хроноэпидемиологические исследования здоровья были проведены для 3418 жителей Ладакха за период с 2004 по 2010 г. Ладакх является очень засушливым районом восточного Кашмира, прилегающего к Тибету на высоте от 2500 до 4600 м между горными системами Каракорум и Гималаи. С июня 2009 по сентябрь 2011 г. каждые 30 мин проводилось мониторингирование метеорологических показателей, включая температуру воздуха, относительную влажность, атмосферное давление, направление ветра, скорость ветра, количество осадков, распространяющиеся вверх/вниз длинноволновое/коротковолновое излучения и УФ-излучение. Исследования проводились для серий 24-часовой и отдельно 7-дневной протяжённости с помощью косинор-анализа. Катастрофическое наводнение 5 августа наблюдалось после коронального выброса массы Солнца (СМЕ) 1 августа 2010 г., и оно проявлялось в серии срезов осадков. Метеорологические наблюдения обнаруживали нарушения $1/f$ фрактального масштаба температуры окружающей среды до наводнения в Ладакхе, в то время как серии срезов содержали годичную акрофазу. Наводнение 5 августа повлияло на здоровье граждан: среднее кровяное давление возросло с 130,1/81,7 до 135,2/85,7 мм рт.ст. ($p < 0,005$), а доля граждан, страдающих депрессивными расстройствами, увеличилась с 5,3 до 8,8 % ($p < 0,0001$). Пространственно-временные оценки рекомендуется проводить для диагностики и лечения, особенно для обитателей высокогорных районов. Относительно короткие (~11-летние) и длинные (до и более 30-летние или 37-миллионные) циклы можно контролировать в будущем при обладании технологиями, доступными для контроля давления людей всех возрастов от утробы до смерти.

SPACE WEATHER AND MEDICAL EVENTS: MEDICAL OBSERVATIONS FOR 45 YEARS (CLINICAL COSMOBIOLOGY)

E. Stoupel

Division of Cardiology, Rabin Medical Center, Petah Tiqwa,
Sackler Faculty of Medicine, Tel Aviv University, Israel

We began our studies in Clinical Cosmobiology from 1968 and made first presentation in 1970. The **aim** of the studies was to check space physical factor links with timing of medical events.

METHODS

Studied were Time, Solar Activity (SA), Geomagnetic Activity (GMA), Cosmic Ray-Neutron activity (CRA) and close related space Proton flux.

The physical data came from space science centers in the USA, Russia, and Finland. The medical data was collected in medical institutions from Israel, Lithuania, Azerbaijan.

Daily, monthly and yearly comparison was made. Absolute differences using Student test, Pearson correlation coefficients and their probabilities, q^2 differences and other statistical modalities were used to establish links between timing of medical events, or changes and levels of the mentioned physical factors.

RESULTS

Total deaths distribution (n-850304): significant links with CRA, inverse with SA.

Congenital and Genetic abnormalities: Newborn number with Down Syndrome (n- 1300) related to CRA and SA at month of conception. Some relationship with newborn gender was also described;

Neonatology: monthly newborn number (n-286963) was related to CRA and SA 9 Months before delivery; newborn weight and length related to SA level at month of conception.

Immunology: Immunoglobulin M, G blood levels related to monthly SA and GMA level; Inflammation markers C-Reactive Protein blood levels higher in high GMA (n-25399), related to monthly GMA level and inverse related to CRA (Neutron) activity; Anticardiolipin Syndrome immunologic component related to GMA;

Ophthalmology: Intraocular pressure (970 eyes, 485 pts.) related to SA and GMA levels; also Acute Glaucoma and Ret inal Ablation;

Neurology: Migraine attacks severity, Epileptic seizures related admissions related to GMA and SA. Stroke related deaths (n-1043243) related to monthly CRA and inverse to SA.

Mental Disorders: Psychiatric Hospital admissions related to SA and GMA (n-1800 for 10 year period);

Suicide temporal distribution (n-19527) was inverse related both to CRA and SA.

CARDIOVASCULAR MEDICINE

A. Cardiac arrhythmia and Sudden Cardiac Deaths (SCD, n-788, 480, 1327) inverse related to daily GMA and linked to CRA (Neutron) CRA (Neutron) activity — clinical data in three countries and ICD discharges for VT, VF (86pts, 580 treatments, 1995–2006) and 24-hour Holter monitoring data (211pts.). Paroxysmal Atrial Fibrillation (PAF) related admissions inverse related to GMA level.

B. Blood changes: Most blood coagulation markers raise at high GMA in comparison with Quiet days of GMA.

Inflammation markers C-Reactive Protein blood levels higher in high GMA (n-25399), related to monthly GMA level and inverse related to CRA (Neutron) activity.

C. Arterial Pressure: 24-hours ambulatory monitoring shows significant raise of systolic and diastolic pressure in treated hypertensive patients at high GMA days. Also pregnancy induced hypertension (PIH) showed similar relationship (19843 deliveries, 628 PIH) with monthly level of GMA.

D. Acute Myocardial Ischemia related to high GMA.

E. Cardiogenic Shock and Right Ventricular Infarction in AMI related to CRA, S.A. and, less, to GMA.

F. Acute Myocardial Infarction: AMI (n-16.683, 11046, 4919 patients) related to CRA and inverse to SA. The culprit artery in the Left Anterior Descending (LAD) artery inverse related to GMA level and linked to CRA (Neutron) (n-2000 Percutaneous Coronary Interventions (PCI) invasive treatments at day of AMI) activity.

G. Congenital Heart Disease (n-1739, among 79085 newborn infants and n-371 of 41435 newborns) is connected with CRA (Neutron) activity and SA at the month of conception.

H. Stroke: Monthly deaths number (n-104243) related to CRA (Neutron) activity and inverse related to SA.

As a significant step to use this data in practice is the use of artificial magnetic fields in the treatment of severe Depression in psychiatric hospitals around the World.

CONCLUSION

Human homeostasis in many aspects is related to space weather.

The antagonistic relationship of CRA (Neutron) activity with SA and GMA brings different action of this two sorts of space energy on Human physiology and pathophysiology. Zero GMA days can be studied an antipode to GMA storms. Excessive level of different sorts of space physical activity is the basis for the concept of the equilibrium paradigm in clinical cosmobiology, but quantitative domination of low GMA — high CRA (Neutron) activity is the most frequent space energetic situation in the last decades in the Middle Latitudes.

Some preventive measures for high risk population can be discussed, but needs additional consideration.

The subject is too wide for presentation in a single chapter in proceedings. The attached references of a part of the publications in the discussed field can be helpful for having a picture of the issue of Clinical Cosmobiology. The presented publications allow the reader also to see used other author's studies and, especially, the 60–70 coauthors that took part in this field of our research at different time intervals.

REFERENCES

1. *Chizhevski A. L.* Terrestrial Echos of Solar Storms. 2nd ed. M.: Misl' Press, 1976. 419 p.
2. *Barnothy M. F.* Biological Effects of Magnetic Fields. N. Y.: Plenum Press, 1964.
3. *Rozhdestvenskaya E., Novikova K.* Influence of Solar Activity on the Blood Fibrinolytic System *Klin // Med.* (Moscow). 1969. V. 47. N. 7. P. 65–69.
4. *Ganelina I. E.* Sudden Deaths in Acute Myocardial Infarction and Problems of Reanimation // *Klin. Med.* (Moscow). 1969. V. 11. P. 111–119.
5. *Oranevski V. N., Breus T. K., Baevski R. M., Rapoport S. I., Petrov V. M., Barsukova Zh. V.* Effect of Geomagnetic Activity on the Functional Status of the Body // *Biofizika*. 1998. V. 43. N. 5. P. 819–826.
6. *Stupelis I.* Prognosis in Cardiology. Vilnius: Mintis Press, 1971. 162 p.
7. *Halberg F.* Chronodiagnosis, Glossary Chronobiology Center. University of Minnesota, Minneapolis // *Biologic rhythms in clinical practice* / Eds. Arendt I., Minors D., Waterhouse I. L.: Wright, 2000.
8. *Glossary of Solar-Terrestrial Terms* / Ed. Heckman G. NOAA, Space Environment Services Center. Boulder, Co, NOAA, USAF. 1988, revised 1992. 68 p.
9. *Stoupel E., Abramson E., Domarkiene S., Shimshoni M., Sulkes J.* Space Proton Flux and the Temporal Distribution of Cardiovascular Deaths / *Intern. J. Biometeorology*. 1997. V. 40. N. 2. P. 113–116.
10. *Stoupel E., Israelevich P., Gabbay U., Abramson E., Petrauskiene J., Kalediene R., Domarkiene S., Sulkes J.* Correlation of two levels of space proton flux with monthly distribution of deaths from cardiovascular disease and suicide // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology (JBCPP)*. 2000. V. 1. P. 63–71.
11. *Sigl G.* Ultra-High-Energy Cosmic Rays // *Physics and Astrophysics at Science*. 2001. V. 291. P. 73–79.
12. *Amelino C. G.* Relativity: Special Treatment // *Nature*. 2002. V. 418. N. 34. P. 35.
13. *Aharonian F., Akhperanian A. G., Bazer-Bachi A. R., Belicke M., Benbow W., Berniokr K., Boisson C.* et al. (102 authors) Discover of very-high-energy gamma rays from the Galactic Centre ridge // *Nature*. 2006. V. 439. P. 695–698.
14. Preliminary Report and Forecast of Solar Geophysical Data (weekly NOAA-SESC (now SWPC). USAF. (see also: <http://www.sec.noaa.gov/weekly.html>.)
15. Solar Indices Bulletin (monthly) NOAA. National Geophysical Data Center, USA.
16. Geomagnetic Indices Bulletin (monthly) NOAA. National Geophysical Center, USA.
17. Cosmic Data, monthly review. IZMIRAN. Russian Academy of Sciences.
18. Neutron Monitoring Data (daily, monthly, yearly). Moscow Neutron Monitoring Station, Russian Academy of Sciences.
19. Neutron Monitoring Data (daily, monthly, yearly). Oulu University, Finland.
20. National Space Science Data Center Bulletin. Greenbelt, MD; Goddard National Space Flight Center (Internet Data, monthly).
21. *Stoupel E., Petrauskiene J., Gabbay U., Kalediene R., Abramson E., Sulkes J.* Circannual Rhythmicity of Death Distribution // *Acta Medica Lithuanica*. 2001. V. 8. N. 1. P. 37–42.
22. *Stoupel E., Joshua H., Lahav J.* Human blood coagulation parameters and geomagnetic activity // *European J. Internal Medicine*. 1996. V. 7. P. 217–220.
23. *Ridker P. M., Cushman M., Stampfer M. J., Hennekens C. H.* Inflammation, aspirin and the risk of cardiovascular disease in apparently // *Healthy men*. *N. Engl. J. Med.* 1997. V. 336. P. 937–939.
24. *Libby P., Ridker P. M., Maseri A.* Inflammation and atherosclerosis // *Circulation*. 2002. V. 105. P. 1135–1143.

25. *Stoupel E., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., Harell D.* Dynamics of serum C-reactive protein (CRP) and cosmophysical activity // *European J. Internal Medicine*. 2007. V. 18. P. 124–128.
26. *The vulnerable atherosclerotic plaque* / Ed. Fuster V. Blackwell Publishing, 1999. 446 p.
27. *Atlas of atherothrombosis* / Ed. Topol E. Science Press, 2004. (Reprinted 2005.) 162 p.
28. *Libby P.* Vascular biology of atherosclerosis // *Circulation*. 2003. V. 91. P. 56–64.
29. *Stoupel E., Arber N.* The effect of geomagnetic activity on leukocyte adhesiveness and aggregation // *European J. Internal Medicine*. 1993. V. 4. P. 223–226.
30. *Stoupel E., Abramson E., Gabbay U., Pick A.I.* Relationship between immunoglobulin levels and extremes of solar activity // *Intern. J. Biometeorology*. 1995. V. 38. N. 2. P. 89–91.
31. *Stoupel E., Monselize Y., Lahav J.* Changes in Autoimmune Markers of the Anti Cardiolipin Syndrome on Days of Extreme Geomagnetic Activity // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology (JBCPP)*. 2006. V. 17. N. 4. P. 269–278.
32. *Stoupel E.* Serotonin “Interested” Clinical Syndromes in Different Geomagnetic Activity // 2nd Intern. Symp. Serotonin from Cell Biology to Pharmacology and Therapeutics. Houston, USA, Sept. 15–18, 1992: Abstr. Book. P. 60.
33. *Stoupel E., Harell D., Abramson E.* Discrepancy Between Observed Serotonin-related Clinical-Laboratory Syndromes and Blood Levels on Days of Different Levels of Geomagnetic Activity (GMA) // 5th Baltic Congress of Laboratory Medicine. Laboratory Medicine. Special Suppl. 2000. V. 108. 48 p.
34. *Stoupel E.* Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. P. 246s–256s.
35. *Stoupel E., Keret R., Assa S., Kaufman H., Shimshoni M., Laron Z.* Secretion of growth hormone, prolactin and corticosteroids during different levels of geomagnetic activity // *Neuroendocrinology Letters*. 1983. 5. V. 6. P. 365–358.
36. *Stoupel E., Keret R., Gil-Ad I., Assa S., Silbergeld A., Shimshoni M., Laron Z.* Secretion of growth hormone and prolactin in extreme periods of solar activity in solar cycle 21 (1976–1986) // *Neuroendocrinology Letters*. 1980. V. 5. N. 11. P. 191–195.
37. *Stoupel E., Zabudovsky M., Wittenberg C., Boner G.* Ambulatory blood pressure monitoring in patients with hypertension on days of high and low geomagnetic activity // *Intern. J. Hypertension*. 1998. V. 39. N. 2. P. 293–294.
38. *Stoupel E., Hod M., Shimshoni M., Friedman S., Ovadia J.* Pregnancy induced hypertension in months with different cosmic activity // *Clinical and Experimental Obstetrics and Gynecology*. 1990. V. 17. N. 1. P. 7–12.
39. *Kuritzky A., Zoldan Y., Hering R., Stoupel E.* Geomagnetic activity and severity of the migraine attack // *Headache*. 1987. V. 27. N. 2. P. 87–89.
40. *Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Starkuviene S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Monthly Deaths Distribution and Concomitant Environmental Physical Activity // 192 Months Observation. Sun and Geosphere. 2007. V. 2. P. 18–24.
41. *Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Starkuviene S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Twenty years study of solar, geomagnetic, cosmic ray activity links with monthly deaths number (n-850304) // *J. Biomedical Science and Engineering*. 2011. V. 4. P. 1–9.
42. *Stoupel E., Domarkiene S., Radishauskas R., Abramson E.* Sulkes Deaths from Ischemic and Hemorrhagic Stroke on Days of Different Levels of Geomagnetic Activity (GMA) // *Seminars in Cardiology*. 2003. V. 9. N. 2. P. 46–51.
43. *Stoupel E., Petrauskiene J., Kalediene R., Domarkiene S., Abramson E., Sulkes J.* Distribution of Deaths from Ischemic Heart Disease and Stroke :Environmental and Aging influences in Men and Woman // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 1996. V. 7. N. 4. P. 303–319.

44. *Stoupel E., Martfel J., Rotenberg Z.* Paroxysmal atrial fibrillation and stroke in male and female above and below age 65 on days of different geomagnetic activity // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 1994. V. 5. N. 3–4. P. 315–329.
45. *Stoupel E., Martfel J., Rotenberg Z.* Admissions of patients with Epileptic Seizures (E) and Dizziness (D) Related to Geomagnetic and Solar Activity Levels: Differences in Females and Males // *Medical Hypotheses*. 1991. V. 34. P. 384–388.
46. *Stoupel E.* Solar-Terrestrial Prediction: Aspects for Preventive Medicine // *Solar-Terrestrial Predictions Proceedings* / Ed. R. F. Donnelly. US NOAA, Space Environment Laboratory, Boulder, CO, 1980. V. 4. P. G 29–G 40.
47. *Thygesen K., Alpert J. S., White H. D.* On the behalf of the Joint ESC/ACCF/AHA/WHF task force for the Redefinition of Myocardial Infarction Universal definition of myocardial infarction // *European Heart J.* 2007. V. 28. P. 2525–2538.
48. *Stoupel E.* Forecasting in Cardiology. N. Y., Toronto, Jerusalem: John Wiley & Sons, Israel University Press, 1976. 141 p.
49. *Stoupel E., Shimshoni M., Agmon J.* Is the localization of myocardial infarction time related? // *Clinical Cardiology*. 1988. V. 11. P. 46–49.
50. *Stoupel E., Assali A., Teplitzky I., Israelevich E., Abramson E., Sulkes J., Kornowski R.* The culprit artery in acute myocardial infarction in different environmental physical activity levels // *Intern. J. Cardiology*. 2008. V. 126. N. 2. P. 128–190.
51. *Stoupel E., Abramson E., Israelevich P.* Left anterior descending / right coronary arteries as culprit arteries in acute myocardial infarction (n=2011) in changing physical environment, percutaneous coronary intervention data (2000–2010) // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 2011. V. 22. N. 4. P. 91–96.
52. *Stoupel E., Zhemaityte D., Drungeliene D., Martinkenas A., Abramson E., Sulkes J.* Klaipeda Emergency Cardiovascular Services: Links with 10 Cosmophysical Parameters // *J. Clinical and Basic Cardiology*. 2002. V. 5. P. 225–227.
53. *Stoupel E., Israelevich P., Petrauskiene J., Kalediene R., Abramson E., Sulkes J.* Cosmic Ray Activity and Monthly Number of Deaths: a Correlative Study // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 2002. V. 13. N. 1. P. 23–32.
54. *Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Domarkiene S., Radishauskas Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Three kinds of cosmophysical activity – links to temporal distribution of deaths and occurrence of acute myocardial infarction // *Medical Science Monitor*. 2004. V. 10. N. 2. P. CR-80–84.
55. *Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Acute Myocardial Infarction Occurrence: Environmental Links — Baku 2003–2005 data // *Medical Science Monitor*. 2007. V. 13. N. 8. P. BR-175–BR-179.
56. *Stoupel E., Tamoshiunas A., Radishauskas R., Bagdoniene G., Abramson E., Sulkes J., Israelevich P.* Acute myocardial infarction (AMI) and intermediate coronary syndrome (ICS) // *Health*. 2010. V. 2. N. 2. P. 129–132.
57. *Stoupel E., Tamoshiunas A., Radishauskas R., Benotiene G., Abramson E., Israelevich P.* Neutrons and the Plaque: AMI (n=8920) at Days of Zero GMA / High Neutron Activity (n=36) and the Following Days and Week. Kaunas, Lithuania, 2000–2007 // *Clinical and Experimental Cardiology*. 2011. V. 12. P. 121–125.
58. *Stoupel E., Domarkiene S., Radishauskas R., Bernotiene G., Abramson E., Israelevich Sulkes J.* Links between monthly rates of four types of acute myocardial infarction and their corresponding cosmophysical activity parameters // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 2004. V. 14. N. 3–4. P. 175–184.
59. *Gurfinkel Y. I., Liubimov V. V., Orajevskij V. N., Parfenova I. M., Yurjev A. S.* The influence of geomagnetic disturbances on capillary flow in ischemic heart disease patients // *Biofizika*. 1995. V. 4. P. 793–799.
60. *Priory S., Zipes D.* Sudden cardiac death. N. Y.: Blackwell Publishing, 2005. 304 p.

61. *Stoupe E., Kusniec J., Mazur A., Abramson E., Israelevich P., Strasberg B.* Timing of life-threatening arrhythmias detected by implantable cardioverter — defibrillators in relation to changes in cosmophysical factors // *Cardiology J.* 2008. V. 15. N. 5. P. 1–4.
62. *Stoupe E., Tamosiunas A., Domarkiene S., Radishauskas R., Bernotiene G., Abramson E.* Dynamics of in-hospital cardiac arrhythmia in patients with acute myocardial infarction // *J. Interventional Cardiac Electrophysiology.* 2008. V. 21. P. 183.
63. *Stoupe E.* Sudden cardiac deaths and Ventricular extrasystoles on days with four levels of geomagnetic activity // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology.* 1993. V. 4. N. 4. P. 357–366.
64. *Stoupe E., Domarkiene S., Radishauskas R., Abramson E., Sulkes J.* Sudden Cardiac Death and Geomagnetic Activity: Links to Age, Gender and Agony Time // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology.* 2002. V. 13. N. 1. P. 23–33.
65. *Stoupe E., Domarkiene S., Radishauskas R., Abramson E.* Bastille Day Event and Sudden Cardiac Death // *Seminars in Interventional Cardiology.* 2002. V. 8. N. 3. P. 18–21.
66. *Stoupe E., Babayev E. S., Mustafa F. R., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Clinical Cosmobiology — Sudden Cardiac Death and Daily // *Monthly Geomagnetic, Cosmic Ray and Solar Activity — the Baku Study (2003–2005)* // *Sun and Geosphere.* 2006. V. 1. N. 2. P. 13–16.
67. *Stoupe E., Domarkiene S., Radishauskas R., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Neutrons and sudden cardiac death (SCD)-codes 121–125 ICD 10 // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology.* 2006. V. 17. N. 1. P. 46–54.
68. *Stoupe E., Israelevich P., Kusniec J., Mazur A., Zabarski R., Golovchiner G., Abramson E., Strasberg B., Balter.* Are Neutrons involved in the pathogenesis of life-threatening cardiac arrhythmias? // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology.* 2006. V. 17. N. 1. P. 55–62.
69. *Stoupe E., Tamosiunas A., Radishauskas R., Bernotiene G., Abramson E., Israelevich P.* Acute myocardial infarction (AMI) (n-11026) on days of zero geomagnetic activity (GMA) and the following week : differences at months of maximal and minimal solar activity (SA) in solar cycles 23 and 24 // *J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology.* 2012. V. 23. N. 1. P. 5–9.
70. *Anthony R., Daubert J. P., Zareba W.* Mechanisms of ventricular fibrillation in MADIT II patients with implantable cardioverter-defibrillators // *Pacing and Clinical Electrophysiology.* 2008. V. 31. P. 144–150.
71. *Stoupe E., Babayev E. S., Abramson E.* Sulkes Calm geomagnetic conditions, increased cosmic ray activity and dynamics of some medical events at the descending phase of solar activity cycle // *IHY-ISWI Regional Meeting “Heliophysical phenomena and Earth environment”.* 7–13 Sept. 2009, Shibelnik, Croatia: Abstr. Book. 2009.
72. *Nias A. H. W.* An introduction to radiotherapy. John Wiley and Sons, 1998. (Reprinted 2000.)
73. *Hall E. J., Glaccia A. J.* Radiotherapy for Radiologists. Lippincott and Wilkins and Williams, Philadelphia, Baltimore, N. Y., L., Buenos Aires, Hong Kong, Tokyo, 2006.
74. *Stoupe E., Birk E., Kogan A., Klinger G., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., Linder N.* Congenital heart disease: Correlation with fluctuations of cosmophysical activity // *Intern. J. Cardiology.* 2009. V. 135. P. 207–210.
75. *Stoupe E., Dulskiene V., Kovaite A., Abramson E., Israelevich, Sulkes J.* Congenital heart disease and Environmental Physical Activity-Kaunas Data-1995–2005 // *Sun and Geosphere.* 2009. V. 4. N. 2. P. 45–49.
76. *Stoupe E., Goldenfeld M., Shimshoni M., Siegel R.* Intraocular pressure (IOP) in relation to four levels of daily geomagnetic and extreme yearly solar activity // *Intern. J. Biometeorology.* 1993. V. 37. P. 42–45.

77. *Stoupel E., Kremer I., Mutmacher L., Abramson E., Yassur Y.* Acute Glaucoma and Retinal Detachment at Four Daily Levels of Geomagnetic Activity // 11th Intern. Conf. High Power Electromagnetics EUROEM 98: Abstracts p. 190. Tel Aviv, June 14, 1998.
78. *Doblhammer G., Vaupel J. W.* Lifespan depends on month of birth PNAS // Proc. National Acad. Science. 2001. V. 98. N. 5. P. 2934–2939.
79. *Stoupel E., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Birth month and longevity-monthly birth distribution in acute coronary events provoked by atherothrombosis in patients treated with percutaneous coronary intervention (PCI) // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 2011. P. 1–5.
80. *Bartsch H., Bartsch Ch., Mecke D., Lippert T. T.* Seasonality: Pineal Melatonin Production in the Rat. Possible Synchronization by the Geomagnetic Field // Chronobiology International. 1994. V. 11. N. 1. P. 21–26.
81. *Bartsch H., Kupper H., Scheurlen U., Deerberg F. D., Seebald E., Dietz K., Mecke D., Probst H., Stehle T., Bartsch Ch.* Effect to a chronic exposure to a GSM — like signal (mobile phone) on survival of female Sprague Dawley rats: effects by month of birth and possibly stage of the solar cycle // Neuroendocrinology Letters. 2010. V. 31. N. 4. P. 457–473.
82. *Kirby A. J., Hollfelder F.* Enzymes under nanoscope // Nature. 2008. V. 456. N. 6. P. 45–47.
83. *Stoupel E., Tomashiunas A., Radishauskas R., Bernotiene G., Abramson E., Israelevich P.* Acute myocardial infarction (AMI) in context with the paradigm-month of birth and longevity // Health. 2011. V. 3. N. 12. P. 1–6.
84. *Stoupel E.* The Equilibrium Paradigm in Clinical Cosmobiology // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 2002. V. 11. N. 3. P. 255–26.
85. *Stoupel E.* Atherothrombosis: Environmental Links // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 2008. V. 1. P. 135–145.
86. *Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Starkuviene S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Death-Optimal Physical Conditions // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 2010. V. 21. N. 1. P. 43–59.
87. *Stoupel E., Frimer H., Appelman Z., Ben-Neriah Z., Dar H., Feigin M. D., Gershuni-Baruch R., Manor E., Barkai G., Shalev S., Gelman-Cohen Z., Reish O., Lev D., Davidov B., Goldman B., Shohat M.* (2005) Chromosome aberration and environmental physical activity: Down syndrome and solar and cosmic ray activity. Israel 1990–2000 // Intern. J. Biometeorology. 2005. V. 28. N. 2. P. 1–9.
88. *Merlob P., Raisner S. H., Shimshoni M., Stoupel E.* Foetal growth in extreme periods of solar activity in the 21–22 solar cycles // J. Maternal-Fetal Medicine. 1989. V. 9. N. 1–2. P. 1–5.
89. *Stoupel E., Hod M., Shimshoni M., Friedman S., Ovadia Y., Keith L.* Monthly cosmic activity and pregnancy induced hypertension // Clinical and Experimental Obstetrics and Gynecology. 1990. V. 17. N. 1. P. 7–12.
90. *Stoupel E., Abramson E., Israelevich P., Shohat M., Sulkes J.* Gender and environment: general and monthly gender distribution of newborns and cosmophysical parameters // Health. 2010. V. 2. N. 6. P. 639–645.
91. *Brook R. D., Franklin B., Cascio W., Hong Y., Howard G., Lipsett M., Lueker R., Mittleman M., Samet J., Smith S. C. Jr., Tager I.* AHA Scientific Statement: Air Pollution and Cardiovascular Disease // Circulation. 2004. V. 109. P. 2655–2671.
92. *Einstein A.* Mein Weltbild. 1932.
93. *Stoupel E., Abramson E., Fenig E.* Birth month of patients with malignant neoplasms: links to longevity? // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 2012. V. 23. N. 2. P. 57–60.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И МЕДИЦИНСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ 45 ЛЕТ (КЛИНИЧЕСКАЯ КОСМОБИОЛОГИЯ)

Э. Ступель

Отделение кардиологии, медицинский центр И.Рабина, Петах Тиква, Израиль
Медицинский факультет им. Саклера, Университет Телль-Авива, Израиль

Исследования в области клинической космобиологии были начаты в 1968 г., первая публикация появилась в 1970 г. Целью исследований стала проверка существования физических факторов, по времени связанных с медицинскими проявлениями.

МЕТОДЫ

Исследовались время, солнечная активность (СА), геомагнитная активность (ГМА), космические лучи — нейтронная активность (CRA) и активность близко связанных с космическими лучами потоков протонов. Эти данные были получены из научных центров в США, России, Финляндии. Медицинские данные собраны в медицинских учреждениях Израиля, Литвы, Азербайджана. Были проанализированы и сопоставлены ежедневные, ежемесячные и ежегодные физиологические и физические параметры. Абсолютные различия определялись с использованием критерия Стьюдента, коэффициента корреляции Пирсона и их вероятности, q^2 различия и других статистических методов для установления связей между моментами медицинского события или его изменения и уровнем указанных физических факторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение общего числа смертей (n-850304): прямо зависит от CRA и имеет обратную зависимость от СА.

Врождённые и генетические аномалии: число новорождённых с синдромом Дауна (n-1300) зависит от CRA и от СА в месяц зачатия. Имеется некоторая зависимость также и пола новорождённых.

Неонатология: ежемесячное число новорождённых (n-286963) было связано с CRA и уровнем СА за 9 месяцев до родов; вес и длина новорождённых связаны с уровнем СА в месяц зачатия.

Иммунология: иммуноглобулин М и G крови связаны с ежемесячными значениями СА и уровнем ГМА; уровень маркеров воспаления — С-реактивный белок крови выше при высоком уровне ГМА. (n-25399) связаны с ежемесячным уровнем ГМА и имеют обратную зависимость от CRA (нейтронов); иммунологические компоненты Антикардиолипинового синдрома, связаны с ГМА.

Офтальмология: внутриглазное давление (970 глаз, 485 пациентов) зависит от СА и ГМА, так же как и острая глаукома и отслоение сетчатки.

Неврология: тяжесть приступов мигрени, поступление больных с эпилептическими приступами зависит от СА и ГМА. **Смертность от инсультов** (N-1043243), зависит прямо от ежемесячного уровня CRA и находится в обратной зависимости от СА.

Психические расстройства: психиатрическая госпитализаций зависит от СА и ГМА (n-1800 за 10-летний период);

Распределение самоубийств (N-19527) имеет обратную зависимость от CRA и СА.

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ МЕДИЦИНА

А. Сердечная аритмия и внезапная сердечная смерть: (BCC, N-788, 480, 1327) имеют обратную зависимость от ежедневных значений ГМА и связаны с CRA. Клинические данные в трёх странах (BBC — n-778, 480, 1327), разряды имплантированного дефибриллятора при желудочковой тахикардии VT и желудочковой фибрилляции VF (86 пациентов и 580 разрядов в 284 дня в 1995–2006 гг.) зависели от CRA (нейтронов)

и вместе с данными 24-часового холтеровского мониторинга (211 пациентов), а так же поступления больных с пароксизмальной фибрилляцией предсердий (ПФП) — имеют обратную зависимость от ГМА.

В. Изменения крови: большинство маркеров свёртываемости крови возрастает с ростом ГМА по сравнению со спокойным уровнем ГМА. Маркеры воспаления — С-реактивный белок крови — повышается при высоких ГМА (n-25 399), он связан с уровнем ежемесячных значений ГМА и имеет обратную зависимость от CRA (нейтроны).

С. Артериальное давление: 24-часовой амбулаторный мониторинг АД свидетельствует о значительном повышении систолического и диастолического давления у пациентов с артериальной гипертонией в дни с высоким уровнем ГМА. Сходные результаты наблюдаются в случаях гипертензии при беременности (РІН) (19 843 поступивших пациенток, 628 с РІН) в связи с повышенным ежемесячным уровнем ГМА.

Д. Острая ишемия миокарда связана с высоким уровнем ГМА.

Е. Кардиогенный шок и инфаркт правого желудочка при остром инфаркте миокарда, связаны с CRA и СА и в меньшей степени — с ГМА.

Ф. Острый инфаркт миокарда: ОИМ (n-16, 683, 11046, 4919 пациентов) реагирует на CRA и находится в обратной зависимости от СА. Инфаркт — связанная левая передняя нисходящая (LAD) ветвь левой венечной артерии имеет обратную зависимость от уровня ГМА и прямую связь с CRA (нейтронной компонентой) (n-2100 чрезкожных коронарных вмешательств — ЧКВ — при инвазивных процедурах в день с ОИМ).

Г. Врождённые пороки сердца: n-1739, среди 79 085 новорождённых и n-371 из 41 435 новорождённых связаны с CRA и СА в месяц зачатия.

Важный шаг был сделан в направлении использования этих данных в практике, а именно — применение искусственных магнитных полей в лечении тяжёлой депрессии в психиатрических больницах по всему миру.

ВЫВОДЫ

Гомеостаз человека во многом связан с космической погодой. Различные соотношения CRA, СА и ГМА по-разному воздействуют на человеческую физиологию и патофизиологию. Нулевой уровень ГМА должен изучаться как противоположность дням с геомагнитными бурями. Повышенный уровень различных видов активности физических космических факторов является основой для концепции равновесной парадигмы в клинической космобиологии, но количественное доминирование низких уровней ГМА и высоких значений CRA (нейтронной компоненты) является наиболее частой энергетической ситуацией в последние десятилетия на средних широтах.

Некоторые профилактические меры для популяции с высоким риском зависимостей следует обсудить, но требуется дополнительное рассмотрение.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРГАНИЗМ

Ю. И. Гурфинкель^{1,2}

¹ Научный клинический центр Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (НКЦ ОАО РЖД), Москва, Россия, e-mail: yugurf@yandex.ru

² Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Где проходит грань между нормой и патологией при воздействии факторов внешней среды и, в частности, космической погоды на человека? Есть ли такая демаркационная линия при других видах патологии?

Проведённые нами ранее исследования у 144 пациентов показали: чем более выражена тяжесть состояния, тем значительней были расстройства микроциркуляции во время геомагнитных возмущений. Наибольшая выраженность нарушений капиллярного кровотока отмечена у больных ишемической болезнью сердца (ИБС), протекающей на фоне сахарного диабета, у больных с перенесённым ранее инфарктом миокарда и у лиц с повторными инфарктами миокарда, осложнёнными сердечной недостаточностью. Позднее Дж. Гмитров и С. Окубо [Gmitrov, Ohkubo, 2002] в эксперименте на животных также выявили значимую отрицательную корреляцию между геомагнитными возмущениями и скоростью капиллярного кровотока (СКК).

Результаты этих и других исследований позволяют предположить, что кровь сама по себе может являться сенсором вариаций магнитных полей, поскольку эритроциты, тромбоциты, лейкоциты, несущие электрический заряд в потоке, в соизмеримом магнитном поле могут менять как собственные свойства, так и свойства потока. Интересно, что не только геомагнитные возмущения, но и периоды очень спокойной геомагнитной обстановки оказывают влияние на капиллярный кровоток, замедляя его.

При всём многообразии реакции организма человека на гелио- и геомагнитную активность сердечно-сосудистая система (ССС) и «система» крови представляют для нас наибольший интерес, поскольку очевидна их взаимосвязь в проявлениях физиологических и патологических процессов. Они обе соприкасаются настолько тесно, что, по сути, являются неким единым целым, где одна система не может существовать без другой. Вероятно, именно по этой же причине эффекты, воспринимаемые одной системой, легко передаются другой.

Ежемесячное распределение количества случаев острого инфаркта миокарда (ИМ) и острого нарушения мозгового кровообращения у мужчин и женщин разных возрастных групп по данным ЦКБ № 1 РЖД за период с 1992 по 2007 г. (рис. 1) показало, что мужчины заболевают инфарктом миокарда на 27 % чаще, чем женщины. Причём месяцы, наиболее неблагоприятные для мужчин, не являются таковыми для женщин. Распределение по месяцам заболевших острым инфарктом миокарда мужчин (отобраны только случаи с точно известной датой заболевания) показало, что в январе и октябре самая высокая заболеваемость инфарктом миокарда у мужчин, тогда как женщины чаще заболевают инфарктом миокарда в сентябре и декабре. Распределение по возрастным группам у наших пациентов подтверждает хорошо известный кардиологам факт, что женщины до 60 лет инфарктом миокарда заболевают существенно реже, чем мужчины, благодаря их гормональным особенностям, обеспечивающим защиту сосудистой стенки.

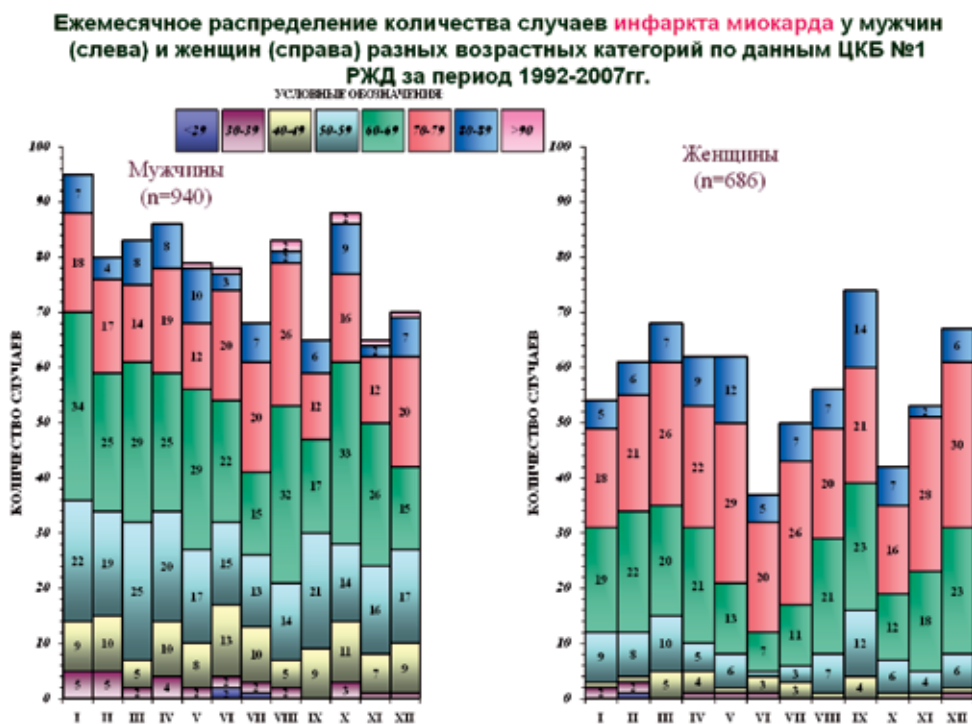


Рис. 1. Ежемесячное распределение количества случаев острого инфаркта миокарда у мужчин и женщин разных возрастных групп по данным ЦКБ № 1 РЖД за период с 1992 по 2007 г.

В то же время женщины на 16,8 % чаще, чем мужчины, заболевают острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) (рис. 2). Причём наибольшее количество случаев у женщин приходится на январь, апрель и июль.

Какие патофизиологические механизмы лежат в основе этих процессов? Может быть, женщины более, чем мужчины, чувствительны к нейтронным потокам, а мужчины — к геомагнитным возмущениям? Единой точки зрения на сегодняшний день нет. Полученные в наших исследованиях результаты дают основание предположить, что именно сердечно-сосудистая система и кровь представляют собой «мишень», через которую реализуются эффекты геомагнитных возмущений.

Изучение состояния капиллярного кровотока у 144 пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) подтверждают это: чем более выражена тяжесть состояния пациентов, тем значительней расстройства микроциркуляции наблюдались в период геомагнитных возмущений [Gurfinkel et al., 1995]. Наибольшая выраженность нарушений капиллярного кровотока отмечена у больных ИБС, протекающей на фоне сахарного диабета, а также у пациентов с перенесённым ранее инфарктом миокарда и у лиц с повторными инфарктами миокарда, осложнёнными сердечной недостаточностью, тогда как у менее тяжёлых пациентов со стенокардией или с пароксизмальной формой трепетания предсердий нарушения капиллярного кровотока были достоверно ниже.

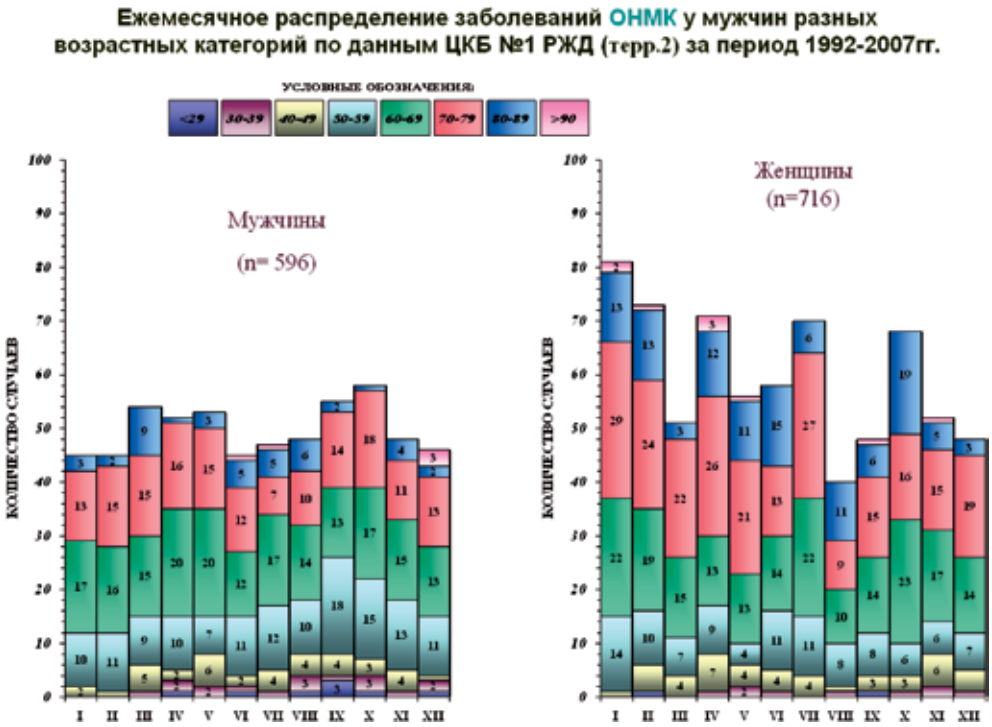


Рис. 2. Ежемесячное распределение количества случаев острого нарушения мозгового кровообращения у мужчин и женщин разных возрастных групп по данным ЦКБ № 1 РЖД за период с 1992 по 2007 г.

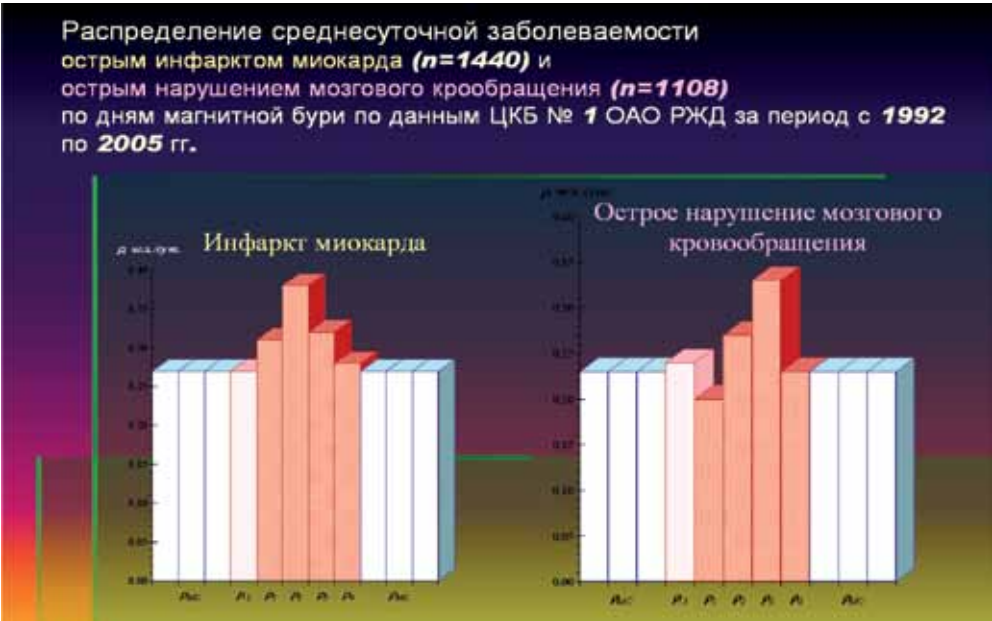


Рис. 3. Распределение среднесуточной заболеваемости острым инфарктом миокарда и острым нарушением мозгового кровообращения по дням магнитных бурь

Результаты исследования показали, что ухудшение параметров капиллярного кровотока отмечается в день начала магнитной бури. При распределении значений коэффициента корреляции (r) между суммарным капиллярным индексом ($\Sigma И$) и суммарным планетарным среднесуточным индексом магнитной активности ($Ар$) по группам больных наиболее тесная корреляционная связь выявлена в группе мужчин и женщин, переносивших инфаркт миокарда, у мужчин $0,574$, у женщин $r=0,565$. Такая же направленность изменений коэффициента корреляции в группе больных стенокардией (СТ). У 20 мужчин r составил в среднем $0,524$. В подгруппе женщин со стенокардией ($n=17$) r составил $0,500$. У больных с нарушениями ритма (НР) у мужчин ($n=22$) в целом коэффициент корреляции оказался ниже, чем во всех остальных группах, — $0,496$. В подгруппе женщин с нарушениями ритма ($n=13$) r составил $0,502$. Комплексное исследование 75 пациентов с ИБС и постинфарктным кардиосклерозом, выполненное в нашей клинике, включавшее исследование капиллярного кровотока, агрегации тромбоцитов, а также гемокоагуляции с помощью тромбоэластографа показало статистически значимое ухудшение этих показателей в период повышенной геомагнитной активности по сравнению со спокойной обстановкой [Pikin et al., 1998]. Позднее Дж. Гмитров и С. Окубо [Gmitrov, Ohkubo, 2002] в эксперименте на животных также выявили значимую отрицательную корреляцию между геомагнитными возмущениями и скоростью капиллярного кровотока (СКК). Они вживляли в ухо кролика специальным образом сконструированные оптические устройства, позволившие им наблюдать на просвет микроциркуляторное русло и его реакцию на геомагнитные возмущения.

Сходные данные получены израильскими исследователями на материале, включавшем 1744 случая острого инфаркта миокарда за период свыше четырёх лет наблюдения. Коэффициент корреляции между количеством экстренно госпитализированных пациентов и днями, во время которых зарегистрирован высокий уровень геомагнитной активности, составил $0,977$, $p < 0,02$ [StoupeI, 1999]. В то же время трехлетнее исследование (1990–1993) этих же авторов, включавшее 977 случаев госпитализированных пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК), показало сильную отрицательную корреляцию с ежедневным уровнем геомагнитной активности ($r = -0,99$, $p = 0,0008$).

По результатам наших исследований (совместно с Т.А. Митрофановой, ИЗМИРАН), выполненных в период с 1992 по 2005 г. ($n=1108$) наблюдается сходная картина: в первый день магнитной бури количество заболевших ОНМК значительно меньше средних значений (рис. 3), в то же время на второй и особенно на третий день магнитной бури количество поступивших в отделение реанимации с ОНМК значительно превышает среднее количество заболевших в дни спокойной и слабовозмущенной геомагнитной обстановки. А наибольшее количество пациентов с острым инфарктом миокарда ($n=1440$) приходится на второй день после начала магнитной бури.

Результаты этих и других исследований позволяют предположить, что кровь сама по себе может являться сенсором вариаций магнитных полей, поскольку эритроциты, тромбоциты, лейкоциты, несущие электрический заряд в потоке, в соизмеримом магнитном поле могут менять как собственные свойства, так и свойства потока. Интересно, что не только геомагнитные возмущения, но и периоды очень спокойной геомагнитной обстановки оказывают влияние на капиллярный кровоток, замедляя его.

На это указывают недавно завершившееся исследование с длительной изоляцией в Институте медико-биологических проблем РАН у здоровых добровольцев в рамках программы МАРС-500, в ходе которого с помощью цифрового капилляроскопа изучалась скорость капиллярного кровотока (СКК) в произвольно выбранные дни. Участники программы в ходе эксперимента сведений о геомагнитной обстановке не получали. В дни геомагнитных возмущений СКК составила 389 ± 167 мкм/с, что оказалось статистически значимо ($p < 0,05$) в сравнении с СКК для обычной спокойной геомагнитной обстановки. Спокойную геомагнитную обстановку мы разделили на две части: *очень спокойную* ($A_{\text{МСК}}$ -индекс 1–4) и *просто спокойную* ($A_{\text{МСК}}$ -индекс 5–7), поскольку наше исследование выявило статистически значимую разницу в СКК. Тогда как в обычной спокойной обстановке СКК составила в среднем 643 ± 178 мкм/с, в условиях *очень спокойной* геомагнитной обстановки СКК составила 435 ± 223 мкм/с ($p < 0,02$). Этот феномен, возможно, обусловлен влиянием роста интенсивности галактических космических лучей в период низких значений скорости солнечного ветра [Гурфинкель, Суворов, 2012].

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ И ЭНДОТЕЛИАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ

Скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) является независимым предиктором ишемической болезни сердца (ИБС) и инсультов у практически здоровых людей — к таким выводам пришла группа исследователей [Mattace-Raso et al., 2006], наблюдавших в рамках Роттердамского исследования 2835 практически здоровых людей, у которых риск сердечно-сосудистых заболеваний увеличивался с ростом индекса СРПВ. Представление о том, что плотность артерий зависит исключительно от структурных компонентов, таких как эластин и коллаген, а также от уровня давления наполнения сосуда, в последние десятилетия подвергнуто серьёзному пересмотру. Сейчас установлено, что гладкие мышцы принимают активное участие в изменении сосудистого тонуса, а количество местных производных и циркулирующих факторов, включая оксид нитрита, эндотелин-1 и натрийуретические пептиды вносят свой вклад в кратковременную функциональную регуляцию плотности крупных артерий. Исследуя большую когорту амбулаторных больных с артериальной гипертензией, находившуюся под наблюдением 16 лет [Laurent et al., 2001], выявили прямую зависимость между уровнем плотности артерий и смертностью от сердечно-сосудистой патологии. При ИБС и артериальной гипертензии (АГ) происходит снижение податливости и увеличение жёсткости стенок артерий, отмечается в работе [Asmar, 1999]. Ряд авторов рассматривает увеличение скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) как признак субклинического коронарного атеросклероза и считает обоснованным использовать этот признак (биомаркер) как независимый фактор риска ИБС, обнаружение которого особенно важно для пациентов, у которых заболевание протекает бессимптомно [Kullo, Malik, 2007].

Не менее важную роль в обеспечении кровотока и поддержании противосвертывающей активности играет **эндотелий** — однослойный пласт клеток, выстилающий внутреннюю поверхность кровеносных сосудов, который всякий раз в ответ на пульсовую волну продуцирует биологически активные ве-

щества. Эти своего рода гормоны эффективно регулируют сосудистый тонус, свойства клеток крови к адгезии, к их взаимодействию с сосудистой стенкой. Баланс активности различных биологически активных веществ является критическим условием нормального функционирования организма человека. Работами Роберта Ферчготта и его коллег, отмеченными Нобелевской премией в 1998 г., показано, что эндотелиальные клетки в ответ на перемещение крови в сосуде вырабатывают оксид азота — газ, который распространяется током крови по сосуду, вызывая его релаксацию. В настоящее время дисфункцию эндотелия определяют как нарушение равновесия вазодилатирующих и вазоконстрикторных медиаторов, вырабатываемых клетками эндотелия или реализующих своё действие на их поверхности. В частности, эндотелиальная дисфункция характеризуется нарушением синтеза NO или увеличением скорости его разрушения.

Результаты нашего исследования скорости распространения пульсовой волны на отрезке плечо — предплечье, а также функции эндотелия у здоровых и пациентов с ранними стадиями артериальной гипертензии выявило статистически значимые различия [Гурфинкель и др., 2009, 2010].

Для измерения СРПВ, ЭФ, артериального давления мы используем аппарат «Тонокард», АМДТ, Россия. Специально разработанные высокочувствительные датчики, соединённые с манжетами, располагают в проекции плечевой артерии и артерий запястья (лучевой и локтевой). В компьютер вводится точно измеренное расстояние между ними (L). Время (Δt), за которое пульсовая волна проходит эти расстояния, определяется автоматически. СРПВ определяется как отношение $L/\Delta t$. Измерение обычно проводится в положении сидя. Производится 5–6 десятисекундных записей СРПВ, результаты которых автоматически вносятся в протокол, после чего определяется функция эндотелия. Для этого автоматически замеряется амплитуда пульсовых волн артерий запястья (лучевой и локтевой), среднее значение вводится в протокол, затем на три минуты пережимается манжета, расположенная выше, с тем, чтобы остановить кровоток в плечевой артерии и соответственно в артериях, расположенных ниже по течению. Пережатие осуществляется на **30...40 мм рт. ст. выше типичного для испытуемого систолического артериального давления**. К примеру, если обычное для испытуемого артериальное давление равняется 120 и 70 мм рт. ст., то накачка давления в верхнюю манжету не превышает 150...160 мм рт. ст. Все эти значения контролируются на экране компьютера и вносятся в протокол. Спустя три минуты манжета распускается, амплитуда пульсовой волны на артериях запястья вновь регистрируется датчиком и сравнивается с амплитудой пульсовой волны, зарегистрированной до пережатия плечевой артерии. Этот метод основан на способности клеток эндотелия высвобождать оксид азота (NO) в ответ на пережатие артерии.

Таким образом, определение и анализ скорости распространения пульсовой волны представляется одним из самых доступных и эффективных методов определения свойств артерий крупного и среднего калибра. При этом участие оператора сводится к минимуму.

Следует отметить, что в кардиологической практике за последнее десятилетие получило распространение исследование скорости пульсовой волны в аорте. Для этого один датчик пульсовой волны накладывается в проекции сонной артерии, а второй — в области паха в проекции бедренной артерии. Большую часть расстояния между этими точками занимает аорта.

Аорта является преимущественно сосудом эластического типа, и мышечные элементы выражены в ней существенно в меньшей степени, чем в артериях рук и нижних конечностей. При выборе методики исследования это обстоятельство оказалось для нас решающим, поскольку артерии, к которым относятся артерии руки и нижних конечностей, являются сосудами мышечного типа и существенно лучше отражают изменение тонуса, чем измерение СРПВ, проведённое на аорте. Вероятно, это объясняется близостью резистивных артериол к артериям мышечного типа, что позволяет лучше выявить их реакцию на повышение симпатoadреналовой активности. Немаловажным в выборе метода является и то обстоятельство, что размещение датчиков для исследования СРПВ и ЭФ на руке значительно проще, чем в проекции сонной и бедренной артерий. В то же время, как показали исследования, коэффициент корреляции значений СРПВ аорты и артерий руки составляет 0,93 [Asmar, 1999].

К числу неинвазивных и весьма информативных методов для изучения влияния космической погоды на сердечно-сосудистую систему относится исследование почасовой ЭКГ, включая вариабельность сердечного ритма. Оба эти метода и результаты исследований с их использованием подробно изложены в статье настоящего сборника (*Гурфинкель Ю. И., Васин А. Л., Матвеева Т. А.* Реакция сердечно-сосудистой системы здоровых добровольцев на нулевое магнитное поле в условиях эксперимента).

С использованием возможностей «Тонокарда» нами впервые проведено сравнительное исследование СРПВ у 4 здоровых добровольцев, не имеющих сердечно-сосудистой патологии, в периоды спокойной и возмущённой геомагнитной обстановки. Помимо этого изучалось влияние на организм человека погодных факторов. Исследования проводились после 15...20-минутного отдыха, в положении сидя по методике, описанной выше. Испытуемые в период исследования не принимали каких-либо лекарств, воздерживались от содержащих кофеин напитков, не курили. Всего проведено 477 замеров СРПВ и артериального давления. Результаты этого исследования показали, что СРПВ в периоды возмущённой геомагнитной обстановки и особенно в дни магнитных бурь статистически значимо возрастает по сравнению со спокойной обстановкой. В то же время в период низких значений К-индекса значения СРПВ были в пределах нормы или понижены [Gurfinkel et al., 2012].

Результаты ещё одного исследования, хотя и предварительные, представляют, на наш взгляд, интерес с точки зрения динамики физиологических вариаций показателей СРПВ, функции эндотелия, артериального давления и пульса в периоды разных фаз геомагнитных бурь. Исследование проводилось добровольцем, врачом по профессии, 65 лет без сердечно-сосудистой патологии в период с 2006 по май 2012 г. С помощью прибора «Тонокард» прослежено влияние на указанные выше физиологические показатели восьми магнитных бурь (МБ) (три из них с внезапным началом), начиная с главной фазы МБ и заканчивая периодом восстановления. Всего проанализировано по 25 измерений СРПВ, ЭФ, САД, ДАД и пульса. Результаты исследования показывают, что уже в первые часы магнитной бури нарастает СРПВ с обычных для спокойной и слабовозмущённой обстановки 7,3...7,5 м/с до 8,5 м/с. В то же время максимальное увеличение СРПВ (на 21 %) отмечено на второй день после начала МБ: 9...10 м/с, а в одном случае до 13,1 м/с.

Ещё значительней в первые сутки МБ возрастает эндотелиальная функция по сравнению со спокойной геомагнитной обстановкой. Артериальное давление, как систолическое, так и диастолическое, снижалось в первый день бури на 10 и 3 %, соответственно. К третьему-четвертому дню магнитной бури происходило возвращение значений артериального давления к норме. Изменение средних значений показателей САД, ДАД СРПВ и ЭФ в период геомагнитных бурь в процентах относительно нормы для данного испытуемого приведено в таблице и на рис. 4.

Изменение средних значений показателей СРПВ, ЭФ, САД и ДАД в период геомагнитных бурь в процентах относительно нормы для данного испытуемого

Значение относительно нормы, %	Дни магнитной бури			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Скорость распространения пульсовой волны	110,1	121,0	118,0	109,4
Эндотелиальная функция	171,1	139,4	114,9	115,8
Систолическое артериальное давление	89,9	94,5	96,8	100,2
Диастолическое артериальное давление	97,1	98,2	99,0	104,0

Складывается впечатление, что эндотелиальная функция является частью физиологического механизма адаптации сердечно-сосудистой системы к меняющимся внешним условиям (в нашем случае к изменениям геомагнитной активности) и регулируется при участии симпатoadреналовой системы.

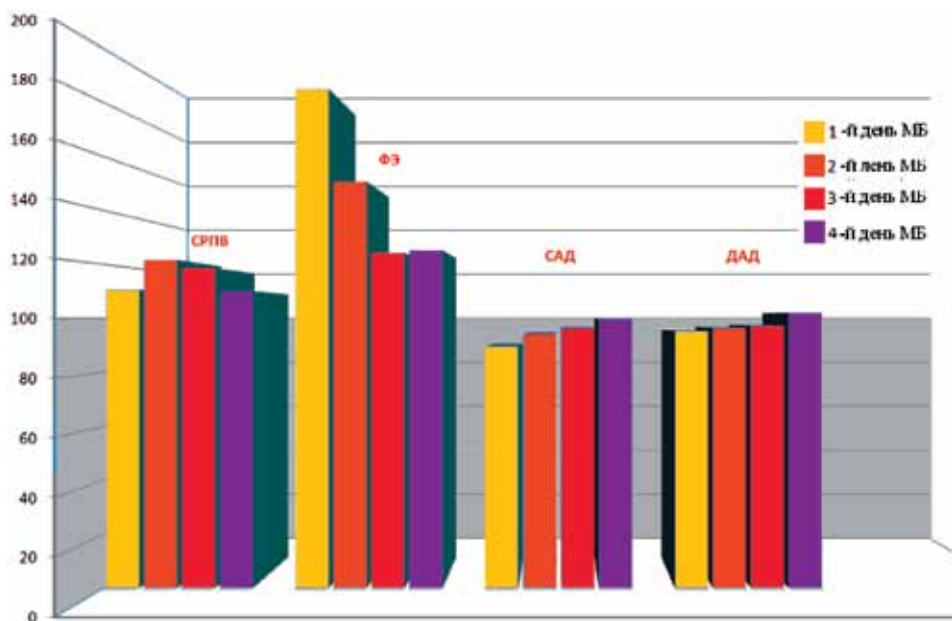


Рис. 4. Изменение средних значений показателей СРПВ, ЭФ, САД и ДАД в период геомагнитных бурь в процентах относительно нормы для данного испытуемого. По оси ординат — величина параметров в процентах относительно типичного значения каждого параметра, принятого за 100

Появление новых инструментальных возможностей для исследования СРПВ и ЭФ в динамике, вероятно, позволит получить более полное представление о физиологических и патологических изменениях состояния сердечно-сосудистой системы человека в зависимости от изменений космической погоды

ЛИТЕРАТУРА

- [Гурфинкель, Суворов, 2012] *Гурфинкель Ю. И., Суворов А. В.* Магнитное поле Земли и показатели капиллярного кровотока участников эксперимента «Марс-500» // Международ. симп. по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полёт на Марс. Москва, 23–25 апреля 2012: Сб. материалов. М.: ГНЦ РФ – МБП РАН, 2012.
- [Гурфинкель и др., 2009] *Гурфинкель Ю. И., Каце Н. В., Парфёнова Л. М., Иванова И. Ю., Орлов В. А.* Сравнительное исследование скорости распространения пульсовой волны и эндотелиальной функции у здоровых и пациентов с сердечно-сосудистой патологией // Рос. кардиологич. журн. 2009. № 2. Т. 76. С. 38–43.
- [Гурфинкель и др., 2010] *Гурфинкель Ю. И., Макеева О. В., Острожинский В. А.* Особенности микроциркуляции, эндотелиальной функции и скорости распространения пульсовой волны у пациентов с начальными стадиями артериальной гипертензии // Функциональная диагностика. 2010. № 2. С. 18–25.
- [Asmar, 1999] *Asmar R.* Arterial stiffness and pulse wave velocity, clinical applications. Paris: Elsevier publishing house, 1999. 170 p.
- [Gmitrov, Ohkubo, 2002] *Gmitrov J., Ohkubo C.* Verapamil protective effect on natural and artificial magnetic field cardiovascular impact // Bioelectromagnetics. 2002. V. 23. P. 531–541.
- [Gurfinkel et al., 1995] *Gurfinkel Yu. I. et al.* Effects of geomagnetic disturbances on capillary blood flow in patients with coronary artery disease // Biophysics. 1995. V. 40. N. 4. P. 777–783.
- [Gurfinkel et al., 2012] *Gurfinkel Yu., Breus T., Zenchenko T., Ozheredov V.* Investigation of the effect of ambient temperature and geomagnetic activity on the vascular parameters of healthy volunteers // Open J. Biophysics. 2012.
- [Kullo, Malik, 2007] *Kullo I. J., Malik A. R.* Arterial Ultrasonography and Tonometry as Adjuncts to Cardiovascular Risk Stratification // J. American College of Cardiology. 2007. V. 49. P. 1413–1426.
- [Laurent et al., 2001] *Laurent S., Boutouyrie P., Asmar R. et al.* Aortic Stiffness Is an Independent Predictor of All-Cause and Cardiovascular Mortality in Hypertensive Patients // Hypertension. 2001. V. 37. P. 1236–1241.
- [Mattace-Raso et al., 2006] *Mattace-Raso F., Tischa J. M., Hofman A. et al.* Arterial Stiffness and Risk of Coronary Heart Disease and Stroke, The Rotterdam Study // Circulation. 2006. V. 113. P. 657–663.
- [Pikin et al., 1998] *Pikin D. A., Gurfinkel Yu. I., Oraevskiy V. N.* Effect of geomagnetic disturbances on the blood coagulation system in patients with ischemic heart disease and prospects for correction with medication. // Biofizika. 1998. V. 43. N. 4. P. 617–622.
- [Stoupel, 1999] *Stoupel E.* Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // J. Clinical and Basic Cardiology. 1999. V. 2. P. 34–40.

PHYSIOLOGICAL AND PATHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF SPACE WEATHER INFLUENCE ON HUMAN ORGANISM

Yu. I. Gurfinkel^{1,2}

¹ Scientific Medical Center JSC "Russian Railways"

² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), e-mail: yugurf@yandex.ru

At all variety of a human organism reactions on helio- and geomagnetic activity cardiovascular system and blood represent for us the greatest interest as their interrelation in physiological and pathological processes is evident. Both of them connect so closely that, as a matter of fact, are a certain single whole where one system cannot exist without another. Possibly, for the same reason the effects perceived by one system, are easily transferred to another.

Our earlier studies of 144 patients with coronary heart disease (CHD) have shown: that microcirculation disorders are more severe when changes in a state of patients and complication of disease are more serious. More pronounced changes in microcirculation as appearance of perivascular edema, red blood cell aggregation, delay and slowing down of capillary flow we found during active level of geomagnetic condition in patients with CHD complicated with diabetes and/or myocardial infarction in history, and in patients with manifestations of heart failure than in patients with angina pectoris or in patients with paroxysmal disorders of heart rhythm. Later Gmitrov and Ohkubo (2002) in experiments on animals also found a significant negative correlation between geomagnetic field disturbances and capillary blood velocity (CBV).

Results of these and other researches allow to assume that blood in itself can be a sensor of geomagnetic fields variations because erythrocytes, platelets, and leucocytes bearing electric charge on membranes, in a comparable magnetic field can change as own properties and a properties of blood flow. It is interesting that not only geomagnetic disturbances, but also the periods of *very quiet* geomagnetic conditions affect on a capillary blood velocity, slowing down it.

It was shown during long-term experiment with isolation named "MARS-500" in spatial facility of the Institute of Biomedical Problems in Moscow as imitation of extended space mission to Mars. Using digital capillaroscope "Russia", two crewmembers medical doctors made records of microcirculation parameters at themselves and other four participants of "Martian" team. Capillary records performed before, during and after period of isolation in medical module of MARS-500 facility. At the period of experiment anybody from crewmembers did not know about real geomagnetic conditions. In days of active geomagnetic conditions average CBV has registered as $389 \pm 167 \mu\text{m/s}$, that statistically significant ($p < 0.05$) in comparison of CBV for simply quiet geomagnetic conditions days. We separated quiet geomagnetic conditions on two parts: *very quiet* geomagnetic conditions ($A_{\text{msk}} 1-4$) and simply quiet geomagnetic conditions ($A_{\text{msk}} 5-7$) as our study has revealed a significant difference in values of CBV. Whereas in *simply quiet* geomagnetic conditions CBV has made $643 \pm 178 \mu\text{m/s}$ at *very quiet* geomagnetic conditions CBV gave delay of average CBV: $435 \pm 223 \mu\text{m/s}$ ($p < 0.02$). This phenomenon probably depends on a galactic cosmic rays intensity that rise when solar wind intensity decrease.

СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА К ГЕОМАГНИТНЫМ БУРЯМ И ПОГОДНЫМ АНОМАЛИЯМ

С. Л. Загускин¹, А. К. Крылов², Ю. В. Гуров¹, С. С. Загускина¹

¹ Южный федеральный университет, Научно-исследовательский институт физики, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: zaguskin@gmail.com

² Институт психологии Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: neu.ru@mail.ru

Величина и знак ответной реакции биосистемы на внешнее воздействие зависит от исходного состояния энергообеспечения. Знак дисбаланса внутренних энергозатрат биосистемы и поступления энергии из внешней среды определяет две стратегии адаптации. При дефиците энергии биосистема снижает чувствительность к внешним воздействиям. В фазах ритмов избыточной энергии биосистема способна к активной перестройке структуры, росту и развитию. Чередование этих стратегий адаптации отражает иерархию эндогенных биоритмов биосистемы. Эти биоритмы эволюционно согласованы с привычными ритмами внешней среды. При достаточных резервах саморегуляции и гомеостатической мощности возможна опережающая реакция на сигнатуры внешних воздействий и срочная адаптивная перестройка биосистемы, исключая патологические нарушения в биосистеме. При сниженной буферной ёмкости саморегуляции профилактическая реакция биосистемы на неблагоприятные внешние воздействия оказывается недостаточной и неэффективной.

Универсальным акцептором любых внешних физических воздействий являются ритмы золь-гель-переходов в компартментах клеток. Оценка устойчивости организма человека к космофизическим факторам возможна с помощью нелинейной символической динамики межпульсовых и дыхательных интервалов. Профилактика патологических реакций и повышение устойчивости организма человека к магнитным бурям и погодным аномалиям возможна путём нормализации вегетативного статуса, клеточного иммунитета и спектра ритмов микроциркуляции крови с помощью биоуправляемой хронофизиотерапии.

В исследованиях влияния космической погоды на здоровье организма человека накоплен большой фактический материал [Атьков и др., 2006; Бреус, Рапопорт, 2003; Бреус и др., 2002; Волчек, 2006; Гурфинкель, 2004; Загускин, Загускина, 1995; Мартынюк и др., 2008; Рагульская, Чибисов, 2011; Фролов и др., 1986; Хетагурова, 2010; Чибисов и др., 1998; Halberg, 1969]. Однако многие вопросы остаются дискуссионными. В данной работе предпринята попытка объяснить ряд противоречий и обосновать новые методы диагностики, прогнозирования, профилактики неблагоприятных реакций и устранения десинхронозов организма человека, вызываемых геомагнитными бурями.

Какие внешние факторы, сопровождающие геомагнитные бури, воздействуют на организм человека? Изучены параметры широкого спектра электромагнитных и акустических воздействий, которые изменяются в связи с геомагнитными бурями. Они непосредственно связаны с солнечной активностью и с прямым или опосредованным воздействием солнечного ветра соответственно на магнитосферу, ионосферу, атмосферу, гидросферу и литосферу Земли (рис. 1). Маловероятны или не существенны изменения ионизирующих, гравитационных влияний, короткого ультрафиолета, параметрического влияния галактических излучений, расположения относительно солнечного ветра Луны и планет.

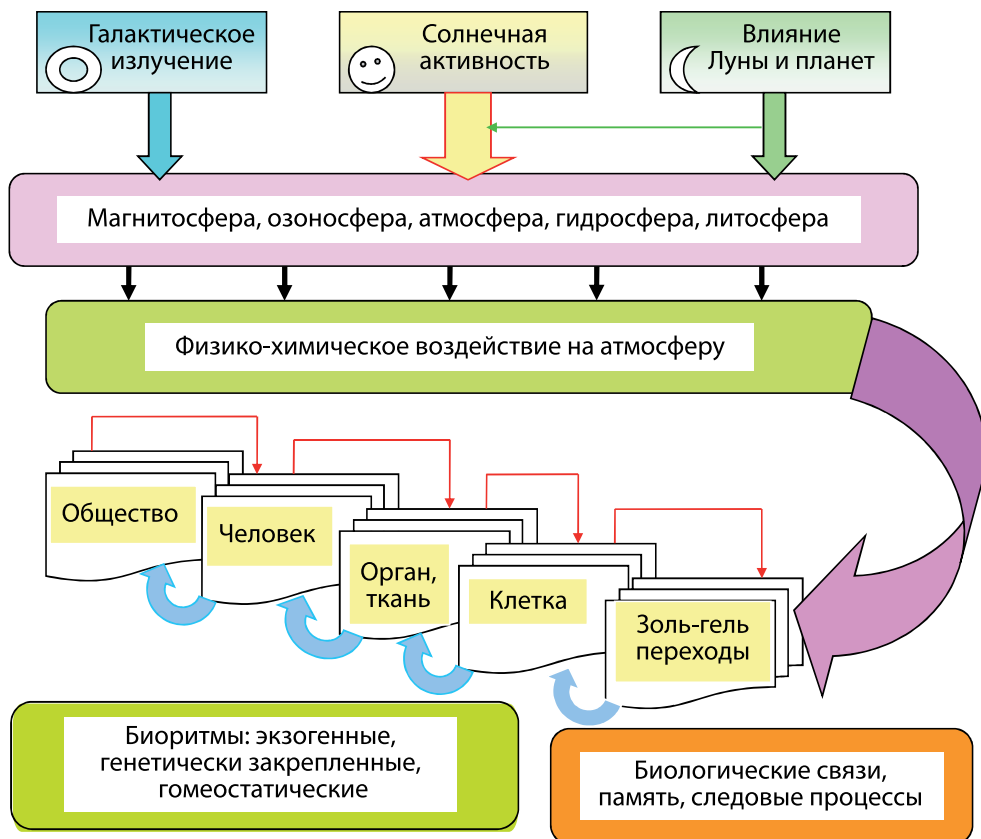


Рис. 1. Схема механизмов влияния космогелиогеофизического воздействия на биосистемы

Вместе с тем известна неоднородность и анизотропия пространства-времени (С.Э. Шноль и др.). Начиная с **Z-излучения (А.Л. Чижевский)** высказаны и другие гипотезы об источниках и природе космических воздействий. Это каналы ударных радиоизлучений из центра Вселенной (А.М. Мишин), космологический векторный потенциал (Ю.А. Бауров), излучения центра Галактики (А.А. Шпитальная, А.М. Мишин, М.И. Кривошей), спирально вихревое излучение, спироны (Г.А. Никольский, Э.О. Шульц), УФ-излучение Солнца 210...265 нм с когерентностью ~0,5 мкм и поперечной поляризацией (Н.Ф. Перевозчиков, В.Ф. Шарихин), γ -излучение Солнца и волны тёмной энергии (А.В. Букалов), всплески тёмной материи (нейтринно ультранизких энергий) при гравитационной фокусировке (А.Г. Пахомов), поляризационная компонента реликтового излучения (И.М. Дмитриевский).

Как влияют геомагнитные бури и различные космические факторы на организм человека? Прямое исследование корреляции изменения физиологических, цитологических и биохимических показателей организма человека с различными индексами солнечной активности, ионосферы и магнитосферы Земли, а также с метеорологическими характеристиками в разные сроки до, во время и после геомагнитной бури разной интенсивности указывает

на сложные нелинейные зависимости, опосредованные изменениями на разных уровнях организма. Прежде всего, не только величина, но даже знак ответной реакции зависит от фазы ритма энергообеспечения ответной реакции биосистемы, исходного состояния организма, его гомеостатической мощности и резервов саморегуляции [Загускин, 1986, 2010; Загускин, Загускина, 2005]. У разных людей неблагоприятные реакции могут не выявляться или выявляться на разных сроках относительно времени геомагнитной бури. Для обоснования ответов на вопросы, *почему неблагоприятные реакции на геомагнитные бури проявляются преимущественно у больных и пожилых людей и при каких условиях*, важно установить наличие у них десинхронозов и снижения за счёт этого устойчивости гомеостазиса к непривычным воздействиям. Выявление фазовых, системных и иерархических десинхронозов у конкретного человека позволяет прогнозировать вероятность неблагоприятных реакций на геомагнитную бурю как на стрессовую нагрузку [Гуров, 2012; Загускин, 1986, 2010; Загускин, Загускина, 2005].

С позиции биологии любые физические и физико-химические сверхслабые воздействия могут восприниматься живой системой, если они эволюционно привычны и имеют сигнальное значение для формирования адекватной, биологически целесообразной ответной реакции. Обнаруженное нами экспериментально на клеточном уровне явление многочастотного параллельного резонансного захвата [Загускин, 1986, 2010; Загускин, Загускина, 2005] объясняет, почему биосистемы обладают высокой помехоустойчивостью наряду с исключительной чувствительностью к эволюционно привычным, биологически значимым многочастотным воздействиям с соотношением частот, соответствующих иерархии периодов биоритмов данной биосистемы. Подобно аккорду в разных октавах важны не абсолютные значения этих частот, а их инвариантное соотношение. Биорезонанс является следствием обучения и закрепления в онтогенетической и филогенетической памяти биосистемы биологических многочастотных кодов. Одночастотные воздействия, даже равные средней частоте одного из биоритмов, демпфируются на ниже и выше лежащих уровнях целостной биосистемы. К воздействиям даже большой плотности мощности биосистемы снижают чувствительность, если они не имеют информационного значения и являются случайными помехами. Сверхпороговые повреждающие воздействия на уровне отдельных молекул и даже отдельных клеток компенсируются в соответствии с гомеостатической мощностью и резервами саморегуляции более высоких уровней организации биосистемы. Геомагнитные бури — один из внешних факторов эволюции биосферы Земли, включая и адаптацию организма человека. Изменения параметров электромагнитных воздействий даже при самых сильных геомагнитных бурях вряд ли достаточны для мутагенных эффектов, но могут и должны отражаться на эпигенетическом уровне.

На что в живой системе действуют внешние физические воздействия?

Согласно нашей гипотезе [Загускин, 2010] универсальным акцептором любых внешних физических воздействий являются ритмы золь-гель-переходов в компартментах клеток (см. рис. 1). **Любые макромолекулы в клетке образуют мицеллы и проявляют конформационные колебания. Они раскручиваются при затратах энергии АТФ, структурируя при этом слои диполей воды (состояние геля), и обратно скручиваются с нарушением упорядоченности**

наружных слоёв воды и образованием хаотической свободной воды (состояние золя). Диффузия веществ в золе на 7 порядков больше, чем в геле, что обеспечивает изменение энергетического и пластического метаболизма, регуляцию функции и чувствительности к внешним воздействиям. При переходе геля в золь энергия поглощается, затрачивается на секвестирование (закачку в депо) ионов кальция. При переходе золя в гель генерируется широкий спектр акустических и ЭМ-излучений. Фазовый переход в каждом компартменте клетки от геля в золь происходит под влиянием излучений от золь-гель-переходов соседних структур, при поглощении гелем внешнего инфракрасного излучения или тепловой диссипации энергии при поглощении внешней энергии другими первичными акцепторами. Переход от золя в гель происходит при увеличении концентрации кальция, высвобождении его из внутриклеточных депо и поступлении из межклеточной среды.

Гипотеза об избирательной чувствительности и соответствии ритмов золь-гель-переходов в клетках эволюционно привычным космофизическим ритмам не противоречит фактам других гипотез (изменения соотношения S-N- и S-S-групп белков, ионов кальция, структурирования воды, роли активных форм кислорода, эффекту Чижевского—Вельхова и др.). Экспериментально изученный нами диапазон периодов ритмов золь-гель-переходов и изменений соотношения золя и геля в разное время суток, сезон года в живых клетках соответствует основным внешним космофизическим ритмам. Эта зависимость выявлена уже на простейших неорганических коллоидных системах (тесты Д. Пиккарди). Одним из условий возникновения жизни, первичной живой клетки были интеграция и согласование ритмов золь-гель-переходов взаимодействующих макромолекул и метаболических циклов. Эволюция жизни — это коэволюция временной организации биосистем и внешней среды, при которой сохраняют устойчивость только биосистемы, в которых достигается согласование иерархии периодов ритмов золь-гель-переходов длительностью от 100 мс до года между собой и с ритмами внешней среды (рис. 2).

Стратегии адаптации биосистем к ритмам космофизических воздействий. Адаптация к геомагнитным бурям может выражаться в снижении чувствительности к непостоянным и случайным компонентам изменения ЭМП Земли и вызываемым ими метеорологическим изменениям. Привычные же, повторяющиеся изменения этих факторов, сопровождающие геомагнитные бури, закрепляются в памяти биосистем. Это означает увеличение чувствительности организма к их сигнатурам с реакцией опережающего отражения. Биологическая целесообразность такого повышения чувствительности состоит в запуске приспособительных реакций, которые уже, наоборот, снижают чувствительность к неблагоприятным внешним воздействиям.

Адаптивное поведение биосистем, включая и организм человека, состоит в чередовании стратегий адаптации — пассивной стратегии экономичности и активной стратегии перестройки с увеличением энергозатрат в соответствии с фазами ритмов поступающей внешней энергии. Первая стратегия целесообразна в фазах ритма снижения энергетического обеспечения биосистемы, в условиях дефицита внешней входной энергии. Вторая стратегия с увеличением энергетических затрат возможна при фазах увеличения внешней энергии.

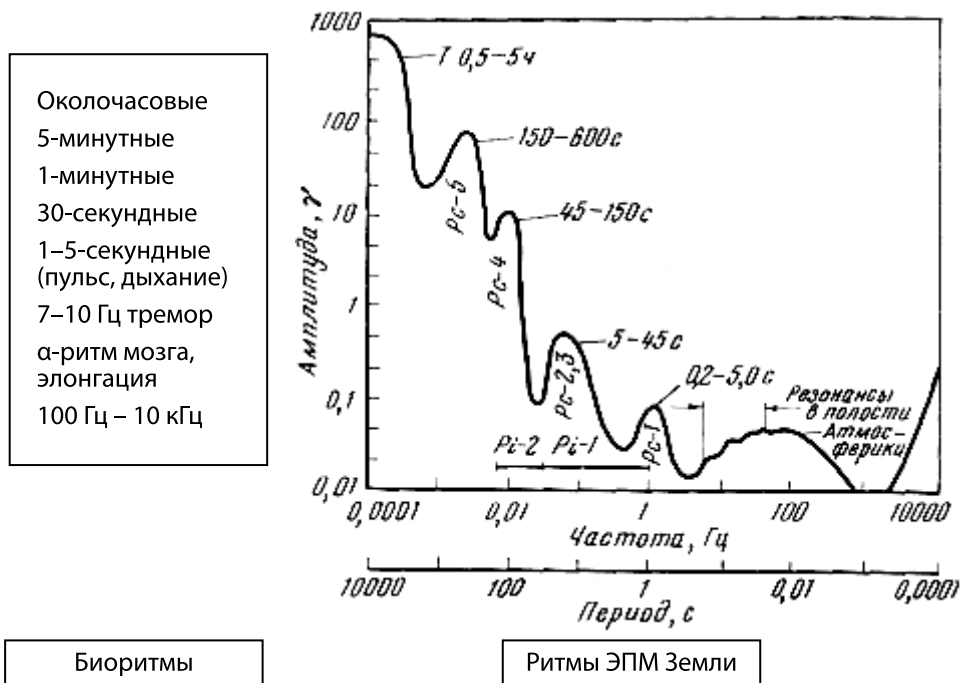


Рис. 2. Соответствие иерархии биоритмов биосистем (от внутриклеточных структур до организма) участку спектра естественных электромагнитных шумов сверхнизких частот [Владимирский, 1980]

Она позволяет использовать дополнительную энергию на увеличения функции, регуляцию и перестройку своей структуры. Смена этих двух стратегий адаптации должна соответствовать смене фаз ритма энергетики биосистемы. Величина и знак ответной реакции биосистемы на внешнее воздействие зависит от исходного состояния энергообеспечения. Знак дисбаланса внутренних энергозатрат биосистемы и поступления энергии из внешней среды определяет преобладание первой стратегии экономичности или второй стратегии активного использования возникающей дополнительной внешней энергии на перестройку, усиление внешних функциональных и структурных процессов и внутренних регуляторных (рис. 3, 4).

При дефиците энергии биосистема снижает чувствительность к внешним воздействиям. В фазах ритмов избыточной энергии биосистема способна к активной перестройке структуры, росту и развитию. Чередование этих стратегий адаптации отражает иерархию эндогенных биоритмов биосистемы. Эти биоритмы эволюционно согласованы с привычными ритмами внешней среды. При достаточных резервах саморегуляции и гомеостатической мощности возможна опережающая реакция на сигнатуры внешних воздействий и срочная адаптивная перестройка биосистемы, исключающая патологические нарушения в биосистеме. При сниженной буферной ёмкости саморегуляции профилактическая реакция биосистемы на неблагоприятные внешние воздействия оказывается недостаточной и неэффективной. Адаптация биосистемы к внешней среде и коррекция биоритмов состоит в сдвиге фаз смены первой и второй стратегий адаптации.

Фаза околосуточных биоритмов биосистемы N уровня подстраивается за счёт изменений степени синхронизации околочасовых ритмов $N-1$ -уровня [Загускин, 2010]. Универсальный для биосистем любого уровня энергетический критерий адаптации и направленности биологических процессов для выходной регуляции энергобаланса вычисляется как интеграл отношения внешних функциональных и структурных затрат к внутренним регуляторным, а для входной регуляции энергобаланса — как интеграл отношения индуцированной энергии к энергии основного обмена. В фазу ритма преобладания первой стратегии экономичности уменьшаются числитель и в большей степени знаменатель. В фазе второй стратегии растёт и числитель, и знаменатель, но числитель растёт сильнее (см. рис. 3). Любые фазовые, системные или иерархические десинхронозы снижают энергетическую оптимальность и эффективность структурно-функциональных и регуляторных процессов. Если десинхронозы сохраняются больше длительности соответствующего переходного процесса и выходят за пределы допустимых отклонений гомеостатической регуляции параметров, то они становятся уже не адаптивными, а патологическими и вызывают элиминирование биосистем $N-1$ -уровня (см. рис. 3, 4).

Как выявлять десинхронозы и прогнозировать неблагоприятную реакцию? Фазовые десинхронозы обычно определяют по отклонению параметров околосуточных биоритмов (амплитуды, периода) и появлению двух и трёх максимумов (ультрадианных колебаний). Для более варьирующих по периоду быстрых биоритмов определяют системные десинхронозы. Они рассматриваются нами как рассогласование соотношения ритмов подсистем одного уровня, но разных периодов, например ритмов сердца и дыхания [Загускин, 2010]. Соответственно, системный десинхроноз оценивался нами по отклонению от нормы отношения частоты пульса к частоте дыхания. Оказалось, что у пожилых практически здоровых людей по сравнению с молодыми практически здоровыми людьми дисперсия этого отношения больше и чаще выходит за нормальный диапазон от 3 до 5. Оценка иерархических десинхронозов и устойчивости организма человека к нарушениям иерархии космофизических ритмов возможна с помощью нелинейной символической динамики межпульсовых и дыхательных интервалов [Гуров, 2012].

Хронодиагностика с использованием нелинейной символической динамики позволяет не только диагностировать, но и прогнозировать неблагоприятные реакции организма человека [Гуров, 2012]. Динамика соотношения симпатической и парасимпатической регуляции рассматривается как чередование двух её фаз с оценкой количества событий в каждой фазе. Динамику сокращений сердца можно разбить на фазы повышения частоты сокращения, что соответствует преобладанию симпатического тонуса, и снижения частоты сокращения, что соответствует преобладанию парасимпатического тонуса, и в каждой фазе посчитать число ударов сердца (обычно от 1 до 4). Переход от одной фазы к другой можно закодировать символом в зависимости от того, сколько ударов было в предыдущей и последующей фазе. В случае динамики сердечных сокращений оказывается достаточным 25 символов. Тогда вся динамика функционирования подсистемы описывается словом, состоящим из этих символов. Изучение особенностей такого языка функционирования подсистемы является самодостаточным методом и позволяет проводить диагностику.

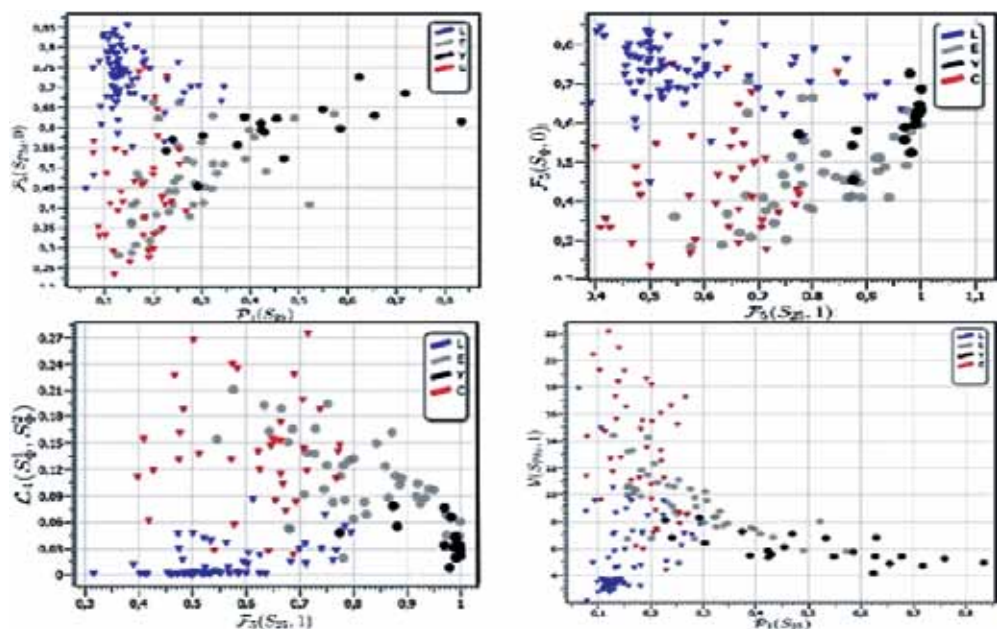


Рис. 5. Диаграммы рассеивания для различных показателей символических строк S_{25} , S_{ϕ} . Черные кружки — молодые здоровые люди. Серые кружки — пожилые здоровые люди. Красные треугольники — больные с застойной сердечной недостаточностью. Синие треугольники — больные с мерцательной аритмией

С помощью ряда показателей символической динамики (объёмы словарей, условная энтропия и коэффициенты подобия) нами были выявлены характерные особенности различных состояний организма, таких как старение или патологии (рис. 5). Оказалось, что для молодых здоровых испытуемых характерно большее разнообразие слов по сравнению с пожилыми здоровыми и с больными, причём основную роль в динамике функционирования подсистемы играют более короткие слова. Данный метод наряду с оценкой параметров ритмов показателя избыточности может оказаться полезным для ранней диагностики и прогнозирования неблагоприятных реакций у больных людей на магнитные бури.

Как обеспечить профилактику, реабилитацию и лечение при неблагоприятных реакциях на геомагнитные бури? Профилактика патологических реакций и повышение устойчивости организма человека к магнитным бурям и погодным аномалиям возможна путём разработанных нами методов нормализации сна, вегетативного статуса, клеточного иммунитета и спектра ритмов микроциркуляции крови с помощью биоуправляемой хронофизиотерапии [Загускин, 2010; Загускин, Загускина, 2005]. Эти способы и их связь с естественными способами профилактики и устранения десинхронозов представлены на схеме (рис. 6).

Критерии успешности адаптации организма человека к геомагнитным бурям. Предварительные результаты исследований, проведённых на четырёх добровольцах молодого и пожилого возраста, позволяют предположить наличие

сигнатурной реакции перед магнитной бурей, которая исключает неблагоприятные реакции во время и после магнитной бури. У всех испытуемых перед началом геомагнитных бурь (изучены реакции на 6 геомагнитных бурь в период с 28.12.2011 по 16.04.2012) обнаружено увеличение золь относительно геля в клетках буккального эпителия. Увеличение золь относительно геля указывает на усиление метаболизма и наличие опережающей активной профилактической реакции, направленной, вероятно, на снижение чувствительности к геомагнитной буре. Отсутствие достоверного различия со средним соотношением золь и геля у данных людей в обычные дни во время и после геомагнитной бури подтверждает это предположение об успешной преднастройке и успешной адаптации. Аналогично за сутки или меньше до начала геомагнитной бури обнаружено при анализе межпульсовых, дыхательных интервалов и их отношения увеличение амплитуды и периода колебаний показателя избыточности (единица минус отношение экспериментальной энтропии интервалов к максимальной энтропии, за которую принимали равномерное распределение длительностей интервалов или их отношения). Достоверных отличий этого показателя во время геомагнитной бури и через сутки после её окончания не обнаружено. Ранее аналогичное изменение параметров ритмов показателя избыточности обнаружено ретроспективно за 1 или даже 2 часа до наступления у больных максимальной аритмии или ишемии сердца по данным холтеровского кардиомониторирования. Сходные изменения параметров ритмов показателя избыточности наблюдаются и у здоровых людей после эмоциональной или физической нагрузки, что можно трактовать как усиление напряжённости регуляции кислородтранспортных систем организма.

Работа поддержана фондом РГНФ (грант № 11-06-00482).



Рис. 6. Схема хронодиагностики, профилактики неблагоприятных реакций организма человека на непривычные внешние воздействия и устранения десинхронозов

ЛИТЕРАТУРА

- [Атьков и др., 2006] *Атьков О. Ю., Рогоза А. Н., Рябыкина Г. В., Бреус Т. К., Рапопорт С. И.* Эффекты геомагнитной активности у кардиологических больных // Космич. погода: её влияние на человека и биологические объекты: Материалы Международ. конф. 2006. С. 14–15.
- [Бреус, Рапопорт, 2003] *Бреус Т. К., Рапопорт С. И.* Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты. М.: Советский спорт, 2003. 192 с.
- [Бреус и др., 2002] *Бреус Т. К., Чибисов С. М., Баевский Р. М., Шебзухов К. В.* Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М.: Изд-во РУДН, 2002. 232 с.
- [Владимирский, 1980] *Владимирский Б. М.* Биологические ритмы и солнечная активность // Проблемы космической биологии. Т. 41. М.: Наука, 1980. С. 289–315.
- [Волчек, 2006] *Волчек О. Д.* Геокосмос и человек. СПб.: Изд-во РГПУ, 2006. 331 с.
- [Гуров, 2012] *Гуров Ю. В.* Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2012. 20 с.
- [Гурфинкель, 2004] *Гурфинкель Ю. И.* Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. М.: ИИКС «Эльф-3», 2004. 170 с.
- [Загускин, 1986] *Загускин С. Л.* Биоритмы: энергетика и управление: Препринт ИОФАН. М.: ИОФАН, 1986. N236. 56 с.
- [Загускин, 2010] *Загускин С. Л.* Ритмы клетки и здоровье человека. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2010. 292 с.
- [Загускин, Загускина, 2005] *Загускин С. Л., Загускина С. С.* Лазерная и биоуправляемая квантовая терапия. М.: Квантовая медицина, 2005. 220 с.
- [Загускин, Загускина, 1995] *Загускин С. Л., Загускина Л. Д.* Устойчивость и чувствительность биологических процессов к внешним космофизическим факторам // Биофизика. 1995. Т. 10. Вып. 5. С. 1117–1120.
- [Мартынюк и др., 2008] *Мартынюк В. С., Темурьянц Н. А., Владимирский Б. М.* У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. Киев, 2008. 212 с.
- [Рагульская, Чибисов, 2011] *Рагульская М. В., Чибисов С. М.* Биотропное воздействие космической погоды: новые направления исследований // Владикавказский медико-биологический вестн. 2011. Т. 12. Вып. 19. С. 141–150.
- [Фролов и др., 1986] *Фролов В. А., Чибисов С. М., Казанская Е. А.* О возможном механизме наступления внезапной сердечной смерти во время геомагнитной бури // Патологическая физиология. 1986. № 3. С. 31–33.
- [Хетагурова, 2010] *Хетагурова Л. Г.* Стресс. Владикавказ: Проект-Пресс, 2010. 192 с.
- [Чибисов и др., 1998] *Чибисов С. М., Овчинникова Л. К., Бреус Т. К.* Биологические ритмы сердца и «внешний» стресс. М.: Изд-во РУДН, 1998. 288 с.
- [Halberg, 1969] *Halberg F.* Chronobiology // Annu. Rev. Physiology. 1969. V. 31. P. 675–725.

HUMAN ORGANISM ADAPTATION STRATEGIES TO GEOMAGNETIC STORMS AND WEATHER ANOMALIES

S. L. Zaguskin¹, A. K. Krylov², Y. V. Gurov¹, S. S. Zaguskina¹

¹ Southern Federal University, Institute of physics, Rostov-on-Don, Russia,
e-mail: zaguskin@gmail.com

² Institute of psychology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
e-mail: neuru@mail.ru

Sign of imbalance of internal energy biosystems and energy from the external environment defines two adaptation strategies. Biosistema energy deficit reduces sensitivity to external shocks. In phases of rhythms excess energy biosystema is capable of actively restructuring, growth and development. The alternation of these adaptation strategies reflects a hierarchy of endogenous biorhythms of biosystems. These biorhythms evolutionarily agreed with familiar rhythms of the external environment. When sufficient reserves of self-control and homeostatic power can be followed by a reaction to the signatures of external influences and an adaptive biosystems, excluding pathological abnormalities in biosysteme. When a reduced buffer capacity of self-control preventive response to adverse external influences biosystems is insufficient and ineffective. Universal acceptor any external physical effects are the rhythms of sol-gel transitions in cells compartments. Evaluation of the sustainability of human organism to cosmophysical factors possible using nonlinear symbolic dynamics of pulse and breathing intervals.

БИОТРОПНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: МИФЫ, РЕАЛЬНОСТЬ И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

М. В. Рагульская¹, В. Н. Обридко¹, С. М. Чибисов²

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия, e-mail: ramary2000@yahoo.com, obridko@mail.ru

² Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия, e-mail: kalcna@mail.ru

Рассматриваются современное состояние сведений о воздействии космической погоды на биосферу и перспективы развития этой области науки в ближайшие 30 лет. Приводятся результаты длительного биомедицинского мониторинга, проводимого ИЗМИРАН в 1998–2012 гг., и телекоммуникационного российско-украинского проекта ГЕЛИОМЕД 2006–2011 гг. На базе результатов пространственно-распределенной сети мониторинга 1998–2012 гг. (от Якутска до Симферополя, более 500 000 измерений) проводится анализ программ индивидуальной и социальной адаптации организма человека к современным низкоэнергетичным космогеофизическим факторам; рассматриваются особенности адаптации и смены режимов в зависимости от фазы цикла солнечной активности и сезона года за 14 лет мониторинга ИЗМИРАН на базе постоянной группы обследуемых; высказывается гипотеза об атавистическом характере таких эффектов. Описывается новая теоретическая модель динамики сердца человека под воздействием внешней вынуждающей силы и параметрических шумов, позволяющая адекватно описать совокупность экспериментально наблюдаемых фактов. Рассматриваются основные мифы о биотропном воздействии космической погоды и причины их возникновения. В качестве практического приложения исследований предлагается технология телекоммуникационного скрининга здоровья населения России, базирующаяся на грид-технологиях. Рассматривается роль современных гелиобиологических исследований в решении задач о роли древнего Солнца на ранних этапах зарождения и эволюции биосферы, а также возникающие в связи с этим новые направления исследований.

ВВЕДЕНИЕ

В 2004 г. на конференции в Пущине по воздействию космической погоды на организм человека один из представителей биологического факультета МГУ остроумно отметил, что если физиков обучают отвечать на вопрос «Как?», то доля биологов — отвечать на вопрос «Зачем?». Высказывая полное согласие с этой мыслью, хотелось бы отметить, что физики, занимающиеся изучением воздействия внешних физических факторов на биологические объекты, вынуждены отвечать на оба эти вопроса сразу. Ответ даже на один из вопросов в данной области знаний уже представляет собой нетривиальную задачу, сочетание их вместе возводит сложность в квадрат и бросает вызов пытливому уму учёных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первый вопрос, возникающий задолго ДО начала исследований биотропного воздействия космической погоды, — как методологически грамотно и максимально эффективно организовать исследования существенно нелинейного объекта исследований, изменяющего свои характеристики под воздействием

существенно нелинейных параметров внешней среды? К сожалению, при исследовании механизмов воздействия космогеофизических факторов на различные уровни биосферы нельзя посмотреть «абы что» из имеющегося в доступности у экспериментатора исследуемого материала и приборов для того, чтобы сравнить его «абы как» и «чем умею» с «абы чем» (что имею). Результат будет недостоверным и невозпроизводимым. И в первую очередь — из-за высокого уровня шумов, низкого уровня сигнала и, как уже отмечалось, нелинейности наблюдающихся взаимосвязей. И если для медицины, имеющей дело с конкретным человеком, это не является серьёзной помехой, то для медицинской физики, биофизики и гелибиологии, как наук, нацеленных на поиск общепопуляционных закономерностей, создание грамотной и максимально полной базы данных, свободной от субъективного влияния экспериментатора на процесс сбора этих данных, является принципиально важной.

Повышение объективности и углубление понимания происходящих процессов для биомедицинских экспериментов возможно путём введения дополнительных системных координат:

- *временной* (проведение длительного мониторинга на группе обследуемых постоянного состава);
- *пространственной* (создание распределённой по поверхности земного шара телекоммуникационной сети съёма первоначальной информации).

Наш опыт показывает, что для обеспечения полноты и воспроизводимости результатов мониторингов также необходимо выполнение *восьми одно-временных требований к технологии подобных экспериментов*: требований длительности общего времени пространственно-распределенного мониторинга в сочетании с единством места, времени суток, оборудования, а также неинвазивности и постоянства группы обследуемых, с оптимизацией длительности и скважности единичного шага измерений в соответствии с набором характерных времён изучаемых внешних факторов.

К сожалению, существует крайне ограниченное число неразрушающих методик, позволяющих проводить длительные эксперименты по изучению переходных процессов в изменениях функционального состояния организма человека. В качестве регистрируемых функциональных параметров в наших мониторингах были выбраны следующие измерения:

- ежедневная регистрация у постоянной группы обследуемых артериального давления и пульса (более 50 000 измерений);
- определение электрической проводимости биологически активных точек на коже человека (более 500 000 измерений);
- оценка субъективного состояния (физическое, эмоциональное, интеллектуальное);
- четырехкратные ежедневные измерения параметров 1-го отведения электрокардиограммы (ЭКГ) (рука — рука) (более 50 000 измерений) под различными типами внешней индуцированной нагрузки: в состоянии покоя, в состоянии после психотеста, в состоянии после физической нагрузки пробой Руфье, после 10 мин отдыха;
- регистрация вариабельности сердечных сокращений;
- построение фазовых портретов эталонного кардицикла (компьютерный комплекс «Фазаграф-М», более 12 500 измерений).

Ежедневные измерения сотрудниками ИЗМИРАН дополнялись исследованиями, проводимыми в рамках российско-украинского проекта ГЕЛИОМЕД (реализуемого на едином оборудовании, по единому протоколу и регистрацией параметров в единой он-лайн базе данных) в Москве, Якутске, Саратове, Киеве, Симферополе. Авторы выражают огромную благодарность В.В. Вишневному, С.Н. Самсонову, П.Е. Григорьеву и всем остальным участникам проекта, и позволяют себе привести в данном докладе некоторые материалы из совместных статей (сайт проекта ГЕЛИОМЕД: <http://gelimed.immisp.kiev.ua>).

Итак, оригинальные особенности описываемых экспериментов состояли в следующем.

1. Выбор в качестве основного объекта исследования функционально здорового человека. До наших работ эта наиболее массовая часть населения оказывалась вне зоны научного рассмотрения с точки зрения физики солнечно-земных связей. В целях максимального обобщения результатов мониторинга функционально здоровым считался человек, выходящий на работу и адекватно выполняющий свои профессиональные обязанности.

2. Изучение выбранного биообъекта одновременно на нескольких уровнях организации (коллония клеток — отдельный орган — организм в целом — социально-организованный коллектив людей — общепопуляционная сеть научных групп).

3. Фиксирование выбранного объекта и проведение длительного ежедневного мониторинга психофизиологических параметров *постоянной* группы обследуемых.

4. Проведение одновременного биофизического мониторинга в разноширотных пунктах (по единой методике и на единой приборной базе) для нивелирования местных особенностей и доказательства планетарного характера наблюдаемых эффектов.

5. Изучение выбранного объекта при совокупном воздействии провоцирующей физической /психологической нагрузки и вариаций гелио- и геофизических полей.

6. Пионерское использование и разработка неразрушающих методов и приборов для проведения длительного биофизического мониторинга с постоянными объектами исследования.

7. Оригинальная методика работы с усреднёнными биофизическими данными для увеличения соотношения (полезный сигнал/шум) за счёт обнуления случайных выбросов параметра и усиления неслучайных сигналов, что позволило сравнивать между собой результаты различных экспериментов.

8. Обработка сигнала ЭКГ в фазовом пространстве, что позволяет проводить анализ индивидуальной динамики сердца в различные моменты времени, а также сравнительный анализ ЭКГ различных обследуемых с использованием математического аппарата нелинейной динамики.

Подробное описание технологии проведения эксперимента и аппаратуры, а также данные можно найти на сайте гелиоэкологического сектора ИЗМИРАН.

При проведении анализа полученные временные ряды сравнивались с ежедневными значениями числами Вольфа (W), атмосферного давления

(Р), индексов, характеризующих возмущённость геомагнитного поля (А) и космических лучей, полученными по базе данных ИЗМИРАН (авторы выражают огромную благодарность А. В. Белову за предоставление авторской методики оценки суточного индекса космических лучей). Данные об изменении параметров внешней среды, таких как индексы интенсивности магнитного поля Земли, атмосферное давление, температура, индекс космических лучей, интенсивность радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см, числа Вольфа, брались с сайта ИЗМИРАН (www.izmiran.ru) и из данных ближайших к местам проведения мониторинга обсерваторий. Полученные экспериментальные ряды биофизических данных сравнивались с рядами геофизических данных с помощью стандартного пакета программ Statistica (текущие ряды данных), а также с помощью математических программ, специально написанных сотрудником ИЗМИРАН кандидатом физико-математических наук Е. А. Руденчиком для интерпретации результатов эксперимента по выбросам биологических и геофизических рядов данных (статистический анализ ряда событий). Численное моделирование динамики реальных ЭКГ проводилось по методике доктора физико-математических наук В. В. Пипина.

Что именно позволяет увидеть распределённый в пространстве мониторинг физиологических параметров и зачем нужно сознательно так усложнять процесс сбора данных?

1. *Распределённый мониторинг позволяет проводить поддержку и автоматизацию локальных научно-исследовательских мониторинговых измерений с полным отделением процесса обработки первичных данных от мест и непосредственных участников сбора первичной информации.*

При полной автоматизации процесса съёма и обработки информации и разнесения этих процессов во времени и пространстве учёные, имеющие квалифицированную информацию об особенностях протекания медицинских и физических процессов, не имеют возможности изначальной обработки данных и, соответственно, вольного или невольного влияния на них. Благодаря такому «двойному слепому методу» и одновременному получению данных из разных географических точек, существенно возрастает объективность самого мониторинга и получаемых в результате его закономерностей поведения изучаемых сложных макросистем. Другими словами, в эксперимент вводится внутренний аудит данных измерений.

2. *Распределённый мониторинг позволяет разделить локальные (метеопараметры, длина светового дня, местные экологические и социальные факторы) и общепланетарные факторы (собственно космическую погоду).*

Таким образом, можно ответить на вопрос, существуют ли общепланетарные агенты влияния солнечной активности на организм человека, и какие именно факторы из комплексного воздействия солнечной активности на различные оболочки Земли являются максимально биоэффективными?

3. *Распределённый мониторинг позволяет определить, чем в действительности обуславливаются сезонные обострения хронических заболеваний: перестройкой атмосферных параметров окружающей человека среды при переходе зима — лето или повышением геомагнитной активности в периоды равноденствия?*

Кроме того, только длительный многолетний разноширотный мониторинг функционально здоровых обследуемых позволяет ответить на вопрос,

как существующие мифы о страшных и ужасных магнитных бурях могли сформироваться? А также — зачем они поддерживаются?

МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Как ни странно, проще всего ответить на вопрос «Зачем?». Причин тут несколько.

1. *Причина 1 — идеалистическая.* Как и любой миф, если он возникает и приживается в социуме, — значит, на то есть общественная потребность.

Советское и постсоветское общество отвергло привычную дуалистическую религиозную картину мира. Рай и ад в качестве моральных регуляторов потеряли своё значение, а место религии заняла наука. Но человек не может существовать в мире без ограничений. Для психической устойчивости ему обязательно надо знать, до какой степени можно «нагнать» в общении с природой и своим телом, чтобы не получить от судьбы по всему, что излишне высовывается за границы приемлемого. Одобрённый наукой, миф о негативном влиянии магнитных бурь на «сырых и убогих кардиологических больных» как нельзя более кстати расставил границы допустимого экспериментирования над собственным организмом. Кроме того, всё по тому же выраженному общественному мнению, нормальному человеку проблемы с сердечно-сосудистой деятельностью достаются исключительно после длительного неправильного образа жизни, т. е., выражаясь старой религиозной терминологией, — за те же грехи. Кара небесная заменилась карой научной (но тоже — не менее небесной), что общественное сознание всегда принимало очень охотно.

2. *Причина 2 — практическая.* За всё, что пугает, платят больше. А поскольку наука содержится обществом, при прочих равных условиях общество всегда будет выделять финансирование на тот проект, в котором изучается явление, вызывающее опасение (но при условии исследования возможности контроля над таким явлением или обеспечении минимизирования неприятных последствий). Так, по признанию одного из авторов адронного коллайдера, деньги на проект ЛНС удалось получить, когда широкой публике пообещали сделать в лабораторных условиях «маленькую управляемую чёрную дыру».

3. *Причина 3 — объективная.* Как уже говорилось выше, изучение биотропного воздействия космической погоды — задача нетривиальная. Сложность экспериментальных исследований биологических систем заключается в существенно нелинейном, а временами и стохастичном поведении исследуемых объектов, значительной роли фоновых шумов и провоцируемых внешними воздействиями процессов самоорганизации внутри системы. Ограниченные по времени эксперименты и локальные базы данных предоставляют большую свободу интерпретации даже для самых объективных учёных.

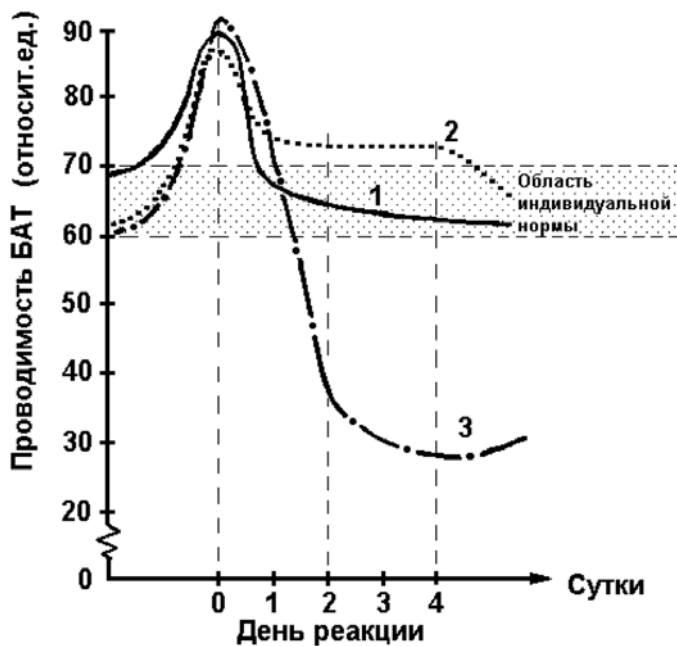
Рассмотрим основные мифы и сопоставим их с реальным положением вещей, которое выявляется при длительных мониторингах в различных географических точках, проводимых по единому протоколу и на едином оборудовании, т. е. ответим на вопрос, как они формируются даже при объективном анализе локальных биологических данных недостаточной длины.

Миф № 1: к магнитным бурям чувствительны только больные люди

Реальность: к вариациям космофизических факторов и магнитного поля Земли чувствительны ВСЕ здоровые люди, причём амплитуда и длительность их реакции превышает аналогичные параметры у больных (рис. 1).

Каким образом возможно возникновение мифа № 1? Дело в том, что реакция здорового организма на космогеофизические вариации состоит из трёх фаз: фазы активации и синхронизации, фазы переструктурирования и фазы релаксации. На рис 1 из статьи [Рагульская, Хабарова, 2001] приведена характерная вариация проводимости биологически активных точек кожи человека под воздействием внешних факторов (усреднение за 1998–2001 гг. наблюдений, 80 000 измерений).

Первая фаза (1-е сутки) обычно сопровождается лёгкой эйфорией и творческим подъёмом, а потому субъективно не ощущается. Вторая фаза у здоровых людей с удовлетворительными адаптивными возможностями также протекает бессимптомно (2–3-и сутки), а у больных людей с нарушенной адаптацией проявляется десинхронизация в работе и времени восстановления здоровых и больных органов.



Характерный вид амплитудных изменений проводимости БАТ обследуемых при реакции на магнитную бурю:

- 1- практически здоровый человек;
- 2- реакция организма с острым воспалением;
- 3- реакция хронически больного человека.

Рис. 1. Характерная вариация проводимости биологически активных точек (БАТ) кожи человека под воздействием внешних факторов (усреднение за 1998–2001 гг. наблюдений, 80 000 измерений)

Состояние десинхронизации фиксируется как субъективно, так и объективными измерениями психофизиологических характеристик и медицинских показателей. Именно во второй фазе регистрируется максимальное число вызовов скорой медицинской помощи и смертельных случаев. Фаза релаксации (4–6-е сутки) у больных людей также протекает более длительно и симптоматично. Поэтому, при полной аналогичности, реакция на геокосмофизические факторы долгие годы статистически регистрировалась только среди больных людей. И только длительные мониторинговые эксперименты по ежедневной регистрации физиологических показателей постоянной группы здоровых людей позволили выявить реальную картину.

Проведённый одновременно в разных городах эксперимент показал всеобщий и одновременный в пределах суток характер наблюдаемой приспособительной реакции на вспышечные процессы на Солнце и сопровождающие их изменения сверхнизкочастотной составляющей магнитного поля Земли, а также увеличение амплитуды реакции обследуемых и относительного количества реагирующих при увеличении географической широты проведения биофизического мониторинга. При этом амплитуда адаптационных возможностей обследуемых также увеличивается по мере возрастания географической широты проживания и при увеличении степени дискомфорта внешних условий (до 40 %). Так, в работе [Khabarova, Dimitrova, 2009] показано, что жители Москвы, привыкшие к плохому климату нашей столицы, лучше переносят перепады атмосферного давления и температуры, чем избалованные хорошей погодой жители Софии. Данный фактор оказывается значимым при анализе степени влияния погодных и космогеофизических факторов, поскольку их соотношение существенно зависит от географической широты проведения мониторинга. *В северных районах более существенным оказывается вклад космогеофизических факторов, в южных районах основным биотропным фактором для большинства населения являются резкие изменения погодных условий.*

Миф № 2: реакция на магнитные бури начинается на 2–3-и сутки после начала бури

Реальность: данные длительных мониторингов свидетельствуют, что массовая популяционная реакция здоровых людей начинается за 1 сутки ДО начала магнитной бури, в течение 1–2 суток от начала геоэффективной солнечной вспышки. Сдвиг полученных многолетних статистических массивов даже на 1 сутки вперед-назад разрушает корреляционные связи между медицинскими и геофизическими показателями.

Причина возникновения мифа № 2 тесно связана с особенностями описанной в мифе № 1 адаптивной реакции. Дело в том, что реальное начало реакции у основной массы населения протекает бессимптомно и регистрируется только специальными мониторингами. А вторые сутки после начала магнитной бури — это те самые 2–3-и сутки начала второй фазы адаптивной реакции с проявлениями десинхронизации и субъективного ухудшения самочувствия больных людей. Именно на это время приходится статистически регистрируемый максимум вызовов скорой медицинской помощи, что в литературе не совсем верно интерпретируется в качестве начала адаптивной реакции. Поскольку не все магнитные бури одинаково биоэффективны, благодаря

«эффекту запаздывания» возможно использование здоровых людей как детекторов биоэффективного космогеофизического воздействия. А на разнице в 2–3 суток между действительным началом реакции и массовыми обращениями населения за медицинской помощью возможно построение системы превентивного оповещения медицинских учреждений о днях повышенной нагрузки (аналогично службе метеопрогноза). О возможности и технологическом обеспечении такой системы будет рассказано ниже.

Миф № 3: основной мишенью является сердечно-сосудистая система

Реальность: мишенью десинхронизации во второй фазе становится любой больной орган, чьё время релаксации не соответствует общему времени релаксации организма. А реакция сердца является запаздывающей на сутки по сравнению с симпатoadреналовой системой.

Причина возникновения мифа: в отличие от нестрашного текущего обострения астмы или язвы, больное сердце — наиболее частая причина смерти.

Миф № 4: есть магниточувствительные и магнитонечувствительные люди, магниточувствительны в основном люди старшего возраста

Реальность — поскольку геокосмофизические факторы являются факторами естественной синхронизации внутренних ритмов, магниточувствительными являются все, причём наиболее ярко все три фазы адаптивной реакции выражены именно у здоровых людей 25...45 лет. При этом 10...20 % процентов населения в периоды минимума солнечной активности отслеживает даже невозмущённое магнитное поле Земли с коэффициентом корреляции до 0,9, и этот процент сохраняется постоянным от Якутска до Симферополя.

Миф № 5, основной: магнитная буря — зло для человечества

Реальность: магнитная буря — не зло и не добро, а объективный синхронизатор внутренних ритмов отдельного человека и социума в целом. Длительные мониторинги, проведённые в 1998–2010 гг., показали, что при отсутствии магнитных бурь более 1 мес субъективное и объективное состояние здоровых обследуемых ухудшается.

Каков удельный вес аналитической ошибки в задачах биотропного воздействия космической погоды, протекающей из-за недостаточной длины исходного ряда? Анализ, проведённый В. В. Вишневским и А. С. Сычёвым, показал, что в зависимости от выбора методики аппроксимации исходных данных расхождение составляет до 25 %. Подробное описание сравнительного анализа приведено в главе 1 коллективной монографии «Биотропное воздействие космической погоды» [Биотропное..., 2010].

Таким образом, если градиент наблюдаемых адаптационных изменений ниже этой величины, пики адаптационной кривой могут быть неправильно идентифицированы. В первую очередь это касается первого пика, соот-

ветствующего процессам первичной подстройки и синхронизации, наиболее полно проявляющегося у здоровых людей. У хронических больных, особенно с нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы, он выражен слабее и может быть утерян при анализе. Функциональная реакция организма на геомагнитные и погодные вариации окружающей среды является неспецифической и протекает по единому сценарию для всех космогеофизических факторов, т.е., согласно законам физики и физиологии, в ней *всегда присутствуют все три характерные фазы* адаптационной стресс-реакции. Это стандартная генетическая программа последовательности действий: за пунктом 1 следует пункт 2., за пунктом 2 — пункт 3, и организм не может по своему желанию (или желанию исследователя) переставить блоки местами или пропустить какой-то из них. Но может варьироваться амплитуда и длительность каждой из фаз. При недостаточности адаптационных резервов или болезни обычно резко уменьшается амплитуда и длительность именно первой фазы синхронизации (с последующим увеличением амплитуды и длительности второй фазы, вплоть до системной десинхронизации и летальных исходов). При недостаточной длине ряда или небольшом количестве участников мониторинга неправильная идентификация или неадекватный метод аппроксимации исходных данных приводит к существенному изменению результатов анализа.

Можно ли оценить минимально необходимую длительность космобиофизического мониторинга и размер требуемой минимальной группы? По данным биомедицинского мониторинга ИЗМИРАН, за 2005 год на индивидуальный ряд длиной 200...250 измерений в среднем приходилось около 30 выбросов физиологических параметров, что примерно совпадает с количеством резких изменений космо- и геофизических факторов. Таким образом, ряд длиной в 50 измерений из-за неравномерности распределения по временной шкале содержит от 4 до 6 выбросов, что, согласно теореме Котельникова, уже позволяет делать некоторые заключения о случайности — неслучайности их появления. Поэтому для непрерывных ежесуточных мониторинговых измерений одного обследуемого именно 50...55 отсчётов имеет смысл рассматривать как границу адекватности аппроксимации наблюдаемого ряда. Для воспроизводимости реакции количество мониторируемых обследуемых (при условии постоянства группы) на широтах Апатит и Якутска должно составлять не менее 8 человек, на широтах Москвы и Киева — не менее 10 человек, на широтах Симферополя, Баку и Софии — не менее 15.

Таким образом, как показали многолетние мониторинговые исследования авторов, многие представления о воздействии космической погоды на биосферу, активно обсуждаемые журналистами и обществом, являются мифами. Появление артефактов в основном связано с недостаточной длиной экспериментальных рядов данных, имеющихся в распоряжении исследователей. Роль космогеофизических факторов в эволюционной адаптации живых систем крайне разнообразна. Для описания полноты картины необходимо подчеркнуть, что космогеофизические факторы:

- выступают в качестве слабого тренирующего фактора для адаптационно-устойчивых членов популяции;
- служат каналом отбраковки нежизнеспособных членов популяции;
- обеспечивают синхронизацию индивидуальных времён биообъектов при взаимодействии между собой;

- являются синхронизатором общих ритмов популяции;
- создают условия для генерации новой информации в процессе эволюционной адаптации биосистем в целом.

МОНИТОРИНГОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ: СЕЗОННЫЕ И 11-ЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ

Одним из серьёзных вопросов многолетних мониторинговых исследований постоянных групп обследуемых является вопрос о сезонных трендах физиологических параметров, а также о тенденциях их изменения в различных фазах солнечного цикла.

Наши исследования показывают, что наибольшая корреляция наблюдается в осенне-весенний период времени. На рис. 2 приведено процентное распределение среднего ежемесячного коэффициента индивидуальной самокорреляции по группе из 35 обследуемых ИЗМИРАН за 1999–2000 гг. Продолжение мониторинга в 2001–2012 гг. подтвердило наблюдаемую зависимость.

Необходимо отметить, что в 2000 г. отмечался год максимума солнечной активности 23-го цикла, поэтому коллективные эффекты изменения биомедицинских параметров под воздействием вариаций космогеофизических факторов выражены с особой полнотой. На рис. 2 тёмным отмечен высокий коэффициент самокорреляции ($R > 0,7$), белым — низкий коэффициент самокорреляции ($R < 0,55$), серый соответствует промежуточному варианту. Видно выраженное наличие динамики и полугодовых волн степени внутренней связанности организма, проявляющихся максимумами в осенне-весенний период и минимумами в летне-осенний. Можно предположить, что в организме реализуется возможность двух схем индивидуального управления:

- летняя схема, когда все органы работают вразнобой и связаны при этом попарно (система управления типа «сеть»);
- весенне-осенняя схема, когда организм осуществляет адаптационную подстройку, как единое иерархическое целое (система управления типа «пирамида»).

Эффект не зависит от географической широты проведения эксперимента. Возможно, именно этим фактором (в сочетании с недостаточностью адаптационных резервов отдельных членов человеческой популяции в осенне-весенний период) вызваны сезонные обострения хронических заболеваний.

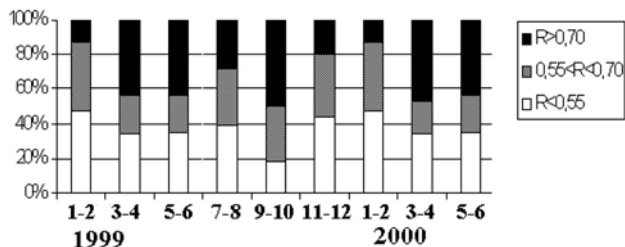


Рис. 2. Полугодовые волны коэффициентов R самосинхронизации организма человека (эффект проявляется как на индивидуальном, так и на популяционном уровне)

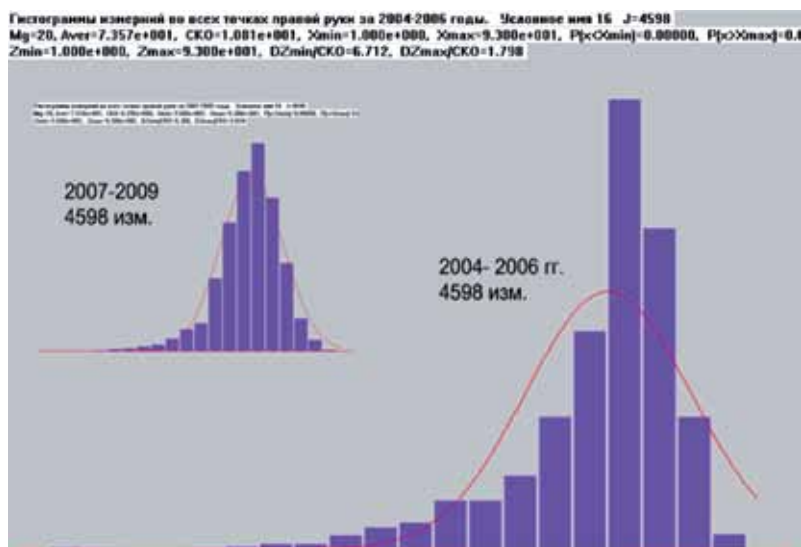


Рис. 3. Распределение биомедицинских параметров группы постоянных обследуемых на фазе спада солнечной активности 2004–2006 гг. (справа, наблюдается существенное отклонение параметров от распределения Пуассона) и в фазе минимума 2007–2009 гг. (слева, распределение максимально за 14 лет измерений приближено к нормальному распределению)

Найденная сезонная закономерность сохраняется в индивидуальных данных, полученных в период спокойного Солнца, в затянувшийся минимум между 23-м и 24-м циклами солнечной активности (2007–2009).

Каким образом наличие цикла солнечной активности влияет на структуру получаемых биомедицинских данных? Оказывается, что выбор методов анализа полученных результатов существенно зависит от фазы солнечного цикла. Обычно ряды медицинских данных считаются статистически независимыми, и им априори приписывается статистическое распределение Пуассона. Дальнейшая обработка происходит по стандартным программам, соответствующим этому распределению. Однако, как показал наш мониторинг, статистическое распределение рядов медико-биологических параметров одних и тех же обследуемых за 14 лет мониторинга:

- существенно отличается от нормального,
- варьируется по годам в зависимости от фазы солнечной активности (СА),
- максимально приближёнными к нормальному распределению оказываются медицинские параметры периода минимума СА.

На рис. 3 приведено распределение параметров по группе обследуемых на широте Москвы по годам: 2004–2006 — годы спада СА, 2007–2009 — годы глубокого минимума.

Можно было бы предположить наличие возрастных изменений, произошедших в группе за 14 лет, однако распределение за 2010–2011 гг. демонстрирует возврат к «непуассоновскому» распределению 2004–2006 гг. Следовательно, мы имеем дело именно с влиянием цикла солнечной активности

на программу функционирования организма человека. Незнание этих особенностей изменения структуры биомедицинских данных по годам приводит к существенным изменениям результатов анализа длительных мониторингов.

ОСОБЕННОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ СЕРДЦА ИЛИ «ГДЕ В ЭКГ ИСКАТЬ АДАПТАЦИОННЫЙ ОТКЛИК ОРГАНИЗМА НА ВНЕШНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ?»

Кажется совершенно очевидным, что прежде чем начать исследовать особенности воздействия космогеофизических и климатических факторов на сердечно-сосудистую систему, авторы научных исследований должны хотя бы примерно знать ответ на вопрос, заданный в названии параграфа. Или хотя бы представлять, насколько по-разному будет реагировать на внешнее воздействие нормально функционирующее и «сломанное сердце». Однако в теоретической литературе этот вопрос совершенно не проработан. А многочисленные экспериментальные исследования пополняются невоспроизводимыми работами, в которых их авторы упорно пытаются зафиксировать изменение variability $R-R$ -интервалов (частоты сокращения сердца) в зависимости от геомагнитных и солнечных индексов, атмосферного давления и температуры, космических лучей, различных типов заболеваний и доминирующих генов, преобладающего типа мозговых частот и цен на нефть. В результате выводы одних маститых учёных противоречат выводам других, не менее маститых, и не воспроизводятся нигде, кроме родных лабораторий. В чём же проблема? В отсутствии эффекта или в неправильно выбранном методе исследований?

Для начала мы проанализировали имеющиеся на тот момент в наличии в он-лайн базе «Гелиомед» экспериментальные кардиограммы (более 10 000) в искренней надежде найти эффект воздействия космофизических факторов именно в традиционных $R-R$ -интервалах. Но достоверного и воспроизводимого эффекта мы не нашли, хотя для людей с диагнозом «ишемическая болезнь сердца» результат в 40...60 % случаев (процент сильно зависит от сезона года) приближался к традиционно-литературному. Очень удивились и решили, что нам не хватает объёма выборки. Подождали, пока количество измерений достигнет 50 000, и повторили исследования. Результат не изменился. После этого мы решили не ждать, пока база данных возрастёт до 500 000 измерений, а теоретически исследовать вопрос о возможности изменения variability $R-R$ -интервалов при воздействии внешних факторов. Моделирование формы кардиосигнала проводилось методами математической реконструкции нелинейной динамической системы по реальным кардиограммам. Функциональная зависимость представлялась суммой нескольких десятков полиномов, подгоночные коэффициенты для которых находились из «загруженных» данных реальных кардиограмм.

Модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \partial_t x_1 &= x_2, \quad \partial_t x_2 = x_3, \quad \partial_t x_3 = f(x_1, x_2, x_3), \\ f(x_1, x_2, x_3) &= \sum_{l_1 l_2 l_3=0}^3 C_{l_1 l_2 l_3} \prod_{k=1}^3 x_k^{l_k}, \end{aligned} \quad (1)$$

где t — текущее время; переменная x_3 моделирует сигнал ЭКГ; коэффициенты $C_{l_1 l_2 l_3}$ приведены в статье [Пипин, Рагульская, 2008]. Стационарные состояния определяются из решения системы уравнений $\dot{x}_2 = 0$, $\dot{x}_3 = 0$, $f(x_1, x_2, x_3) = 0$. Оказалось что стационарные точки системы (1) находятся на краях Q-, P- и T-зубцов (рис. 4).

Особенности поведения системы под любым внешним воздействием определяются именно стационарными точками, поэтому нам было так важно выявить их месторасположение на ЭКГ и тип особых точек (для выявления возможных моментов перехода исследуемой системы от квазипериодических колебаний в хаотическое состояние). Обнаружено, что стационарные точки, находящиеся в начале P- и конце T-интервала, относятся к типу «седло – фокус», а точки на конце P-интервала и начале T- — к типу «седло». Возможно, именно динамикой особой точки седло-узельного типа, находящейся на границе P- и Q-интервалов, определяются Q-зависимые инфаркты. Известно, что присутствие стационарных состояний седло-фокусного типа определяет характер хаотической динамики нелинейной системы. Можно предположить, что для нормально функционирующей автоколебательной системы сердечного типа именно вариации характеристик P- и T-интервалов (а не R-R-вариабельность) могут служить диагностическим признаком для обнаружения изменений состояний сердечно-сосудистой системы в результате внешних возмущений. Для здорового сердца вариабельность сердечной ритмики зависит от изменения внутренних параметров организма, а не от внешних воздействий. Скорее всего, именно тем фактом, что исследования вариабельности сердечной ритмики под воздействием факторов внешней среды проводились на группах обследуемых с разной степенью «сломанности» сердца, в различные сезоны года и фазы солнечной активности, объясняется невозможность воспроизводимости результатов, полученных в разных научных группах.

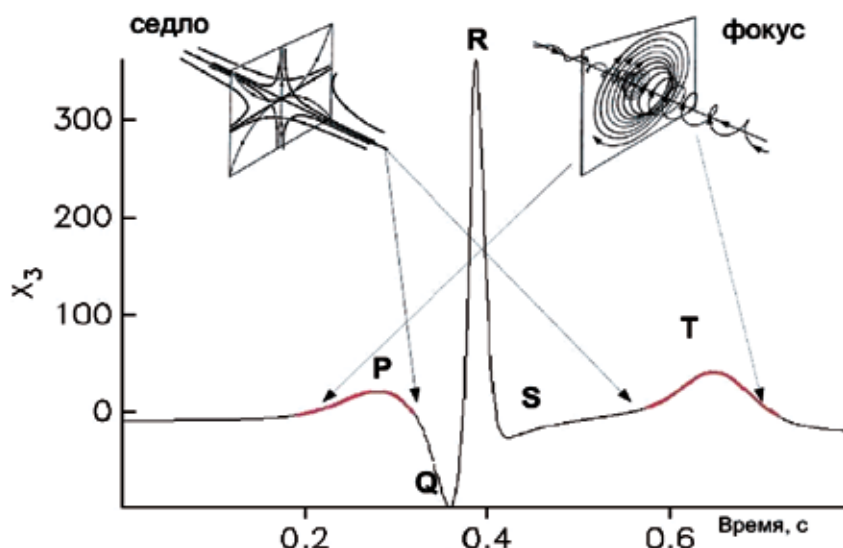


Рис. 4. Особые точки системы (1), определяющие адаптационное поведение сердца под внешним воздействием, и их фазовые портреты: тип «седло» в начале T- и Q-зубцов; тип «фокус» в начале P- и конце T-зубцов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АДАПТАЦИОННОЙ ДИНАМИКИ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОСМОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Численное моделирование и реконструкция данных индивидуальных мониторингов в проекте ГЕЛИОМЕД показали, что без внешней нагрузки в соотношении около 8:2 в фазовом пространстве наблюдается суперпозиция двух топологически различных фазовых состояний — основного, более упорядоченного, и возбуждённого, более хаотического, а не монопортрет кардиоциклов, как до сих пор описывалось в литературе (рис. 5). У отдельных обследуемых число базовых состояний увеличивалось до трёх.

Выяснилось, что экспериментально наблюдаемые эффекты возникновения и исчезновения нетипичных циклов оказались адаптационной популяционной нормой, а не медицинским диагнозом. Также нетривиальным результатом модельной реконструкции реальных ЭКГ оказалось то, что процентное соотношение удельного веса различных состояний динамики сердца изменяется для различных типов нагрузки. И этот эффект также является нормальным способом адаптации организма человека к внешним нагрузкам. Так, при введении дополнительной физической нагрузки 20 приседаний за 30 с исследуемая биосистема переходила в основное, моносостояние. А при воздействии одиночной магнитной бури наблюдался обратный эффект — число более хаотических состояний в фазовом пространстве увеличивалось.

Казалось бы, при неспецифической реакции любое воздействие должно оказывать однонаправленный эффект, однако анализ экспериментальных данных свидетельствует об обратном. Неожиданный, на первый взгляд, с точки зрения биологии и медицины, этот факт требовал теоретического объяснения. Также требовалось построение теоретической модели, которая могла бы объяснить одновременность существования квазипериодических и хаотических колебаний сердца в качестве популяционной нормы.

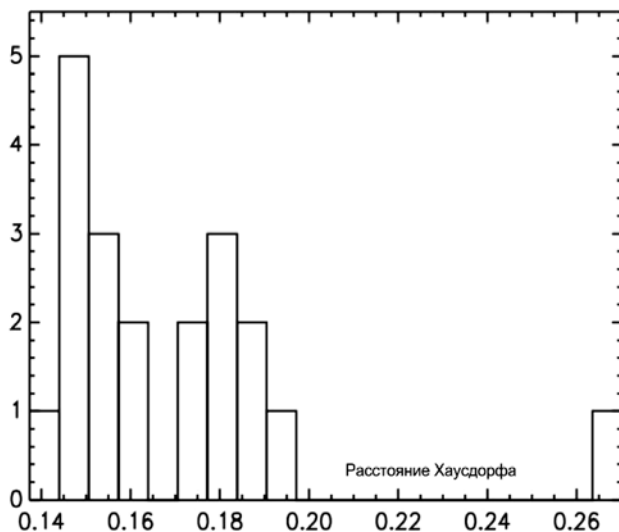


Рис. 5. Гистограмма расстояний Хаусдорфа для кардиоциклов типичной индивидуальной ЭКГ (в состоянии покоя)

Для нахождения степени общности наблюдаемых экспериментально физиологических явлений, условий их возникновения и особенностей протекания нами было проведено аналитическое моделирование динамики режимов функционирования и адаптации работы сердца при слабом внешнем воздействии. Для максимально грубого описания процессов генерации сигнала и выявления самых общих свойств исследуемой биосистемы мы ввели всего два управляющих параметра противоположной направленности [Рагульская, Пипин, 2010]:

- D — пропорциональный мощности генерации импульса и отвечающий за силы, поддерживающие генерацию (в реальности связанный, например, с увеличением мощности сердечных сокращений или увеличением скорости кровотока);
- K — пропорциональный рассеянию мощности на процессах диффузии и описывающий обобщённые силы, противодействующие процессам генерации (например, увеличение проводимости сердечной мышцы в результате деструктивных изменений или повышение свёртываемости крови).

В качестве модельной динамической системы использовалась следующая нелинейная модель параметрической генерации сердечных сокращений:

$$\begin{aligned}\partial_t B &= D \left(\frac{1}{2} \sin^2(t) - \frac{4}{5} \right) A - k_1 B + \xi \sin(\omega t), \\ \partial_t A &= (1 - H) \sin^2(t) B - k_1 A - A^3, \\ \partial_t H &= -k_2 H - k_3 (1 + H) A^2.\end{aligned}\tag{2}$$

Первые два уравнения описывают изменение амплитуды сигнала и её первой производной; $\xi \sin(\omega t)$ моделирует периодическое внешнее воздействие. Индексы 1, 2, 3 при параметре k отвечают за различные типы диффузии с различными характерными временами, причём $k_1 > k_2 > k_3$. За счёт заданной нелинейности (слагаемое A^3), а также при заданных параметрах мощности D и диффузионных потерь k_1 колебания системы всегда выходят в режим насыщения. Однако при увеличении мощности генератора амплитуда колебаний в установившемся режиме также растёт. Поэтому мы ввели ещё одну переменную — H , для более тонкой подстройки системы под нагрузку. Данная переменная учитывает возможное динамическое насыщение амплитуды колебаний при изменении внешней нагрузки. Таким образом, третье уравнение введено для замыкания системы и ограничения амплитуды генерации из физических соображений соответствия строящейся теоретической модели наблюдаемым экспериментальным данным. В третьем уравнении системы (2) параметр k_2 отвечает за диффузионные потери, а k_3 введён для подстройки скорости роста параметра H . Как видно из этого уравнения, скорость роста пропорциональна квадрату амплитуды сигнала.

Решение уравнений для различных значений D и k_1 при фиксированных k_2 и k_3 позволило построить следующую диаграмму состояний, приведённую на рис. 6. **Выявлено существование нескольких устойчивых режимов генерации.** Их фазовые портреты совпадают с наблюдаемыми в эксперименте типами и разделены между собой областями хаотических или неустойчивых решений.

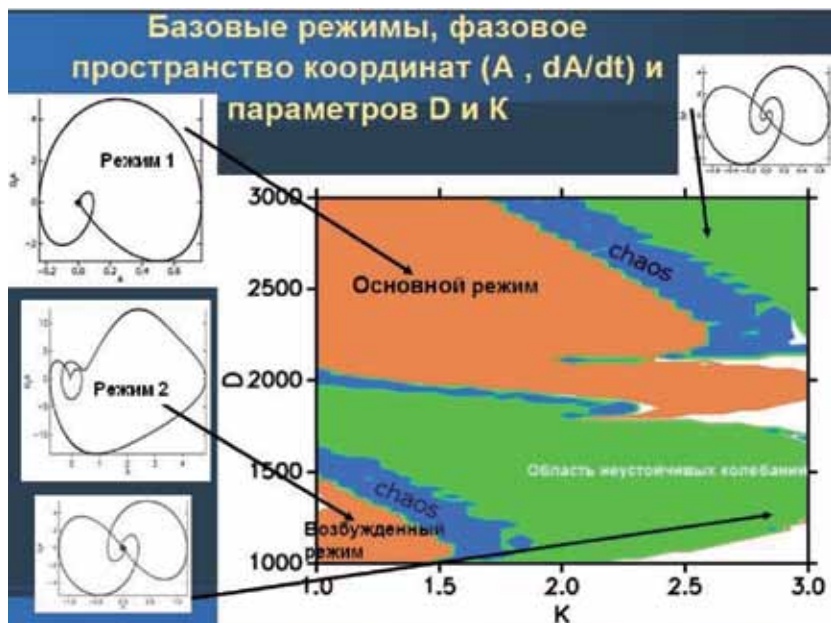


Рис. 6. Результаты численного моделирования базовых режимов генерации системы (2) и их фазовые портреты. Фазовые портреты режимов 1 и 2 совпадают с экспериментально наблюдаемыми в мониторинге ГЕЛИОМЕД фазовыми портретами основного и возбужденного состояния ЭКГ

Таким образом, полученное теоретическое решение системы (2) естественным образом постулирует сосуществование нескольких режимов генерации сердца, которое и наблюдается в реальных медицинских данных, а также срыв системы в область хаотических фибрилляций при определённых неблагоприятных сочетаниях параметров. Другой характерной особенностью решений системы (2) является наличие порога генерации по управляющим параметрам D и k_1 , причём как снизу, так и сверху.

При введении в уравнения периодической внешней силы подстройка биологической системы может осуществляться двумя путями: возникает либо периодическая модуляция амплитуды кардиосигнала при сохранении постоянного порога генерации и постоянных значений управляющих параметров D и k_1 , либо периодической модуляции может подвергаться сам порог при изменяющихся значениях управляющих параметров.

Рассмотрим первый случай, когда значения управляющих параметров при внешнем воздействии сохраняются. Введение в уравнение (2) периодической внешней силы с частотой, кратной N (где N — ряд натуральных чисел от 1 до 10) и $1/N$ основной частоты, позволило выявить различие в воздействиях на исследуемую систему удлинённого и укороченного периода внешних колебаний. Показано, что более эффективным оказывается воздействие удлинённых периодов. Более подробное описание обработки кардиоциклов в фазовом пространстве, построение численных и теоретических моделей, а также описание регулирующей роли шумов и гендерных особенностей сердечной динамики сделано в гл. 7 коллективной монографии «Биотропное воздействие космической погоды» [Биотропное..., 2010].

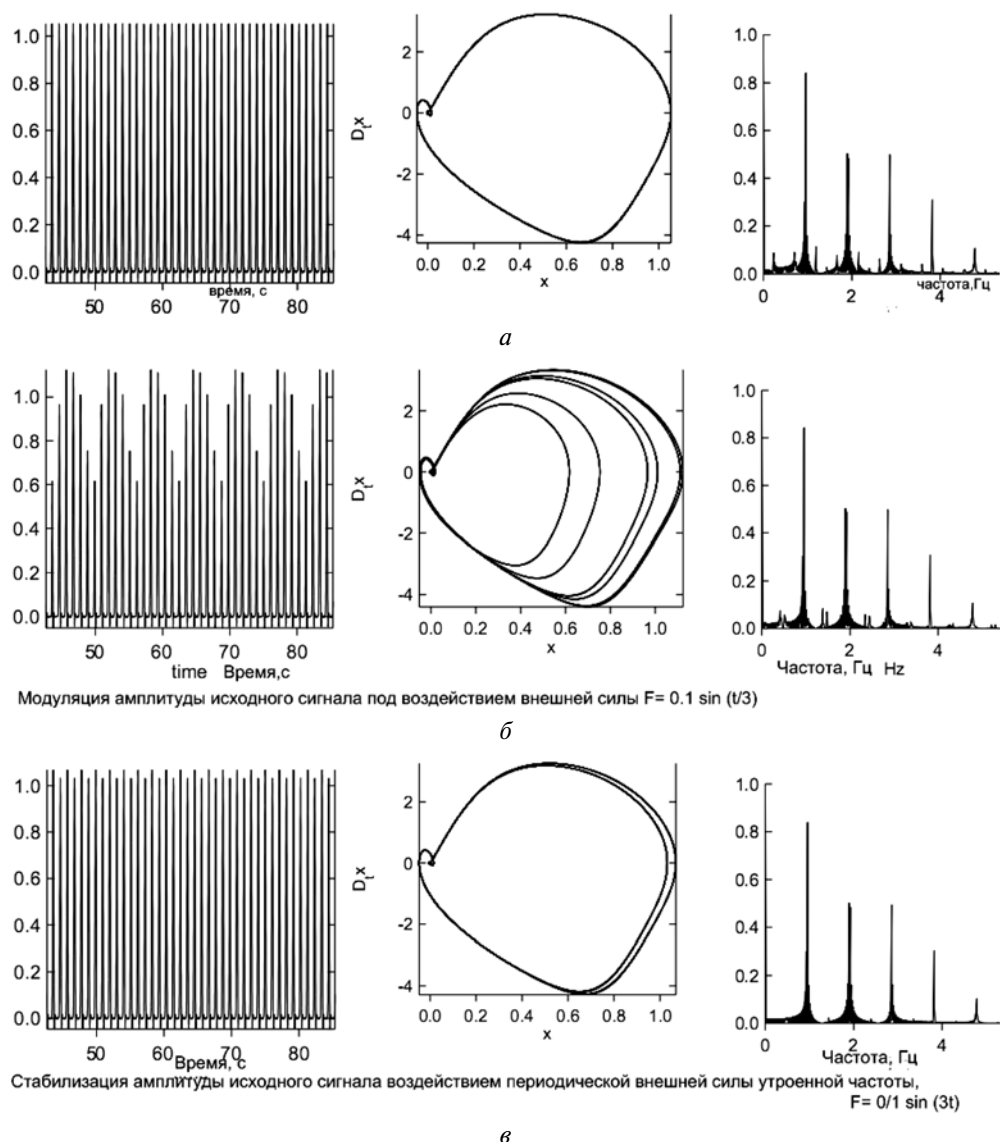


Рис. 7. Исходный сигнал, его фазовый портрет и спектр (*a*); модуляция амплитуды исходного сигнала, его фазового портрета и спектра под воздействием внешней периодической силы с удлинённым периодом (*б*); стабилизация модуляции амплитуды исходного сигнала, его фазового портрета и спектра под воздействием внешней периодической силы с укороченным периодом (*в*)

На рис. 7*a* представлен исходный сигнал и его фазовый портрет и спектр, на рис. 7*б* и *в* — амплитудная модуляция исходного сигнала для частоты внешней силы, кратной соответственно 3 и 1/3. Видно, что в ситуации с удлинённым периодом внешней силы глубина модуляции амплитуды достигает почти половины исходного значения. Под воздействием внешней силы укороченного периода модуляция стабилизируется на уровне нескольких процентов исходной амплитуды. При этом область с более высокими значениями

D и k_1 оказывается более устойчивой к внешнему воздействию. Поскольку в реальных данных массовых медицинских мониторингов возможна достоверная регистрация эффекта лишь более 5 % амплитуды, из вышесказанного следует, что экспериментально область эффективного внешнего воздействия следует искать в диапазоне частот 0,1...0,9 Гц.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ НАУЧНЫЙ МОНИТОРИНГ
ИЗУЧЕНИЯ БИОТРОПНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ
КАК БАЗА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРИД-СИСТЕМЫ
СКРИНИНГА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ

Информационная технология, разработанная нами для проведения синхронных мониторинговых экспериментов для изучения биотропного влияния космической погоды, может быть использована для проведения массовых скрининговых исследований состояния здоровья населения в масштабах популяции.



Рис. 8. Схема работы и области применения мировой грид-системы

Более подробно система автоматизированного он-лайн анализа разноширотных научных геомедицинских мониторингов, а также прогноза биотропного воздействия космической погоды представлена в работе [Вишневский, Рагульская, 2012]. Для обеспечения устойчивости работы скрининговой системы с крупными потоками медицинских данных со всей территории России предлагается использовать имеющиеся у мирового научного сообщества успешные наработки грид-технологий (рис. 8). На территории Украины такая система скринингового анализа ЭКГ успешно проходит отладку под руководством В. В. Вишневского, являющегося также одним из руководителей российско-украинского проекта ГЕЛИОМЕД.

Грид-технология — мировая информационная инфраструктура, способная устойчиво работать с большими потоками данных и распределёнными вычислительными ресурсами. Впервые такая задача возникла в ЦЕРН для обеспечения работ по физике высоких энергий. Для её решения создана и успешно работает система **WLCG (Worldwide LHC Grid Computing)**, которая объединяет несколько сотен мощных вычислительных кластеров (сотни тысяч процессорных ядер), расположенных в лабораториях, институтах и университетах всего мира. ЦЕРН стал инициатором использования грид-технологий для решения вычислительных ресурсоемких задач в других научных и практических сферах.

Грид-ориентированные высокопроизводительные вычисления уже активно используются в молекулярной биологии, медицине, прогнозировании геофизических процессов и других областях. Достоинством мировой грид-системы является её открытость к присоединению новых научных групп. Использование телекоммуникационного научного мониторинга для изучения биотропного воздействия космической погоды как базы для построения грид-системы скрининга здоровья населения России представляется очень перспективным новым направлением развития ближайшего десятилетия.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ КОСМОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ АТАВИСТИЧНОСТЬ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Основным фактором, определяющим вариации космической погоды и глобальное развитие биосферы в Солнечной системе, является динамика Солнца. Возраст Солнца составляет приблизительно 4,59 млрд лет. Историю развития Солнца можно условно разделить на три периода:

- 1) раннее Солнце — первые 1...10 млн лет от начала развития;
- 2) молодое Солнце — возраст до 1 млрд лет, т. е. до 3,5 млрд лет назад;
- 3) современное Солнце — от 3,5 млрд лет назад по настоящее время.

Последний период объединён условно. Возможно, новые данные, полученные по программе исследований других звёзд солнечного типа, позволят провести более тщательную детализацию.

За время своего существования Солнце как звезда прошла большой путь эволюционного развития, и в момент зарождения жизни на Земле тип активности, масса и период обращения раннего Солнца существенно отличались от современных. Незнание этих особенностей функционирования ранней Солнечной системы приводит к неправильным моделям формирования

жизни. Жизнь на Земле появилась тогда, когда условия функционирования Солнца ей это позволили, т.е. тогда, когда из «звезды разрушения» наше светило стало «звездой созидания». Можно также предположить, что наблюдаемые современные нелинейные адаптационные механизмы биообъектов к слабым воздействиям внешней среды являются атавистическими проявлениями эволюционной адаптации древних экосистем, в период существенно нелинейной (и более интенсивной) динамики древнего Солнца 3,8...4 млрд лет назад. Реакция современных биосистем (как единственно доступных нам объектов для изучения динамических процессов адаптации к нестационарным солнечным процессам) выработана в процессе многомиллиардной эволюции при существенно отличающихся условиях исторической динамики Солнца и обусловлена целой совокупностью внешних факторов. Из них очень сложно выделить один единственный действующий агент, сыгравший основную роль в зарождении и формировании жизни на Земле.

Каждый из периодов развития нашей звезды отличается принципиально разной динамикой функционирования. Достоверные материальные свидетельства датируют наличие биосферы Земли около 3,8 млрд лет назад. Однако существуют весьма веские доводы, приводимые, например, председателем Научного Совета РАН по астробиологии академиком А. Ю. Розановым, что жизнь на Земле появилась значительно раньше, в период от 4,2 до 4 млрд лет назад. По этой научной гипотезе глобулы протобактерий были занесены метеоритами на поверхность Земли из космического пространства практически одновременно с формированием нашей планеты из газопылевого облака. В первый миллиард лет своего развития, т.е. как раз в период возникновения земной жизни и формирования древнейших экосистем, Солнце было совершенно другим. Оно имело большую массу (около 107 % от современной), существенно меньший период обращения (около 10 дней), а главное — совершенно другой, более интенсивный и спорадический тип активности [Рагульская, 2012]. По данным ИЗМИРАН [Кацова, Лившиц, 2008] в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазоне интенсивность излучения превышала современный уровень на 3...4 порядка. Процессы обмена энергией и веществом шли в Солнечной системе более активно и по другим законам. Какую информацию об эволюционной адаптации древних биосистем мы можем почерпнуть из изучения реакции современных биологических объектов на вариации различных космогеофизических факторов?

Последние 100 лет влияние космогеофизических факторов достоверно и воспроизводимо фиксируется многочисленными учёными на всех уровнях организации биосферы. Начиная с работ А. Л. Чижевского начала XX в. (наиболее полное издание [Чижевский, 1976]), исследователи находят всё новые подтверждения скачкообразных изменений физиологических параметров, развивающихся до или во время магнитных бурь (и оказывающих непосредственное влияние на поведение и самочувствие населения). Экзогенные вариации просматриваются практически во всех медико-биологических мониторингах, причём часто — в качестве побочного эффекта, мешающего основным исследованиям [Владимирский и др., 2004].

Например — в динамике различных параметров формулы крови, гормональном и психологическом статусе, восприимчивости к наркозу, числе вызовов скорой медицинской помощи и количестве летальных исходов.

Так, Ю. И. Гурфинкелем и В. В. Любимовым (2004) выявлено увеличение свёртываемости крови и более тяжёлое протекание инфарктов, возрастание числа летальных исходов реанимационных больных в околобуревые дни; П. Е. Григорьевым — модуляции работоспособности и настроения, а также числа суицидов [Григорьев, 2008]; М. В. Рагульской и О. В. Хабаровой (2001) показаны активация приспособительной адаптации здоровых людей и модуляция нелинейной динамики сердца [Рагульская, Пипин, 2010], нелинейные изменения артериального давления [Khabarova, Dimitrova, 2009].

В статьях [Белишева, Конрадов, 2005; Белишева и др., 2006] показано, что геомагнитные возмущения существенным образом моделируют рост и дифференцировку клеточных структур. В условиях повышенной геомагнитной возмущённости они наблюдали снижение синтеза ДНК с компенсацией в последующих клеточных циклах. В работе [Чичкан и др, 1999] описывается резкое увеличение числа лейкоцитов за счёт нейтрофилов в день бури и резкое их снижение на 2—3-й день после бури. Отмечен противоположный знак лейкоцитарных изменений по сравнению с уровнем лимфоцитов.

С. М. Чибисов показал наличие изменений в спектрах кислотно-основного состояния и функциональной активности сердечно-сосудистой системы в целом в магнитовозмущенные сутки, а также в его работах показано влияние изменения солнечной активности на ультраструктуру кардиомиоцитов [Чибисов и др, 2001].

В независимых исследованиях Т. К. Бреус (Москва) и С. Н. Самсонова (Якутск) отмечается совпадение спектров динамики вызовов скорой медицинской помощи и геомагнитного К-индекса [Бреус и др., 2002, 2008; Самсонов и др., 2005]. В работах Н. И. Хорсевой выявлено выраженное влияние космогеофизических факторов на внутриутробное развитие плода и вероятность реализации наследственных патологий [Хорсева и др., 2010]. Более подробное представление можно получить из совокупности материалов данного сборника, посвящённого именно этому вопросу.

Так как же можно решить проблему сочетания низкой энергии современных космогеофизических факторов с наличием воспроизводимой и планетарной реакции биосистем различных уровней организации? Исходя из предыдущих гипотез, можно предположить, что *наблюдаемые в настоящее время эффекты адаптации биосистем к космогеофизическим воздействиям, по сути, являются атавизмами, оставшимися с тех древних времён, когда излучение Солнца было существенно больше и являлось реальным разрушающим фактором для только что сформировавшейся жизни на Земле*. Энергии современных солнечно-земных и космических процессов для такого воздействия недостаточно, тем не менее, реакция однозначно и воспроизводимо регистрируется многочисленными исследователями на всех уровнях организации биосферы.

Гипотеза об эволюционном атавистическом характере адаптационной реакции биосистем на космогеофизические воздействия могла бы внести ясность в давний спор биологов и физиков по поводу поиска, характера и интенсивности действующего биотропного физического агента в солнечно-земных связях. На данный момент мы видим реакцию биосистем на комплексное изменение внешней среды, но не можем однозначно выделить агент (возможно, из-за малости действующих в настоящее время физических факторов). Зачем тогда такая приспособительная реакция зафиксировалась в адаптационных программах биосистем? Скорее всего, даже когда со временем интенсивность

внешнего излучения упала до неопасных для существования жизни значений, регуляторная и информационная роль космической погоды оказалась столь полезна, что сохранилась до наших дней на всех уровнях организации биосферы (см. выводы параграфа «Мифы и реальность»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Солнечная активность — это сложное многофакторное явление. Традиционная схема поиска связи изменений в биосфере, например, с числами солнечных пятен устарела. Различные факторы солнечной активности могут по-разному влиять на биосферу. Кроме того, эта связь может сильно меняться на разных временных масштабах. В частности, роль отдельных вспышек, вероятно, очень важна на коротких интервалах времени, а на больших интервалах можно ожидать гораздо большего влияния глобальных полей и их вековой эволюции. Современная теория вспышек не может отрицать возможность существования в историческое время солнечных вспышек, на 3...4 порядка более мощных, чем сегодня. Во всяком случае, на звёздах типа Солнца такие события происходят регулярно. Важно не только проверить по палеомагнитным данным были ли такие события в прошлом, но и оценить их возможное влияние на биосферу. В настоящий момент такие работы только начинаются (например, в отделе солнечно-земной физики ИЗМИРАН).

В связи с вышесказанным можно сформулировать следующие новые направления исследований эволюционных аспектов биотропного воздействия космических факторов, на реализацию которых уйдёт не менее 5...30 лет активной совокупной деятельности многих институтов различных научных направлений:

- построение телекоммуникационных систем он-лайн скрининга здоровья населения и биотропного воздействия космической погоды на базе современных международных грид-технологий;
- создание новых биотропных индексов космической и обычной погоды;
- изучение (на современном клеточном материале) характерных времён возникновения реакции и определения порога разрушения эталонных клеточных структур для воссоздания (моделирования) биотропных параметров активности древнего Солнца;
- изучение современного отклика биосистем на космофизические факторы как атавистической реакции на изменение условий среды обитания;
- изучение эволюционной динамики древнего Солнца и солнцеподобных звёзд; оценка максимально возможной устойчивой амплитуды солнечных циклов, воздействовавших на древнюю биосферу, исходя из моделей МГД-генерации;
- оценка максимальных возможностей ускорителей заряженных частиц на Солнце в современную эпоху и экстраполяция наблюдаемых данных о потоках СКЛ в отдалённое прошлое, вплоть до эпохи «молодого Солнца»;
- построение теоретических моделей возникновения и развития биосистем с учётом возможных интенсивностей излучений, воздействовавших на биосферу в прошлом;

- изучение пространственно-временных масштабов и физико-химических условий формирования жизни на Земле путём сопоставления полученных астрофизических космогеофизических результатов с геохимическими и палеонтологическими данными для верификации как современной модели солнечного динамо, так и имеющихся моделей эволюции биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

- [Белишева, Конрадов, 2005] *Белишева Н. К., Конрадов С. А.* Значение вариаций геомагнитного поля для функционального состояния организма человека в высоких широтах // Геофиз. процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № 1/2. С. 44–52.
- [Белишева и др., 2006] *Белишева Н. К., Кужевский Б. М., Сигаева Е. А.* и др. Модуляция функционального состояния крови вариациями интенсивности нейтронов у поверхности Земли // Докл. Акад. наук. 2006. Т. 407. № 5. С. 687–691.
- [Биотропное..., 2010] Биотропное воздействие космической погоды / Под ред. Рагульской М. В. СПб., 2010. 330 с.
- [Бреус и др., 2002] *Бреус Т. К., Чибисов С. М., Баевский Р. М.* и др. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, «Полиграф сервис», 2002, 232 с.
- [Бреус и др., 2008] *Бреус Т. К., Баевский Р. М., Фунтова И. И.* и др. Влияние возмущений геомагнитного поля на реакцию адаптивного стресса у космонавтов // Космич. исслед. 2008. Т. 46. № 4. С. 378–383.
- [Вишневецкий, Рагульская, 2012] *Вишневецкий В. В., Рагульская М. В.* Использование информационно-коммуникационных технологий в крупномасштабном геобиофизическом проекте ГЕЛИОМЕТ: Материалы 7-го Международ. симп. «Актуальные проблемы биофизической медицины». Киев, 2012. С. 36–37.
- [Владимирский и др., 2004] *Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А., Мартынюк В. С.* Космическая погода и наша жизнь. М.: Из-во «Век 2», 2004.
- [Гурфинкель, Любимов, 2004] *Гурфинкель Ю. И., Любимов В. В.* Экранированная палата в клинике для защиты пациентов с ишемической болезнью сердца от воздействия геомагнитных возмущений // Мед. физика. 2004. № 3(23). С. 34–39.
- [Кацова, Лившиц, 2009] *Кацова М. М., Лившиц М. А.* Возможный эволюционный статус солнечной активности // Всерос. конф. по физике Солнца 2009. Пулково. 2009. С. 231–240.
- [Мирошниченко, 2011] *Мирошниченко Л. И.* Физика солнца и солнечно-земных связей / Под ред. М. И. Панасюка. М.: Университетская кн., 2011. 174 с.
- [Пипин, Рагульская, 2008] *Пипин В. В., Рагульская М. В.* Динамическая модель изменений основных характеристик кардиосигнала при воздействии космо- и геофизических полей // Астрономия и астрофизика начала XXI века: Тез. докл. М.: ГАИШ МГУ, АстрО, 2008. С. 120–121.
- [Рагульская, 2012] *Рагульская М. В.* и др. Космические факторы эволюции биосферы: новые направления исследований // 1-я Всерос. науч. шк.-конф. по астробиологии «Астробиология: от происхождения жизни на Земле к жизни во Вселенной». Памяти Давида Гиличинского. 2012. Пушкино, 16–19 сент. 2012: Тез. С. 138.
- [Рагульская, Пипин, 2010] *Рагульская М. В., Пипин В. В.* Нелинейные динамические модели ЭКГ в задаче изучения воздействия космофизических факторов на сердце человека // Динамика сложных систем. 2010. № 1. Т. 1. С. 17–26.
- [Рагульская, Хабарова, 2001] *Рагульская М. В., Хабарова О. В.* Влияние солнечных возмущений на человеческий организм // Биомед. радиоэлектроника. 2001. № 2. С. 5–15.

- [Хорсева и др., 2010] *Хорсева Н. И., Григорьев П. Е.* и др. Космос и жизнь — единство и многообразие. Гл. 1. Симферополь: Из-во «Диайпи», 2010.
- [Чибисов и др., 2001] *Чибисов С. М., Бреус Т. К., Илларионова Т. С.* Морфофункциональное состояние сердца в условиях магнитной бури // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 2001. № 12. С. 627–630.
- [Чижевский, 1976] *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976.
- [Чичкан и др., 1999] *Чичкан Д. Н., Ткачёв С. В.* и др. Агрегационные свойства крови после воздействия низкочастотных магнитных полей различного диапазона частот // Электромагнитные поля и здоровье человека. М., 1999. С. 75–76.
- [Belov, 2008] *Belov A. V.* Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena // Universal Heliophysical Processes: Proc/ IAU Symp. 2008. N. 257.
- [Katsova et al., 2010] *Katsova M. M., Livshits M. A., Soon W.* et al. Differential rotation of some HK-Project stars and the butterfly diagrams // New Astronomy. 2010. V. 15. P. 274–281.
- [Khabarova, Dimitrova, 2009] *Khabarova O., Dimitrova S.* On the nature of people's reaction to space weather and meteorological weather changes // Sun and Geosphere. 2009. V. 4. N. 2. P. 60–71.

SPACE WEATHER'S BIOLOGICAL IMPACTS: MYTHS, THE REALITY AND NEW DIRECTIONS OF THE INVESTIGATIONS

M. V. Ragulskaya¹, V. N. Obridko¹, S. M. Chibisov²

¹ N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia, e-mail: ramary2000@yahoo.com; obridko@mail.ru

² RUDN, Moscow, e-mail: kalcna@mail.ru

In this presentation, we discuss the current state of the gained knowledge of the space weather's impacts on the biosphere. The perspectives of further development in this branch for the next 30 years are outlined. The results of the continuous biomedical experiment carried out at IZMIRAN from 1998 to 2012 as well as the outcomes of the telecommunication monitoring conducted in the frames of the Russian-Ukrainian project Heliomed for 2006–2011 are presented. Using results of analysis of more than 500000 measurements database, we discuss some peculiarities of the human organism's adaptation regimes during different phases of the solar activity cycle. Also, changes of the ordered and chaotic adaptive regimes in a human organism are considered. The continuous monitoring investigations led by the authors give a possibility to state that many ideas of the space weather impacts on humans, actively discussed in the society and media, are no more than myths. The role of the modern helio-biological investigations in the solving of the “young Sun problem” as well as their application to the tasks of the early stages of the terrestrial life forming is considered.

УСТРОЙСТВО «КВАНТ-БИО» ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРОФИЛАКТИКИ НЕБЛАГОПРИЯТНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА НА ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И ПОГОДНЫЕ АНОМАЛИИ

В. Н. Мотин, А. В. Белоусов, С. Л. Загускин, Ю. В. Гуров, С. В. Кобыляцкий, А. В. Котов

Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие космического приборостроения «Квант» (ОАО НПП КП «Квант»), Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: zaguskin@gmail.com

Разработано программно-аппаратное лечебно-диагностическое устройство «Квант-Био». Оно состоит из датчиков пульса, дыхания и дифференциальной термометрии, блока ввода сигналов этих датчиков в компьютер и вывода сигналов биоуправления на матрицу лазерных диодов с питанием через адаптер от сети. Хронодиагностика состояния организма человека и прогнозирование неблагоприятной реакции на геомагнитные бури и погодные аномалии производится с помощью специальных алгоритмов символической динамики ритмов пульса, дыхания и их отношения. Исследуются также параметры ритмов вегетативного статуса, клеточного иммунитета, температурных градиентов и температурной асимметрии. Для устранения выявленных десинхронозов и их профилактики используется дыхательная гимнастика и биоуправляемая по сигналам с датчиков пульса и дыхания лазерная терапия.

Защита от стресса и профилактика неблагоприятной реакции организма человека приобретают особую актуальность в связи с увеличением погодных аномалий и геомагнитных бурь, вызванных усилением солнечной активности. Для решения этой проблемы необходимы прогностические количественные методы оценки десинхронозов, их профилактики и устранения. Существующие методы и приборы для диагностики фиксируют в основном структурные нарушения (УЗИ, рентген, томографы, анализ крови и др.), тогда как началу заболеваний и патологических изменений функциональных систем организма при стрессовых нагрузках предшествуют функциональные нарушения согласования различных биоритмов. Хронодиагностика по фазовым десинхронозам околосуточных биоритмов позволяет обнаружить функциональные нарушения и заболевания на ранней доклинической стадии [Хетагурова, Салбиев, 2000]. Дополнительные возможности для прогнозирования неблагоприятной реакции до наступления структурных нарушений даёт оценка параметров системных и иерархических десинхронозов [Гуров, Загускин, 2010]. Для их выявления достаточно уже часовой записи межпульсовых и дыхательных интервалов с использованием методов символической динамики [Гуров, 2010; Гуров, Загускин, 2010; Загускин, 2010; Загускин, Гуров, 2008]. Хронодиагностика по рассогласованию разных биоритмов позволяет более точно прогнозировать динамику функционального состояния человека, вероятность развития отдельных заболеваний, отличать возрастные и патологические изменения, контролировать индивидуальную эффективность выбранного лечения, в том числе непосредственно во время проведения лечебной процедуры [Загускин, Гуров, 2008].

Для повышения устойчивости организма человека к стрессу, включая реакцию на геомагнитные бури, используются преимущественно медикаментозные методы профилактического и общеукрепляющего характера. Однако они малоэффективны, не лишены побочных эффектов, требуют постоянного применения. К ним развивается привыкание. Методы обычной

физиотерапии также недостаточны для профилактики стресса и неблагоприятной реакции организма, особенно пожилых и больных людей, на резкие изменения погоды и магнитные бури. Обычная физиотерапия не может гарантировать и прогнозировать положительный лечебный эффект у всех пациентов. Параметры физиотерапии, эффективные для одних пациентов, могут не оказывать влияния или вызывать передозировку у других пациентов и даже у того же пациента, но в другое время суток или в другое время года. Как и при медикаментозной терапии, устранение симптоматики не гарантирует системный характер лечения и стабильную нормализацию функции одного органа без побочных эффектов в других органах и системах организма. Все биоритмы имеют варьирующие периоды, а постоянные частоты, используемые в обычной физиотерапии, не адекватны им. Подобно толчкам качелей случайным образом то навстречу, то вдогонку без учёта исходного состояния конечный результат непредсказуем. Благоприятными моментами для физиотерапевтических воздействий без побочной реакции являются фазы увеличения кровенаполнения ткани, иначе увеличения энергообеспечения ответной реакции. Только в этих фазах биоритмов стимуляция восстановительных процессов и биосинтеза, как основы лечебного эффекта, преобладает над деструктивными процессами в клетках. В эти моменты капилляры открываются вблизи клеток с повышенной в данный момент чувствительностью, увеличивается транспорт энергетических метаболитов и диффузия кислорода, сохраняется согласование ритмов золь-гель-переходов в клетках и ритмов микроциркуляции крови без нарушения осмотических градиентов. Биоуправляемая по сигналам с датчиков пульса и дыхания пациента синхронизация физиотерапевтических воздействий с фазами ритмов увеличения кровенаполнения ткани резко расширяет терапевтический диапазон интенсивности таких воздействий [Загускин, 2010]. Слабые физические воздействия становятся эффективными и оказывают лечебное действие, а сильные не вызывают передозировки и негативной реакции пациента. В режиме биоуправления не возникает привыкания ввиду варьирования периодов пульса и дыхания. Образуется тканевая память на вдох, которая поддерживает нормализованный спектр ритмов микроциркуляции крови, увеличивая стабильность лечебного эффекта. Биоуправляемая хронофизиотерапия обеспечивает системный характер лечения без компенсаторных изменений в других органах и системах, увеличивает интегральную целостность организма. Преимущество биоуправления в ритмах пульса и дыхания пациента по сравнению с постоянными частотами физиотерапевтического воздействия доказано практически во всех областях медицины с разными видами физиотерапии, в том числе для биоуправляемой лазерной терапии, электрофореза и пневмомассажа [Загускин и др., 1996; Ораевский и др., 1999].

Для практической реализации одновременно методов хронодиагностики и биоуправляемой хронофизиотерапии разработано программно-аппаратное устройство «Квант-Био» (рис. 1).

Устройство содержит датчики пульса, дыхания и дифференциальной термометрии, подключается к компьютеру, смартфону, планшету. К выходу устройства подключаются различные источники физиотерапевтических воздействий с питанием через адаптер от сети: матрица лазерных диодов, реле (биоуправляемый ключ), электроды, массажеры и т.д. **Устройство комплектуется различными программами.**

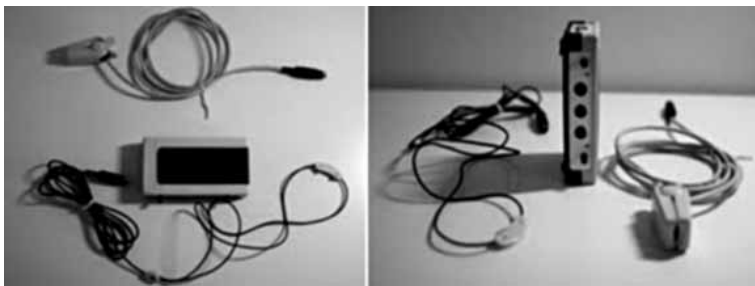


Рис. 1. Программно-аппаратное лечебно-диагностическое устройство «Квант-Био»

1. «Монитор». Программа для записи межпульсовых, дыхательных интервалов и их отношения за одно или другое определённое число дыхательных циклов, колебаний разности температур между подключичной впадиной и проекцией тимуса для регистрации величины и динамики клеточного иммунитета, разности температур между ушными раковинами, между глазными яблоками, между ноздрями носа для оценки асимметрии функции мозга и его зон, между симметричными участками тела вдоль позвоночника, нижних и верхних конечностей, для оценки температурных градиентов и их динамики в зоне воспаления и патологии разных органов, для оценки нарушений ритмов микроциркуляции крови и ритмов тонуса магистральных сосудов.

2. «Консонанс». Программа автоматизации йоговской и других видов дыхательных гимнастик предназначена для снятия умственной или физической усталости, сонливости; повышения тонуса и работоспособности; снятия нервного напряжения, стресса, волнения; общего оздоровления и профилактики различных болезней; лечения простудных и респираторных заболеваний; лечения гипертонии и других сердечно-сосудистых заболеваний; снятия головной боли, устранения бессонницы; снижения излишнего веса и уменьшения аппетита; преодоления вредных привычек, устранения алкогольной, наркотической и гормональной зависимости; регуляции половой потенции и уменьшения проявлений климакса.

Прилагается инструкция, содержащая дыхательные формулы, эффективность которых доказана многовековой практикой. Данный метод можно сочетать с дыхательным тренажёром Фролова. Дыхание по Стрельниковой и дыхание по Бутейко фактически являются частными случаями дыхательной гимнастики йогов, однако измерение длительности фаз дыхания не в секундах, а по числу ударов пульса более эффективно и правильно для получения индивидуального эффекта. Данное устройство с автоматизацией длительности фаз дыхания по числу ударов пульса конкретного человека повышает эффективность дыхательной гимнастики. Человек видит и слышит благодаря программе компьютера, сколько тянуть вдох, держать задержку дыхания и выдох.

3. «Взгляд». Программа предназначена для снятия зрительного утомления и устранения функциональных нарушений зрения. Цветосветовые воздействия с экрана компьютера с изменением яркости и размеров изображений в ритмах пульса и дыхания пациента нормализуют ритмы микроциркуляции крови и улучшают трофику тканей глаз, устраняя усталость и функциональные нарушения зрения. Применяются цветные (весь видимый

спектр) изображения фрактальных структур, что физиологически адекватно для снятия утомления, усиливает кровоток и нормализует спектр ритмов микроциркуляции крови в тканях глаза. Однако данный метод преимущественно нормализует питание и функцию сетчатки глаз и зрительного нерва. Для снятия утомления глазных мышц данный метод целесообразно сочетать с известными методами массажа глазных яблок, тренировки аккомодации (смена фокусировки на ближний и дальний вид), движением глаз вверх, вниз, кругом и т. д.

4. «Звук». Программа для профилактики и устранения функциональных нарушений слуха. Пользователь сам устанавливает наиболее приятные для него уровни громкости оздоровительной музыки при сокращении сердца и вдохе. В таком виде изменения громкости в такт с дыханием и сокращениями сердца улучшают у пациента кровообращение в органе слуха и в центральных звеньях слухового анализатора мозга человека. При снижении слуха прослушивание лечебной музыки устраняет функциональные нарушения слуха, улучшает разрешающую способность (понимание) быстрой речи, которая ухудшается с возрастом. Для молодых людей эта программа способствует профилактике снижения слуха.

5. «Учитель». Программа биоуправляемого обучения с предъявлением зрительной и слуховой информации в ритмах пульса и дыхания обучающегося человека, благодаря чему увеличивается скорость, объём и прочность запоминания.

6. «Хронодиагностика». Программа для оценки функционального состояния человека и прогнозирования неблагоприятной реакции у больных и пожилых людей по динамике пульса и дыхания, отношения частоты пульса к частоте дыхания. Данная программа имеет различные назначения и может применяться при разной продолжительности анализа — от 5 минут до суток. Используются показатели энтропии, избыточности, фрактальности, индексы Фишера, Баевского, коэффициенты корреляции по Пирсону и другие статистические показатели с разным усреднением по числу пульсовых, дыхательных интервалов и их отношения.

7. «Символическая динамика». Программа для диагностики заболеваний на ранней доклинической стадии, прогнозирования динамики заболевания и эффективности индивидуально применяемого лечения, для оценки биологического возраста, определения вероятности развития заболеваний, лимитирующих здоровье.

8. «Гармония». Программа биоуправляемой хронофизиотерапии: лазерной и других видов физиотерапии (электро-, свето-, цветотерапия, УЗ, КВЧ и др.) в режиме синхронизации по сигналам с датчиков пульса и дыхания и регуляцией амплитудной модуляции физического воздействия с учётом специфики нарушений микроциркуляции крови в месте патологии — гипоксия, артериальная или венозная гиперемия.

9. «Темп». Программа для оптимизации тренировочной нагрузки спортсмена, для контроля состояния и реакции пациента непосредственно во время проведения лечебной процедуры, при использования тренажёра, массажера и других физиотерапевтических и физических воздействий, для контроля состояния и прогнозирования негативной реакции пожилых и больных людей, для контроля функционального состояния и прогнозирования неблагоприятной реакции у водителей транспортного средства, операторов, дис-

петчеров, космонавтов, водолазов, монтажников-высотников, сотрудников МЧС и силовых ведомств, выполняющих ответственную работу и действия в условиях стрессовых нагрузок.

10. «Реле-1» (биоуправляемый ключ по питанию с сильноточным реле). Программа для синхронизации с фазами снижения кровенаполнения ткани воздействия хирургических лазеров, аппаратов для фотодинамической терапии, электрокоагуляторов, аппаратов УЗИ, рентгеновских аппаратов с длительностью экспозиции больше 100 мс, массажеров для устранения целлюлита, источников лучевой терапии, в том числе протонной терапии, и другого физического воздействия для избирательного усиления деструктивных процессов. Синхронизация воздействий производится с фазами уменьшения кровенаполнения ткани, снижения теплоёмкости и теплопроводности, что уменьшает эффективную мощность этих аппаратов, увеличивает избирательность разрушения опухолей, кожных дефектов, снижает кровопотери, уменьшает зону некроза и тепловой денатурации окружающей здоровой ткани.

11. «Реле-2» (биоуправляемый ключ со слаботочным реле). Программа для синхронизации с фазами увеличения кровенаполнения ткани капельниц, тренажёров, массажеров, аппаратов «Искусственная почка», физиотерапевтических аппаратов при наличии входа внешней модуляции, по выходу или по питанию.

12. «Дифференциальная термометрия-1». Программа для оценки состояния и динамики клеточного иммунитета, ритмов температурных градиентов для оценки динамики воспалительных процессов и температурной асимметрии глаз, ушных раковин, ноздрей носа для диагностики состояния и динамики работы разных отделов головного мозга, для оценки заболеваний позвоночника, верхних и нижних конечностей, парных органов — с двумя термодатчиками.

13. «Дифференциальная термометрия-2». Программа для устройства с 26 термодатчиками для диагностики заболеваний по состоянию и динамике температурных показателей меридианов организма человека.

14. «Пульс». Программа для диагностики и исследования ритмов тонуса магистральных кровеносных сосудов по скорости распространения пульсовой волны с использованием трёх датчиков пульса, устанавливаемых на верхних или нижних конечностях.

Использование устройства «Квант-Био» для регистрации ответной реакции организма человека на магнитные бури или резкие изменения погоды возможно с разными показателями хронодиагностики и символической динамики. По проекту ГЕЛИОМЕД были использованы различные показатели мониторингирования физиологических параметров организма человека одновременно в разных географических районах России и Украины до, во время и после магнитных бурь [Чибисов, Рагульская, 2012]. Однако многие вопросы этой проблемы остались нерешёнными и, прежде всего, из-за трудности учёта индивидуальных особенностей испытуемых. С помощью устройства «Квант-Био» эти вопросы о сроках и выраженности ответной реакции относительно времени магнитной бури у разных людей с разными резервами саморегуляции, разного возраста больных и здоровых людей можно решить. Для этого целесообразно использовать нормированные индивидуальные показатели параметров гистограммы отношения частоты пульса к частоте дыхания (рис. 2).

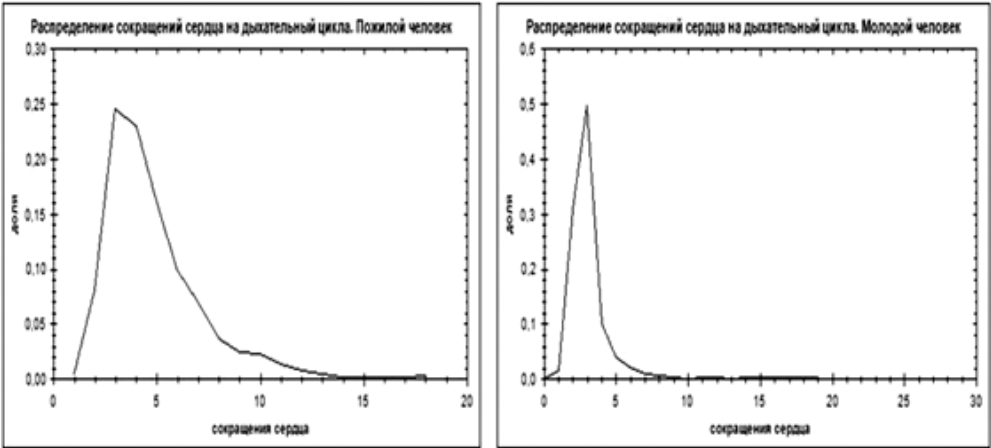


Рис. 2. Гистограммы отношения частоты пульса к частоте дыхания пожилого (слева) и молодого (справа) практически здоровых людей

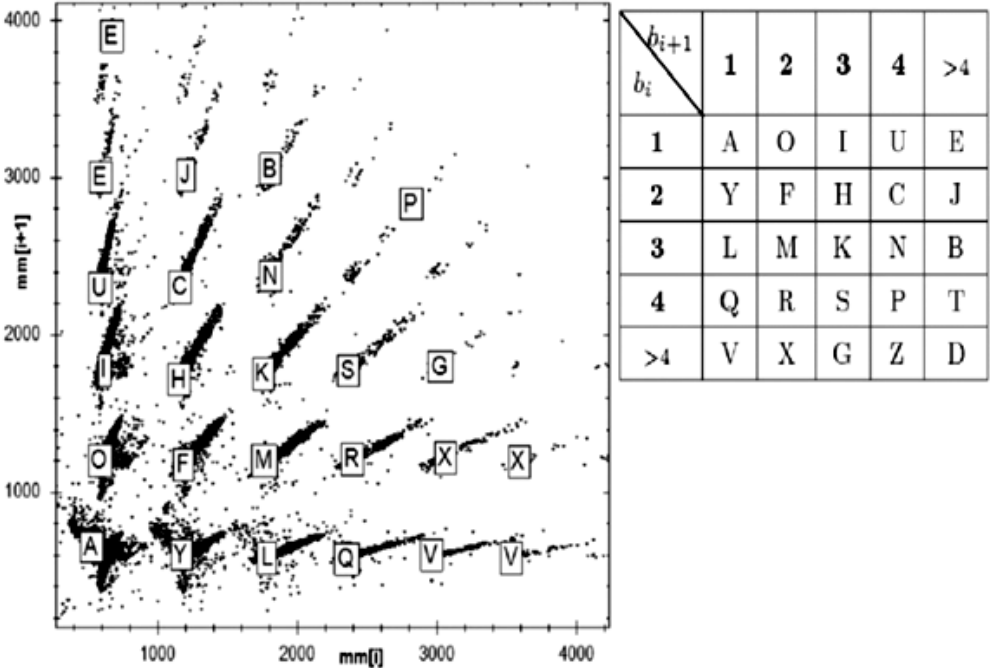


Рис. 3. Слева: скаттерограмма длительностей фаз (в миллисекундах) превалирования симпатического или парасимпатического тонуса у одного испытуемого и ее кодирование символами. Видно, какие символы встречаются чаще. Справа: таблица кодирования символами в зависимости от количества ударов сердца в текущей и последующей фазе. Например, символ “R” означает, что в текущей фазе было 4 удара, а в последующей — 2 удара

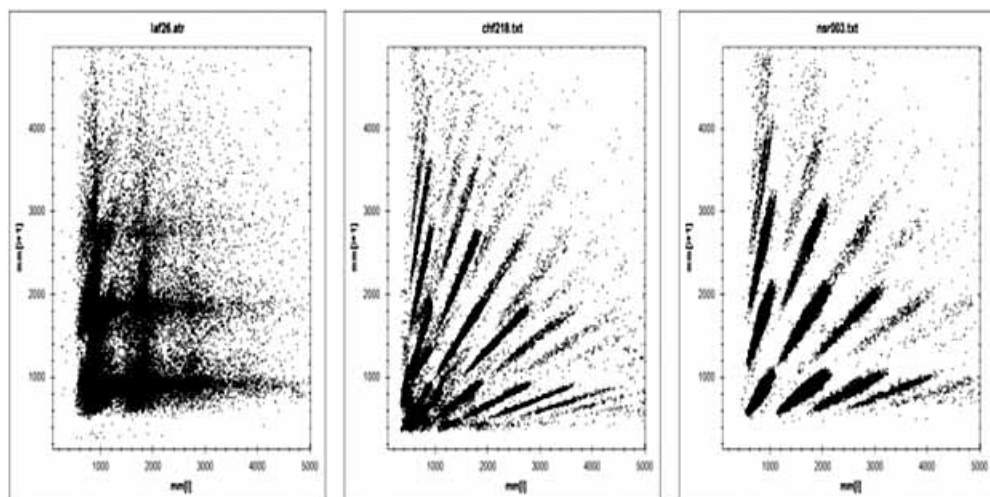


Рис. 4 Скаттерграммы минимумов и максимумов межпульсовых интервалов суточных записей для двух больных и одного здорового человека. Слева — больной мерцательной аритмией, в центре — больной застойной сердечной недостаточностью, справа — здоровый человек. По осям отложены интервалы минимумов и максимумов в секундах

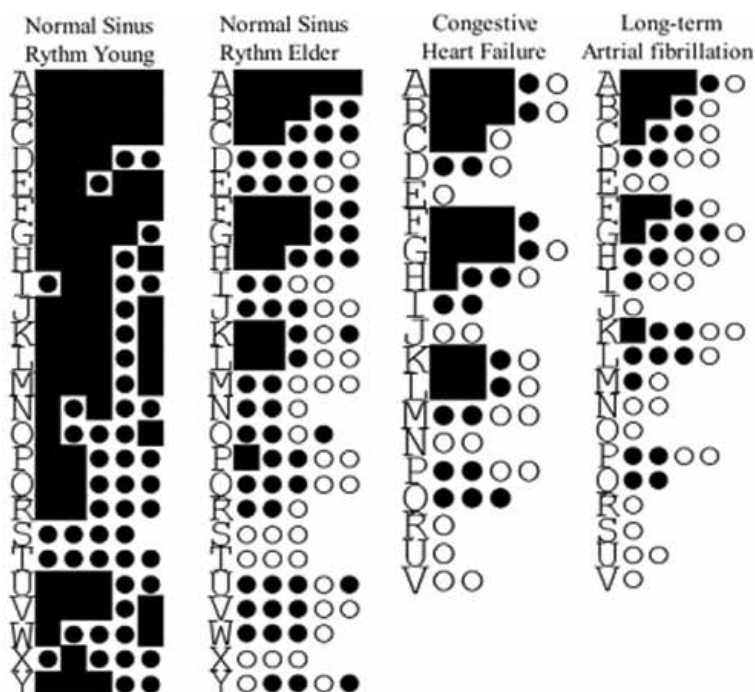


Рис. 5. Диаграммы межсимвольных переходов, полученные при анализе суточных ритмограмм сердца. Слева — направо: здоровый молодой человек, здоровый пожилой человек, больной с застойной сердечной недостаточностью, больной с мерцательной аритмией



Рис. 6. Символическая динамика межпульсовых интервалов. Области показателей пациентов № 1 (красная точка) и № 2 (зеленая точка) находятся между областями пожилых и молодых здоровых людей. По прогнозу пациент 1 имеет вероятность развития сердечной недостаточности

Предварительные результаты оценки изменения скошенности, эксцесса и дисперсии этого показателя в разные сроки начала и окончания магнитной бури указывают на такую возможность. Использование стандартных динамических нагрузок повышает информативность такого исследования. Однако вместо 10 приседаний или ортостатической пробы нами предлагается использовать регистрацию этих показателей на фоне проводимой с этим же устройством дыхательной гимнастики вначале по формуле повышения симпатического тонуса (вдох — 4 удара пульса, выдох — 1 удар пульса), а затем повышения парасимпатического тонуса (вдох — 1 удар пульса, выдох — 4 удара пульса) по 5 минут. Такой метод исключит особенности регистрации ответной реакции, связанной с индивидуальными особенностями состояния и ритмов вегетативного статуса. Более детальная диагностика состояния испытуемых и прогнозирование реакции на магнитные бури больных и здоровых людей возможна по показателям символической динамики (рис. 3–6).

Использование устройства «Квант-Био» возможно для регистрации нормальной реакции на магнитные бури как больных, так и здоровых людей. Реакция даже у здоровых людей характеризуется увеличением амплитуды и периода колебаний показателя избыточности отношения частоты пульса к частоте дыхания [Гуров, Загускин, 2010; Загускин, 2010; Загускин, Гуров, 2008]. У больных людей эти изменения напряжённости регуляции кислород-транспортных систем организма могут предшествовать неблагоприятной реакции в виде усиления аритмий или ишемии сердца.

Более надёжно прогнозировать неблагоприятную реакцию организма человека на магнитные бури и погодные аномалии позволяют показатели символической динамики. Обработав этим методом суточные (или часовые) записи больных с определённым диагнозом, взятых из базы данных американского

кардиологического общества, и сопоставив их с результатами обработки записей конкретного больного, можно прогнозировать у данного человека вероятность неблагоприятной реакции и возникновения соответствующего заболевания. Одновременно этот метод позволяет различать возрастные и патологические изменения, сопоставляя данные испытуемого с результатами обработки записей здоровых молодых и пожилых людей (см. рис. 5, 6).

Последовательность символов получается в результате кодирования, которое заключается в перечислении с помощью символов различных участков монотонного изменения частоты сердечных сокращений. Символы “А” соответствуют самым коротким таким интервалам, а “У” — самым продолжительным (см. рис. 5). Сама диаграмма представляет собой записанные в столбик символы строки, напротив каждого из которых пиктограммой отмечен переход к какому-либо другому символу строки и вес данного перехода. Интерпретация различий между здоровыми и больными людьми сводится к тому, что с возрастом и при развитии патологических состояний количество символов, отвечающих за длительные флуктуации ритма сердца, снижается, что в свою очередь приводит к снижению сложности и разнообразия регистрируемых символьных слов.

Одним из важнейших условий эффективной профилактики и устранения десинхронозов (лечения) является контроль состояния клеточного иммунитета и его восстановление. Оценка клеточного иммунитета производится разработанным нами методом дифференциальной термометрии с использованием термодатчиков «Квант-Био». Снижение разности температур в зоне проекции тимуса относительно подключичной впадины меньше $0,4^{\circ}\text{C}$ указывает на снижение клеточного иммунитета. Восстановить клеточный иммунитет возможно тем же устройством «Квант-Био» путём облучения селезёнки, тимуса, печени и сосудов крови чрескожно матрицей инфракрасных лазерных диодов в ритмах пульса и дыхания пациента. Оценка температурных градиентов в зоне патологии и температурной асимметрии позволяет диагностировать и контролировать эффективность проводимого лечения.

Методы биоуправляемой хронофизиотерапии устройства «Квант-Био» используются для нормализации спектра ритмов микроциркуляции крови в зоне патологии. Устранения гипоксии, артериальной или венозной гиперемии (венозного застоя, отёков) производится при определённых соотношениях глубин амплитудной модуляции физиотерапевтического воздействия по сигналам с датчиков пульса, дыхания и тремора. При необходимости использования лекарственных веществ на выходе устройства «Квант-Био» подключаются электроды для биоуправляемого электрофореза, что позволяет усилить проникновение лекарства на большую глубину и в большей концентрации, чем при постоянном электрическом потенциале. По показаниям используются и другие методы биоуправляемой хронофизиотерапии.

Другим необходимым приёмом профилактики и лечения является нормализация спектра ритмов вегетативного статуса. Устранение ваготонии или симпатикотонии и нормализация ритмов вегетативного статуса с помощью устройства «Квант-Био» проводится с использованием программы «Консонанс». Своевременное обнаружение и устранение десинхронозов может стать основой персонифицированной профилактической медицины, включая прогнозирование и профилактику неблагоприятной реакции на геомагнитные бури и погодные аномалии.

ЛИТЕРАТУРА

- [Гуров, 2010] *Гуров Ю. В.* Символическая динамика в приложении к исследованию ритма сердца // Изв. ВУЗов: Прикладная нелинейная динамика. 2010. № 4. С. 54–67.
- [Гуров, Загускин, 2010] *Гуров Ю. В., Загускин С. Л.* Диагностика десинхронозов // Изв. Южного федерального ун-та (ЮФУ). Технические науки. 2010. № 8. С. 41–46.
- [Загускин, 2010] *Загускин С. Л.* Новое поколение программно-аппаратных лечебно-диагностических устройств // Изв. Южного федерального ун-та (ЮФУ). Технические науки. 2010. № 8. С. 69–75.
- [Загускин, Гуров, 2008] *Загускин С. Л., Гуров Ю. В.* Комплекс программно-аппаратных устройств хронодиагностики и биоуправляемой хронофизиотерапии // Альманах клинич. медицины,. 2008. Т. 17. Ч. 2. С. 54–57.
- [Загускин и др., 1996] *Загускин С. Л., Ораевский В. Н., Рапопорт С. И., Григорьев А. И.* Способ управления давлением в секциях манжеты пневмомассажа. Патент РФ 2103974. Приоритет 27.09.96.
- [Ораевский и др., 1999] *Ораевский В. Н., Загускин С. Л., Рапопорт С. И., Григорьев А. И.* Способ компенсации потери кальция костной тканью. Патент РФ 2141852. Оpubл. 27.11.99. Приоритет 27.09.96.
- [Хетагурова, Салбиев, 2000] *Хетагурова Л. Г., Салбиев К. Д.* Хронопатофизиология до-клинических нарушений здоровья. Владикавказ: Проект-Пресс, 2000. 176 с.
- [Чибисов, Рагульская, 2012] *Чибисов С. М., Рагульская М. В.* Современные аспекты астрохронобиологии // Хронобиология и хрономедицина: Руководство / Под ред. С. И. Рапопорта, В. А. Фролова, Л. Г. Хетагуровой. М.: ООО «Мед. информ. агентство», 2012. С. 159–190.

DEVICE KVANT-BIO FOR THE PREDICTION AND PREVENTION OF ADVERSE REACTIONS OF THE HUMAN BODY TO GEOMAGNETIC STORMS AND WEATHER ANOMALIES

V. N. Motin, A. V. Belousov, S. L. Zaguskin, J. V. Gurov, S. V. Kobilatsky, A. V. Kotov

Open Joint-Stock Company Research and Production Enterprise (OJSC RPE) Cosmic Instrument Making KVANT, Rostov-on-Don, Russia

Developed software and hardware-based medical diagnostic device Kvant-Bio. It contains a pulse, breathing and differential signal input block, thermometry of these sensors in the computer and display the signals on biofeedback matrix laser diodes with power via an adapter from the network. Chronodiagnostic of human organism state and forecasting its adverse reactions to geomagnetic storms and weather anomalies by using special algorithms for symbolic dynamics of rhythms pulse, breathing and their relationships. Explores the rhythms of vegetation status, of cellular immunity, thermal gradients and thermal asymmetry. To resolve these desynchronosis and their prevention is used in the computer version of the respiratory gymnastics and biocontrol on respiration and pulse sensors with laser therapy.

МЕЛАТОНИН В ПРОФИЛАКТИКЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ

С. И. Рапопорт

Московская медицинская академия им. И. М. Сеченова, Москва, Россия,
e-mail: sirap@list.ru

Хронобиология и хрономедицина в значительной мере позволили объяснить эффект воздействия слабых электромагнитных сигналов в период магнитных бурь на биологические объекты. Органом-мишенью является эпифиз, продуцирующий мелатонин, главный адаптоген организма. Во время магнитных бурь продукция мелатонина заметно снижается, в отличие от здоровых лиц, у больных ишемической болезнью и гипертонической болезнью. Рекомендуются использование мелатонина как средства профилактики последствий электромагнитного воздействия.

На протяжении десятков лет дискутировался вопрос влияния магнитных бурь на биосферу и, прежде всего, человека. Многочисленные вопросы, связанные с данной проблемой, неоднократно обсуждались на конференциях различного уровня и в печати. Достаточно подробно их история изложена в монографии Т. К. Бреус и С. И. Рапопорта **«Магнитные бури — медико-биологические аспекты»** (2003).

Этапными в изучении проблемы были работы А. Л. Чижевского, относящиеся к 30–50-м гг. прошлого столетия, в которых было показано влияние космической погоды на биосферу. Подробно свои взгляды на проблему он изложил в монографии **«Земное эхо солнечных бурь»**, переизданной в 1973 г.

Существенный сдвиг в понимании механизмов влияния солнечной активности на биологические объекты (человека) произошёл с появлением такого важного направления в науке как хронобиология и хрономедицина. В нашей стране это направление стало успешно развиваться с 1981 г. после создания проблемной комиссии «Хронобиология и хрономедицина» под руководством академика РАМН Ф. И. Комарова. Объединение специалистов различного профиля: медиков (Ф. И. Комаров, С. И. Рапопорт, Н. К. Малиновская (ПМГМИ им. И. М. Сеченова)), астрофизиков (В. Н. Ораевский (ИЗМИРАН), Т. К. Бреус (ИКИ РАН)) — позволило не только сформулировать общие принципы воздействия на биообъекты естественных электромагнитных полей (ЭМП), слабых зашумленных сигналов, но и расшифровать их механизм, показать возможные изменения в состоянии людей.

Было выявлено сходство инфраничных биологических ритмов и гелиогеофизических ритмов (ритмы с периодами около 28; 7 и 3,5 дней, и сходные с ними гелиомагнитные ритмы тех же периодов (BZ, Kp, P_c-пульсации). Разрушение биологических ритмов под воздействием гелиогеофизических приводит к десинхронизму, который, по сути, является стрессом [Рапопорт и др., 1995].

Ритмическую организацию человека на всех уровнях, которая заложена генетически, осуществляет диффузная эндокринная система, ключевую роль при этом играют эпифиз и супрахиазматические ядра. Важнейшим гормоном эпифиза является мелатонин, обладающий рядом уникальных свойств — ритморегулирующим, иммуномодулирующим, антиоксидантным.

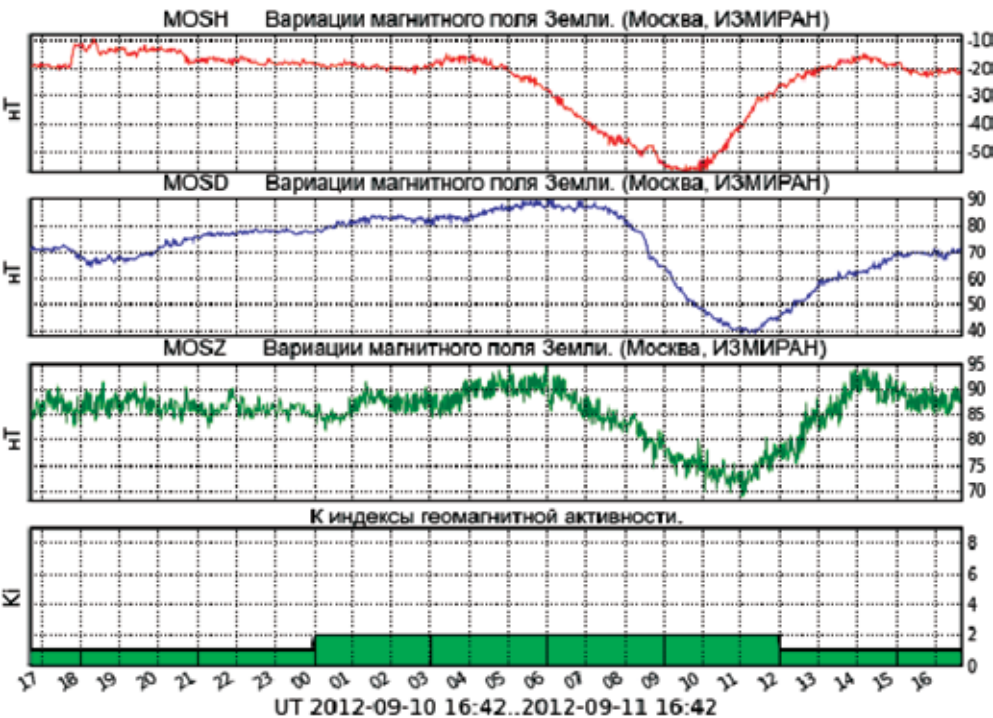
Начальным этапом продукции мелатонина и её регуляции является восприятие сетчаткой глаза световых импульсов с последующей передачей информации о светопериоде по ретино-гипоталамическому тракту. Наличие в сетчатке глаза магнитоорецепторов даёт возможность считать, что воспринимаемые

ею колебания магнитного поля Земли также могут оказывать влияние на продукцию мелатонина. Релаксирующее действие мелатонина на гладкую мускулатуру сосудов обуславливает его эффекты на микроциркуляцию, этот эффект связан со специфическими Ca^{++} - и K^{+} -каналами поступления этих элементов в клетку, что приводит к синтезу простагландина Е и снижает артериальное давление.

Нашими работами было показано, что у больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы (гипертонической болезнью (ГБ), ишемической болезнью сердца (ИБС)) по мере утяжеления болезни заметно снижается эпифизарная продукция мелатонина. Эффекты мелатонина определяются его антиоксидантной и прооксидантной активностью, способностью оказывать влияние на сосудистый тонус и регулировать его, ингибировать агрегацию тромбоцитов.

В экспериментах на животных выявлено, что пинеалэктомия приводит к стойкому повышению артериального давления, уровень которого снижается до нормальных цифр при экзогенном введении мелатонина. У них же определена повышенная чувствительность рецепторов к вазоконстрикторным агентам, было показано, что эпифиз является органом-мишенью биотропного воздействия естественных магнитных волн [Рапопорт, Малиновская, 2004].

В экспериментальных работах выявлены изменения циркадианных ритмов различных физиологических функций у животных при колебаниях искусственных электромагнитных полей, аналогичных по силе ЭМП Земли.



Пример состояния геомагнитной обстановки
в определенный период времени, в том числе К-индекс

Всё перечисленное позволило прийти к мысли о возможности использовать мелатонин в качестве профилактики негативных воздействий ЭМП Земли на больных с ГБ, ИБС. С этой целью профилактически, за 3 дня до наступления магнитной бури, рекомендовать больным приём 3 мг мелатонина (Мелаксена®).

Работа проводилась на базе Щёлковской районной больницы (Московская область) совместно с Центром прогнозов космической погоды (руководитель профессор С. П. Гайдаш) Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова (ИЗМИРАН). Информацию о геомагнитной обстановке получали за три дня до наступления магнитной бури (см. рисунок).

Для изучения влияния колебаний ЭМП Земли на секрецию мелатонина была сформирована группа из 42 больных с ишемической болезнью сердца II функционального класса (ф.к.) и гипертонической болезнью II стадии в возрасте до 78 лет ($56,6 \pm 0,6$), которые находились на стационарном лечении, контрольная группа — 7 здоровых мужчин от 20 до 34 лет ($26,3 \pm 1,4$). Все больные получали комбинированную терапию: нитраты, блокаторы кальциевых каналов, ингибиторы АПФ, транквилизаторы. Проводимая терапия оставалась неизменной у каждого больного во все изучаемые геомагнитные периоды, что позволило не учитывать факторы терапии при анализе полученных данных. Распределение больных по заболеваниям представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение больных по заболеваниям

Заболевание	Количество больных
Нейроциркуляторная дистония	9
ИБС II ф.к.	9
ИБС III ф.к.	10
ИБС IV ф.к.	4
Гипертоническая болезнь II стадии	10
<i>Всего</i>	42

В результате проведённой работы установлено влияние ЭМП Земли на состояние и самочувствие больных, что подтверждалось данными анкетирования самочувствия, качества сна, данных ЭКГ, суточной продукции мелатонина как в спокойный период, так и в значимый по силе период (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика электромагнитного поля Земли в зависимости от величины К-индекса

Период активности	К-индекс
Спокойный	<15
Возмущение	>15, <25
Буря	>25

Как видно из табл. 3, количество мелатонина в суточной моче увеличивалось в период возмущения, что даёт право говорить о высоких адаптивных

возможностях. У больных как в «бурю», так и в период возмущения секреция мелатонина подавлена, что свидетельствует о подавлении адаптивных способностей.

Таблица 3. Концентрация мелатонина в моче больных ГБ и ИБС и лиц контрольной группы, нМоль/л

Группа	Геомагнитная обстановка		
	спокойный период	возмущение	буря
Контрольная группа ($n=7$)	$0,145\pm0,010$	$0,180\pm0,010$	$0,150\pm0,01$
Больные сердечно-сосудистыми заболеваниями ($n=42$)	$0,150\pm0,008$	$0,120\pm0,005^{**}$	$0,120\pm0,005^{*}$

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ — различия между концентрацией М в моче здоровых и больных в период возмущения и бури.

У больных ухудшались самочувствие и сон, усиливался болевой синдром, что находило подтверждение в данных анкетирования и ЭКГ.

Таким образом, полученные результаты позволяют с полной уверенностью рекомендовать больным сердечно-сосудистой патологией (ИБС, ГБ) мелатонин как профилактическое средство в период предшествующих магнитных бурь.

ЛИТЕРАТУРА

[Бреус, Рапопорт, 2003] *Бреус Т. К., Рапопорт С. И.* Магнитные бури — медико-биологические аспекты. М.: Сов. спорт, 2003. 186 с.

[Рапопорт, Малиновская, 2004] *Рапопорт С. И., Малиновская Н. К.* Мелатонин как биохимический посредник эффектов воздействия электромагнитного поля // Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности». ИКИ РАН, ИТЭБ РАН, ИБК РАН, ИЗМИРАН, РАМН, Пущино-на-Оке, 6–9 апр. 2004. С. 18.

[Рапопорт и др., 1995] *Рапопорт С. И., Большакова Т. д., Малиновская Н. К., Бреус Т. К.* Магнитные бури как стресс // Биофизика. 1995. Т. 93. № 4. С. 313–316.

[Чижевский, 1973] *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 350 с.

MELATONIN IN THE PREVENTION OF MAGNETIC STORMS

S.I. Rapoport

Sechenov's Moscow Medical Academy, e-mail: sirap@list.ru

Chronobiology and chronomedicine explain the effect of weak electromagnetic signals during magnetic storms on biological objects. The pineal gland is the target organ which produces the main adaptogen — melatonin. Production of melatonin significantly decrease in magnetic storms in patients with coronary artery disease and hypertension, in contrast to healthy individuals. We recommend to use melatonin to prevent the effects of electromagnetic implications.

РЕАКЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ НА НУЛЕВОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

Ю. И. Гурфинкель^{1,2}, А. Л. Васин¹, Т. А. Матвеева¹

¹ Научный клинический центр Открытого акционерного общества
«Российские железные дороги» (НКЦ ОАО РЖД), Москва, Россия

² Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН),
e-mail: yugurf@yandex.ru

Перспектива совершения пилотируемых полётов в межпланетном пространстве, организация жизни на планетах и их спутниках с ослабленным магнитным полем или его отсутствием делает актуальным изучение проблемы влияния гипوماгнитных условий на здоровье человека. В земных условиях проявление гипوماгнитных полей — особенно так называемого нулевого магнитного поля, встречается редко.

Проведённые ранее исследования пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями показали улучшение параметров капиллярного кровотока, нормализацию артериального давления и частоты сердечных сокращений за время их пребывания в экранированном помещении в период геомагнитных возмущений. Экранированное помещение обеспечивало уменьшение магнитного поля в 4,5...5 раз. В настоящее время в ряде отечественных и зарубежных исследований показано влияние нулевого магнитного поля на когнитивную функцию человека, однако отсутствуют данные о влиянии нулевого магнитного поля на сердечно-сосудистую систему.

В ходе эксперимента использовались неинвазивные методики, позволяющие количественно оценить 14 физиологических параметров, включая артериальное давление, частоту пульса, скорость распространения пульсовой волны, эндотелиальную функцию, а также скорость капиллярного кровотока. Помимо этого оценивались электрокардиограмма и семь показателей вариабельности ритма сердца. Время нахождения каждого испытуемого непосредственно в нулевом магнитном поле составляло 60 мин. Количественные изменения значений показателей, полученных по каждому испытуемому в условиях фона и нулевого магнитного поля, оценивались по балльной логарифмической шкале.

Результаты исследования показали влияние нулевого поля на физиологические параметры, характеризующие состояние сердечно-сосудистой системы здоровых людей, как старшей возрастной группы, так и тех, чей возраст не превышал 40 лет. Наибольшее изменение отмечено в старшей группе добровольцев после 30...40 мин экспозиции в нулевом магнитном поле. Это свидетельствует о более выраженной активации регуляторных механизмов вегетативной нервной системы в этой группе по сравнению с теми же параметрами младшей возрастной группы. Различия результатов между возрастными группами статистически достоверны ($p=0,014$ по критерию Манна—Уитни). Используемые методики показали их значимость для оценки индивидуальной чувствительности испытуемых к нулевому магнитному полю.

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с изучением воздействия геомагнитных возмущений на человека и биологические объекты в зоне интереса научных групп в течение последних десятилетий оказалось исследование влияния гипوماгнитных условий (ГМУ). Это обусловлено ростом объёмов строительства объектов и сооружений, обладающих выраженным эффектом экранирования магнитных полей, меняющих привычную электромагнитную среду обитания на гипوماгнитные условия, что, по данным ряда авторов, приводит к патологии сердечно-сосудистой системы (ССС) [Походзей и др., 2012]. Крайнее проявление гипوماгнитных условий — так называемое нулевое магнитное поле в земных

условиях наблюдается редко, однако перспектива пилотируемых полётов в межпланетном пространстве, организация жизни на планетах и их спутниках с ослабленным магнитным полем или его полным отсутствием делает актуальной изучение этой проблемы.

В эксперименте нулевое магнитное поле создаётся с помощью катушек Гельмгольца, компенсирующих магнитное поле Земли. Так, в исследованиях НАСА использовали 8-метровую систему катушек для четырёх испытуемых. У трёх из них показано выраженное ухудшение функциональных характеристик центральной нервной системы за период десятидневного пребывания в магнитном вакууме [Бинги, 2011].

Влияние нулевого магнитного поля на когнитивную функцию человека показано в исследованиях Р.М. Саримова и В.Н. Бинги (2009). Участники экспериментов были подобраны таким образом, чтобы можно было исследовать гендерную и возрастную зависимость эффектов ГМУ. Общая группа испытуемых из 40 человек проходила тесты, в которых измерялись параметры когнитивной деятельности. Тестировали время ответа и количество ошибок. Каждый испытуемый проходил тестирование дважды: в одном из экспериментов включались гипوماгнитные условия, другой эксперимент проходил полностью в условиях мнимого воздействия (МВ). Второе тестирование осуществлялось через 40...60 дней после первого. Порядок прохождения эксперимента в условиях МВ или ГМУ определялся случайным образом. Испытуемый не знал, в каких условиях проходил тестирование — в условиях ГМУ или МВ. Показано, что в условиях нулевого магнитного поля возрастали количество ошибок и время выполнения заданий.

Ранее проведены исследования по размещению больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями в экранированное помещение в период возмущённой геомагнитной обстановки. Общее ослабление составляющих геомагнитного поля (ГМП) в экранированном помещении составило 4,5...5 раз по сравнению с фоновым значением. При нахождении в экранированном помещении отмечены положительные сдвиги состояния здоровья: снижение артериального давления, уменьшение частоты сердечных сокращений, снижение суммарного капиллярного индекса у пациентов с гипертонической болезнью и стенокардией [Гурфинкель, 2004].

Современные технические возможности позволяют моделировать ГМУ в заданном объёме со значительно лучшими параметрами однородности и ослаблением геомагнитного поля на несколько порядков. Гипوماгнитные условия создаются путём компенсации локального магнитного поля, когда в системе экспозиции генерируется магнитное поле, равное по величине и направленное противоположно локальному геомагнитному полю. Такие системы открывают новые возможности изучения влияния вариаций магнитного поля и гипوماгнитных условий на сердечно-сосудистую систему человека.

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение влияния нулевого магнитного поля на сердечно-сосудистую систему человека, оценка чувствительности используемых методик для выявления реакции организма в условиях нулевого магнитного поля, а также определение индивидуальной магниточувствительности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Испытуемые добровольцы: 21 человек без сердечно-сосудистой патологии — были разделены на две группы. В первую группу вошли 11 человек до 40 лет (средний возраст $32,4 \pm 5,0$ года), из них 8 мужчин и 3 женщины, во вторую — 10 человек от 40 лет и старше (средний возраст $52,5 \pm 10,7$ года), из них 7 мужчин и 3 женщины. Исследования проведены в установке с электростатическим экраном и кольцами Гельмгольца для компенсации геомагнитного поля до значений нулевого уровня. Все участники исследования были информированы об эксперименте, а также о возможности в любой момент на любом этапе отказаться от участия в данном исследовании.

Принципы исследования и текст «Информированного согласия» одобрены комиссией по биомедицинской этике «НКЦ ОАО «РЖД».

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использовалась система моделирования магнитных полей «Арфа» с электростатическим экраном, предназначенная для компенсации изменений (возмущений) низкочастотного магнитного поля (МП) вдоль оси, параллельной вектору геомагнитного поля, а также для создания контролируемой магнитной экспозиции испытуемого в рабочем объеме системы (рис. 1).

Характеристики системы «Арфа» позволяют в течение нескольких часов обеспечивать стабильный (неизменный) уровень магнитного поля, составляющий на широте Москвы примерно 48 мкТ, а также компенсацию геомагнитного поля до 10...50 нТ (ГМУ).

Система «Арфа» даёт возможность записывать в режиме реального времени составляющие (3 компоненты) низкочастотного магнитного поля в рабочем объёме блока экспозиции. Испытуемый во время исследования находится в кресле блока экспозиции в условиях экранирования от электростатического поля и от электромагнитного поля, частотой до 1 ГГц.

При выборе методов регистрации физиологических параметров мы руководствовались, прежде всего, их информативностью, а также неинвазивностью с тем, чтобы не внести искажений в результаты исследования.



Рис. 1. Блок экспозиции системы «Арфа»: 1 — передвижная платформа; 2 — опорная стойка; 3 — оси вращения бокса; 4 — подвижный бокс; 5 — электростатический экран; 6 — витки колец Гельмгольца (7 витков)

Таким критериям соответствовали методики исследования капиллярного кровотока с помощью цифрового оптического капилляроскопа, определение скорости распространения пульсовой волны (СРПВ), эндотелиальной функции (ЭФ), артериального давления и частоты пульса, с помощью аппарата «Тонокард», а также мониторингирование электрокардиограммы (ЭКГ) с последующим анализом записи показателей variability ритма сердца (ВРС). Кроме того на выбор методики повлиял наш собственный положительный опыт работы с этими показателями. Так, исследование капиллярного кровотока с помощью оптического, а затем цифрового капилляроскопа показало наличие выраженного влияния геомагнитной активности на скоростные характеристики в микроциркуляторном русле у пациентов с ишемической болезнью сердца [Gurfinkel et al., 1995]. Изменение СРПВ и ЭФ также были отмечены как предикторы развития артериальной гипертензии (АГ). Аналогичные изменения были выявлены в группе здоровых добровольцев под влиянием вариаций естественных геомагнитных полей [Гурфинкель и др., 2010]. Выбор анализа ВРС связан с тем, что наиболее вероятными мишенями воздействия геомагнитных возмущений являются ССС и нервные механизмы её регуляции. Изменения variability ритма сердца у космонавтов в период геомагнитных возмущений были продемонстрированы в работах Баевского и соавторов [Баевский и др., 2006].

Для исследования капиллярного кровотока мы использовали цифровой капилляроскоп (Россия) с высокоскоростной камерой (100 кадров/с); температура вблизи эпонихия исследуемого пальца измерялась в ходе каждого исследования; регистрировали скорость капиллярного кровотока и ряд других параметров (рис. 2).

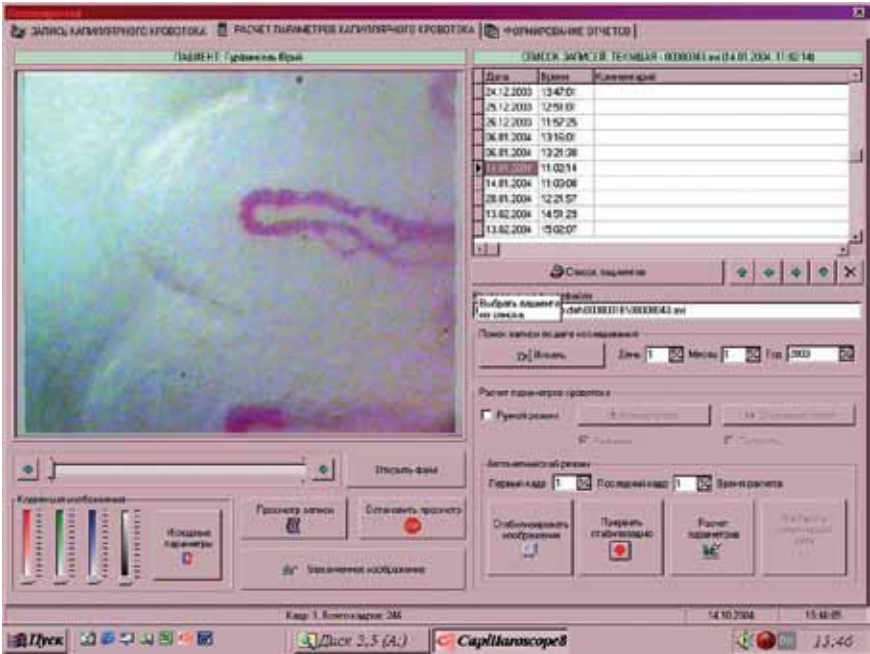


Рис. 2. Изображение капилляра, выведенное на экран компьютера для последующей обработки

Измерение СРПВ, ЭФ, артериального давления проводилось до и после пробы с реактивной гиперемией. Конструктивной особенностью аппарата «Тонокард» является использование высокочувствительных датчиков давления, располагаемых в проекции плечевой артерии и артерий запястья (лучевой и локтевой). После того как датчики, соединённые с манжетами, закреплялись на руке, в компьютер вводилось точно измеренное расстояние (L) между ними. Время (Δt), за которое пульсовая волна проходит это расстояние, регистрировалось автоматически. СРПВ определялись как отношение $L/\Delta t$.

При измерении ЭФ проводилась трехминутная проба с пережатием плечевой артерии. Этот метод основан на способности эндотелия высвобождать оксид азота (NO) в условиях реактивной гиперемии. В исследованиях давление в пережимающей плечевой манжете в ходе пробы составляло 170 мм рт.ст. До и после пробы автоматически производился замер амплитуды пульсовой волны на запястье всегда через равный интервал, составляющий 10 с после распускания манжеты на плече. Изменение амплитуды пульсовой волны до и после распускания манжеты выражалось в процентах. Одновременно проводился замер изменения СРПВ (ΔСРПВ) до и после пробы с гиперемией. Результат определялся в процентах относительно исходного значения. Измерение артериального давления производилось дважды на той же руке через 2 мин после окончания пробы с гиперемией. По завершении измерения полученные результаты автоматически записывались в электронный протокол с указанием соответствующего времени.

Мониторирование ЭКГ проводилось кардиологическим комплексом «Астрокард-Телеметрия», производства ЗАО «Медитек», в 12 стандартных отведениях с последующим автоматическим анализом ЭКГ. Специальный выносной монитор позволяет помимо записи данных на основной сервер, вести визуальное наблюдение за характером сердечного ритма в ходе исследования. Комплекс позволяет также проводить анализ вариабельности ритма сердца (BPC).

Метод анализа вариабельности ритма сердца (BPC) применяется в медицине для оценки состояния вегетативной нервной системы и общей адаптационной реакции организма при стрессорных воздействиях. Оценка BPC как результата деятельности регуляторных систем, обеспечивающих поддержание гомеостаза и приспособления организма к условиям окружающей среды, основывается на концепции о ССС как индикаторе адаптационных реакций всего организма [Баевский, Берсеньева, 1997; Баевский и др., 2001].

За два часа до проведения исследования испытуемые воздерживались от курения, употребления кофе и кофеинсодержащих напитков. Температура в помещении, где проводилось исследование, поддерживалась на уровне 24...25 °С.

Циклограмма исследования включала три этапа: подготовительный, измерительный и заключительный. Отсчёт времени исследования начинался с момента закрытия электростатического экрана блока экспозиции системы «Арфа». Во время подготовительного периода, длительностью до 30 мин, испытуемый проходил инструктаж, после чего на него прикрепляли электроды системы мониторинга ЭКГ (стандартные 12 отведений) и подключали к системе телеметрии.

Измерительный период циклограммы имел 6 временных периодов (измерений) регистрации физиологических параметров за период исследования в течение примерно двух часов.

Первое измерение (I) проводилось после того как испытуемый примерно 10 мин адаптировался в кресле блока экспозиции системы «Арфа». При этом электростатический экран был открыт, испытуемый не подвергался никаким воздействиям.

Второе измерение (II) проводилось спустя примерно 10...15 мин после закрытия электростатического экрана и установки блока экспозиции в рабочее положение. Длительность второго измерительного периода составляла 20...30 мин.

Третье измерение (III) проводилось спустя 7...10 мин после включения компенсации геомагнитного поля, т.е. испытуемый находился в гипомагнитных условиях.

Четвёртое и пятое измерения (IV и V) проводились примерно через каждые 20 мин после третьего измерения. Испытуемый также находился в нулевом магнитном поле. Общее время нахождения добровольца в ГМУ составляло 60 мин. Общее время нахождения добровольца в системе «Арфа» составляло 80...90 мин.

Шестое измерение (VI) проводилось через 10 мин после прекращения воздействия нулевого МП при открытом электростатическом экране блока экспозиции. Измерения I и VI проводили для контроля состояния ССС испытуемого до и после экспонирования в системе «Арфа».

В заключительном периоде циклограммы, который начинался после завершения шестого измерения, испытуемый примерно 10 мин находился в кресле блока экспозиции с целью контроля ЭКГ после прекращения воздействия. Затем происходило отключение телеметрии и снятие электродов системы мониторингирования.

В среднем длительность всего исследования составляла от 2 до 2,5 ч.

РЕГИСТРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Запись значений магнитного поля внутри системы «Арфа» осуществлялась при помощи входящего в состав системы трехкомпонентного датчика, расположенного в районе плечевого пояса испытуемого. Регистрация МП по трём компонентам проводилась непрерывно с частотой 1 кГц, с записью измерений в соответствующий текстовый файл. Также осуществлялась запись средних значений магнитного поля за 1 с. Точность регистрации МП была в соответствии с характеристиками трехкоординатного датчика МП и выбранной, с помощью программного обеспечения системы «Арфа», частотой дискретизации аналого-цифрового преобразователя.

МЕТОД ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты оценивались в баллах по 14 показателям:

- 6 показателей, полученных аппаратом «Тонокард»: артериальное давление (АД), систолическое (САД), диастолическое (ДАД), частота сердечных
- 624

сокращений (ЧСС), скорость распространения пульсовой волны (СРПВ), процент изменения (Δ СРПВ), эндотелиальная функция (ЭФ);

- 1 показатель капилляроскопии: скорость капиллярного кровотока (СКК);

- 7 показателей вариации ритма сердца: значение нормальных синусовых кардиоинтервалов (nNN); стандартное отклонение нормальных кардиоинтервалов (SDNN); количество пар последовательных нормальных кардиоинтервалов (NN), различающихся более чем на 50 мс, полученных за 5-минутный интервал (NN50); общая спектральная мощность записи во всех диапазонах (0,003...0,4 Гц) (Tot P); мощность в диапазоне очень низких частот (0,003...0,04 Гц) (VLF); мощность медленных волн в диапазоне низких частот (0,04...0,15 Гц) (LF P); **соотношение, отражающее вагусно-симпатический баланс (LF/HF).**

Сравнивали значения показателей в измерениях IV и V, когда испытуемый находился в условиях нулевого магнитного поля со значениями показателей до воздействия ГМУ, измерение II (фоновые условия). Таким образом, в оценке состояния каждого испытуемого задействовано 42 значения в трёх наборах данных.

Балльный результат получали как разность между значением показателя в условиях нулевого МП и фоном, нормированную на фоновое значение в процентах. Затем брали десятичный логарифм абсолютного значения полученного результата. Логарифмирование и последующее умножение на коэффициент 10 позволило получать балльные значения, не превышающие тридцать четыре десятка даже в случае значительных вариаций отдельного показателя.

Математическое выражение балльной оценки (B) в баллах (целочисленные значения) для каждого показателя описывается следующим образом:

$$B = 10 \lg \left| \frac{100(x_{0\text{мп}} - x_{\text{ф}})}{x_{\text{ф}}} \right|,$$

где $x_{0\text{мп}}$ — значение показателя при экспонировании в нулевом магнитном поле; $x_{\text{ф}}$ — фоновое значение (значение показателя во 2-й точке).

При получении отрицательных балльных значений, свидетельствующих о процентном изменении показателя менее чем на единицу, сравнению приписывали нулевое значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отказов от участия в исследовании в ходе эксперимента не было. Никто из испытуемых не предъявлял жалоб на дискомфорт или какие-либо неприятные ощущения. Испытуемых не информировали, будет ли включено нулевое поле, и в какой момент исследования это произойдёт.

На рис. 3 показан типичный график изменения индукции магнитного поля в процессе исследования. В соответствии с описанной выше циклограммой исследования первые 30 мин доброволец находился в магнитном поле с фоновыми значениями индукции около 48 мкТ (верхняя горизонтальная линия на графике).

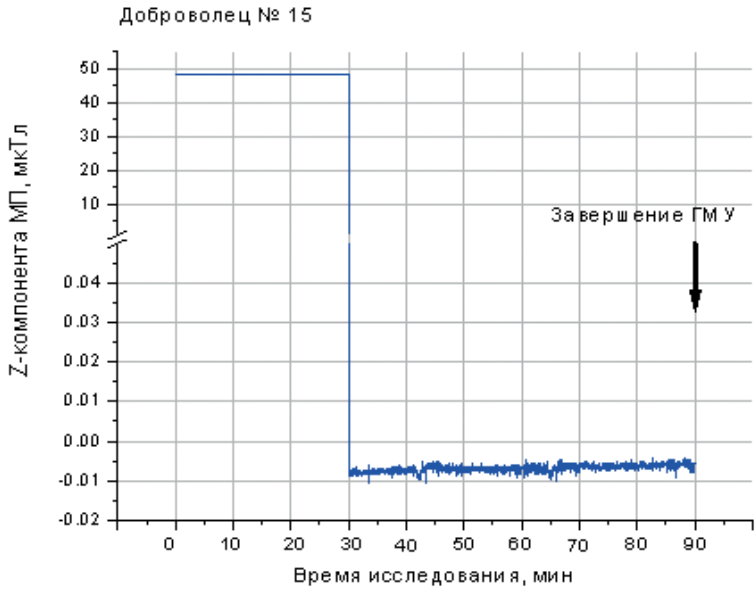


Рис. 3. Типичный график изменения магнитного поля в течение исследования

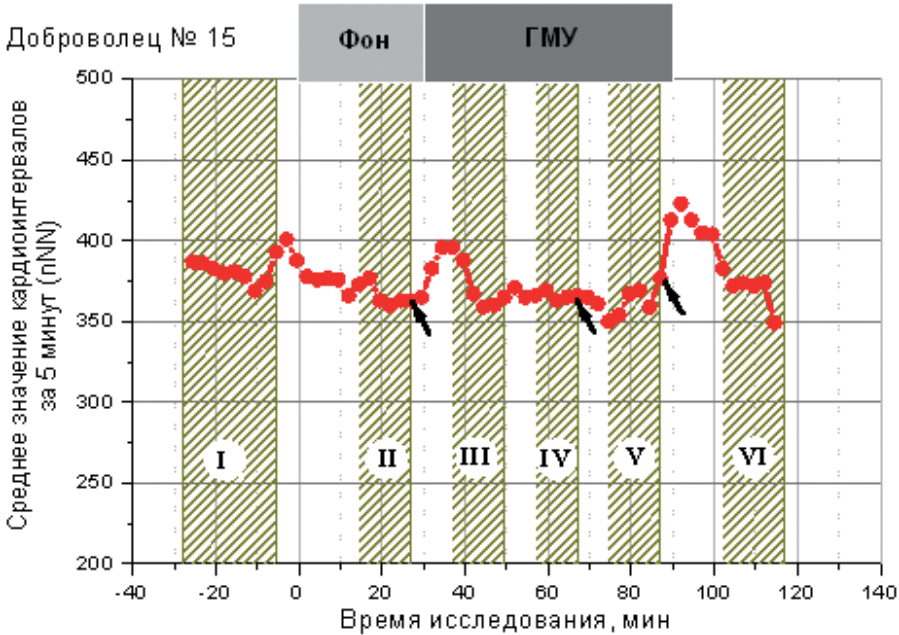


Рис. 4. Пример типичной циклограммы исследования. Вверху графика ширина прямоугольников соответствует длительности надписанного периода воздействия. Штрихованные области с цифрами — длительности регистрации измерительного периода электрограммы (продолжительность фонового периода в условиях экранирования от электрического поля — 30 мин, магнитное поле в этом периоде 48,4 мкТ; темный прямоугольник соответствует гипомангнитным условиям, в которых находился испытуемый в течение 60 мин). Стрелками отмечены точки записи показателя, значения которых вошли в балльную оценку

После включения компенсации геомагнитного поля (по Z -компоненте) магнитные условия в блоке экспозиции изменились. Индукция магнитного поля по вертикальной компоненте стала около нуля (нижняя горизонтальная линия). Временной период гипوماгнитных условий составил 60 мин. Нижняя часть графика имеет укрупнённую шкалу, поэтому можно увидеть шумы, не превышающие 5 нТ.

Для представленного примера средние значения индукции магнитного поля составили:

Фоновые значения за 30 мин:

по X -компоненте:	$0,0941 \pm 0,0006$ мкТ,	$\sigma = 0,0137$ мкТ;
по Y -компоненте:	$-0,0505 \pm 0,0013$ мкТ,	$\sigma = 0,0286$ мкТ;
по Z -компоненте:	$48,3764 \pm 0,0438$ мкТ,	$\sigma = 0,9501$ мкТ.

Гипомагнитные условия за 60 мин:

по X -компоненте:	$-0,0350 \pm 0,0005$ мкТ,	$\sigma = 0,0143$ мкТ;
по Y -компоненте:	$-0,2125 \pm 0,0007$ мкТ,	$\sigma = 0,0223$ мкТ;
по Z -компоненте:	$-0,0069 \pm 0,0000$ мкТ,	$\sigma = 0,0008$ мкТ.

Приведённые данные свидетельствуют о том, что физические параметры воздействия обеспечиваются с хорошей точностью. При этом коэффициент ослабления ГМП по Z -компоненте равен $7 \cdot 10^3$, что выдерживалось во время экспозиций всех испытуемых.

На рис. 4 представлен пример типичной циклограммы исследования.

Длительность регистрации для каждой точки складывалась из двух последовательных измерительных периодов: период записи видеофрагментов капиллярного кровотока (не менее 4–5 фрагментов) для последующего расчёта и период регистрации скорости распространения пульсовой волны, эндотелиальной функции, включая трехминутное пережатие плечевой артерии, а также двукратного измерения артериального давления и пульса.

Суммарные результаты показателей **IV** и **V измерений в баллах для каждого** испытуемого по всем методикам представлены в табл. 1 и 2 (по горизонтали); по вертикали приведены значения показателей по методикам для каждой возрастной группы. Такой подход позволил выявить значимость каждой методики в оценке влияния нулевого поля на каждый исследуемый параметр. Как видно из приведённых таблиц, самыми информативными оказались методики с замером СРПВ до и после трехминутного пережатия плечевой артерии (**ДСРПВ**), исследование **ЭФ**, **СКК**, **NN50** и **VLF**, **Tot P** и **LF P**. Мало изменившимися параметрами в ходе эксперимента воздействия нулевого поля оказались САД, ДАД, ЧСС и значение нормальных кардиоциклов (**nNN**). Их вариабельность не превысила 8 баллов как для измерения **IV**, так и для измерения **V** по сравнению с измерением **II** параметров.

Как видно из приведённых таблиц, среднее значение баллов ($M \pm \sigma$) при сравнении измерений **II** и **IV** составило **$156,2 \pm 22,5$ баллов для испытуемых** в возрасте до 40 лет и **$184,4 \pm 27,8$ для возрастной группы старше 40 лет**. Различия в реакции между возрастными группами статистически достоверно, $p = 0,014$ по критерию Манна – Уитни. Для измерения **V** средние балльные значения равны **$167,7 \pm 32,3$ для возрастной группы до 40 лет** и **$168,9 \pm 23,1$ для старшей возрастной группы**.

Таблица 1. Результаты измерений во II и IV точках IV измерения

Добровольцы		Показатель, баллы													Итого
		САД	ДАД	ЧСС	СРПВ	ΔСРПВ	ЭФ	СКК	nNN	SDNN	NN50	Tot P	VLF	LF P	
Возрастная группа до 40 лет															
1	0	0	0	15	25	20	9	1	2	7	6	14	10	15	124
2	7	9	7	6	1	11	15	8	10	16	13	13	16	0	133
3	7	2	8	0	14	29	6	10	1	19	0	16	14	17	143
4	2	2	1	4	20	7	14	9	6	16	11	16	19	21	146
5	6	2	4	10	22	3	16	18	13	19	21	21	22	12	192
6	0	5	5	8	16	16	14	7	19	11	23	26	24	24	197
7	0	2	7	2	5	13	16	0	12	60	14	11	19	15	146
8	6	5	9	8	15	16	13	6	7	15	11	18	18	23	171
9	3	6	2	13	19	11	16	0	9	18	11	15	15	15	154
10	5	1	7	11	15	18	16	0	12	7	15	14	16	18	156
11	0	0	6	6	10	9	0	5	17	21	21	15	19	16	156
Среднее	3	3	5	8	15	14	12	6	10	16	13	17	17	16	156
Возрастная группа 40 лет и старше															
1	10	2	6	8	26	14	16	12	19	12	23	23	13	0	183
2	3	5	7	11	24	19	22	9	7	20	10	12	13	9	173
3	7	5	7	12	20	18	21	6	22	25	28	29	28	20	248
4	2	1	4	9	13	15	19	6	17	27	21	17	24	21	197
5	7	5	5	7	21	18	12	0	4	19	6	26	18	8	155
6	0	7	2	4	18	18	19	8	18	18	23	26	23	18	202
7	0	9	0	5	15	34	9	0	17	29	21	22	21	15	196
8	0	9	4	8	14	16	15	6	15	17	17	18	15	14	168
9	6	13	0	6	15	18	4	7	16	13	18	19	13	13	161
10	5	9	0	7	11	11	19	8	14	17	16	17	14	14	162
Среднее	4	7	3	8	18	18	16	6	15	20	18	21	18	13	184

Таблица 2. Результаты измерений во II и V точках V измерения

Добровольцы	Показатель, баллы												Итого	
	САД	ДАД	ЧСС	СРПВ	ΔСРПВ	ЭФ	СКК	nNN	SDNN	NN50	Tot P	VLF	LF P	LF/HF
Возрастная группа до 40 лет														
1	0	2	5	14	23	18	12	8	11	10	15	22	15	16
2	4	8	12	9	17	21	18	7	3	8	7	11	0	11
3	3	2	4	7	10	32	12	11	4	20	9	13	11	18
4	0	6	6	1	19	18	0	12	3	11	10	11	14	9
5	0	0	0	7	22	16	18	18	5	16	14	17	13	18
6	0	0	5	9	18	18	14	7	21	16	26	29	26	26
7	8	2	4	5	6	14	20	5	14	27	17	16	20	18
8	6	5	2	7	19	13	10	11	19	17	25	29	23	26
9	7	6	0	9	13	16	17	5	9	12	11	13	10	13
10	5	1	0	3	18	17	15	1	12	12	16	14	14	17
11	6	0	4	11	13	13	16	6	20	27	25	29	22	17
Среднее	4	3	4	8	16	18	14	8	11	16	16	18	15	17
Возрастная группа 40 лет и старше														
1	11	8	6	10	9	18	15	5	11	9	15	16	14	14
2	5	10	7	8	30	15	21	12	13	17	15	21	14	6
3	10	5	8	10	11	10	14	0	18	22	22	20	24	19
4	2	5	4	9	13	6	19	0	15	27	19	12	22	20
5	0	1	6	10	18	21	15	6	20	13	24	32	15	9
6	0	8	0	11	22	40	13	6	13	0	17	21	14	6
7	0	8	2	4	6	16	1	6	20	17	25	27	27	22
8	0	7	4	3	0	15	12	6	15	0	17	18	16	15
9	2	11	6	0	13	16	12	0	10	17	14	3	20	15
10	6	6	0	10	15	9	15	5	8	18	14	13	17	14
Среднее	4	7	4	7	14	17	14	5	14	14	18	18	18	14

Различия между возрастными группами для этого измерительного периода не достоверны, $p > 0,7$. Обращает на себя внимание, что в старшей возрастной группе показатель ДАД изменялся почти в два раза по сравнению с испытуемыми в возрасте до 40 лет. Параметры Δ СРПВ, ЭФ, СКК, SDNN, NN50 и VLF, Tot P также выросли в старшей возрастной группе в измерении IV. Наше исследование показывает, что после 30...40 мин экспозиции в нулевом магнитном поле (измерение IV) отмечен максимальный рост физиологических показателей, свидетельствующих об активации регуляторных механизмов вегетативной нервной системы в группе добровольцев старше 40 лет.

Изменение балльной оценки от измерения IV к измерению V у этой группы испытуемых, вероятно, обусловлено адаптацией организма к концу периода пребывания испытуемых в гипоманнитных условиях. Увеличение показателя NN50, согласно принятой интерпретации [Баевский и др., 2001], свидетельствует об активации парасимпатического звена регуляции, а увеличение показателя VLF — об активации симпатического звена регуляции. К тому же об этом свидетельствует увеличение суммарной мощности спектра Tot P как показателя активности абсолютного уровня регуляторных систем и увеличенная активность ЭФ, отражающей состояние сосудов. Можно предположить, что к концу часа пребывания в условиях экспозиции нулевого поля, т.е. в измерении V, понижается активность симпатического звена регуляции (VLF стал равен 18), однако общий тонус вегетативной системы сохранился, основные спектральные показатели всё ещё высоки (Tot P = 18).

Рассмотренные изменения от одного периода измерения к другому (от IV к V) для группы до 40 лет не столь выражены, хотя также можно отметить активацию симпатического звена регуляции, но уже к концу 60-минутного пребывания в нулевом магнитном поле, что может свидетельствовать об увеличении напряжения регуляторных механизмов по мере увеличения длительности исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало влияние нулевого поля на физиологические параметры, характеризующие состояние сердечнососудистой системы здоровых людей как старшей возрастной группы ($52,5 \pm 10,7$), так и тех, чей возраст не превышал 40 лет (средний возраст $32,4 \pm 5,0$ года).

Установлено, что после 30...40 мин экспозиции в нулевом магнитном поле отмечен максимальный рост физиологических показателей, свидетельствующий об активации регуляторных механизмов вегетативной нервной системы в группе добровольцев старше 40 лет.

Физиологические параметры старшей возрастной группы в большей степени менялись в условиях нулевого поля, чем те же параметры младшей возрастной группы, различия статистически достоверны ($p = 0,014$ по критерию Манна – Уитни).

Использованные методики показали их информативность для оценки индивидуальной чувствительности испытуемых.

Авторы выражают глубокую благодарность коллегам НКЦ ОАО «РЖД», принявшим участие в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

- [Баевский, Берсенева, 1997] *Баевский Р. М., Берсенева А. П.* Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 236 с.
- [Баевский и др., 2001] *Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин А. П.* и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестн. аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
- [Баевский и др., 2006] *Баевский Р. М., Никулина Н. А., Петров В. М., Черникова А. Г.* Влияние изменений геомагнитного поля на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полёта // Космич. погода: её влияние на биологические объекты и человека: материалы Международ. конф. Москва, 17–18 февраля 2005. М.: ОАО «Российские железные дороги». 2006. С. 19–20.
- [Бинги, 2011] *Бинги В. Н.* Принципы электромагнитной биофизики. М.: Физматлит, 2011. 592 с.
- [Бинги, Чернавский, 2005] *Бинги В. Н., Чернавский Д. С.* Стохастический резонанс магнитосом, закреплённых в цитоскелете // Биофизика. 2005. Т. 50. № 4. С. 684–688.
- [Григорьев и др., 2003] *Григорьев Ю. Г., Шафиркин А. В., Никитина В. Н., Васин А. Л.* Отдалённые эффекты хронического воздействия ионизирующего излучения и электромагнитных полей применительно к гигиеническому нормированию // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 565–578.
- [Гурфинкель, 2004] *Гурфинкель Ю. И.* Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность: Монография. М.: Эльф-3, 2004. С. 101–116.
- [Гурфинкель и др., 2010] *Гурфинкель Ю. И., Макеева О. В., Острожский В. А.* Особенности микроциркуляции, эндотелиальной функции и скорости распространения пульсовой волны у пациентов с начальными стадиями артериальной гипертензии // Функциональная диагностика. 2010. № 2. С. 18–25.
- [Новиков и др., 2007] *Новиков В. В., Шейман И. М., Фесенко Е. Е.* Влияние слабых и сверхслабых постоянных магнитных полей на интенсивность деления планарий *Dugesia tigrina*. // Биофизика. 2007. 52(5). С. 912–915.
- [Походзей и др., 2012] *Походзей Л. В., Пальцев Ю. П., Рубцова Н. Б.* Гипогеомагнитные поля как неблагоприятный фактор производственной среды и среды обитания. Итоги и перспективы исследований // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений за 2011 год: сб. тр. М.: Центр электромагнитной безопасности. 2012. С. 69–82.
- [Саримов, Бинги, 2009] *Саримов Р. М., Бинги В. Н.* Применение методов многомерного статистического анализа для исследования индивидуальной чувствительности человека к нулевым магнитным полям. // Биомед. технологии и радиоэлектроника. 2009. Т. 1. С. 20–31.
- [Саримов и др., 2008] *Саримов Р. М., Бинги В. Н., Муляев В. А.* Влияние компенсации геомагнитного поля на когнитивные процессы человека // Биофизика. 2008. Т. 53. № 5. С. 856–866.
- [Gurfinkel et al., 1995] *Gurfinkel Yu. I., Lyubimov V. V., Orayevskii V. N., Parfenova L. M., Yur'ev A. S.* Effect of Geomagnetic Disturbances on Capillary Blood Flow in Patients Suffering from Ischemic Heart Disease // Biophysics. 1995. V. 40. N. 4. P. 777–783.

REACTION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM OF HEALTHY VOLUNTEERS ON ZERO MAGNETIC FIELD EXPOSURE

Yu. I. Gurfinkel^{1,2}, *A. L. Vasin*¹, *T. A. Matveeva*¹

¹ Scientific Clinical Center of JSC "Russian Railways", Moscow, Russia

² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia

The prospect of extended space missions, dissemination of life on the planets and their satellites with weak magnetic field or the absence of it makes it important to study the problem of hypomagnetic conditions influence on human health.

In terrestrial conditions hypomagnetic fields, especially so-called "zero" magnetic field, meets rarely. Our previous studies of patients with cardiovascular disease have shown improvement in the parameters of capillary blood velocity, normalization of blood pressure and heart rate during their staying in a screened room for the time of geomagnetic disturbances. Screened room provided a reduction of the magnetic field in 4.5...5 times. At present, a number of researches have shown the effects of zero magnetic field exposure on human cognitive function, but there are no data on the effects of zero magnetic field on cardiovascular system.

The aim: to study effects of zero magnetic field on human cardiovascular system, and to evaluate a validation of methods that were used to identify the response of human organism to zero magnetic field exposure.

Methods: twenty one healthy volunteers without cardiovascular disease were divided into two groups. The first group consisted of 11 people aged under 40 years (mean age 32.4 ± 5.0), including 8 men and 3 women, and the second 10 people 40 years and older (mean age 52.5 ± 10.7), including 7 men and 3 women.

The study was carried out in the system of magnetic exposure that consisted of the electrostatic screen and seven coils that allowed the system to compensate the external magnetic field.

During the experiment we used non-invasive methods for measuring of blood pressure, heart rate, pulse wave velocity, endothelial function, and capillary blood velocity. In addition to this ECG and seven parameters of heart rate variability were assessed. The time of direct exposure in zero magnetic field was 60 minutes.

Quantitative changes of values from each volunteer received under zero magnetic field exposure and under normal magnetic field were compared and assessed by numerical logarithmic score.

The study showed the influence of the zero magnetic field on physiological parameters characterizing the state of the cardiovascular system of healthy volunteers as elder age group (52.5 ± 10.7), and those whose age did not exceed 40 years (mean age 32.4 ± 5.0). Maximum change was registered in elder group of volunteers after 30...40 minutes of exposure at zero magnetic fields.

This finding indicates more pronounced activation of autonomic nervous system in this group than the same parameters for younger age group. The differences of results between age groups are statistically significant ($p = 0.014$, Mann-Whitney test). The methods used in our experiments have shown their relevance for assessing of individual human sensitivity to zero magnetic field exposure.

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ГЕЛИОМЕТЕОРОПНЫХ РЕАКЦИЙ

Т. А. Зенченко^{1,2}

¹ Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, e-mail: zench@mail.ru

² Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук (ИТЭБ РАН), Пущино, Московская обл., Россия

В работе рассматриваются основные подходы, используемые в гелиобиофизических исследованиях, анализируются их достоинства, недостатки и трудности, которые не удаётся преодолеть в рамках существующих подходов. К ним относится невозможность построения общей, гелиобиофизической модели реакции живых систем (и организма человека в частности) на действие комплекса метеорологических и геомагнитных факторов. Причина заключается в сильной вариабельности результатов, получаемых разными исследователями. Другая трудность заключается в невозможности построения персонального прогноза изменения функционального состояния конкретного человека на основе популяционных и клинических исследований в силу значительных межиндивидуальных различий и временной изменчивости реакции. В то же время обе задачи являются крайне актуальными.

Для преодоления указанных ограничений был предложен новый подход, основанный на анализе индивидуальной чувствительности к внешним факторам и методе последовательных приближений, который подразумевает «соизмеримость» степени детализации анализируемых физиологических и геофизических параметров.

Так, «первое приближение» нацелено на максимальный географический и популяционный охват и основывается на мониторинге физиологических показателей (ФП), допускающих предельно простой и широко распространённый способ измерений, например, артериального давления (АД), пульса и их производных — ударного объёма и минутного объёма крови. Однако в силу значительного числа механизмов, регулирующих уровень АД и пульса, целесообразно изучать их зависимость только от основных метеопараметров (атмосферного давления, температуры и относительной влажности) и среднего уровня геомагнитной активности (ГМА). Более глубокая детализация параметров погоды и ГМА на этом этапе является необоснованной, так как может привести к построению несбалансированных рабочих моделей.

«Второе приближение» заключается в использовании результатов предыдущего, и включает исследование динамики и связи с внешними факторами (ВФ) других ФП, более адресно отражающих функциональное состояние различных отделов сердечно-сосудистой системы. Для каждого из этих показателей существуют экспериментально подтверждённые теории о физиологических механизмах их регуляции, что позволяет строить биофизические рабочие модели следующего уровня детализации, включая в рассмотрение другие ВФ, такие как вариации определённых частот атмосферного давления или геомагнитного поля (инфразвук, *Pc*-пульсации, шумановские резонансы и др.).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время факт влияния факторов космической и земной погоды на здоровье и функциональное состояние не только больных, но и здоровых лиц, уже не вызывает сомнения. Он многократно подтверждён большими объёмами экспериментальных данных и обобщён в нескольких монографиях

[Ассман, 1966; Андропова и др., 1982; Никберг и др., 1986; Шеповальников, Сороко, 1992].

Анализируя большой объём накопленного за эти годы экспериментального материала, можно выделить три основные группы источников получения данных в области изучения биологических эффектов космической и земной погоды, у каждого из которых есть свои преимущества и недостатки.

- *Популяционные исследования*, в которых материалами служат данные медицинской статистики по частоте случаев обращения в лечебные учреждения по поводу обострения различных заболеваний. В результате этих исследований был многократно установлен факт реакции популяции на изменения факторов космической и земной погоды — в виде массового обострения заболеваний и увеличения числа случаев внезапной смерти в периоды магнитных бурь и прохождения метеорологических фронтов. Выяснение вопроса о конкретных особенностях такой массовой реакции на уровне популяции очень важно с точки зрения медицинской социологии и практической медицины. В то же время выводы, полученные на основе данного подхода, нельзя применить для прогноза состояния конкретного человека из-за значительных межиндивидуальных различий и временной изменчивости реакции.

- *Лабораторные клинические исследования* основываются на медицинских наблюдениях групп больных или здоровых волонтеров во время определённых событий — например, магнитных бурь. Результаты таких работ показывают, что в периоды магнитных бурь значительное количество физиологических показателей, отражающих состояние различных систем организма (сердечно-сосудистой, центральной и вегетативной нервной, нейро-эндокринной, системы крови), у больных людей значимо отличаются от параметров в геомагнитно-спокойный период и от среднего уровня этих показателей у здоровых лиц. Преимущество данного подхода заключается в возможности наблюдать изменчивость очень широкого спектра ФП, включающего фактически весь современный список клинических анализов и методов функциональной диагностики. Однако сама постановка эксперимента, когда в измерениях каждый человек участвует, как правило, только два-три раза, не позволяет ответить на вопрос, какой будет реакция этого человека во время следующей магнитной бури или резкой смены погоды.

- *Индивидуальный мониторинг* — многократное измерение определённого ФП у одного и того же лица на протяжении значительного времени. Так, ещё в 1992 г. В. Н. Шеповальников и С. И. Сороко отмечали, что «реально существующий спектр метеотропных реакций индивидов оказывается гораздо шире «средних» реакций, выведенных на основании сложения показателей разных людей» [Шеповальников, Сороко, 1992, с. 142]. Исследования последних лет показали, что этот подход является наиболее перспективным для решения задачи персонального прогноза изменения функционального состояния человека. Однако ему присущи те же недостатки, что двум предыдущим: значительная вариабельность знаков и амплитуд наблюдаемых индивидуальных реакций, которая на настоящем этапе не позволяет построить обобщённую картину реакции организма на действие геомагнитных и метеорологических факторов.

Анализ большого объёма литературных данных и результаты собственных исследований позволили нам выдвинуть гипотезу, что не объяснённая (на данный момент) невоспроизводимость результатов является следствием

ограниченности существующего методологического подхода и, в первую очередь, лежащего в его основаниях негласного положения о постоянстве гелио-метеотропного эффекта в популяции, в пространстве и времени. Для преодоления указанных ограничений был предложен новый подход, основанный на анализе индивидуальной чувствительности к внешним факторам и методе последовательных приближений. Основные положения метода заключаются в следующем.

1. На основании результатов длительных индивидуальных измерений жизненно важных ФП и анализа их зависимости от параметров различных внешних факторов выполняется персональное заключение о чувствительности данного человека к вариациям факторов земной и космической погоды.

2. Каждое такое персональное заключение об индивидуальной чувствительности с точки зрения доказательной медицины рассматривается как «исследование отдельного случая» и применимо только к данному человеку.

3. Полученные для каждого испытуемого знаки и величины амплитуд реакции считаются не константами, а текущими значениями многопараметрической функции, зависящей от времени, географического положения и внешних условий проведения мониторинга, а также индивидуальных характеристик волонтера.

4. На основе множества персональных заключений формируется база знаний, где личные параметры и текущие характеристики внешней среды — обязательные записанные параметры многопараметрической функции (в настоящее время содержит результаты анализа физиологических показателей 250 волонтеров из шести городов).

5. Сортировка базы знаний по определённому параметру позволяет формировать однородные когорты для оценки вклада того или иного фактора и постепенно восстанавливать вид этой многопараметрической функции.

Данный подход позволит не просто эмпирически восстановить вид этой многопараметрической функции, а дать основания для построения биофизических и физиологических моделей развития реакции в организме. Поэтому необходимо изучать поведение только тех физиологических параметров, которые допускают прозрачную интерпретацию на биохимическом и физиологическом уровне.

С другой стороны, необходимость использования метода последовательных приближений и постепенной детализации картины солнечно-атмосферно-биосферных связей обусловлена крайней сложностью обеих изучаемых взаимодействующих систем — как организма человека, так и окружающей среды.

ПЕРВЫЙ УРОВЕНЬ ПРИБЛИЖЕНИЯ

На базовом уровне приближения необходимо, на наш взгляд, оценить временные и пространственные особенности действия основных факторов земной и космической погоды. Какие именно параметры окружающей среды необходимо учитывать при оценке реакции организма на погоду? Зависит ли уровень метеочувствительности человека от сезона года? Как искажает получаемый результат взаимосвязь между различными атмосферными показателями?

При каких условиях результаты, полученные в средних широтах, применимы к условиям Севера, и наоборот? Какую роль в проявлении эффекта метеочувствительности играет возраст, пол человека, наличие у него заболеваний? И так далее.

Основным условием выполнения данного этапа является необходимость сбора обширного банка унифицированных результатов индивидуального мониторинга, охватывающего разные регионы, периоды времени и волонтеров различного медицинского статуса. Для его получения необходимо использовать достаточно простые методы измерения ФП. Наиболее удобен метод, удовлетворяющий перечисленным требованиям — мониторинг уровня АД и ЧСС. Недостатком использования именно этих показателей, отражающих функциональное состояние организма, является многозначность определяющих их механизмов внутренней регуляции, и, как следствие, затруднительность интерпретации результатов на биохимическом уровне. Достоинства метода заключаются, с одной стороны, в его доступности широким слоям населения и возможности получения больших объёмов наблюдений, с другой — данные показатели даже без выяснения физиологических механизмов их изменения жизненно важны, поскольку высокий уровень АД сам по себе опасен для здоровья.

Применение метода последовательных приближений подразумевает, в частности, «соизмеримость» степени детализации анализируемых физиологических и геофизических параметров. Поэтому на данном уровне целесообразно изучать зависимость выбранных ФП только от самых общих, базовых метеопараметров: атмосферного давления ($P_{\text{атм}}$), температуры воздуха ($T_{\text{атм}}$) и относительной влажности (RH), а также среднего уровня геомагнитной активности (ГМА). Более глубокая детализация параметров погоды и ГМА на этом этапе необоснованна, так как может привести к построению несбалансированных рабочих моделей.

Минимально необходимый набор методов анализа статистической связи между изменениями ФП и параметрами погоды наиболее логично определить из перечня тех характеристик индивидуальных реакций, которые важно оценить для обоснованного прогноза. К ним относятся: знак изменения ФП, время развития и амплитуда реакции, а также выявление доминирующего фактора или их комбинации. Знак и временные характеристики реакции (длительность, начало развития) удобнее всего оценивать по виду кросскорреляционной функции; амплитуду — методами дисперсионного и регрессионного анализа, доминирующий фактор — методами многофакторного корреляционного анализа.

АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ НА ФАКТОРЫ ЗЕМНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

В настоящее время база данных, сформированная по указанным выше принципам, содержит 250 персональных заключений о характере индивидуальной метео- и магниточувствительности добровольцев разного возраста, проживающих в шести городах России, как здоровых, так и с диагнозом «артериальная гипертензия (АГ) 1- и 2-й степени». Список параметров, указанных в базе

данных, позволяет проводить сортировку по любому из них, формировать однородные когорты для выполнения исследований типа случай – контроль и, в результате, ранжировать параметры по степени их вклада в общий вид функциональной зависимости. Это позволило сформировать статистически значимые когорты для оценки значимости ряда параметров.

Анализ характерного вида кросскорреляционной функции между показателями АД и ЧСС, с одной стороны, и показателями $P_{\text{атм}}$ и $T_{\text{атм}}$, с другой, позволили сделать вывод, что реакция ФП на действие этих метеофакторов имеет вид синхронизации медленных волн с периодом порядка нескольких суток (рис 1а, б). В то же время характер реакции на изменение уровня ГМА выражается в резких кратковременных (порядка 1...2 сут) изменениях уровня АД (рис. 1в).

Этот результат был получен нами многократно при анализе временных рядов различных ФП [Зенченко и др., 2008, 2009, 2011а], и был подтверждён независимо другим методом анализа — DNNGO (Dynamic Nearest Neighborhood with Gain Optimization) [Бреус и др., 2010].

Реакция показателей АД на изменение уровня ГМА и метеорологических факторов имеет различные частотные характеристики, что позволяет в большинстве случаев различить вклады этих двух групп факторов. Данный эффект имеет универсальный характер, т.е. наблюдается у подавляющей части волонтеров, у которых была обнаружена зависимость показателей АД от метео- и геомагнитных параметров. Можно предположить, что это обусловлено собственной динамикой изменения данных ВФ.

На рис. 2 приведены распределения спектральной плотности (СП) показателей $T_{\text{атм}}$, $P_{\text{атм}}$ и Кр-индекса на основе измерений пациента (см. рис. 1). В ряду значений $T_{\text{атм}}$ наблюдаются периоды 7; 12 и 24 сут, для атмосферного давления — 5,5; 7,5; 10 и 17 сут, в ряду Кр-индекса проявились все хорошо известные периоды вариабельности ГМА — 4,5; 6,5; 9 и 13,5 сут.

На рис. 3 показаны характерные фазы для одного из периодов, соответствующих рис. 2, показанных стрелками. Графики фазы периода были получены «методом наложения эпох», т.е. нарезанием временного ряда на отрезки соответствующей длины и последующим усреднением.

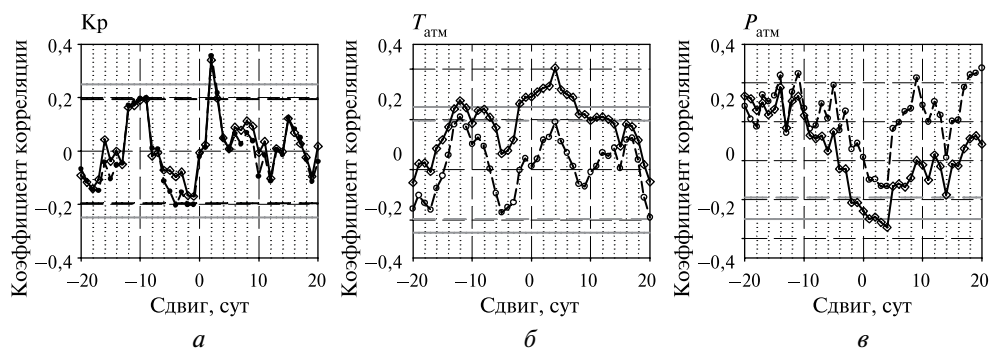


Рис. 1. Функции кросскорреляции между показателями уровня систолического АД (САД) пациента с диагнозом «артериальная гипертензия» (женщина, 68 лет, Москва) и показателями Кр-индекса (а), $T_{\text{атм}}$ (б) и $P_{\text{атм}}$ (в). Показаны зависимости, построенные по исходным рядам (сплошная линия) и после применения низкочастотного фильтра (пунктир) [Зенченко, 2010]

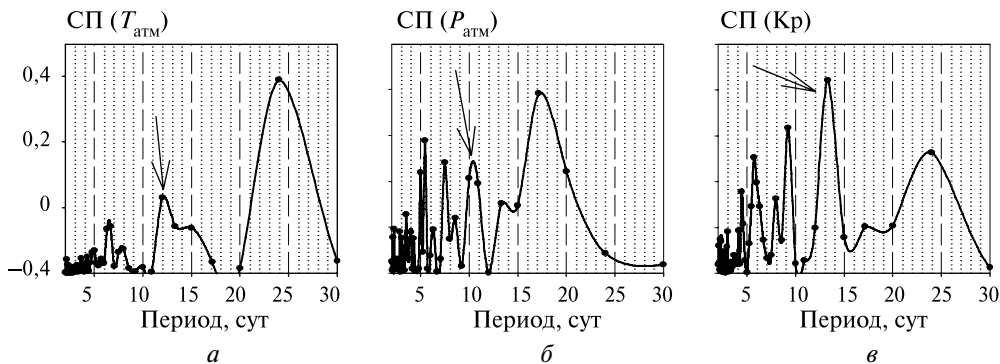


Рис. 2. Распределения спектральной плотности временных рядов показателей, построенных за период мониторинга пациента (см. рис. 1): *а* — $T_{\text{атм}}$; *б* — $P_{\text{атм}}$; *в* — Кр-индекса

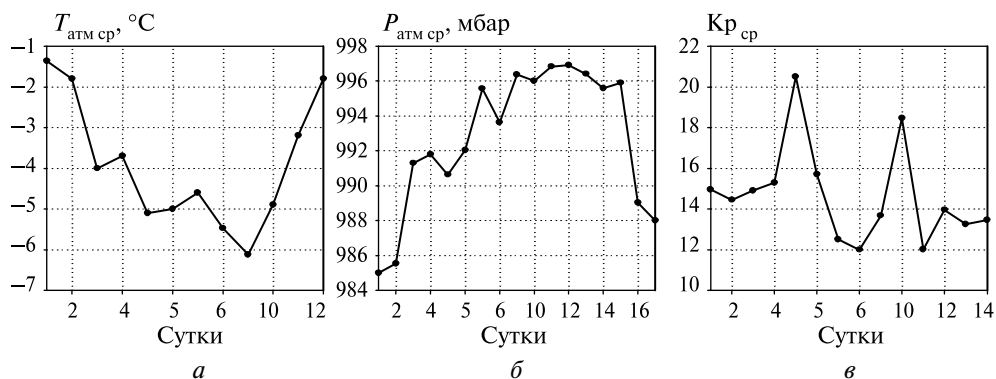


Рис. 3. Фазы периодов, указанных стрелками на соответствующих рис. 2*а–в*: *а* — $T_{\text{атм}}$; *б* — $P_{\text{атм}}$; *в* — Кр-индекса

Видно, что для атмосферных показателей (см. рис. 3*а, б*) фаза имеет плавный характер, в то время как для индекса ГМА (см. рис. 3*в*) в течение одного периода наблюдаются два коротких всплеска над средним фоном. Можно предположить, что характер реакции организма определяется именно временной динамикой изменения каждого из этих факторов.

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Был проведён мониторинг временной динамики индивидуальной чувствительности к ГМА [Зенченко и др., 2011а]. Обнаружено, что процент волонтеров, для которых наблюдалась достоверная ($p < 0,05$) корреляция значений показателей АД с Кр-индексом, существенно различается в разные годы наблюдений, причём во многих случаях эти различия достоверны (рис. 4). Так, для группы болгарских волонтеров (София, 2001–2002 гг.) [Зенченко и др., 2009] у 52 % волонтеров наблюдалась реакция показателей АД на повышение уровня ГМА, а в группах, проводивших измерения в 2008–2010 гг. (Симферополь-2008 и -2009, Москва-2007, Сыктывкар-2009) — от 0 до 16 % случаев.

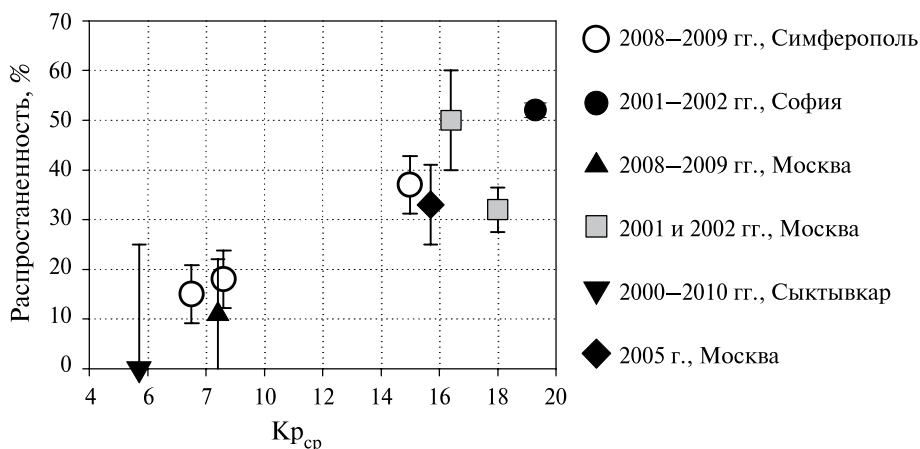


Рис. 4. Зависимость распространенности случаев магниточувствительности в различных группах волонтеров от среднего уровня ГМА в период мониторинга [Зенченко и др., 2007, 2008, 2009, 2010, 2011a].

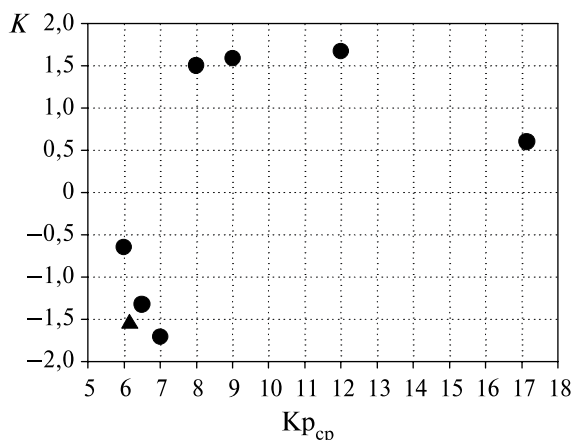


Рис. 5. Зависимость реакции показателя скорости распространения пульсовой волны на вариации ГМА от среднего уровня ГМА у одного и того же волонтера (мужчина, 69 лет, Москва) в разные периоды мониторинга 2007–2011 гг. [Gurfinkel et al., 2012]. По оси ординат — значение показателя степени корреляционной связи $K = \text{sign}(r)(-\log_{10}(p))$, где r — коэффициент корреляции Спирмена; p — уровень его значимости

Аналогичные выводы были сделаны и при исследовании индивидуальной чувствительности к уровню ГМА других исследованных ФП, например, показателей микроциркуляции крови [Зенченко и др., 2010, 2011a, б] или скорости распространения пульсовой волны (рис. 5) [Gurfinkel et al., 2012].

Таким образом, в рамках метода последовательных приближений на первом уровне детализации было многократно показано, что различие средних уровней ГМА в период измерений необходимо учитывать при анализе полученных результатов, поскольку в периоды пониженной ГМА распространённость эффекта магниточувствительности значительно меньше, чем в периоды нормальной и высокой ГМА.

ТИПЫ РЕАКЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ НА ВАРИАЦИИ МЕТЕОФАКТОРОВ

На основании результатов четырехлетних наблюдений ежедневных вариаций уровня АД и ЧСС у семи здоровых добровольцев были обнаружены два отчетливых типа реакции комплекса физиологических показателей на изменение метеорологических факторов. Показано, что из исследованных параметров погоды ($P_{\text{атм}}$, RH , $T_{\text{атм}}$, скорость ветра, среднесуточная скорость изменения $P_{\text{атм}}$ и $T_{\text{атм}}$) наибольшее влияние оказывает $T_{\text{атм}}$, как в течение всего года, так и в отдельные сезоны.

Первый обнаруженный тип реакции — монотонное (но неравномерное по скорости) снижение уровня САД с ростом температуры, наиболее выраженное при $T_{\text{атм}} < -5^\circ\text{C}$ и $T_{\text{атм}} > 15^\circ\text{C}$, при более слабой реакции ДАД и отсутствии реакции ЧСС (у четверых волонтеров). Второй тип реакции — немонотонная двухфазная зависимость показателей АД от $T_{\text{атм}}$, которая совпадает с первым типом в диапазоне $T_{\text{атм}} < -5^\circ\text{C}$ и характеризуется положительной корреляцией показателей АД и ЧСС с $T_{\text{атм}}$ при $T_{\text{атм}} > -5^\circ\text{C}$ (у двоих волонтеров) (рис. 6) [Зенченко и др., 2012]. Показано, что коэффициенты линейной регрессии показателей АД в зависимости от температуры воздуха в отдельных диапазонах температур могут достигать значения 0,8 мм рт.ст./ $^\circ\text{C}$, что означает, например, увеличение среднего уровня САД на 15...16 мм рт.ст. при понижении температуры с -5 до -25°C . Средние значения коэффициентов линейной регрессии составляют 0,15...0,40 мм рт.ст./ $^\circ\text{C}$.

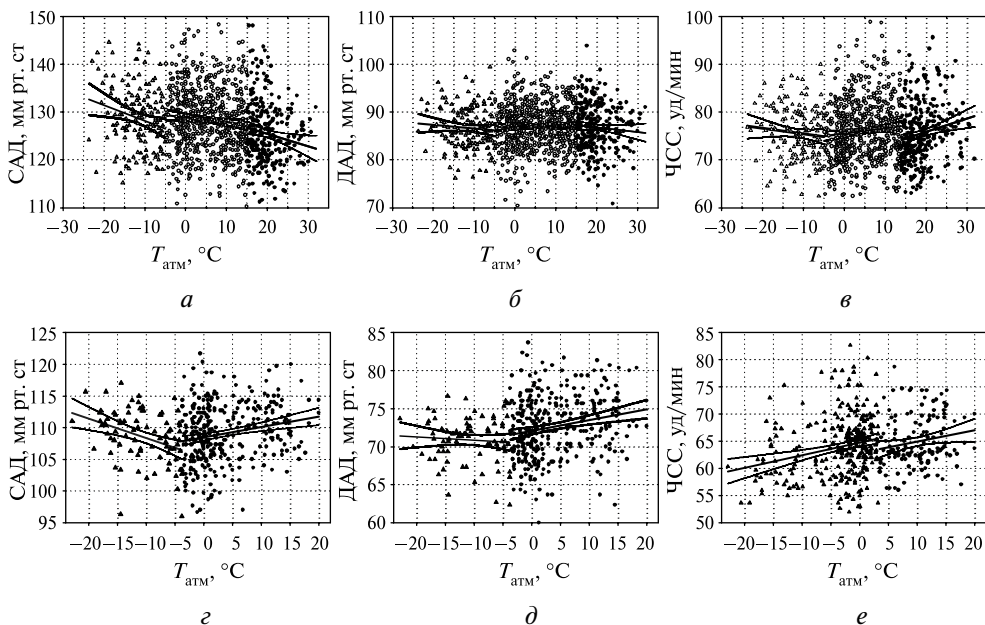


Рис. 6. Примеры типичных зависимостей первого (а, б, в) и второго (г, д, е) типов реакции показателей САД (а, г), ДАД (б, д) и ЧСС (в, е) от значений $T_{\text{атм}}$. Приведены линии линейной регрессии (с 95%-ми доверительными интервалами). Значения коэффициентов линейной регрессии на различных участках приведены в табл. 1 и 2

Таблица 1. Уровень значимости коэффициента корреляции $K_s = -\text{sign}(r_s)\lg(p)$, коэффициент линейной регрессии (x_1), их стандартная ошибка (x_2) и значимость отличия коэффициента регрессии от нуля (F) для рис. 6а. Случаи значимых величин коэффициентов регрессии здесь и далее выделены полужирным шрифтом

$T_{\text{атм}}, ^\circ\text{C}$	САД			ДАД			ЧСС		
	$T < -5$	$-5 > T > 15$	$T > 15$	$T < -5$	$-5 > T > 15$	$T > 15$	$T < -5$	$-5 > T > 15$	$T > 15$
K_s	-1,588	-1,964	-1,578	-0,490	0,240	-0,675	-0,709	1,871	4,129
x_1	-0,327	-0,102	-0,258	-0,080	0,011	-0,094	-0,115	0,113	0,276
x_2	0,131	0,048	0,108	0,078	0,033	0,077	0,101	0,048	0,085
F	0,013	0,034	0,018	0,304	0,737	0,222	0,255	0,020	0,001

Таблица 2. Уровень значимости коэффициента корреляции $K_s = -\text{sign}(r_s)\lg(p)$ и коэффициент линейной регрессии показателей АД и ЧСС со значениями $T_{\text{атм}}$ для рис. 6б. Обозначения см. в табл. 1

$T_{\text{атм}}, ^\circ\text{C}$	САД			ДАД			ЧСС		
	$T < -4$	$T > -4$	$T > -4$	$T < -4$	$T > -4$	$T > -4$	$T < 3,2$	$T > 3,2$	$T > 3,2$
K_s	-3,562	3,916		-0,236	4,353		4,077		1,947
x_1	-0,307	0,163		-0,045	0,142		0,230		0,211
x_2	0,086	0,040		0,067	0,036		0,056		0,099
F	0,0006	0,0001		0,499	0,0001		0,0001		0,0354

Понимание того факта, что индивидуальные зависимости показателей АД и ЧСС от $T_{\text{атм}}$ являются нелинейными и часто немонотонными, позволит более обоснованно подойти к интерпретации персональных заключений, полученных на более коротких отрезках наблюдений, например, включающих один сезон, и оценить правомерность выводов, сделанных по такому короткому отрезку, на другие сезоны года.

В работе [Зенченко и др., 2012] детально рассматриваются возможные физиологические механизмы, определяющие полученный комплекс изменений ФП в широком диапазоне изменения температур. На их основе стало возможным объяснение результатов, полученных в более ранних работах [Зенченко и др., 2007, 2008, 2009, 2011a], в частности, того факта, что преимущественный знак реакции показателей АД на изменение температуры может кардинально изменяться при изменении степени экстремальности наблюдаемых значений $T_{\text{атм}}$ в период измерений [Зенченко и др., 2011b].

Таким образом, к настоящему времени на основе результатов первого уровня метода последовательных приближений были выявлены следующие характеристики индивидуальных реакций показателей АД и ЧСС на вариации параметров космической и земной погоды.

1. *Частотные характеристики реакций* — наблюдается медленная (с периодом в 4...7 сут) реакция на вариации метеофакторов и быстрая (в течение суток) реакция на изменение уровня ГМА. При таком уровне детализации исследуемых показателей рекомендуемая частота дискретизации измерений составляет один раз в сутки в одно и то же время.

2. *Амплитудные характеристики* — для здоровых лиц систематическое изменение показателей АД может составлять до 8 мм рт.ст. на 10 °С. При этом зависимость показателей АД и ЧСС даже одного человека от метеофакторов и уровня ГМА может рассматриваться как линейная только в узком диапазоне изменения параметров ВФ. В разных диапазонах изменения температуры реакция уровня АД и ЧСС на $T_{\text{атм}}$, по-видимому, определяется различными физиологическими механизмами.

Возможности применения первого приближения для исследования пространственно-временной картины реакции уровня АД и ЧСС на вариации факторов земной и космической погоды ещё далеко не исчерпаны. В то же время уже полученные результаты позволяют предложить направления дальнейшей детализации картины реакции организма на внешние факторы. На втором уровне приближения целесообразно рассматривать физиологические показатели, отражающие функциональное состояние различных отделов сердечно-сосудистой системы, допускающих мониторинг неинвазивными методами, а именно:

- электрической проводимости миокарда, определяемой методом дисперсионного картирования электрокардиограммы [Иванов, Кудашова, 2005; Иванов и др., 2011; Сула и др., 2007];
- сосудистого тонуса магистральных артерий и эндотелиальной функции [Гурфикель и др., 2009];
- состояния сосудов субкапиллярного сплетения (артериол и венул) (метод лазерной доплеровской флоуметрии [Stefanovska et al., 1999; Kvandal et al., 2006]);
- капиллярного кровотока [Гурфинкель и др., 2010];

- баланса вегетативной нервной системы (процессы возбуждения-торможения, метод вариабельности сердечного ритма (ВСР) [Баевский и др., 2001].

Было показано, что параметры микроциркуляторного русла [Зенченко и др., 2010; 2011a] и скорость распространения пульсовой волны [Бреус и др., 2010, Gurfinkel et al, 2012] проявляют чувствительность к вариациям факторов как земной, так и космической погоды. Из литературных данных известно о чувствительности к внешним факторам показателей ВСР [Черноус и др., 2004; Поскотинова, Григорьев, 2008] и скорости капиллярного кровотока [Гурфинкель и др., 2010]. Для каждого из этих показателей существуют экспериментально подтверждённые теории о физиологических механизмах их регуляции, что позволяет строить обоснованные биофизические рабочие модели следующего уровня детализации.

Синхронный мониторинг перечисленных показателей и уровня АД позволяет дать более обоснованные и развёрнутые интерпретации наблюдаемым изменениям уровня АД. Так, на рис. 7 показаны зависимости от $T_{\text{атм}}$ показателей АД (а, б) и ВСР (в, г) для волонтёра, результаты которого приведены на рис. 6б (в области отрицательных значений температуры). Приведены результаты наблюдений зимы 2009/2010 гг., когда мониторинг этих двух групп показателей проводился синхронно.

На рис. 7а, б видно, что зависимость показателей САД и ДАД на данной выборке совпадает с общим видом зависимости, полученной для этого волонтёра за все четыре года наблюдений (см. рис. 6б). В то же время видно, что возрастание уровня САД, наблюдаемое по мере усиления морозов (понижения $T_{\text{атм}}$), на самом деле сопровождается понижением уровня напряжения регуляторных систем (СИ, рис. 7в), усилением вагусных влияний на организм (НФР, рис. 7г) и снижением активности симпатического звена вегетативной нервной системы (LFR, см. рис. 7г).

Другой пример, иллюстрирующий необходимость расширения перечня ФП для более детального исследования реакции различных отделов сердечно-сосудистой системы, — одновременное рассмотрение зависимости уровня АД и показателей микроциркуляции (ПМ) крови от внешних факторов, в первую очередь — температуры.

На основании анализа длительной динамики показателей АД и ПМ у десяти здоровых волонтёров был сделан вывод, что для климатического пояса Москвы наиболее биотропным (для здоровых людей) атмосферным фактором становятся вариации температуры воздуха. Понижение температуры приводит к повышению как тонуса магистральных сосудов (рост АД), так и мелких сосудов субкапиллярного плетения, и, как следствие, к снижению перфузии тканей (снижение ПМ). Реакции показателей АД и ПМ на данный фактор наблюдаются в примерно равном проценте случаев (70 и 60 % соответственно), причём зависимость проявляется как синхронизация медленных волн физиологических и атмосферных показателей длительностью несколько суток [Зенченко и др., 2009].

В настоящее время становится понятным, каким может быть следующий, третий уровень приближения в исследованиях реакции организма на вариации внешних факторов, нацеленный уже на непосредственную разработку биофизических моделей реакции.

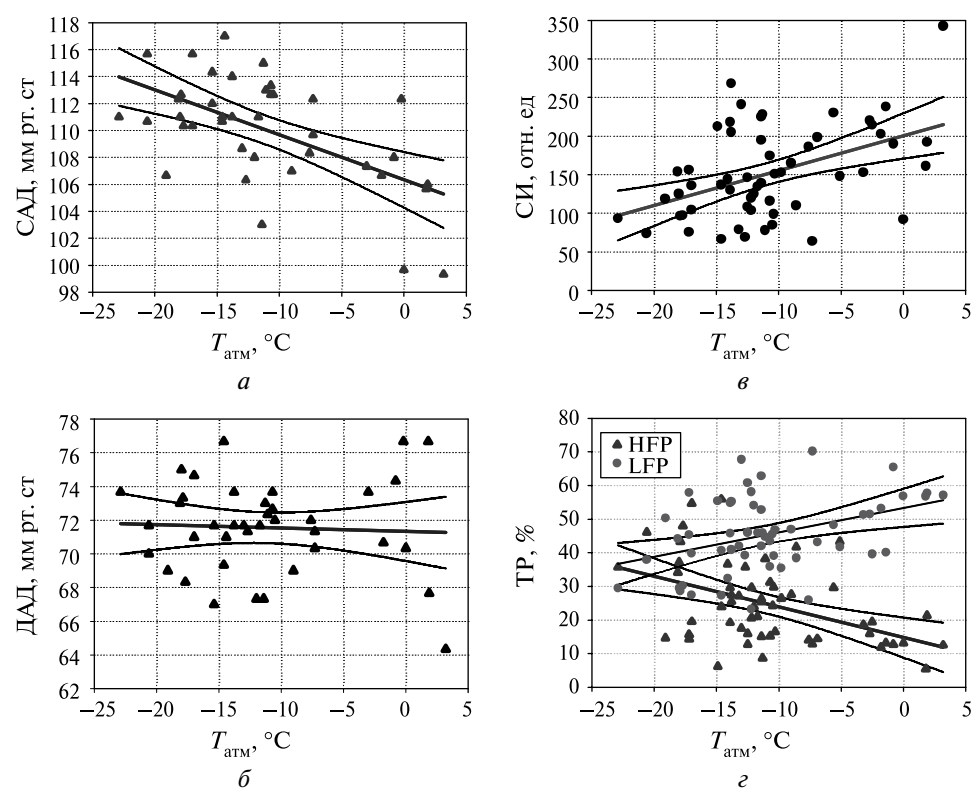


Рис. 7. Зависимость показателей АД (*а*, *б*) и ВСР (*в*, *г*) от величины $T_{\text{атм}}$ для зимы 2009/2010 гг. (период синхронного мониторинга двух наборов показателей): *а* — САД; *б* — ДАД; *в* — индекс напряжения регуляторных систем или стресс-индекс (СИ, по Баевскому); *г* — величина спектра мощности в частотных диапазонах, отражающих уровень активности парасимпатического (HFP) и симпатического (LFP) звена вегетативной нервной системы. Приведены графики линейной регрессии (с 95%-ми доверительными интервалами). Значения коэффициентов линейной регрессии на различных участках приведены в табл. 3

Таблица 3. Уровень значимости коэффициента корреляции $K_s = -\text{sign}(r_s) \lg(p)$ и коэффициентов линейной регрессии показателей АД и ВСР со значениями $T_{\text{атм}}$ для волонтера с рис. 6б. Приведены результаты измерений зимой 2009/2010 гг. Обозначения см. в табл. 1

2009/2010	САД	ДАД	СИ	HFP	LFP
K_s	-2,33	-0,12	3,418	-3,03	2,597
x_1	106,334	71,33	200,1	14,80	53,370
x_2	-0,333	-0,020	4,504	-0,912	0,729
F	0,000126	0,761	0,0004	0,0004	0,0025

Методы оценки состояния вегетативного баланса организма и показателей микроциркуляторного русла, включённые в рассмотрение на втором уровне приближения, допускают не только общую интегральную оценку изменчивости соответствующего ФП, но и оценку чувствительности к внешним факторам различных механизмов его регуляции.

Такая возможность выявления определённых регуляторных механизмов, в большей степени, чем остальные, чувствительных к действию внешних факторов, позволяет выделить наиболее вероятные пути развития физиологической реакции от первичных мишеней до проявления на уровне определённых систем. На этом уровне детализации, когда становится возможным сопоставление частотно-фазовых характеристик электромагнитных и акустических колебаний окружающей среды с колебаниями в самом организме, уже можно считать корректным рассмотрение возможного влияния других ВФ, таких как вариации определённых частот атмосферного давления или геомагнитного поля (инфразвук, *Pc*-пульсации, шумановские резонансы и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на первом уровне приближения надёжно показана нелинейность ответа индивидуальных значений показателей АД и ЧСС на действие факторов температуры и ГМА. Этот результат, применённый в качестве рабочей гипотезы к другим данным, в значительной степени объясняет многообразие видов реакций АД и ЧСС, наблюдаемых ранее. Исходное состояние организма, которое и оценивается в общем виде на первом уровне метода последовательных приближений, необходимо учитывать при анализе и интерпретации характера индивидуальных реакций на ГМА.

На втором уровне приближения представлено, что показатели микроциркуляторного русла, скорости распространения пульсовой волны в магистральных артериях и баланса вегетативной нервной системы становятся более чувствительными к геомагнитной активности, чем показатели АД у тех же практически здоровых испытуемых.

Использование метода последовательных приближений в задаче детализации реакции организма человека на действие факторов космической и земной погоды, а также рассмотрение всего многообразия физиологических реакций на индивидуальном уровне как многопараметрической функции позволяет вычленить логичные и устойчивые элементы общей картины солнечно-биосферных связей из шума, создаваемого усреднениями по времени, пространству и популяции.

ЛИТЕРАТУРА

- [Андропова и др., 1982] Андропова Т. И., Деряпа Н. Р., Соломатин А. П. Гелиометео-тропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, 1982. 247 с.
- [Ассман, 1966] Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 245 с.
- [Баевский и др., 2001] Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрографических систем (методические рекомендации) // Вестн. аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
- [Бреус и др., 2010] Бреус Т. К., Гурфинкель Ю. И., Зенченко Т. А., Ожередов В. А. Сравнительный анализ чувствительности различных показателей сосудистого тонуса к метеорологическим и геомагнитным факторам // Геофиз. процессы и биосфера. 2010. Т. 9. № 2. С. 23–36.

- [Гурфинкель и др., 2009] *Гурфинкель Ю. И., Каце Н. В., Парфёнова Л. М., Иванова И. Ю., Орлов В. А.* Сравнительное исследование скорости распространения пульсовой волны и эндотелиальной функции у здоровых и пациентов с сердечно-сосудистой патологией // Рос. кардиологич. журн. 2009. № 2. С. 38–43.
- [Гурфинкель и др., 2010] *Гурфинкель Ю. И., Каце Н. В., Макеева О. В., Михайлов В. М.* Возможности использования неинвазивной компьютерной капилляроскопии в космической медицине и в клинической практике // Методы нелинейного анализа в кардиологии и онкологии: Физ. подходы и клинич. практика. Вып. 2 / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: КДУ, 2010. Т. 2. С. 111–122.
- [Зенченко, 2010] *Зенченко Т. А.* Методика анализа временных рядов данных в задаче комплексной оценки метео- и магниточувствительности организма человека // Экология человека. 2010. № 2. С. 3–11.
- [Зенченко и др., 2007] *Зенченко Т. А., Цагареишвили Е. В., Ощепкова Е. В., Рогоза А. Н., Бреус Т. К.* К вопросам влияния геомагнитной и метеорологической активности на больных артериальной гипертонией // Клинич. медицина. 2007. № 1. С. 31–35.
- [Зенченко и др., 2008] *Зенченко Т. А., Цандеков П. А., Григорьев П. Е., Мёрзлый А. М., Зенченко К. И., Хорсева Н. И., Григал П. П.* Исследование характера связей физиологических и психофизиологических показателей организма с метеорологическими и геомагнитными факторами // Геофиз. процессы и биосфера. 2008. № 3. С. 25–36.
- [Зенченко и др., 2009] *Зенченко Т. А., Димитрова С., Стоилова И., Бреус Т. К.* Индивидуальные типы реакций артериального давления практически здоровых людей на действие геомагнитной активности // Клинич. медицина. 2009. № 4. С. 18–23.
- [Зенченко и др., 2010] *Зенченко Т. А., Поскотинова Л. В., Рехтина А. Г., Заславская Р. М.* Связь параметров колебаний кровотока в микроциркуляторном русле с геомагнитными пульсациями *Рс-3* // Биофизика. 2010. Т. 55. № 4. С. 732–739.
- [Зенченко и др., 2011a] *Зенченко Т. А., Рехтина А. Г., Поскотинова Л. В., Заславская Р. М., Гончаров Л. Ф.* Сравнительный анализ реакции показателей микроциркуляции и артериального давления здоровых людей на действие геомагнитной активности // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 152. № 10. С. 379–383.
- [Зенченко и др., 2011b] *Зенченко Т. А., Мёрзлый А. М., Солонин Ю. Г.* Сравнение случаев индивидуальной метеочувствительности человека в экстремальных условиях зимы северных и средних широт // Экология человека. 2011. № 11. С. 3–13.
- [Зенченко и др., 2012] *Зенченко Т. А., Скавуляк А. Н., Хорсева Н. И., Бреус Т. К.* Характеристики индивидуальных реакций сердечно-сосудистой системы здоровых людей на изменение метеорологических факторов в широком диапазоне температур // Тез. Международ. конф. «Влияние космической погоды на здоровье человека в космосе и на Земле». Москва, 4–8 июня 2012. С. 118–119.
- [Иванов, Кудашова, 2005] *Иванов Г. Г., Кудашова И. А.* Метод дисперсионного картирования ЭКГ-сигнала с использованием электродинамической модели сердца (КардиоВизор-06сИ) // 7-я Научно-практич. конф. «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». Москва, 24 марта 2005. С. 72–78.
- [Иванов и др., 2011] *Иванов Г. Г., Агафошина Е. В., Кузнецова С. Ю., Халаби Г.* Дисперсионное картирование и анализ микроальтернаций: десять лет спустя // Функциональная диагностика 2011. Т. 3. С. 71–74.
- [Никберг и др., 1986] *Никберг И. И., Ревуцкий Е. Л., Сакали Л. И.* Гелиометеотропные реакции человека. Киев: Здоров'я, 1986. 144 с.
- [Поскотинова, Григорьев, 2008] *Поскотинова Л. В., Григорьев П. Е.* Зависимость типологических особенностей вегетативных реакций здоровых лиц от фоновых показателей // Экология человека. 2008. № 5. С. 3–8.

- [Сула и др., 2007] Сула А. С., Рябыкина Г. В., Гришин В. Г. Метод дисперсионного картирования ЭКГ. Биофизические основы метода дисперсионного картирования // Новые методы электрокардиографии / Под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина. М.: Техносфера, 2007. С. 369–425.
- [Черноус, 2004] Черноус С. А. Особенности variability сердечного ритма в период геомагнитных возмущений в полярных областях // Тез. Междисциплинарного семинара «Биологические эффекты солнечной активности». Пушино, 6–9 апр. 2004. С. 9–10.
- [Шеповальников, Сороко, 1992] Шеповальников В. Н., Сороко С. И. Метеочувствительность человека / Отв. ред. В. А. Яковлев; АН Республики Кыргызстан, Ин-т физиологии и экспериментальной патологии высокогорья. Бишкек: Илим, 1992. 247 с.
- [Gurfinkel et al., 2012] Gurfinkel Y., Breus T., Zenchenko T., Ozheredov V. Investigation of the Effect of Ambient Temperature and Geomagnetic Activity on the Vascular Parameters of Healthy Volunteers // Open J. Biophysics. 2012. V. 2. N. 46. doi: 10.4236/ojbi-physics.2012.22007. (see also: <http://www.SciRP.org/journal/ojbi-physics>. Published online April 2012).
- [Kvandal et al., 2006] Kvandal P., Landsverk S. A., Bernjak A., Stefanovska A., Kvernmo H. D., Kirkeboen K. A. Low-frequency oscillations of the laser Doppler perfusion signal in human skin // Microvascular Research. 2006. V. 72. N. 3. P. 120–127.
- [Stefanovska et al., 1999] Stefanovska A., Bračič M., Kvernmo H. D. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique // IEEE Trans. Biomedical Engineering. 1999. V. 46. P. 1230–1239.

METHOD OF SUCCESSIVE APPROXIMATIONS FOR EXAMINATION INDIVIDUAL HELIOMETEOTROPIC REACTIONS

T. A. Zenchenko^{1,2}

¹ Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia, e-mail: zench@mail.ru

² Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences (ITEB RAS), Pushchino, Moscow Region, Russia

Geomagnetic and meteorological factors affect functional conditions of not only sick but also of healthy persons. This fact being confirmed with great amounts of experimental data is now uncontroversial.

On the other hand, we meet here some serious problems that could not be overcome within the frames of present approaches. First of them is impossibility to construct a common, helio-bio-physical model of a live system (a human body, in particularly) reactions on effects of combined meteorological and geomagnetic factors. This is caused by hard variability of results obtained by different investigators. Another problem is based on population and clinical investigations personal forecasting of functional condition for a certain individual: high inter-individual differences and time variability of reactions make this problem unsolvable.

A new, analysis object individualized, approach should overcome the abovementioned methodological problems. The approach includes, *first*, personal conclusions on presence/absence of geomagnetic and meteorological sensitivity of an individual; the conclusion is based on results of analysis of statistical correlation between parameters of exogenous factors (EF) and long-lasting (at least two months) time series of his/her physiological parameters (PP). Besides, it is necessary that these PP could be scientifically interpreted at the level of physiological, biochemical and biophysical mechanisms.

The second, each conclusion of such a sort is further considered not as a universal constant, but as a momentary value of a multiparametric function depending on: time, geographical location and environment of a monitoring, and individual parameters of a person. Reconstruction of a full pattern of the function is an extremely complicated and laborious problem, demanding large amounts of standardized experimental material. However, combination of individualized approach with execution of abovementioned parameters will allow uniting and comparing results obtained at different time points and at different geographical locations, and, as a result, range the parameters by degree of their impact into general pattern of functional dependence, the ranging being based on analysis instead of *a-priori*.

The third, we propose method of successive approximations, implying “commensurability” of resolution of analyzed physiological and geophysical parameters. Thus, the “first approximation” may include monitoring of PP that could be measured with an extremely simple and widespread measurement procedure, for example, measuring of arterial blood pressure (ABP), pulse, and their derivatives such as **cardiac output**. Their advantages are simplicity, availability, and community of a measuring methods that allows to get vast unified experimental material related to different time and geographical conditions; to evaluate amplitude-frequency parameters of individual helio-meteotropic reactions and to suggest current hypotheses for possible physiological mechanisms of their development. However, there is a lot of mechanisms regulating ABP and pulse levels, therefore, it is necessary to examine their dependence from main meteo-parameters (atmospheric pressure, temperature, and relative humidity), and average level of geomagnetic activity (GMA) only. Further specialization of weather and GMA parameters is unreasonable at this stage, as it can cause construction of unbalanced draft model. Many investigators have once and again suggested an idea that a reaction amplitude and sign depend on initial condition of an organism. The purpose of the current stage is experimental check of the hypothesis and getting of personal estimations of body regulation systems stress, and of an impact, conditioned just by geomagnetic and meteorological factors. The “second approximation” is using of previous results; it includes investigation of PP dynamics and their relation with exogenous factors whose reflection of functional condition of various departments of cardio-vascular system is more target-focused. The following non-invasively monitorable PP — indices of myocardium microalterations (for diagnostics of its electrophysiological properties), microvasculature parameters (measured by Doppler fluorometry for evaluation of subcapillary plexus vessels condition), and pulse wave velocity (for evaluation of vasomotor tone of main arteries) — were demonstrated to be EF-sensitive. Literature data tell that indices of heart rate variability and capillary blood flow rate are EF-sensitive. Each of them has own experimentally checked theory on physiological mechanisms of their regulation, and it makes construction of biophysical draft models of the next specialization level possible; the last will include other EF, such as variations of certain frequencies of atmospheric pressure or geomagnetic field (infrasound, *Pc* pulsations, Schumann resonances, etc.).

SOLAR AND SPACE WEATHER EFFECTS ON ACUTE CORONARY SYNDROMES — AN APPROACH BASED ON WAVELET ANALYSIS

*Ch. Katsavrias¹, P. Preka-Papadema¹, X. Moussas¹, Th. Apostolou²,
A. Hillaris¹, A. Theodoropoulou¹, Th. Papadima³*

¹ Department of Astrophysics, Astronomy and Mechanism, Faculty of Physics,
University of Athens, Panepistimiopolis Zografos, 157 71, Greece

² St. Panteleimon General Hospital of Nicaea (Piraeus), 3 Mantouvalou, str. 184 54, Greece

³ Evagelismos' General Hospital of Athens, 45-47 Ipsilantou str. 106 76, Greece

We examine the association of Acute Coronary Syndromes (ACS) with the Helio-geomagnetic activity in Greece within the time interval 1997–2007 (Solar Cycle 23) without restricting analysis to the effects of selected active periods. We establish the Space weather — ACS Rate relationship by means of common periodicities in the wavelet spectra of the corresponding time series. The STEACS and non-STEACS cases are examined separately. Well-known periodicities of the Solar and Geomagnetic activity (including quasi-biennial and harmonics, and also sub-harmonics of the 27.8 days periodicity) were also found in the ACS (STEACS and non-STEACS) patients' hospitalization rate. A Rieger first harmonic was also found in Flares. These results provide corroborating evidence for the ACS-Space Weather-Solar Activity Connection.

INTRODUCTION

The Solar energetic events such as flares and coronal mass ejections (CMEs) initiate disturbances of the solar wind parameters. The high-speed solar wind triggers magnetic and ionospheric storms. These solar wind and magnetospheric disturbances are known as Space Weather [Kivelson, Russell, 1995].

The influence of Space Weather on biological and physiological systems has been an open research objective for the last three decades and possible mechanisms linking solar and geophysical parameters to human health have been proposed [Cherry, 2009]. Several published works report direct and indirect association of Helio-geomagnetic disturbances to human health condition: Palmer et al. (2006) report that 75 % of geomagnetic storms are followed by an increase by 50 % of hospital cardiological and neurological cases. [Breus et al., 1989] point to a correlation between heart attacks in Moscow and Helio-geomagnetic activity. [Cornelissen et al., 2002] indicate that death-rate due to heart attacks increases by 5 % in Minnesota USA at the maximum of the solar cycle. [Chernouss et al., 2001; Belov et al., 1998] present the influence of space weather on the neurological system and brain disruptions. [Dorman et al., 2001] report increased accident rate due to Helio-geomagnetic activity.

In this work we focus on an extended record of Coronary Artery Disease (CAD) cases in Greece during the solar Cycle 23 (1997–2007). The clinical presentation of CAD includes silent ischemia, stable angina pectoris, unstable angina, myocardial infarction (MI), heart failure and sudden death. The MI, unstable angina and silent ischemia comprise Acute Coronary Syndromes (ACS) [Kremastinos, 2005; Hamm et al., 2011] and they share a widely common pathophysiological substrate. The pathophysiological mechanism is formed by the under perfusion of myocardial, due to important minimization of the blood flow in the coronary arteries, resulting in the partial or fully necrosis of myocardium. Such a state can be caused when an atherosclerotic plaque ruptures or erodes, leading to different degrees of superimposed thrombosis and distal embolization. The latter may lead to electrical instability

which may, in turn, cause ventricular tachycardia or fibrillation and may end to sudden death. The leading symptom that initiates the diagnostic and the therapeutic cascade is chest pain, but the classification of patients is based on the electrocardiogram (ECG). Based on the morphology of ECG there are two categories of patients:

1. Patients with acute chest pain and persistent (>20 min) ST-segment elevation: The ST-segment elevation is identified by the presence of >1 mm ST elevation in at least two adjacent limb leads, >2 mm ST elevation in at least two contiguous precordial leads or new onset bundle branch block. This is termed ST elevation ACS (STE-ACS) and generally reflects an acute total coronary occlusion which, mostly, develops a ST elevation MI (STEMI).
2. Patients with acute chest pain but without persistent ST-segment elevation: They exhibit a persistent or transient ST-segment depression or T-wave inversion, at T waves, pseudo-normalization of T waves, or no ECG changes are presented. This is dubbed non-ST-elevation ACS (NSTEMI-ACS) and the diagnosis is based on the measurement of troponine enzyme. Abnormal troponine level qualifies the situation as a non-ST-elevation MI (NSTEMI), otherwise is managed as an unstable angina. Also, a NSTEMI event can be caused by dynamic obstruction (eg. Vasospasm) and extrinsic factors leading to poor coronary perfusion (eg. hypotension, hypervolaemia or hypoxia). NSTEMI and unstable angina represent the majority of ACS.

We examine the relationship between Helio-geomagnetic activity and NSTEMI-ACS and STE-ACS in Greece for the solar cycle 23, expanding on previous work by [Katsavrias et al., 2012; Moussas et al., 2010] (henceforward Papers I and II). These works were focused on three select time intervals of intense magnetospheric disturbances and storms. Their results indicate that:

- The STE-ACS (ST) and NSTEMI-ACS (NST) cases were found to be related to the Helio-geomagnetic activity though details varied. The correlation coefficient using smoothed monthly values when the ACS time-series was lagging by 12 months behind the Helio-geomagnetic activity are: 0.79 ± 0.00 between CME and NST, $0.66 \pm 2 \cdot 10^{-16}$ between NST-intense flares (X and M type in GOES classification) and $0.66 \pm 4 \cdot 10^{-16}$ between ST-faint flares (B type in GOES classification).
- The maximum of NST cases (72) for the solar cycle 23 was recorded in October 2002 and January 2003. The second, in magnitude, peak of ST cases (32) for the whole solar cycle 23, on the other hand, appeared in November 2002. This supports time coincidence between increased ACS cases and strong Helio-geomagnetic activity as the peak of this activity took place in August-September 2002. The maximum number, for the whole solar cycle 23, of ST cases (40) in November 2005 coincides, in time, with an unusual fluctuation of the number of flares.
- Papers I and II indicate that the health effects of geomagnetic activity are cumulative depending on the duration of the GMS and the GMS peak. The observational evidence was based on the comparison of two active periods. In October – November 2003 the strongest recorded GMS of cycle 23 had duration of 5 days with DST peaking at -220 nT. In October 2002, on the other hand, a less strong (-120 nT) but longer (18 days) GMS occurred. Both intervals were followed by an increased number of ACS cases yet the ACS reach maximum in October – November 2002.

- For the periods of geomagnetic storms examined in Papers I and II the phase (pre-phase, main, recovery) of the storm that coincides with increased ACS cases seems to be significant. In particular:
 - 60 % of increased ACS cases coincide with the storm recovery phase; the probability rises to 75 % for the NST cases.
 - Only 3 dates (4.5 %) with increased ACS cases took place at the main phase.
 - 6 dates (9 % of the increased cases took place at the pre-phase of the storms.
 - We note a significant number of increased ACS cases (15 %) in periods of high solar wind speed (>600 km/s) without geomagnetic storms.
 - In this work we present a wavelet analysis on the solar eruptive events (flares and CMEs), DST Index, solar wind speed and ACS cases for the solar cycle 23.

DATA SELECTION

We have used the patient records of the 2nd Cardiologic Department of the General Hospital of (Piraeus) ‘St. Panteleimon’, Greece, for the daily number of ACS cases, STE-ACS and NSTE-ACS (hence ST and NST respectively).

For the space weather and solar data we have used a number of on-line archives:

- OMNIWEB (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>): For the number of sunspots (R_z), the solar wind speed (V_{sw}) and the geomagnetic index DST (a measure of the strength of the Earth ring current). It is calculated by averaging the horizontal component of the magnetic field from mid-latitude and equatorial magnetograms.
- NGDC GOES (<http://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/>): For the daily number of solar flares by intensity class (intense solar flares of X and M class, henceforward X-M and weak flares of B class).
- SOHO/LASCO (<http://cdaw.gsfc.nasa.gov/>): For the daily number of CMEs (including the highly geoeffective Full and Partial Halo (width >200 degrees) hence P-H CMEs). There are two data gaps in this database in 25/6/1998–14/10/1998 and 1/1/1999–4/2/1999.

WAVELET ANALYSIS

Non-stationary time series were expanded in terms of time-localized waves, or *wavelets*; we, thus, obtained a compact, two dimensional, representation [Morlet et al., 1982; Torrence, Compo, 1998]:

$$y(t, t', f) = \exp(2i\pi ft) \exp\left[-f^2 \frac{(t-t')^2}{2}\right].$$

Where f is the frequency; t' — the time delay; $\exp\left[-f^2 \frac{(t-t')^2}{2}\right]$ is the Gaussian support.

The Morlet wavelet is the commonest function used in astrophysical signals expansion. Furthermore, due to its Gaussian support, the Morlet wavelet expansion inherits optimality as regards the uncertainty principle [Morlet et al., 1982].

The global wavelet spectrum [Torrence, Compo, 1998] which is the time-averaged wavelet spectrum over all the local wavelet spectra is given by:

$$\bar{W}^2(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_n(s)|^2.$$

Where $W_n(s)$ is the wavelet power; N — the number of local wavelet spectra. From this, we obtained an unbiased and consistent estimation of the true power spectrum of a time series.

RESULTS OF WAVELET ANALYSIS AND DISCUSSION

In Figure 1 we present the time series, the wavelet power spectra and the global wavelet spectra of smoothed ACS, NST and ST cases (see also table 1).

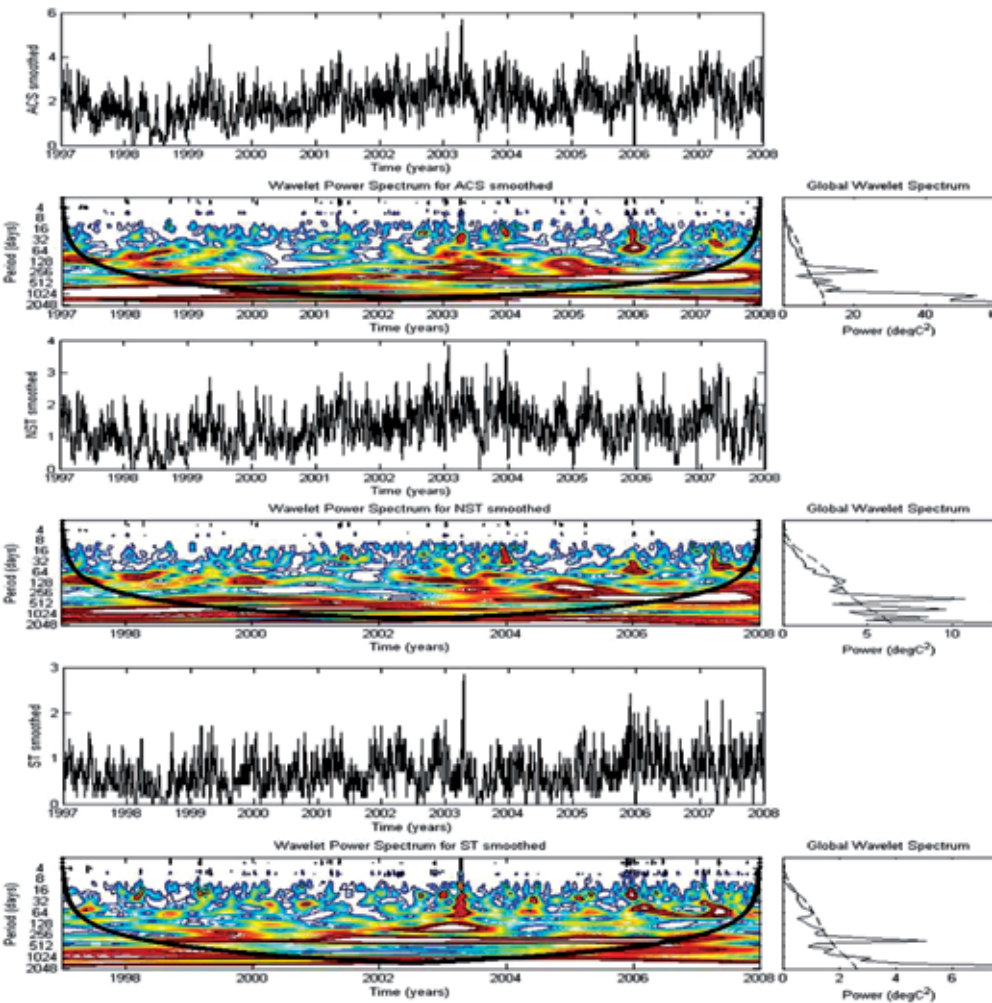


Figure 1. Daily distribution, wavelet power spectrum and global wavelet spectrum of smoothed ACS (upper panel), NST (middle panel) and ST cases (bottom panel)

We used a Savitsky – Golay smoothing with a window of 7 days to eliminate the 7 days duty cycle of the hospital. Our plot is colour-coded with red corresponding to the maxima; the black contour is the cone of influence (99 %) of the spectra, marking the region where edge effects in processing become important. The dashed lines in the global spectra represent a confidence level of 99 %. The characteristic periodicities were:

- For the wavelet power spectrum of NST cases: 64...128 days (peak at 111 days), 128...256 days (187 days peak), 256...512 days (peak at 374 days) and 512...1024 days (peak at 748 days).
- In the wavelet power spectrum of ST cases were found periodicities of 32...64 days (55.6 days peak), 128...256 days (187 days peak) and 256...512 days (peak at 374 days).
- The power spectrum of all ACS cases (NST and ST) follows the spectrum of NST which are almost twice the ST (5160 NST and 2638 ST cases).
- The global wavelet spectrum of NST shows that the most intense periodicities are the annual and semi-annual while ACS in total shows the 111 days. In the global wavelet spectrum of ST the most intense periodicity is the semi-annual.
- We focus on the quasi — biennial oscillation (2 years) and its harmonics of 1 year and 0.5 years. As regards the solar activity it corresponds to the joint 11-year and quasi-biennial cycle model was introduced by [Bao, Zhang, 1998] and expanded by [Benevolenskaya, 1998, 2000b].
- The annual periodicity appears within the whole solar cycle 23 while the semi-annual appears after 2002 (maximum of the cycle) except in NST which appears in 1998 as well. The 2 years periodicity is absent from the wavelet spectrum of ST.
- Periodicities of 111 and 55.6 days appear in the wavelet power spectra of NST and ST respectively. These are sub-harmonics of the 27.8 days periodicity observed in the Sun due to its rotation.

Table 1. Table of range of periodicities with their peak and time interval of appearance for ACS, NST and ST. The b-superscript marks periodicities below the confidence level of 99 % in the global wavelet spectrum

Parameter	Range of periodicities, days	Peak, days	Time interval of appearance, years
ACS	64–128	111	1997–1998, 2002–2004
	128–256	187	2002–2003, 2004–2005
	256–512	374	1998–2006
	512–1024	748	1999–2003
NST	64–128	111	1998–1999, 2002–2003, 2004–2005
	128–256	187	1998, 2003–2005
	256–512	374	1998–2002, 2003–2006
	512–1024	748	2000–2004
ST	32–64	55.6 ^(b)	2003, 2006–2007
	128–256	187	2002–2003
	256–512	374	1998–2006

Figures 2 and 3 (see also table 2) show the periodicities in the wavelet power spectrum of CMEs and Partial – Halo CMEs and flares, intense flares (X-M type) and faint flares (B type). We found that:

- The wavelet power spectra of CMEs exhibit the quasi-biennial oscillation and its harmonics (annual and semi-annual) during the time interval 1998–2004. Flares, on the other hand, show the same periodicities within the time interval 2000–2006. This indicates that the solar activity carries the quasi-biennial oscillation throughout the whole solar cycle 23 exactly like the ACS cases.
- In addition there is a 78 days periodicity, in Flares only, which is the harmonic of the Rieger periodicity (156 days), within the time intervals 1999–2001 (maximum of the cycle) and 2003–2005 (extreme solar events). Although, this periodicity is absent from the spectra of ACS.

Table 2. Table of range of periodicities with their peak and time interval of appearance for CMEs, P–H CMEs, Flares, X–M Flares, B Flares, DST Index and solar wind speed. The b-superscript marks periodicities below the confidence level of 99 % in the global wavelet spectrum

Parameter	Range of periodicities, days	Peak, days	Time interval of appearance, years
CMEs	128–256	187 ^(b)	2001–2003
	256–512	374	1998–2001
	512–1024	748	1999–2004
P–H CMEs	128–256	187 ^(b)	2001–2003
	256–512	374 ^(b)	1998–2001
	512–1024	748	2000–2004
Flares	64–128	78 ^(b)	2004–2005
	128–256	187 ^(b)	2005–2006
	256–512	374 ^(b)	2001–2003
X–M Flares	64–128	78 ^(b)	2001, 2003–2005
	128–256	187 ^(b)	2001–2003
	256–512	374 ^(b)	2003–2005
B Flares	64–128	78 ^(b)	1999–2001, 2003, 2004
	128–256	187 ^(b)	2000–2002, 2003
	256–512	374 ^(b)	2000–2003
DST Index	64–128	78	2001, 2003–2005
	128–256	187	1998–2003
	256–512	374	1999–2005
	512–1024	748	2000–2005
Vsw	16–32	27.8	2000, 2003, 2005–2006
	64–128	111 ^(b)	2004–2006
	128–256	187	2004–2006
	512–1024	748	2002–2005

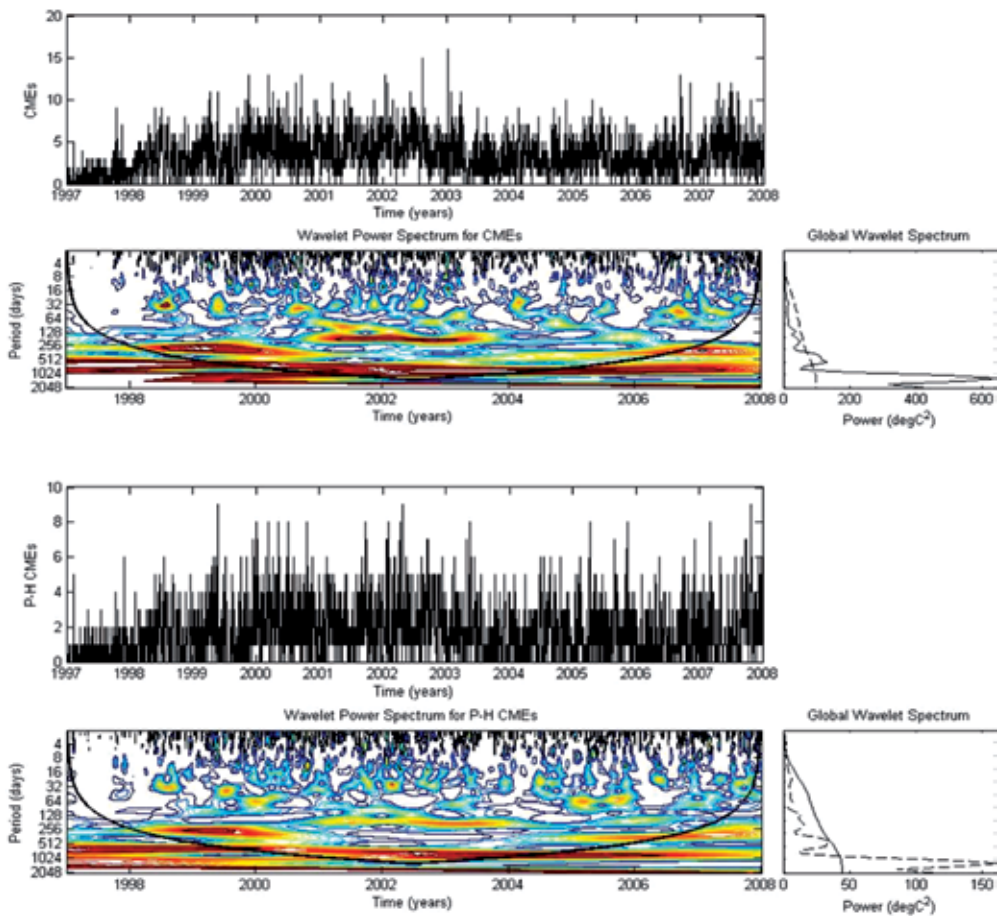


Figure 2. Daily distribution, wavelet power spectrum and global wavelet spectrum of CMEs (upper panel) and P-H CMEs (bottom panel)

Figure 4 shows the periodicities in the wavelet power spectrum of DST Index and solar wind speed.

- Solar wind speed shows the quasi-biennial periodicity and its harmonics (annual and semi-annual) within the time interval 2002–2006. The latter indicates that the power spectrum of speed follows the one of Flares.
- In addition, solar wind speed shows the 27.8 days periodicity and its 111 days sub-harmonic which carry the solar rotation. These periodicities appear also in both NST and ST.
- DST Index shows the quasi-biennial oscillation and its harmonics (annual and semi-annual) throughout the whole solar cycle following solar activity. This indicates a strong correlation with the ACS cases since their spectra show the quasi-biennial oscillation throughout the whole solar cycle 23 also.
- There is also a 78 days periodicity (Rieger harmonic) in DST which appears within the same time intervals with X-M Flares (2001, 2003–2005), indicating a strong correlation between these two parameters.

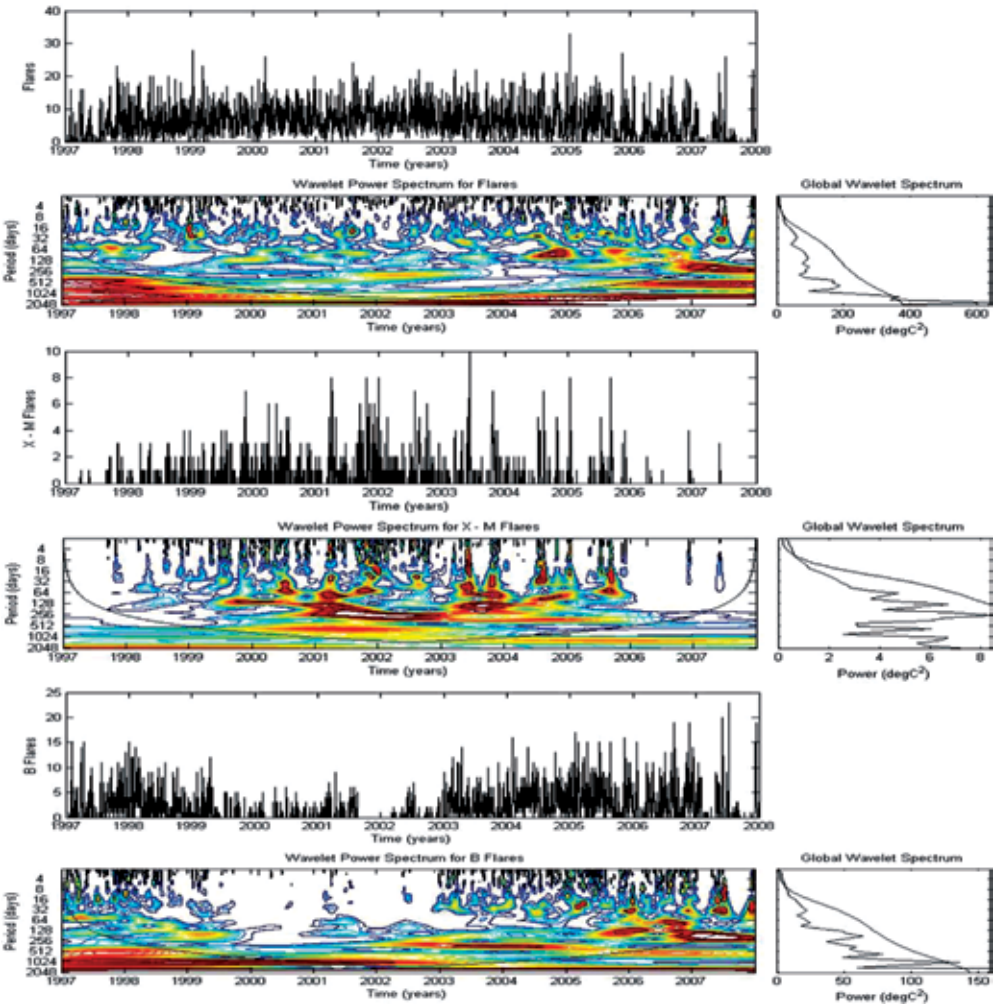


Figure 3. Daily distribution, wavelet power spectrum and global wavelet spectrum of Flares (upper panel), X-M Flares (middle panel) and B Flares (bottom panel)

DISCUSSION AND CONCLUSION

In this report we have performed a long-term analysis (Wavelet) of the relationship of Helio-geomagnetic activity to Acute Coronary Syndromes (ACS) examining both STE-ACS (ST) and NSTE-ACS (NST) cases separately. The study covered the 23rd solar cycle (1997–2007). The results are summarized as follows:

- A quasi-biennial periodicity and its harmonics were found in both NST and ST wavelet power spectra throughout the whole solar cycle 23. This group of periodicities is well-known and we found it also in CMEs (1998–2004), Flares (2001–2006) and DST Index (1998–2006). This shows that the wavelet power spectra of ACS cases are associated with the DST Index (the measure of geomagnetic storms which are triggered by the solar eruptive events).

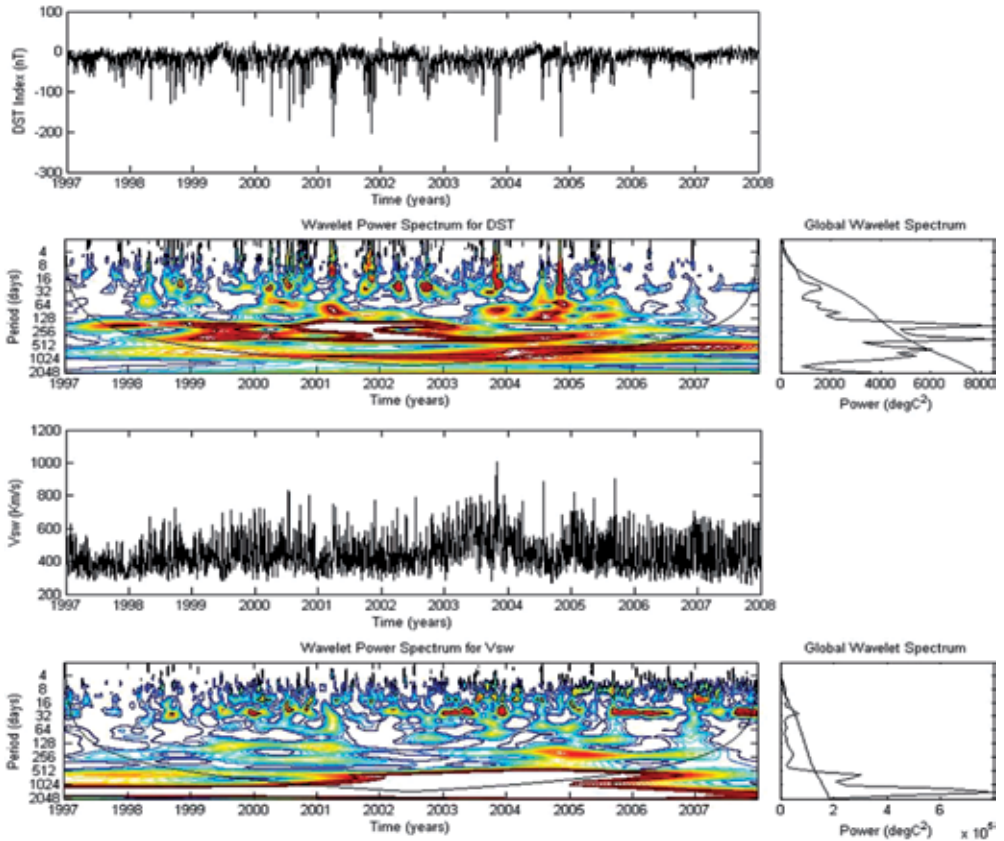


Figure 4. Daily distribution, wavelet power spectrum and global wavelet spectrum of DST Index (upper panel) and Vsw (bottom panel)

- Sub-harmonics of the 27.8 days periodicity due to the rotation of the Sun appear in both NST (111 days) and ST (55.6 days) wavelet spectra. These periodicities seem to associate with the solar wind speed which also shows the same periodicity. We notice that the eruptive solar events cause increase of the solar wind speed. This high-speed solar wind triggers magnetic and ionospheric storms.
- There is a 78 days periodicity (first Rieger harmonic) which appears in the power spectra of Flares. It appears in faint Flares (B type) in 1999 and then in all Flares at the maximum of the cycle and after. DST Index shows the same harmonic within the same time interval with X-M Flares (2001-2003–2005).

Conclusively, we found two types of periodicities in the spectra of ACS which are characteristic of the solar activity: the quasi-biennial oscillation which carries the solar dipole and the 27.8 days which carries the solar rotation. We are convinced that there is a strong dependence between the ACS cases and the Solar Active Phenomena via the solar wind and geomagnetic disturbances. **These results corroborate** previous results of geomagnetic effects on cardiological cases [Palmer et al., 2006; Katsavrias et al., 2012] obtained through a different methodology.

Acknowledgements. This work was supported in part by the University of Athens research center (ELKE/ΕΚΡΑ). The authors thank Ilias Iliadis for his help with the Solar Activity Datasets.

REFERENCES

- [Bao, Zhang, 1998] *Bao S. D., Zhang H. Q.* Investigation of current helicities of active regions during the 22nd solar cycle // *JOSO Annu. Rep.* 1998. P. 132–133.
- [Belov et al., 1998] *Belov D., Kanunikov I., Kiselev B.* Dependence of human EEG spatial synchronization on the geomagnetic activity on the day of experiment // *Russian J. Physiology* (Ross. Fiziol. Zh. Im. I. M. Sechenova). 1998. V. 84. P. 761–774. (In Russian.)
- [Benevolenskaya, 1998] *Benevolenskaya E. E.* A Model of the Double Magnetic Cycle of the Sun // *Astrophysical J. Letters.* 1998. V. 509. P. L49–L52. doi: 10.1086/311755.
- [Benevolenskaya, 2000] *Benevolenskaya E. E.* A mechanism of helicity variations on the Sun // *Solar Physics.* 2000. V. 191. P. 247–255.
- [Breus et al., 1989] *Breus T., Komarov F., Musin M., Naborov I., Rapaport S.* Helio-physical factors and their influence on cyclical processes in biosphere // *Itogi Nauki i Tekhniki: Medicinskaya Geografica.* 1989. V. 18. P. 138–142, 145, 147, 148, 172–174 (= *Комаров Ф. И., Бреус Т. К., Панопорт С. И., Мусин М. М., Наборов И. В.* Гелиогеофизические факторы и их воздействие на циклические процессы в биосфере // *Итоги науки и техники. Сер. Медицинская география.* 1989. Т. 18. 175 с.).
- [Chernouss et al., 2001] *Chernouss S., Vinogradov A., Vlassova E.* Geophysical Hazard for Human Health in the Circumpolar Auroral Belt: Evidence of a Relationship between Heart Rate Variation and Electromagnetic Disturbances // *Natural Hazards.* 2001. V. 23. P. 121–135.
- [Cherry, 2002] *Cherry N.* Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar // *Geomagnetic Activity, Natural Hazards.* 2002. V. 26. P. 279–331.
- [Cornelissen et al., 2002] *Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E. V., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E.* Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics.* 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Dorman et al., 2001] *Dorman L. I., Iucci N., Ptitsyna N. G., Villorosi G.* Cosmic rays as indicator of space weather influence on frequency of infarct myocardial, brain strokes, car and train accidents // *Intern. Cosmic Ray Conf.* 2001. V. 9. P. 3511–3514.
- [Hamm et al., 2011] *Hamm C., Bassand J. P., Agewall S.* et al. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST — segment elevation // *European Heart J.* 2011. V. 32. P. 2999–3054.
- [Katsavrias et al., 2012] *Katsavrias Ch., Preka-Papadema P., Moussas X., Apostolou Th., Theodoropoulou A., Papadima Th.* Helio-Geomagnetic Influence in Cardiological Cases // *Advances in Space Research.* 2012. doi: www.org/10.1016/j.asr. 2012.07.030.
- [Katsavrias et al., 2012] *Katsavrias Ch., Preka-Papadema P., Moussas X.* Wavelet analysis in solar wind parameters and geomagnetic indices // *Solar Physics.* 2012. doi: 10.1007/s11207-012-0078-6.
- [Kivelson, Russell, 1995] *Kivelson M. G., Russell C. T.* Introduction to Space Physics. N. Y.: Cambridge University Press, 1995.
- [Kremastinos, 2005] *Kremastinos D.* Cardiology: Clinical Cardiology. Athens, Greece: Medical Publications Paschalides, 2005.
- [Morlet et al., 1982] *Morlet J., Arens G., Forgeau I., Giard D.* Wave Propagation and Sampling Theory // *Geophysics.* 1982. V. 47. P. 203–236. doi: 10.1190/1.1441328.

- [Moussas et al., 2010] *Moussas X., Preka-Papadema P., Apostolou Th., Katsavrias Ch., Theodoropoulou A., Papadima Th.* Helio-Geomagnetic Activity and the Time Distribution of Myocardial Infarctions during the Solar Cycle 23 (1997–2007). A Preliminary Study based on a Greek Hospital Data, organized by the Hellenic Physical Society with the Cooperation of the Physics Departments of Greek Universities: 7th Intern. Conf. of the Balkan Physical. 2010.
- [Palmer et al., 2006] *Palmer S.J., Rycroft M.J., Cermack M.* Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface // *Surveys in Geophysics*. 2006. V. 27. P. 557–595.
- [Torrence, Compo, 1998] *Torrence C., Compo G.P.* A Practical Guide to Wavelet Analysis // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1998. V. 79. P. 61–78. doi: 10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ОСТРЫЙ КОРОНАРНЫЙ СИНДРОМ: ПОДХОД, ОСНОВАННЫЙ НА ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗЕ

*Г. Катцавриас¹, П. Прека-Пападама¹, К. Муссас¹, Т. Апостолу²,
А. Хилларис¹, А. Теодоропулу¹, Т. Пападима³*

¹ Отделение астрофизики, астрономии и механизмов, Физический факультет, Афинский университет, Греция

² Больница общего профиля им. Свт. Пантелеимона, Никея, Греция

³ Больница общего профиля Evangelismos, Афины, Греция

Рассмотрена связь острых коронарных синдромов (ОКС) с гелиогеомагнитной активностью для Греции в интервале времени 1997–2007 гг. (солнечный цикл 23), в том числе и с анализом воздействия отдельных активных периодов. Оценена связь космической погоды со скоростью возрастания ОКС посредством изучения общей периодичности в вейвлет-спектрах соответствующих временных рядов. Случаи элевации ST-интервалов ОКС (STEACS) и отсутствия таковой рассматривались по отдельности. В скорости госпитализации пациентов со STEACS и с отсутствием STEACS обнаружены известные периодичности (в том числе квазидвухлетней и гармоник, а также субгармоник 27,8-дневной периодичности). Была также найдена связь с солнечной вспышкой. Эти результаты являются убедительными аргументами в пользу воздействия космической погоды и солнечной активности на пациентов с острой коронарной недостаточностью.

THE POTENTIAL EFFECT OF COSMIC RAY INTENSITY VARIATIONS ON HUMAN CARDIOVASCULAR FUNCTIONALITY

*M. Papailiou*¹, *H. Mavromichalaki*¹, *K. Kudela*², *J. Stetiarova*², *S. Dimitrova*³, *Ch. Katsavrias*¹

¹ Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, University of Athens, Athens, Greece, e-mail: emavromi@phys.uoa.gr; mpapahl@phys.uoa.gr

² Institute of Experimental Physics, Slovak Academia of Science, Košice, Slovakia, e-mail: kkudela@kosice.upjs.sk; stetiario@kosice.upjs.sk

³ Space Research and Technology Institute (SRTI), Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, e-mail: svetla_stil@abv.bg

It is suggested from a series of studies that have been conducted during the last few years that cosmic ray activity and Forbush decreases in particular can possibly be connected not only with cardiovascular diseases (myocardial infarctions, brain strokes, ischemic heart diseases, etc) but also with variations of human physiological parameters (heart rate, arterial systolic and diastolic blood pressure, etc). In this particular study 1341 measurements concerning mean values of heart rate (beats/min) and arterial diastolic and systolic blood pressure (mmHg), obtained during the medical examinations of a group of Slovak aviators, are related to daily data of cosmic ray intensity, as measured by the Neutron Monitor Station on Lomnický štít (<http://neutronmonitor.ta3.sk/realtime.php3>). The data cover the time period from January 1, 1994 to December 31, 2002, during which strong cosmic ray intensity variations were registered (decreases up to -16% and increases up to $+8\%$). For the analysis the statistical method ANalysis Of VAriance (ANOVA) combined with the method of superimposed epochs were used to determine the statistical significance (p -values) of the effect of cosmic ray activity on the aforementioned physiological parameters for the days before, during and after the event. As it is shown strong cosmic ray intensity variations could potentially affect the human cardiovascular state.

INTRODUCTION

The study of cosmic rays is of great importance, since they can provide a tool for exploring and understanding the Universe and its mechanisms, but they can also directly affect the Earth. Moreover, not only the performance and reliability of space-borne or ground-based technological systems can be influenced during strong cosmic ray intensity (CRI) events but also human life [Dorman et al., 1999, 2001; Stoupel, 2002; Stoupel et al., 2007]. Many studies focus on the influence CRI variations may have on human physiological parameters [Dimitrova, 2008; 2009; Papailiou et al., 2011a; 2012; Mavromichalaki et al., 2012].

Specifically it is shown in [Dorman et al., 1999, 2001] that Forbush decreases are the most sensitive indicators of the relationship between geomagnetic disturbances and health parameters like the number of incidences of ischemic and brain strokes, myocardial infarctions and traffic accidents. Moreover [Dorman et al., 2001] mention that cardiovascular diseases are affected by space weather long-term (solar activity) but also short-term (Forbush decreases) parameters.

Another study by [Stoupel et al., 2007] focuses on the potential correlation between the number of acute myocardial infarctions and cosmic ray activity. This particular study was conducted in the Baku area using acute myocardial infarctions data from 21 first-aid stations during the years 2003–2005. It is concluded that higher cosmic ray activity is predominant for acute myocardial infarction occurrence and pre-admission mortality.

In a study by [Styra et al., 2005] predictive correlation between hard cosmic ray flux near the Earth's surface and sudden increases in the number of cases of cardio-

vascular disease was studied in Vilnius city. Hard cosmic ray flux fluctuations were used as an indirect indicator of variations in the geomagnetic field, and a leap in cardiovascular disease cases was predicted 1–3 days following a change in the hard cosmic ray flux according to two criteria mentioned in the aforementioned paper. The predictive reliability of an increase in cardiovascular disease cases within 2–3 days exceeded 80 %, and within 1–2 days 70 %. Moreover [Styra et al., 2009] showed that the highest prognostic correlation between hard cosmic ray flux decrease and cardiovascular disease leaps within 1–2 days was from 64 to 76 %, the correlation within 2–3 days was lower and the correlation between atmospheric pressure decrease and leaps of cardiovascular disease in 1–2 days and on the same day was 25–44 %.

Furthermore in [Dimitrova, 2008, 2009] a group of 86 volunteers was examined during periods of maximum solar and geomagnetic activity. Results revealed that CRI decrease was associated to mean arterial systolic and diastolic blood pressure, pulse pressure and subjective psycho–physiological complaints increase [Dimitrova, 2009]. Moreover no significant changes were established in the heart rate of the examined persons under different cosmic rays intensities [Dimitrova, 2009].

On the other hand in the work by [Mavromichalaki et al., 2012] 1673 daily digital data of heart rate values and time series of beat-to-beat heart rate intervals (RR intervals), concerning functionally healthy persons, were registered for the time period from July 15, 2006 until March 31, 2008 and were studied in relation to different levels of cosmic ray activity. Results revealed heart rate increase and RR intervals variations were more pronounced for large CRI decreases, whereas very small or even minimum CRI variations did not affect heart rate dynamics.

This particular work is the outcome of a wide collaboration between three scientific groups from Athens (Greece), Kosice (Slovakia) and Sofia (Bulgaria). An attempt is made to study the potential effects of CRI variations on the human physiological state through the variations of physiological parameters such as heart rate, arterial systolic pressure and arterial diastolic pressure. Some preliminary results regarding heart rate parameters were discussed in [Papailiou et al., 2011b]. An extended version of the database and more thorough analyses were performed and more accurate results are presented in this article.

1. DATA AND METHODS

1.1. Medical data

The heart rate (HR), arterial systolic (SP) and diastolic (DP) blood pressure measurements refer to a group of 4018 Slovak aviators and were taken during their periodical medical checks at ground level. In total 1341 measurements, which refer to the time period from January 1, 1994 until December 31, 2002, were analyzed. The group consisted only of men of age from 18 to 60 years, all in good health. Daily mean values of the group for HR (beats/min) and SP and DP (mmHg) were registered. More specifically the measured parameters were as follows:

- HR, SP and DP in rest without load (HRR, SPR, DPR);
- HR, SP and DP in 1st degree of load (HRFDL, SPFDL, DPFDL — sitting on a stationary bike and pedaling at a power of 50...100 W);
- HR, SP and DP in 2nd degree of load (HRSDL, SPSDL, DPSDL — sitting on a stationary bike and pedalling at a power of 100...150 W);
- maximum HR, SP and DP achieved by load (HRMAX, SPMAX, DPMAX — sitting on a stationary bike and pedalling at maximum power).

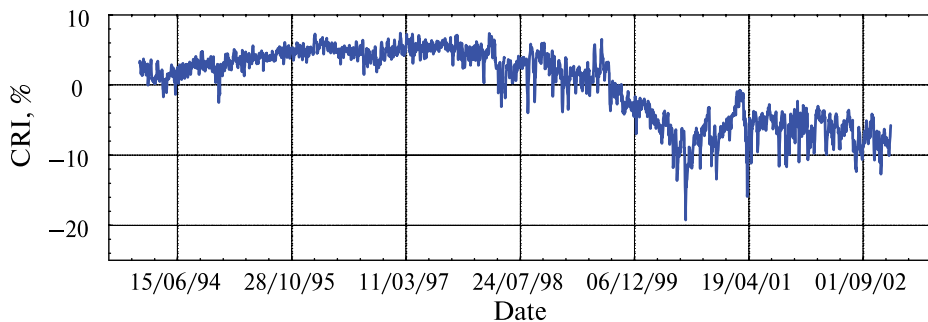


Figure 1. Normalized daily CRI (%) variations during experiments period from January 1, 1994 to December 31, 2002

1.2. Cosmic ray data

Pressure corrected daily data of the hadronic component of the CRI were obtained from Lomnický Štít Neutron Monitor (SNM-15) of the Department of Space Physics, Institute of Experimental Physics, Košice, Slovakia. This station is located 2634 m above sea level and detects particles with a cut — off rigidity of 3.84 GV. It has been operational since December 1981 providing high quality data (archive, current data) through the Internet in digital form (<http://neutronmonitor.ta3.sk/>). Cosmic ray activity was divided into six levels (−3, −2, −1, 0, +1, +2) according to CRI [Papailiou et al., 2012].

CRI variations for the time period under examination are shown in Figure 1. The largest decrease (−16 %) was registered on April 12, 2001. The normalized CRI variations were calculated using the relation $(I_i - I_{mean})/I_{mean}$, where I_i is the hourly CRI and I_{mean} is the average CRI for the time period under consideration.

1.3. Statistical method

The statistical method *ANalysis Of VAriance* (ANOVA), (statistical package STATISTICA (ver.6, StatSoft Inc., 2001), was applied to establish statistical significance levels (p) of the effect of CRI variations on the HR, SP and DP. The effect of CRI variations up to three days before and after the respective events (CRI decreases and increases) on the examined parameters was also investigated by the help of ANOVA and superimposed epoch method. p -values were calculated for the days before (−), during (0) and after (+) these events.

2. RESULTS

Heart rate and arterial blood pressure variations have been analysed in regard to CRI variations. ANOVA was used for obtaining the significance levels (p -values) of the effect of the percentage of CRI variations on the HR, SP and DP parameters. p -values were calculated for the days before (−), during (0) and after (+) CRI variations. In table, p -values for CRI effect on those of the parameters for which significant effects on some of the days around the events were established are shown.

Statistically significant results concern all HR parameters for the days before, during and after CRI variations, apart from HRR. The last parameter changed significantly only on days 0 and +1st. For SP parameters only SPFDL was statistically significantly affected by CRI variations on all of the days before, during and after the event while SPMAX was affected only during and before the event (days 0, –1st and –3rd). Furthermore for DP parameters statistically significant results were obtained only for DPSDL (except on day 0) and DPFDL (only on day 0).

Significance levels (p-values) of CRI effect on the physiological parameters under study for the days before (–), during (0) and after (+) CRI variations (results marked with <*> are statistically significant)

Day	<i>p</i> -values (CRI)							
	HRR	HRMAX	HRFDL	HRSDL	SPMAX	SPFDL	DPFDL	DPSDL
–3	0.55187	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.02550*	0.00385*	0.42203	0.00196*
–2	0.19592	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.09411	0.01305*	0.44713	0.00633*
–1	0.13180	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.00166*	0.00385*	0.34159	0.00907*
0	0.01508*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.04547*	0.00326*	0.00183*	0.11839
+1	0.02587*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.23876	0.00602*	0.12549	0.00073*
+2	0.19773	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.23215	0.00559*	0.33813	0.00197*
+3	0.11558	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.05270	0.00421*	0.39805	0.01767*

Variations of the human physiological parameters under examination in relation to different CRI levels are shown in Figures 2. Statistical significant (see table) decrease of parameters HRFDL, HRSDL (Figure 2c) and HRMAX for strong CRI decreases (levels –2 and –3 of the CRI classification) is registered. Similar behavior is noticed for parameters SPR, SPMAX as for SPFDL and SPSDL (Figure 2a), which take their minimum values for CRI level –3. However, for DP parameters (Figure 2b) the maximum value is obtained for level –3, during strong CRI events [Papailiou et al., 2012].

The dynamic of SPFDL, DPR and HRFDL in dependence of CRI classification on the days preceding, during and following the events is shown in Figures 3 respectively. Physiological parameters' changes are more pronounced mostly for level –3 of the CRI classification. For strong CRI decreases, level –3, SPFDL decreased from –2nd day until day 0 (minimum value) and increased from there on until +3rd day after the event (Figure 3a). As it is seen in Figure 3b, DPR values decreased on –2nd and –1st days before the strongest registered CRI event and increased from there on until +3rd day after the event [Papailiou et al., 2012]. HRFDL decreased from –1st day until day 0 and increased from there on until day +2nd after the event (Figure 3c).

CONCLUSIONS

The potential relation between human health state and space weather parameters is a subject that has been widely investigated [Cornelissen et al., 2002; Stoupel, 2006; Babayev, Allahverdiyeva, 2007; Dimitrova, 2009].

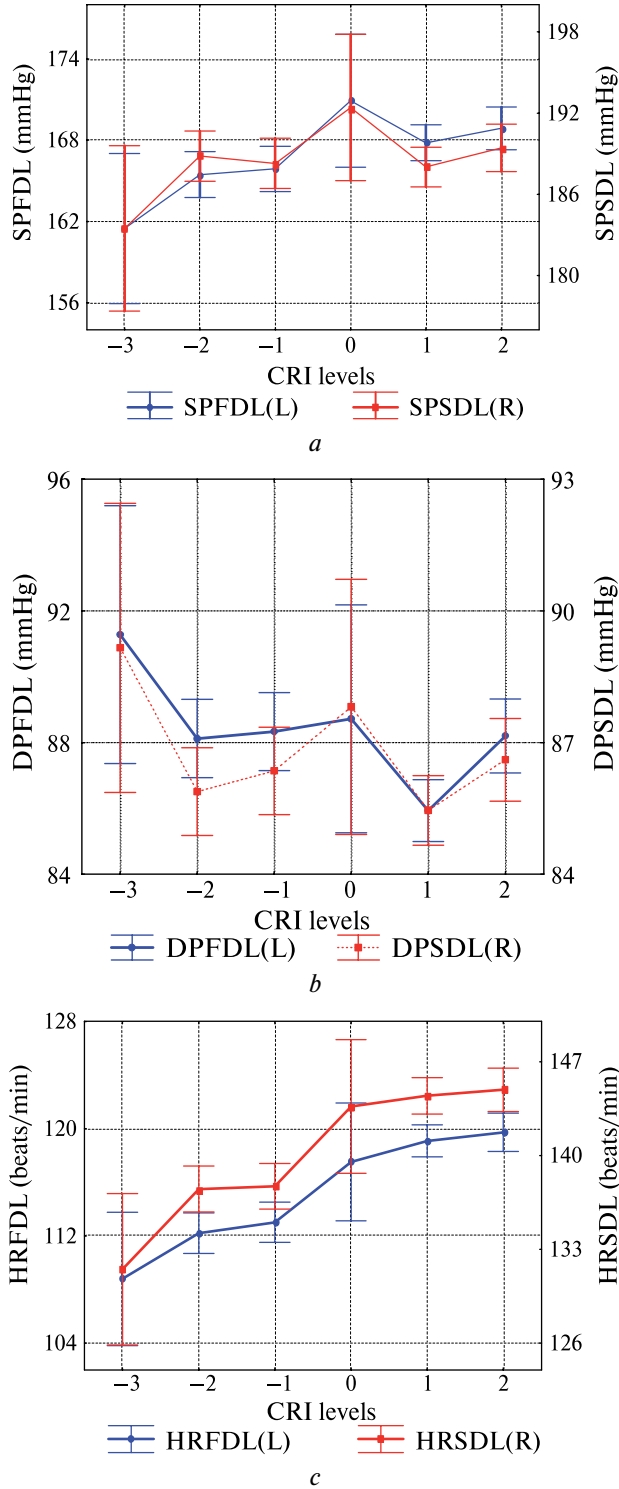


Figure 2. CRI variations effect (day 0) ($\pm 95\%$ CI): *a* – SPFDL and SPSDL; *b* – DPFDL and DPSDL; *c* – HRFDL and HRS DL

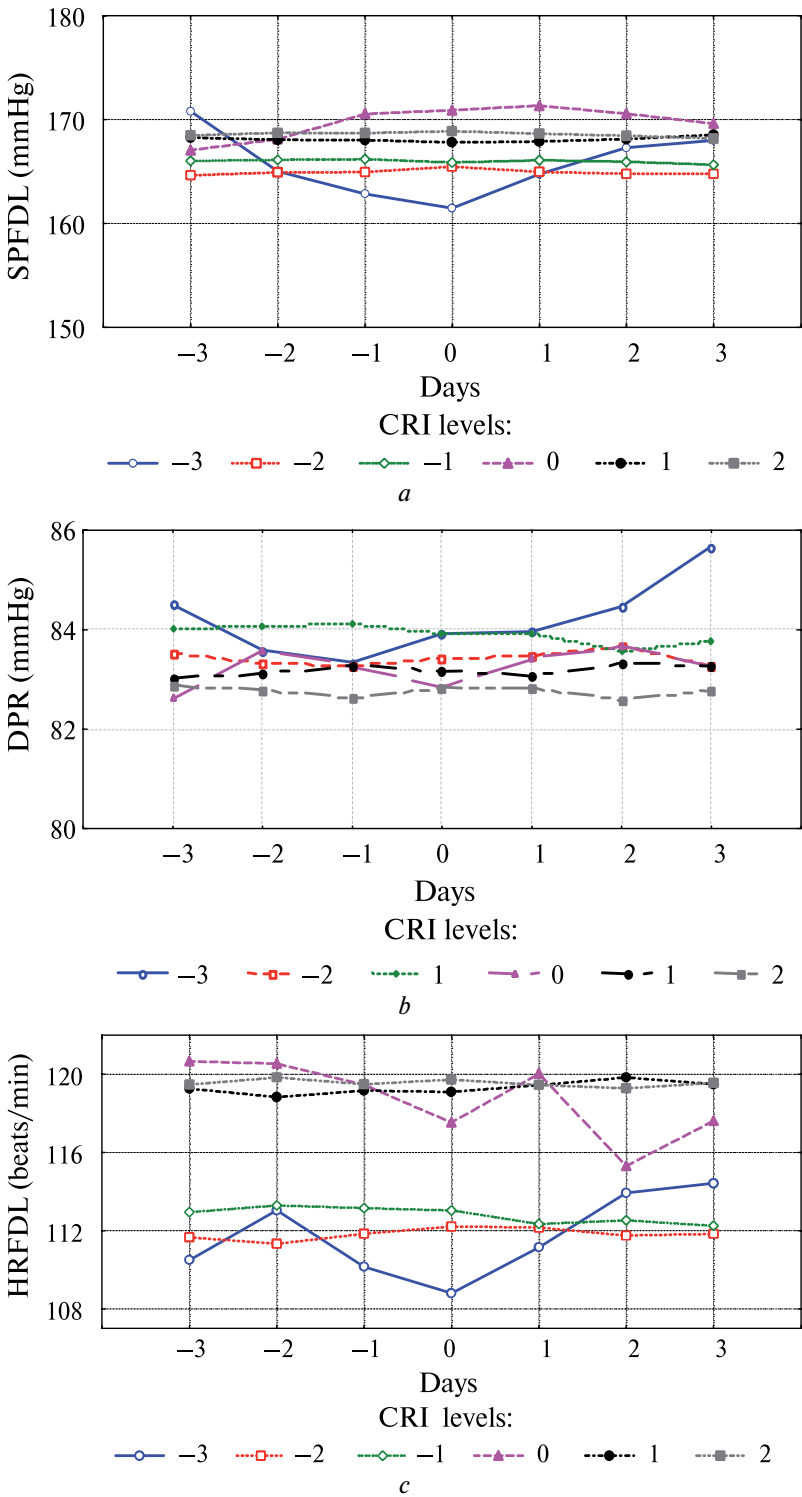


Figure 3. CRI effect before (–), during (0) and after (+) the corresponding variations: *a* – SPFDL; *b* – DPR; *c* – HRFDL

Many studies focus mainly on the influence cosmic ray activity may have on the human physiological state [Stoupel et al., 2007; Papailiou et al., 2009; Mavromichalaki et al., 2012] since cosmic ray activity could be considered as one of the regulating external/environmental factors in human homeostasis [Stoupel et al., 2006].

This study focuses on the possible relation between cosmic ray activity and human cardiologic parameters. Heart rate and arterial systolic and diastolic blood pressure have been analysed in regard to CRI variations. The most interesting results of this study are the following:

1. Strong CRI decreases (levels –2 and –3 of the CRI classification) are associated to HR and SP decrease. DP parameters take their maximum value for level –3 of the CRI classification.
2. HR, SP and DP vary significantly on the days before (–), during (0) and after (+) CRI decreases (levels –3, –2, –1 according to the CRI classification).
3. For level –3 of the CRI classification a decrease of HR, SP and DP parameters, noticed on the days before and/or during CRI decreases, is usually followed by an increase on the days after CRI decreases.
4. The effects are more pronounced for the cardiologic parameters registered under some load.

Acknowledgements. We thankfully acknowledge the valuable help and cooperation of Dr. Dzvonik and the medical staff and aviators who participated in the examinations. Thanks are due to the Lomnický štít Neutron Monitor Station for kindly providing data. Prof. K. Kudela wishes to acknowledge support of grant agency VEGA, project 2/0081/10. H. Mavromichalaki would like to thank the Special Research Account of the University of Athens for supporting this research.

REFERENCES

- [Babayev, Allahverdiyeva, 2007] *Babayev E. S., Allahverdiyeva A. A.* Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: some results of Azerbaijani studies // *Advances in Space Research*. 2007. V. 40. P. 1941–1951.
- [Cornelissen et al., 2002] *Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syytkina E., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.* Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Dimitrova, 2008] *Dimitrova S.* Possible heliogeophysical effects on human physiological state // *Proc. Intern. Astronomical Union Symp. (IAU-2008)*. 2008. V. 257. P. 65–67.
- [Dimitrova, 2009] *Dimitrova S.* Cosmic rays variations and human physiological state // *Sun and Geosphere*. 2009. V. 4. P. 79–83.
- [Dorman et al., 1999] *Dorman L. I., Iucci N., Ptitsyna N. G., Villaresi G.* Cosmic ray Forbush decreases as indicators of space dangerous phenomena and possible use of cosmic ray data for their prediction// *Proc. 26th Intern. Union of Pure and Applied Physics (ICRC-1999)*. 1999. V. 6. P. 476–479.
- [Dorman et al., 2001] *Dorman L. I., Iucci N., Ptitsyna N. G., Villaresi G.* Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infract myocardial, brain strokes, car and train accidents// *Proc. 27th Intern. Union of Pure and Applied Physics (ICRC-2001)*. 2001. P. 3511–3514.

- [Mavromichalaki et al., 2012] *Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S., Babayev E. S., Loucas P.* Space weather hazards and their impact on human cardio-health state parameters on Earth // *Natural Hazards*. 2012. doi: 10.1007/s11069-012-0306-2.
- [Papailiou et al., 2009] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Vassilaki A., Kelesidis K. M., Mertzanos G. A., Petropoulos B.* Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during December 2006 solar extreme events // *Advances in Space Research*. 2009. V. 43. P. 523–529.
- [Papailiou et al., 2011a] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S.* Effect of geomagnetic disturbances on physiological parameters: An investigation on aviators // *Advances in Space Research*. 2011. V. 48. P. 1545–1550.
- [Papailiou et al., 2011b] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S.* The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators // *Astrophysics and Space Sciences Transactions (ASTRA)*. 2011. V. 7. P. 373–377.
- [Papailiou et al., 2012] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S.* Cosmic radiation influence on the physiological state of aviators // *Natural Hazards*. 2012. V. 61. P. 719–727.
- [Stoupel, 2002] *Stoupel E.* The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. P. 247–256.
- [Stoupel, 2006] *Stoupel E.* Cardiac Arrhythmia and geomagnetic activity // *Indian Pacing and Electrophysiology J.* 2006. V. 6. P. 49–53.
- [Stoupel et al., 2006] *Stoupel E., Babayev E. S., Mustafa F. R., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Clinical Cosmobiology — Sudden Cardiac death and Daily / Monthly Geomagnetic, Cosmic ray and solar activity — the Baku study (2003–2005) // *Sun and Geosphere*. 2006. V. 1. P. 13–16.
- [Stoupel et al., 2007] *Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Acute myocardial infarction occurrence: Environmental links — Baku 2003–2005 data // *Medical Science Monitor*. 2007. V. 13. P. 175–179.
- [Styra et al., 2005] *Styra D., Gaspariunas J., Usovaite A., Juozulynas A.* On the connection between hard cosmic ray flux variations and changes in cardiovascular disease in Vilnius city // *Intern. J. Biometeorology*. 2005. V. 49. P. 267–272.
- [Styra et al., 2009] *Styra D., Usovaite A., Damauskaite J., Juozulynas A.* Leaps in cardiovascular diseases after a decrease of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure in Vilnius city in 2004–2007 // *Intern. J. Biometeorology*. 2009. V. 53. P. 471–477.

ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕЛОВЕКА

М. Папайиоу¹, Х. Мавромичалаки¹, К. Кудела², Дж. Стетярова², С. Димитрова³, Ч. Катцавриас¹

¹ Отделение ядерной физики, Физический факультет, Афинский университет, Греция

² Институт экспериментальной физики Словацкой Академии наук, Кошице, Словакия

³ Институт космических исследований и технологий Болгарской академии наук, София, Болгария

На основании исследований, проведённых в течение последних нескольких лет, предполагается, что активность космических лучей и форбуш-эффект в частности могут быть связаны не только с сердечно-сосудистыми заболеваниями (инфарктом миокарда, инсультом мозга, ишемической болезнью сердца и т.д.), но и с вариациями

физиологических параметров человека (частотой сердечных сокращений, систолическим и диастолическим артериальным давлением и т. д.).

В данном исследовании 1341 измерение средних значений частоты сердечных сокращений (уд./мин) и диастолического и систолического артериального давления (мм рт.ст.), полученное в ходе медицинского обследования группы словацких авиаторов, сопоставлялось с ежедневными данными об интенсивности космических лучей, измеряемых нейтронным монитором на станции Ломницкий Штит (<http://neutronmonitor.ta3.sk/realtime.php3>). Данные охватывают период с 1 января 1994 г. по 31 декабря 2002 г., в течение которого были зарегистрированы сильные вариации интенсивности космических лучей (уменьшения до 16 % и возрастания до +8 %).

Использовались статистические методы анализа вариаций (ANOVA) в сочетании с методом наложенных эпох для определения статистической значимости (*p*-значения) влияния космических лучей на вышеупомянутые физиологические параметры за один день до, во время и после событий. Как очевидно, сильные вариации интенсивности космических лучей потенциально могут влиять на сердечно-сосудистую систему человека

THE POSSIBLE SOLAR AND GEOMAGNETIC ACTIVITY EFFECTS ON THE NEUROLOGICAL DISEASE OF MULTIPLE SCLEROSIS

A. Gkotsinas¹, P. Preka-Papadema¹, N. Dimisianos², P. Papachristou²,
G. Antonakopoulos³, P. Papathanasopoulos², X. Moussas¹, A. Hillaris¹

¹ Department of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, University of Athens, Greece

² Department of Neurology, University of Patras, Patra, Greece

³ Department of Theoretical and Mathematical Physics, Astronomy and Astrophysics, University of Patras, Greece

The impact of the solar and geomagnetic activity on human health is well known yet poorly understood. In this study we focus on the possible effects of solar and geomagnetic activity on humans suffering from multiple sclerosis (MS) using data provided by the neurological clinic of the University Hospital of Patra, Greece, for the period 1996–2006 (23rd solar cycle). We examined the possibility of a connection between solar and geomagnetic events such as solar fares, coronal mass ejections (CMEs), the solar wind, geomagnetic storms and the variations in the patient's admittance rate to the hospital. The results indicate that energetic phenomena on the Sun and geomagnetic disturbances (quantified by solar wind velocity and the DST index) may be followed by increased number of patient's admission 6–8 months after active periods in general, yet the strongest disturbances may also cause an additional prompt increase of admissions.

INTRODUCTION

The term *solar activity* describes all variances and short lived events in the Sun and its atmosphere; the solar activity varies within a period of 11 years called the solar cycle. The solar cycle can be divided into three phases: the rise, the maximum and the decline phase and is quantified by the number of *sunspots*. The sunspots are the result of powerful magnetic fields emerging from relatively small areas of the Sun called *active regions*. The explosive release of magnetic energy from an active region is known as a *solar flare*. Another eruptive phenomenon of the solar activity associated with the flares is the *Coronal Mass Ejection* also known as *CME* in which we have a violent release of mass (solar plasma and particles) from the solar corona to the outer space. Those phenomena affect directly the Earth's upper atmosphere, ionosphere and magnetic field via solar wind which represents the constant flow of plasma from the Sun's corona to the interplanetary space. The speed and other parameters of this streaming vary as it is connected to many other events of the solar activity (such as CMEs) and is considered a measure of the disturbance in the interplanetary space.

Earth is protected by those phenomena by the terrestrial magnetic field also known as magnetosphere. However Earth's magnetic field can be penetrated under certain conditions resulting in magnetospheres' disturbances also known as geomagnetic disturbances expressed by magnetic storms and substorms. These disturbances are measured by geomagnetic indices; the *DST (Disturbance Storm Index)* is derived from a network of near-equatorial geomagnetic observatories measuring the intensity of the globally symmetrical equatorial electro jet (the "ring current").

Multiple Sclerosis (MS) is a chronic, inflammatory, demyelinating disease of the central nervous system (CNS); it attacks the myelin of the CNS and is affecting mainly young adults. It is believed to be immune-mediated and its typical form has a course of relapses and remissions, in which relapses represent an acute inflammatory

assault to the myelin of the CNS. Although the causes remain unknown, it is considered to be a combination of genetic susceptibility and environmental factors. Attempts have been made to link a number of external factors to MS including viral and bacterial infections, exposure to sunlight, shifts in environmental temperature, ionizing and non-ionizing radiation, nutrition, hormonal changes, etc. with conflicting results.

Many attempts have been made, on the other hand, to connect numerous diseases and health conditions to the solar and geomagnetic activity [Palmer, Cormack, 2006; Preka-Papadema et al., 2010; Moussas et al., 2010; Katsavrias et al., 2012], yet none regarding MS apart from the epidemiological study conducted by Resch (1995) indicating a better relation between the global prevalence of MS to the geomagnetic (and not geographic) latitude.

In this work we attempt to connect the MS disease with the solar activity variation as quantified by the monthly sunspot number and space weather within the 23rd solar cycle as quantified by the variations of the DST index. We study and analyze all main and major events of the solar and geomagnetic activity (solar flares, CME, solar wind speed and the DST index) for the period between 1996 and 2006 (23rd solar cycle) in order to examine any possible connection with the admittance rate of patients suffering from MS.

DATA COLLECTION

The data for the admittance rate of patients suffering from MS was provided by the Neurological Clinic of the University Hospital of Patra, which covers the area of South-western Greece (populated by 500.000 people approximately). The sample consists of 1318 patients, including both new patients and patients who presented an acute relapse of the disease; the 565 were male patients and the 753 female patients as women appear to be more prone to MS than men.

The data for the phenomena of the solar activity and the geomagnetic index DST were obtained from:

- The OMNI database (omniweb.gsfc.nasa.gov), for the number of sunspots and the solar wind speed (at 1 Astronomical Unit (A. U.)).
- The GOES (www.goes.noaa.gov) database for the number of flares
- The SOHO/LASCO (lasco-www.nrl.navy.mil) database for the number of CMEs
- The Kyoto Observatory (wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp) for the daily values of the DST index.

ANALYSIS

Annual Data

We compared, firstly, the annual admittance rate of patients with the annual numbers of the solar phenomena (Figure 1) using the Pearson Product-Moment Correlation Coefficient. The correlation coefficient between the annual admittance rate and the annual maximum value of the solar wind speed was good (0.77 ± 0.01), and with the annual number of Flares (0.67 ± 0.03), the annual number of intense Flares (X-type) (0.58 ± 0.06) and the annual number of CMEs (0.50 ± 0.12) was fair.

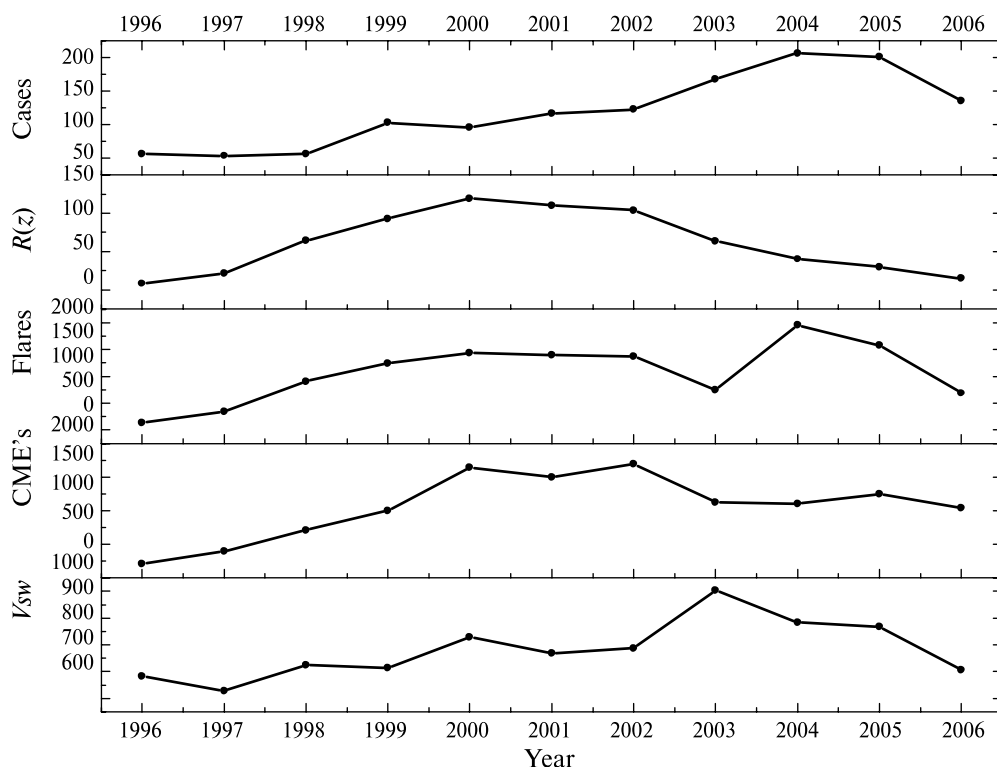


Figure 1. (From top to bottom): Annual time series of admittance rate, annual number of sun-spots ($R(z)$), annual number of flares, annual number of CMEs and annual maximum value of solar wind speed for the 23rd solar cycle

These correlations coefficients changed slightly when we examined male and female patients separately; female patients appeared to have a higher correlation coefficient in all cases: 0.82 ± 0.00 with the maximum annual value of the solar wind speed, 0.68 ± 0.02 with the annual number of Flares, 0.59 ± 0.06 with the annual number of intense Flares and 0.52 ± 0.10 with annual number of CMEs. On the other hand male patients exhibited lower correlation; it was 0.69 ± 0.02 with the maximum annual value of the solar wind speed, 0.63 ± 0.04 with the annual number of Flares, 0.54 ± 0.09 with intense Flares and 0.45 ± 0.17 with the CMEs. This approach gives interesting results, but unfortunately is insufficient, as regards time resolution.

Monthly Data

The monthly patient data are presented in Table 1 and in Figure 2 (middle and bottom panel). The average admittance rate per month for the whole cycle is 10 patients.

The ratio of 43...57 % between male and female remains the same (or within the limits of the statistical error) in January, February, March, June, August and November, but appears to increase in April, May, July and October in favor of the female patients (62...65 %). In December the ratio was at the 49...51 % range and in September we observed a complete reverse of the ratio (56...44 %) in favour of the male patients (Table 2).

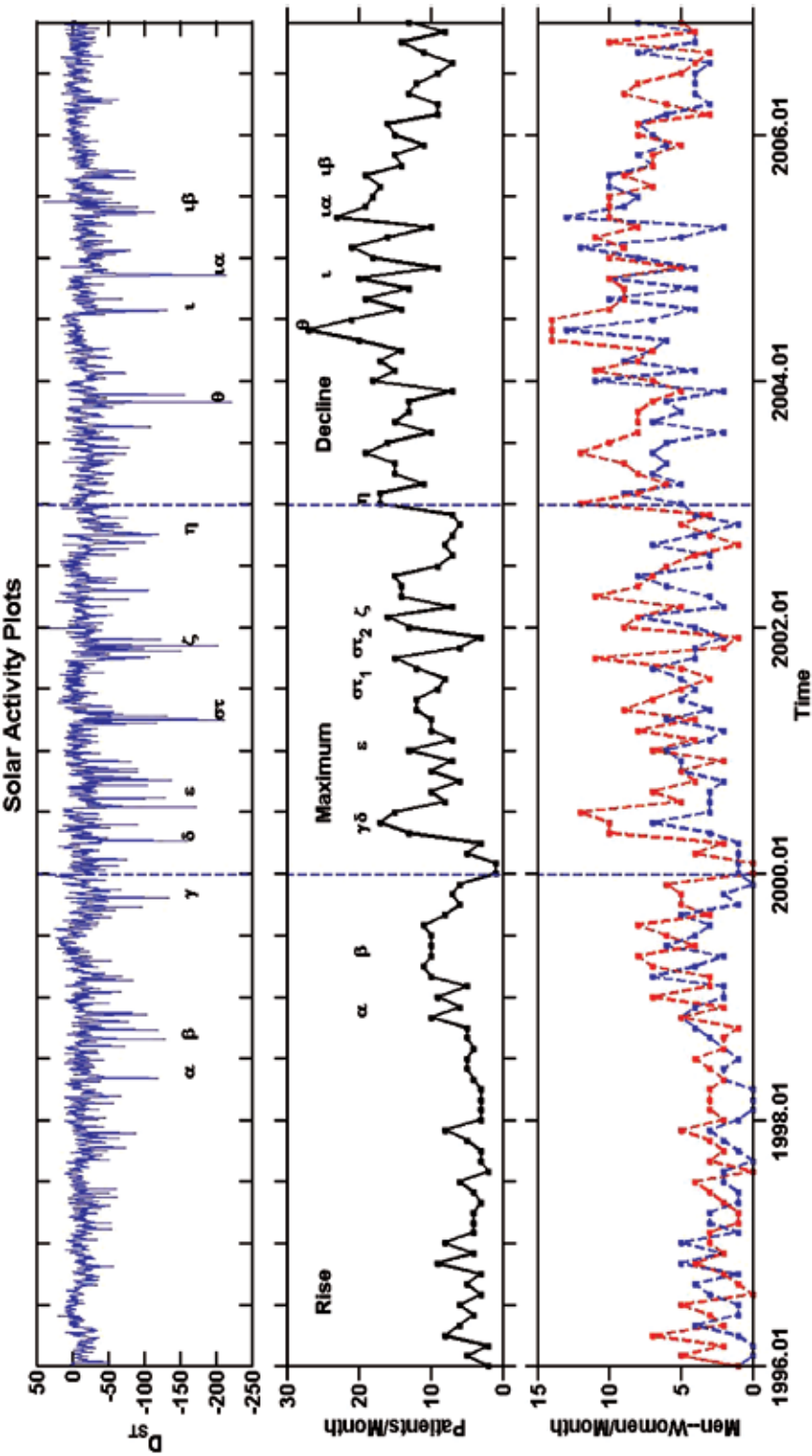


Figure 2. Upper panel: The daily values of the geomagnetic index D_{st} during 1996–2006. The letters of the Greek alphabet (α, β, γ) indicate periods of important geomagnetic activity and their corresponding rise in admittances on the middle panel. Middle panel: The occurrence per month of the MS patients during 1996–2006. Bottom panel: Monthly distribution of males (blue line) and females (red line) MS patients during 1996–2006

Table 1. Monthly admittance rate for MS patients in the 23rd solar cycle

Month	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
January	2	8	3	9	1	13	13	17	18	18	15
February	5	4	3	5	1	7	16	17	15	21	16
March	2	4	3	10	5	10	7	11	17	16	9
April	8	4	3	11	3	10	14	15	14	10	9
May	6	3	4	10	13	12	14	15	20	23	13
June	4	4	5	10	17	12	15	19	17	19	12
July	6	6	5	10	15	9	9	16	21	18	9
August	3	2	4	11	8	8	7	10	14	17	7
September	5	3	5	8	10	12	8	15	19	19	11
October	3	3	5	6	6	15	7	13	13	14	14
November	9	5	10	7	10	6	6	13	20	15	8
December	4	8	6	6	7	3	7	7	9	11	13
<i>Summer</i>	57	54	56	103	96	117	123	168	207	201	136

Table 2. Ratio distribution for male and female patients for the 23rd solar cycle (1996–2006)

Month	Males	%	Females	%	Summer
January	51	44	66	56	117
February	48	44	62	56	110
March	40	43	54	57	94
April	37	37	64	63	101
May	50	38	83	62	133
June	63	44	81	56	144
July	43	35	81	65	124
August	40	44	51	56	91
September	64	56	51	44	115
October	37	37	62	63	99
November	52	48	57	52	109
December	40	49	41	51	81
<i>Summer</i>	565	43	753	57	1318

The progress of the monthly admittance rate (see Figure 2, middle panel) can be divided in three different phases: the first between January 1996 and February 2000 where admittances per month are between 0 and 10, the second from March 2000 until December 2002 with admittances per month varying between 5 and 15, and the third from January 2003 to December 2006 with admittances per month varying between 10 and 20. Interestingly these three periods coincide with the three phases of the 23rd solar cycle: the rise phase (1996–1999), the maximum phase (2000–2002) and the decline phase (2003–2006) (Figure 1 second panel); the sample average

of 10 admittances per month also varies for each phase. In the decline phase of the 23rd solar cycle, there was an unexpected rise in the numbers of the solar eruptive phenomena (flares and CMEs) when they were expected to decrease following the sunspot number (see Figure 1). These eruptive phenomena triggered an unexpected period of intense helio-geomagnetic activity between 2003 and 2005 [Bouratzis et al., 2010; Thanassa et al., 2009]. In this same period a significant increase in the admittance rate of MS patients was recorded.

In Figure 2 we show the comparison of the monthly admittance rate to the geomagnetic index DST. In order to ensure that intense storms and their impact will not be smoothed out we used the daily DST data from the Kyoto observatory (see Figure 2, upper panel). On the same figure the Greek letters $\alpha, \beta, \dots, \beta$ annotate 12 periods of intense geomagnetic activity and the corresponding months of increased admittance rate.

Table 3. Solar and geomagnetic activity for the Rise phase of the 23rd solar cycle

1996												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Flares	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CME	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vsw	—	—	602	684	—	—	—	—	635	610	—	638
DST	−52	—	—	—	—	—	—	—	—	−57	—	—
1997												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Flares	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—
CME	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vsw	629	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
DST	—	−54	—	−52	−62	−61	—	—	−50	−74	−88	—
1998												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—
Flares	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	112	169
CME	—	—	—	—	106	118	x	x	x	—	—	—
Vsw	—	—	—	—	670	—	657	639	725	627	—	—
DST	—	−57	−67	—	−118	—	—	−129	−118	−77	−103	−50
1999												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	—	—	10	11	10	10	10	11	—	—	—	—
Flares	132	—	—	—	—	118	144	113	—	105	158	—
CME	x	—	—	—	—	113	132	114	104	—	—	—
Vsw	—	—	539	601	622	694	603	713	695	694	694	657
DST	−67	−84	−69	−53	—	—	—	−53	−97	−134	−67	—

In Tables 3–5 of the Appendix (for the Rise, the Maximum and the Decline phase respectively) we present the monthly solar and geomagnetic activity for the 23rd solar cycle: in *Cases* we indicate the months in which the number of admittances exceeded the average of 10. Months labelled with “–” have low admittance rate. In *Flares* and *CMEs* we indicate months with more than 100, marking active periods in the Sun. In *V_{sw}* we note months in which the solar wind speed (at 1 A. U.) reached the boundaries of Earth’s magnetosphere with a speed of 600 km/sec and more suggesting an important magnetospheric activity. In *DST* we mark months with either a storm (<-100 nT) or a substorm (<-50 nT).

Table 4. Solar and geomagnetic activity for the Maximum phase of the 23rd solar cycle

2000												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	–	–	–	–	13	17	15	–	10	–	10	–
Flares	–	–	167	130	137	125	167	–	141	–	122	127
CME	–	145	158	140	153	162	145	142	138	116	143	109
V _{sw}	722	720	649	–	636	665	829	–	744	–	804	637
DST	–64	–75	–	–160	–90	–	–173	–129	–104	–138	–90	–
2001												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	13	–	10	10	12	12	–	–	12	15	–	–
Flares	–	–	141	117	–	128	–	185	154	137	164	122
CME	106	–	166	124	128	122	–	128	175	157	–	137
V _{sw}	–	–	622	746	–	699	619	–	–	–	769	–
DST	–	–	–211	–137	–54	–	–	–	–72	–150	–202	–
2002												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	13	16	–	14	14	15	–	–	–	–	–	–
Flares	128	111	–	121	102	–	145	177	108	141	119	–
CME	116	–	169	174	151	102	155	179	168	171	135	–
V _{sw}	610	608	680	723	682	–	788	–	612	689	699	696
DST	–	–56	–78	–106	–61	–	–	–78	–101	–120	–76	–54

We summarize our findings as follows.

A. Rise phase (1996–1999)

The solar and geomagnetic activity increase gradually (Figure 2 and Table 3); we observed three periods of geomagnetic storms in May 1998 (α in Figure 2), in August–September and November 1998 (β) and, finally, in October 1999 (γ). The admittances per month were below 10 cases per month with a small increase in admittances in periods following a substorm (DST index <-50 nT). After seven months from the storms, November 1998, March 1999 and May 2000, an increase in admittances (≥ 10 cases/month) was recorded.

Table 5. Solar and geomagnetic activity for the Decline phase of the 23rd solar cycle

2003												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	17	17	11	15	15	16	10	10	15	13	13	—
Flares	—	—	—	—	—	110	—	—	—	—	—	—
CME	126	—	104	153	122	—	—	—	—	110	—	—
Vsw	735	650	767	709	785	791	799	799	766	1003	750	801
DST	—	−56	−57	—	−74	−63	−108	—	—	−221	−156	—
2004												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	18	15	17	14	20	27	21	14	19	13	20	—
Flares	165	175	184	133	174	144	196	207	—	186	177	130
CME	—	—	—	—	126	—	108	—	—	103	103	—
Vsw	677	667	765	—	—	—	884	—	—	—	681	620
DST	−74	—	−54	−50	—	—	−132	—	−69	—	−213	—
2005												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	18	21	16	10	23	19	18	17	19	14	15	11
Flares	217	128	115	118	182	181	178	118	—	—	148	151
CME	112	—	—	106	140	101	145	122	—	—	—	105
Vsw	822	706	719	615	784	603	591	671	867	633	673	706
DST	−80	−54	—	−55	−113	−66	−56	−87	−86	—	—	—
2006												
α/α	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Cases	15	16	—	—	13	12	—	—	11	14	—	13
Flares	—	—	—	105	—	—	—	—	—	—	—	133
CME	102	—	—	—	109	—	125	—	109	—	—	—
Vsw	630	616	680	647	619	630	605	609	—	600	619	708
DST	—	—	—	−64	—	—	—	—	—	—	—	−99

B. Solar maximum (2000–2002)

Solar and geomagnetic activity reached maximum. After the geomagnetic storms in April–May 2000 (label δ) the admittance rate rose immediately to 17 and 15, in June–July 2000 and dropped to 10 after six months in September 2000. Following the storms in July–October 2000 (label ϵ) the admittance rate reached 10 in November 2000 rising to 13 after seven months in January 2001. The intense storms (DST < −200 nT) in March–April 2001 ($\sigma\tau$) and October–November 2001 (ζ) resulted in peaks of admittance rates in the first case in March–June 2001 (12 admittances) and after seven months in September–October 2001 (12 and 15 admittances respectively). In the second case, increased admittance rate was recorded in January–February 2002 (13 and 16 admittances respectively) and, again, after

seven months in April–May 2002 (14 admittances). Powerful events were also recorded during August–October 2002 (intense flares and Halo CMEs), which were followed by increased admittances after 7 months in 2003. Following the storms and substorms of August–December 2002 (η), an immediate increase in the admittance rate in January–February 2003 (17 admittances) and an extended one in the months between April and July 2003 (15, 15, 19 and 16) was recorded. The maxima in the admittance rates during this period (17 and 19) were recorded in 2000 and 2002 coincident to the sunspot solar maximum (2000) and the solar eruptive phenomena maximum in 2002 respectively. The solar and geomagnetic activity for the Maximum Phase of the 23rd solar cycle is summarised in Table 4.

C. Decline phase (2003–2006)

Solar activity was expected to decrease following the decrease in the sunspot number. The solar eruptive phenomena, however, remained unexpectedly high, triggering important geomagnetic events. In this period an unusual high admittance rate was also noted. Five periods of solar and geomagnetic activity were recorded during the decline phase: the first one was in October–November 2003 (label θ), with a high number of intense flares, CMEs, and the solar wind speed maximum value (~ 1000 km/s) accompanied by intense geomagnetic activity (DST index < -200 nT). An increase in the admittance rate in October–November 2003 (13) was recorded followed by an increase in admittance rate after 8 months between January 2004 and August 2004 (18, 15, 17, 14, 20, 27, 21, and 14 respectively). The peak admittance rate (27 in June 2004) for the 23rd solar cycle is after seven months from the October–November 2003 extremely active period. In July 2004 (label ι) an isolated storm is followed by increased admittance rate (19, 13) in September–October 2004; this appears as an extension of the increased admittance rates (end of June 2004) following the October–November 2003 extreme period. During November 2004 a double powerful storm (DST -213 nT and -190 nT) was recorded, marking the beginning of a very active period (α in Figure 2). Multiple storms and substorms were recorded in January 2005 along with a high number of flares and CMEs. Following this extended activity a peak in the admittance rate appeared in November 2004 (20) followed by increased rate between January and May 2005 (18, 21, 16, 10, 23). A storm in May 2005 appears to be followed by high number of admittances in June–July 2005 (19, 18); these overlap somehow with the previous period (January–May) of increased MS cases. The period between April–September 2005 (label $\iota\beta$) was characterized by many substorms which were followed by an increase in the admittance rate from August to December 2005 (17, 19, 14, 15 and 11) and in January, February 2006 (15 and 16). The second peak in admittance rate (23) was recorded after seven months from this second intense period of the 23rd solar cycle. The solar and geomagnetic activity for the Decline Phase is briefly presented in Table 5.

CROSS CORRELATION

From the observations we note a pattern in which a powerful magnetic storm is followed by a sharp increase in the number of admittances after a period of approximately 7 months. Furthermore the admittance rates of MS patients shows an immediate increase, for about two months, when the DST index drops below -200 nT.

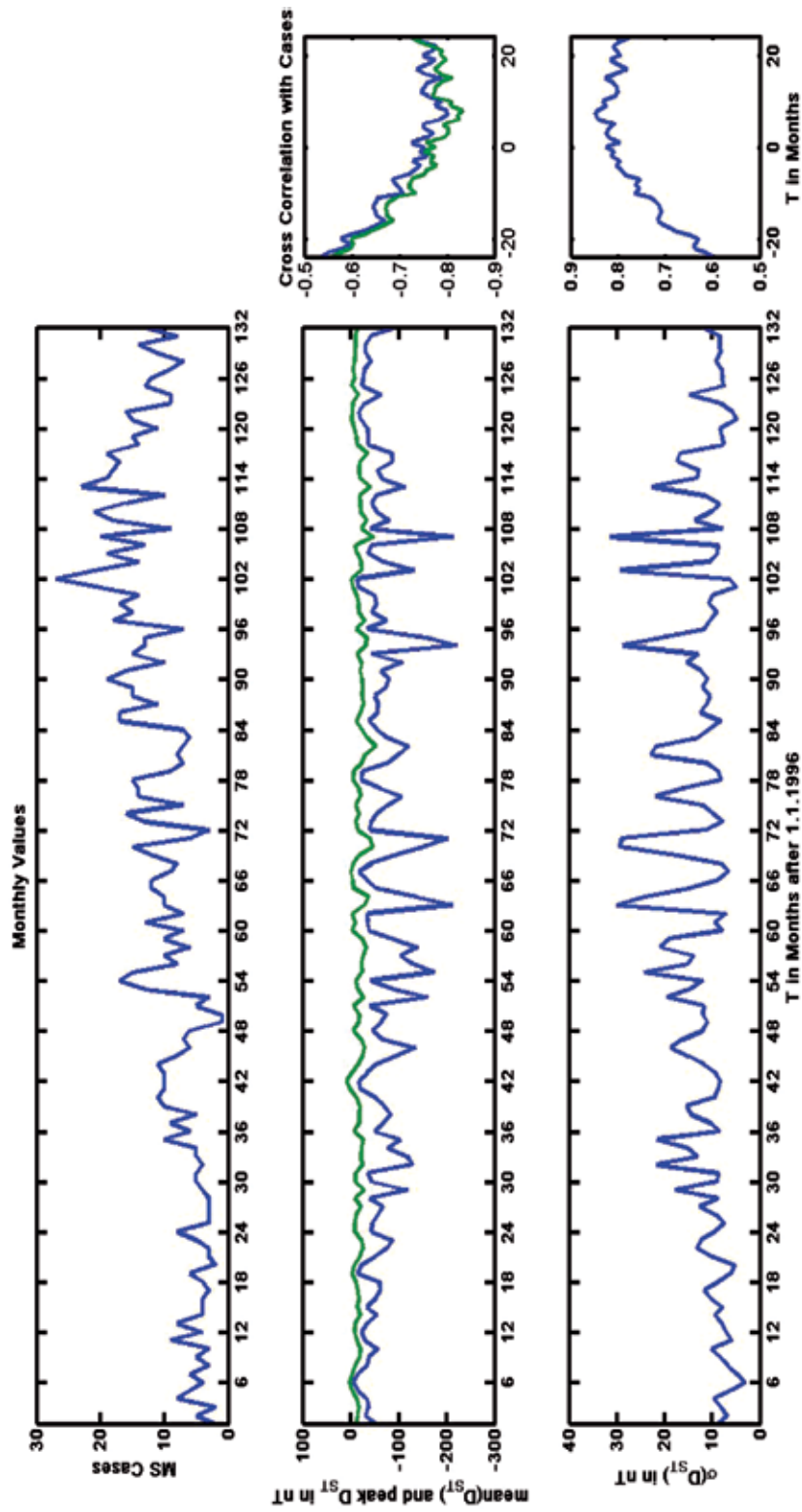


Figure 3. Cross correlation of monthly admittance rates (upper panel) with monthly values of mean DST (green) and peak DST (blue) (middle panel) and with standard deviation $\sigma(DST)$, (bottom panel) for the 25th solar cycle

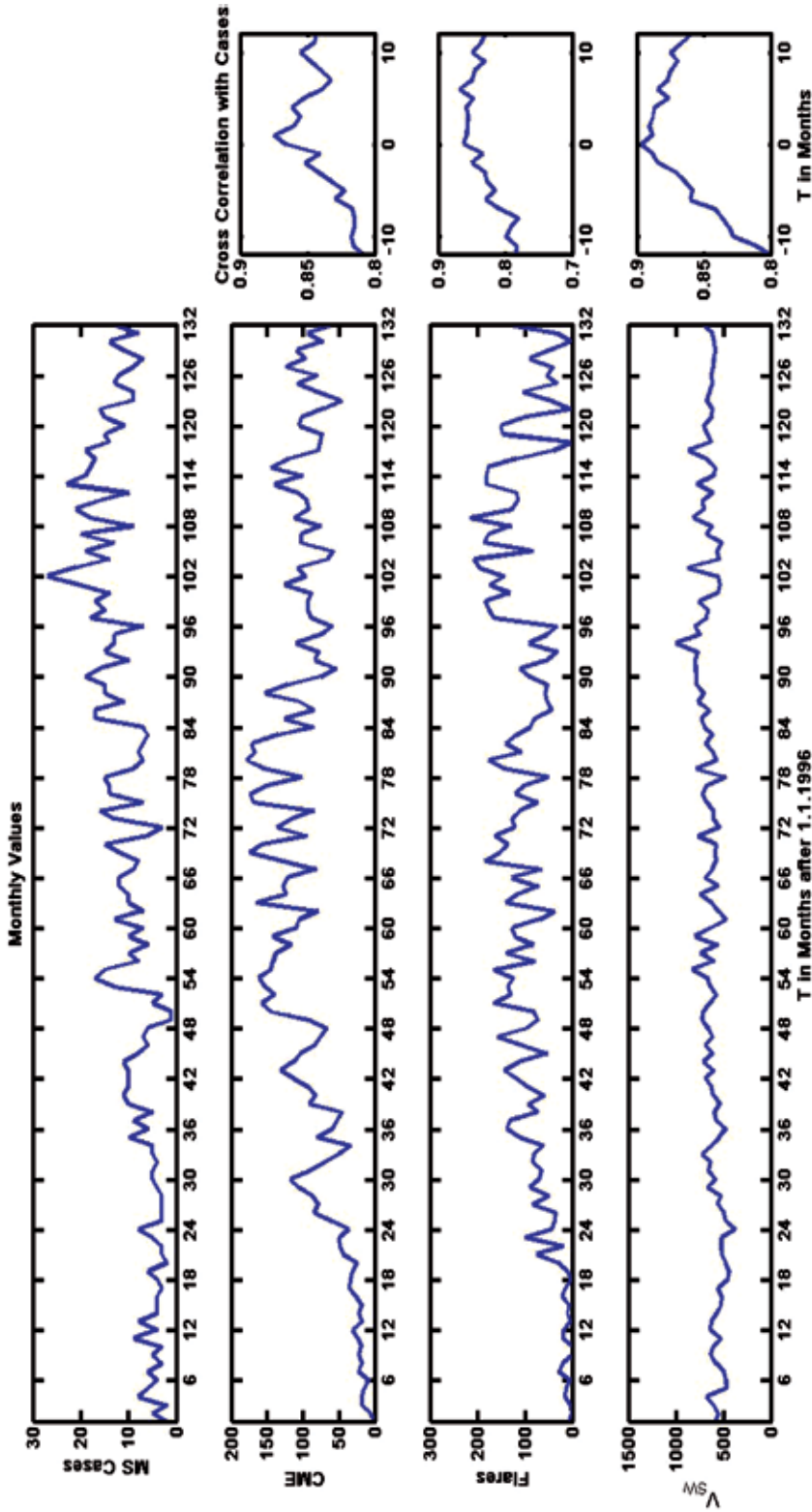


Figure 4. Cross Correlation of MS monthly rate (upper panel) with CMEs monthly number (second panel), monthly number of flares (third panel) and the maximum monthly value of solar wind speed (bottom panel)

This was quite apparent following intense helio-geomagnetic intervals such as the one of October-November 2003 and the one of November 2004 – December 2005.

The above mentioned, seven months, time lag in the DST and monthly admittance rate time series was confirmed by cross-correlation. From our initial analysis, there were indications that the DST peak, the DST variation and the duration of a geomagnetic storm were, more or less, significant in determining the magnitude of the effect on MS patients. Therefore we used three different time series for the DST in our examination: the monthly DST peak (indicative of intense storms), the mean monthly value of the DST and the standard deviation of the DST ($\sigma(\text{DST})$) (which represents variation from the mean value). The cross correlation between the Peak DST and the admittance rate time series was 0.80 with a time lag of 8 months, while the cross correlation with the mean DST was even better (0.82) with 7 months time lag. The best cross correlation for the DST time series was with the standard deviation where we had a 0.87 correlation with 7 months time lag. The results are presented in Figure 3.

We also examined the cross-correlation of the monthly admittance rates to the monthly numbers of CMEs and flares. The cross-correlation was found to be 0.87 with CMEs and 0.88 with flares with a time lag of 5 to 6 months respectively. The monthly peak of the solar wind speed exhibited a very good cross-correlation (0.90) with no time lag at all. The results for the last cross correlations are presented in Figure 4.

CONCLUSIONS

A statistical examination of the impact of the solar activity and space weather on patients suffering from multiple sclerosis (MS) for solar cycle 23 has been presented in this report.

Our results demonstrate a, rather complex, relationship of the effects of Solar and Geomagnetic activity to the Multiple Sclerosis; the latter, seems to follow, mostly, this activity than the solar cycle as quantified by the sunspot number. Furthermore, in the response of the MS patients, appear, at least two time-scales: For the intense storms an immediate deterioration of the patient's condition without time lag was recorded. For either intense or medium or prolonged geomagnetic disturbances, within a time lag of 7...8 months the hospitalization rate of MS patients exhibits a peak implying some form of delayed and/or cumulative effect.

REFERENCES

- [Bouratzis et al., 2010] *Bouratzis C., Preka-Papadema P., Hillaris A., Tsitsipis P., Kontogeorgos A. Radio observations of the January 20, 2005 X-class flare / Eds. Kurt V. G., Mousas X. // Solar Physics. 2010. V. 267. N. 343.*
- [Breus et al., 2002] *Breus T. K., Pimenov K. Y., Cornelissen G., Halberg E., Syutkina E. V., Baevsky R. M., Petrov V. M., OrthGomer K., Akerstedt T., Otsuka K., Watanabe Y., Chibisov S. M. The biological effects of solar activity // Biomedicine and Pharmacotherapy. 2002. V. 56. Suppl. 2. P. 273s–283s.*
- [Burch et al., 1999] *Burch J. B., Reif J. S., Yost M. G. Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of a melatonin metabolite in humans // Neuroscience Letters. 1999. V. 266. N. 3. P. 209–212.*

- [Cherry, 2002] *Cherry N.J.* Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity // *Natural Hazards*. 2002. V. 26. N. 3. P. 279–331.
- [Cornelissen et al., 2002] *Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E.V., Baeovsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.E.* Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Dimitrova, 2005] *Dimitrova Sv.* Investigations of Some Human Physiological Parameters in Relation to Geomagnetic Variations of Solar Origin and Meteorological Factors // *Recent Advances in Space Technologies: Proc. 2nd Intern. Conf. Istanbul, Turkey, 2005*. P. 728–733.
- [Foucal, 2004] *Foucal P.* *Solar Astrophysics* Second Revised Edition, Germany, Wiley VCH, 2004.
- [Katsavrias et al., 2012] *Katsavrias Ch., Preka-Papadema P., Moussas X., Apostolou Th., Theodoropoulou A., Papadima Th.* Helio-geomagnetic activity influence on cardiologic cases // *J. Advances in Space Research*. 2012. (see also: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.07.030>.)
- [Kivelson, Russell, 1995] *Kivelson M.G., Russell C.* *Introduction to Space Physics*. First Edition, Cambridge University Press, 1995.
- [Moussas et al., 2010] *Moussas X., Preka-Papadema P., Apostolou Th., Katsavrias Ch., Theodoropoulou A., Papadima Th.* Helio-Geomagnetic Activity and the Time Distribution of Myocardial Infarctions during the Solar Cycle 23 (1997–2007). A Preliminary Study based on a Greek Hospital Data, organized by the Hellenic Physical Society with the Cooperation of the Physics Departments of Greek Universities: 7th Intern. Conf. of the Balkan Physical. 2010.
- [Palmer, Cormack, 2006] *Palmer S.J., Cormack M.* Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface // *Surv Geophys*. 2006. V. 26. P. 557–595.
- [Preka-Papadema et al., 2010] *Preka-Papadema P., Moussas X., Nouta M., Katranitsa H., Theodoropoulou A., Katsavrias Ch., Vasiliou Ch., Kontogeorgou E., Tsaliki S-M., Kailas K., Papadima Th.* The Effect of Helio-Geomagnetic Activity on the Proceedings in the Emergency Department of Two Greek Hospitals, organized by the Hellenic Physical Society with the Cooperation of the Physics Departments of Greek Universities // 7th Intern. Conf. Balkan Physical Union: AIP Conf. Proc. 2010. V. 1203. P. 893–898.
- [Reiter, 2003] *Reiter R.J.* Melatonin: clinical relevance // *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2003. V. 17. N. 2. P. 273–85.
- [Resch, 1995] *Resch J.* Geographic distribution of multiple sclerosis and comparison with geophysical values // *Soz Praventivmed*. 1995. V. 40. N. 3. P. 161–171.
- [Stoupel et al., 1994] *Stoupel E., Martfel J.N., Rotenberg Z.* Paroxysmalatrial fibrillation and stroke (cerebrovascular accidents) in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity levels // *J. Basic Clin Physiol Pharmacol*. 1994. V. 5. N. 3–4. P. 315–329.
- [Thanassa et al., 2009] *Thanassa M., Mitsakou E., Preka-Papadema P., Moussas X., Tsitsipis P., Kontogeorgos A.* A study on the relationship of type III radio bursts CME and solar flares during the active period October-November 2003 // *Proc. IAU Symp. No 257, Universal Heliophysical Processes, Gopalswamy and D. Webb*. 2009. P. 361.

ВОЗМОЖНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА НЕВРОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ РАССЕЯННЫМ СКЛЕРОЗОМ

*А. Гкотинас¹, П. Прека-Пападама¹, Н. Димисианос², П. Папачристу²,
Г. Антонакопулос³, П. Папатанасопулос², Кс. Муссас¹, А. Хиларис¹*

¹ Отдел астрофизики, астрономии и механизмов, Физический факультет Афинского университета

² Кафедра неврологии Университета Патры, Патры, Греция

³ Секция теоретической и математической физики, астрономии и астрофизики, Физический факультет, Университет Патры

Влияние солнечной и геомагнитной активности на здоровье человека хорошо известно, но ещё пока плохо изучено. В этом исследовании мы концентрируем внимание на возможных последствиях воздействия солнечной и геомагнитной активности на людей, страдающих рассеянным склерозом (MS). Используются данные, предоставленные неврологической клиникой университета Патры, Греция, за период 1996–2006 гг. (23-й цикл солнечной активности).

Мы рассмотрели возможность связи между проявлениями солнечной и геомагнитной активности, такими как солнечные вспышки, корональные выбросы массы (СМЕ), солнечный ветер, геомагнитные бури и изменения скорости поступления пациентов в клинику. Результаты свидетельствуют, что энергичные явления на Солнце и геомагнитные возмущения (величина скорости солнечного ветра и значения Dst-индекса) могут сопровождаться увеличением числа поступающих в клинику пациентов через 6...8 мес после активного периода в целом, однако сильные возмущения также могут вызывать дополнительные быстрые увеличения скорости поступления пациентов.

IMPACT OF COSMIC RAY INTENSITY AND GEOMAGNETIC ACTIVITY ON HUMAN HEART RATE

S. P. Ioannidou¹, M. Papailiou¹, H. Mavromichalaki¹, Th. Apostolou², K. Paravolidakis², M. Kouremeti³, L. Rentifs³, E. Simantirakis³, G. Xystouris¹

¹ Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, National and Kapodistrian University of Athens, 15784 Athens, Greece, e-mail: emavromi@phys.uoa.gr; sofoan@hotmail.com; mpapahl@phys.uoa.gr; solid_geo13@hotmail.com

² Cardiology Department, Nikaia General Hospital, Piraeus, Greece

³ Cardiology Department, Heraklion University Hospital, Heraklion, Crete, Greece, e-mail: esimant@med.uoc.gr; mairhk@windowslive.com; loukrent@gmail.com)

Accumulating evidence suggests a link between solar and geomagnetic disturbances and human physiological parameters. Several published studies have addressed the alterations in human physiological responses at different levels of geomagnetic activity. We sought to examine the potential association between heart rate variations and specific cosmophysical activities. In the present study, a total of 190 individuals treated at the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece, were assessed from July 2011 to June 2012. The heart rate of the subjects was recorded hourly by a Holter monitor, while the hourly variations of the cosmic ray intensity and the geomagnetic index Dst were measured by the Neutron Monitor Station of the Athens University and the Kyoto Observatory, respectively. Statistical methods included the ANalysis Of VAriance (ANOVA) and the Multiple Linear Regression analysis. A statistically significant effect of both cosmic ray and geomagnetic activity on heart rate was observed (negative and positive correlation, respectively). Our findings indicate that changes in space weather parameters could be possibly related to heart rate variations.

INTRODUCTION

Cosmic rays are energetic subatomic particles with a large energetic range ($10^6 \dots 10^{21}$ eV) and their precise origin is still unknown. Cosmic rays are divided into two categories, the primary cosmic rays and the secondary particles. When the primary cosmic rays enter the Earth's atmosphere they collide with molecules, mainly oxygen and nitrogen and a cascade of billions of lighter particles are produced (secondary particles). Cosmic rays are everywhere, and several dozen slam into our body every moment. Our body receives an average dose of about 2.4 mSv of radiation due to the cosmic rays every year. The intensity of the primary and secondary cosmic ray particles is known as the cosmic ray intensity (CRI). High energetic cosmic particles are primary detected from ground detectors. Grossly, CRI depends on the altitude and latitude, as the Earth's magnetic field deflects some of the cosmic radiation away from the Earth and the shielding ability of the magnetic field is more effective over the equator than over the poles. Moreover the Sun's magnetic field can deflect cosmic ray particles away from the Earth, depending on the phase of solar cycle. When solar activity is low (solar minimum), the magnetic field is less effective to deflect particles. On the other hand, Sun ejects energetic particles (solar flares and coronal mass ejections) that contribute to the cosmic ray intensity. This intensity is also affected by atmospheric conditions, such as atmospheric temperature and pressure [Olbert, 1953].

Geomagnetic activity (GMA) is caused by solar wind, which hits the Earth with hot, magnetized, supersonic plasma that carries a large amount of energy (kinetic

and electric). This energy is drained to the Earth's magnetosphere causing geomagnetic storms, substorms and auroras, which constitute the geomagnetic activity. The level of this activity is measured by using different geomagnetic indices, such as Kp, Ap and Disturbances Storm Time index (Dst), which is used in the present study. A negative Dst index value means that Earth's magnetic field is weakened. This is particularly the case during solar storms. A geomagnetic storm is caused by a solar wind shock wave and cloud of magnetic field which interacts with the Earth's magnetic field. The frequency of geomagnetic storms depends on the sunspot cycle.

According to the United States National Space Weather Program, space weather "refers to conditions on the Sun and in the solar wind, magnetosphere, ionosphere and thermosphere that can influence the performance and reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life or health" (<http://www.nswp.gov/>). Interestingly, space weather may affect many aspects of human life and health [Stoupel, 2006]. In 1989, a geomagnetic storm energized ground (Ground Level Enhancement- GLE) induced currents which disrupted electric power distribution throughout most of the province of Quebec [Bolduc, 2002]. Space weather effects on human health depend on the latitude and altitude; in this regard, people living at higher altitude can obtain several times more cosmic radiation than at sea level, and long-distance airline crews can significantly increase their yearly ionizing radiation exposure due to this source [Beck et al., 2007]. The potential health outcomes such as the occurrence of cataract and the increased incidence of cancer in aircraft crews have been discussed in many studies [Kagami et al., 2009; Reynolds et al., 2002]. Furthermore, since the intensity of cosmic rays is much higher outside the Earth's atmosphere and its magnetic field, it is expected to have a major impact on astronaut health, and therefore should be taken under consideration in the design of spacecraft that can safely transport humans in interplanetary space. Last, a study conducted by the University of Alabama at Birmingham concluded that cosmic radiation is related to the occurrence of atherosclerosis [Yu et al., 2011].

The potential relationship between space weather and human physiological parameters has been studied extensively. Specifically, many studies have examined the impact of geomagnetic factors and cosmic ray intensity on physiological human parameters. These cosmophysical factors may affect the function of human brain and nervous system, and have been associated with cerebrovascular accidents, disturbances on circadian rhythm, as well as motor vehicle accidents. Specifically, cosmogeophysical parameters appear to be related to the occurrence of cerebrovascular infarctions [Mikulecký, Strestík, 2007]. **In addition, it has been observed that geomagnetic activity influences the melatonin secretion and is therefore related to changes in normal sleep patterns [Conesa, 1997; Weydahl et al., 2001].** Geomagnetic variations have been related to motor vehicle accidents, which in turn were associated with increased driver anxiety and nervousness [Ascikaliev et al., 1995; Dorman et al., 2001]. Space weather also seems to affect human emotional state. Geomagnetic storms may play a significant role in the seasonal increase of **incidents with depression in susceptible individuals [Babayev, Allahverdiyeva, 2007].** Similarly, a raise in hospital admissions with depression and manic-depressive illness during the week which follows a geomagnetic storm has been observed [Kay, 1994]. Last, the number of monthly newborns (of both genders) has been related to the level of monthly cosmic ray intensity and solar activity indices 9 months before the month of delivery [Stoupel et al., 2006a].

Heart rate is a physiological parameter that may reflect the response of the human body in external or internal stimuli. Heart rate is regulated by the combination of the neural and chemical components in the body and it is generally genetically determined. It varies among individuals, and can also be affected by many variables such as the age, the sex, substances and drugs, the lifestyle, the variations in temperature, pressure, humidity and other meteorological parameters and disease states [Corsetti et al., 2012; Hopstock et al., 2012; McNarry et al., 2012; Pal et al., 2012]. Also, situations as lack of sleep, irritability, rapid changes in blood chemistry can diversify the heart rate [Sørensen et al., 2012; Suzuki et al., 2012]. Moreover, emotions play a significant role, especially the condition of stress [Stapelberg et al., 2012]. In addition to these factors, disturbances in cosmophysical parameters may also play a role in the observed variations in human heart rate.

During the last decades many researchers have dealt with the potential relationship between space weather and cardiovascular homeostasis. Many studies have demonstrated that geomagnetic activity (GMA) and cosmic ray intensity (CRI), are associated with variations in human physiological parameters such as heart rate (HR) and arterial blood pressure [Dimitrova, 2008; Mavromichalaki et al., 2008; Papailiou et al., 2011; 2012]. Also, there is a link between the above indicators (GMA, CRI) with cardiovascular disease, including arrhythmias, ischemic heart disease, and myocardial infarction [Baevsky et al., 1997; Cornelissen et al., 2002; Dorman et al., 2001; Stoupel et al., 2002; 2007]. It has been indicated that the daily and monthly temporal distribution of sudden cardiac death and therefore the sudden cardiac death mortality is higher on the highest and lowest daily levels of GMA, while the monthly number of sudden cardiac mortality is inversely related to solar and geomagnetic activity [Stoupel et al., 2006b]. Furthermore, decrease in parameters of heart rate variability has been determined in periods which characterized by high geomagnetic activity [Baevsky et al., 1997; Dimitrova et al., 2009]. In addition, a temporal relationship has been suggested between the periodicities of geomagnetic phenomena of the solar cycle and cardiovascular incidents [Cornelissen et al., 2005]. Furthermore, myocardial infarctions and heart arrhythmias have been connected with the periodicity of the solar activity (11 year cycle) and geomagnetic storms, while others have observed a relation between polarity reversal of solar magnetic field and various types of arrhythmias [Giannaropoulou et al., 2012].

Despite the accumulating evidence regarding the impact of space weather on human health, no definitive studies have been published yet. Taking into account that heart disease is the leading cause of mortality [Murphy et al., 2012; Thom, 1989; http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr60/nvsr60_04.pdf], the study of factors that may adversely affect cardiac functionality is of great importance. In this context, we sought to examine the possible association of the cosmic ray intensity and the geomagnetic activity with human heart rate. A sample of 190 individuals monitored with a Holter monitor at the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece, were assessed from July 2011 to June 2012. The hourly variations of the cosmic ray intensity and the geomagnetic index Dst measured by the Athens Neutron Monitor Station and the Kyoto Observatory, respectively, were also used. The statistical methods of Analysis Of VAriance (ANOVA) and Multiple Linear Regression analysis were applied to evaluate the effect of both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the heart rate variations.

1. DATA AND METHOD OF ANALYSIS

For the purposes of this work medical data as well as cosmic ray intensity and geo-magnetic activity data were used.

1.1. Medical Data

In this study, a total of 190 people were assessed in the time period from July 2011 to June 2012. Data on the hourly heart rate were collected during their treatment in the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece. The patients' heart rate was monitored using a Holter (ambulatory electrocardiography) device. This device records the heart rate on a 24-hour base, while the patient carries out everyday life activities. Each one of the Holter devices was placed in each patient for 24 hours.

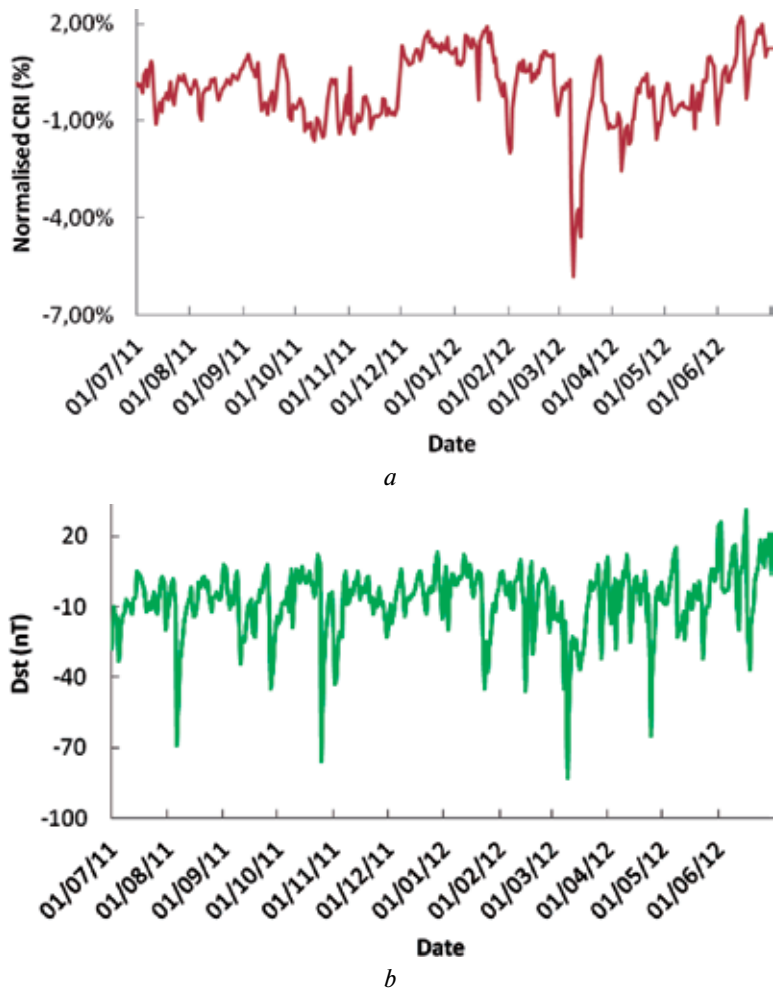


Figure 1. Distribution of normalized daily CRI (%) during the examined period (*a*); Daily average Dst index variations during the examined period (*b*)

1.2. Cosmic Ray Intensity Data

The hourly corrected for pressure values of the hadronic component of the cosmic ray intensity, were adapted from the Athens Neutron MONitor DATA Processing centre (ANMODAP) of the National and Kapodistrian University of Athens.

The Athens Neutron Monitor Station is a modern one providing high resolution real-time cosmic ray data to the Internet (<http://cosray.phys.uoa.gr>), while those are transferred every 1-min to the European High resolution Neutron Monitor Database (<http://www.nmdb.eu>). This station is located at the University Campus at 260 m above the sea level and detects particles with a cut-off rigidity of 8.53 GV. The cosmic ray intensity data were normalized according to the relation

$$\frac{CRI_{obs} - CRI_{aver}}{CRI_{aver}}.$$

Where CRI_{obs} is the observed value and CRI_{aver} is the average CRI pertaining to the examined period. The normalized cosmic ray intensity values (%) during the time period under examination are presented in Figure 1a. The total values were divided into five levels (0, 1, 2, 3, 4) corresponding to the CRI intervals given in table. A similar technique has been used in previous studies, such as by [Papailiou et al., 2011].

The CRI and the Dst levels and the respective mean HR in the ANOVA analysis

CRI				
Levels	Normalised CRI intervals, %	Number of measurements	Mean HR, bpm	95 % CI
0	$CRI \leq -3 \%$	220	76.33	74.11...78.55
1	$-3 \% < CRI \leq -1 \%$	602	76.00	74.67...77.35
2	$-1 \% < CRI \leq 1 \%$	2227	70.61	70.00...71.21
3	$1 \% < CRI < 3 \%$	1150	68.51	67.75...69.27
4	$CRI \geq 3 \%$	17	67.12	60.34...73.89
Dst index				
Levels	Dst intervals, nT	Number of measurements	Mean HR, bpm	95 % CI
0	$Dst \geq 0$	1444	71.24	70.50...71.98
1	$-20 < Dst < 0$	1850	70.63	69.92...71.35
2	$-50 < Dst \leq -20$	824	71.97	71.03...72.91
3	$-100 < Dst \leq -50$	106	71.00	68.08...73.92
4	$Dst \leq -100$	9	61.11	54.99...67.23

1.3. Geomagnetic Activity Data

The geomagnetic activity during the time period that the above mentioned medical data were recorded, was analyzed. For this reason, hourly values of the geomagnetic index Dst was used. These data were obtained from the World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto, which provides online real-time data (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html). Dst index variations during the examined period are shown in Figure 1b. The GMA data were divided into five levels (0, 1, 2, 3, 4), as in the CRI data, according to Dst index values given in table. This stratification technique has been used in the past [Papailiou et al., 2011].

1.4. Statistical Methods

The statistical methods of Analysis Of Variance (ANOVA) and Multiple Linear Regression analysis were applied to evaluate the effect of both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the heart rate variations. The respective levels of significance (p -values) were calculated and discussed. In the applied regression models, the HR was taken as dependent variable, while the independent variables included the CRI, the Dst index, the time of data recording, and a unique patient identifier (to control for inter-patient variability). The statistical package SPSS version 17.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and STATISTICA (ver. 6, StatSoft Inc., 2001), were used for the statistical analyses.

2. RESULTS AND DISCUSSION

As it was mentioned above, a sample of a total of 190 individuals was examined, among which 106 (56 %) were men, 74 (39 %) were women and 10 (5 %) unknown, while their average age was 64 years. In total, 4560 measurements of heart rate, Dst index and cosmic ray intensity were recorded and analyzed (Figure 2).

At first, the heart rate variations of the individuals were analyzed with regard to CRI and Dst index variations using the method of ANOVA analysis. This analysis indicated a statistically significant negative correlation between HR and CRI ($p < 0.01$). The mean heart rate values in the different cosmic ray intensity levels are presented in Figure 3. It is noticed that the highest heart rate was documented at the lowest CRI level, and as the mean cosmic ray intensity increased, the heart rate decreased. In contrast, no significant association between heart rate and Dst index variations was observed ($p = 0.064$; see table), as depicted in Figure 4, where the mean heart rate values in the different Dst index levels are presented. In the lowest levels of Dst index that correspond to low geomagnetic activity, the variations of the heart rate were small.

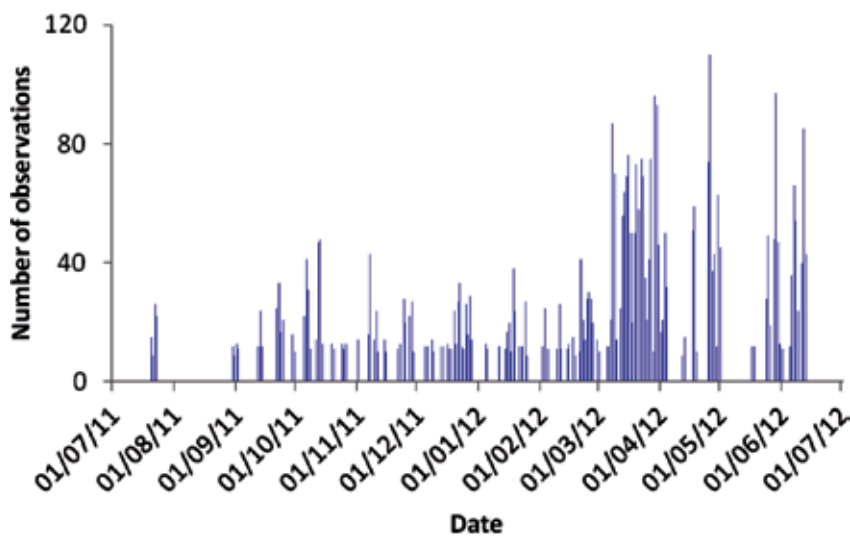


Figure 2. Number of Holter measurements during the period under examination

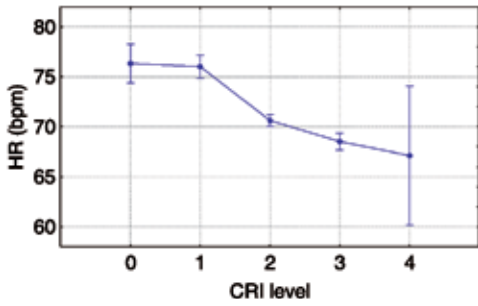


Figure 3. Distribution of the mean HR values for the different CRI levels

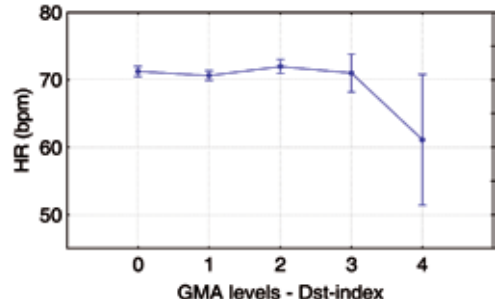


Figure 4. Distribution of the mean HR values for the different Dst index levels

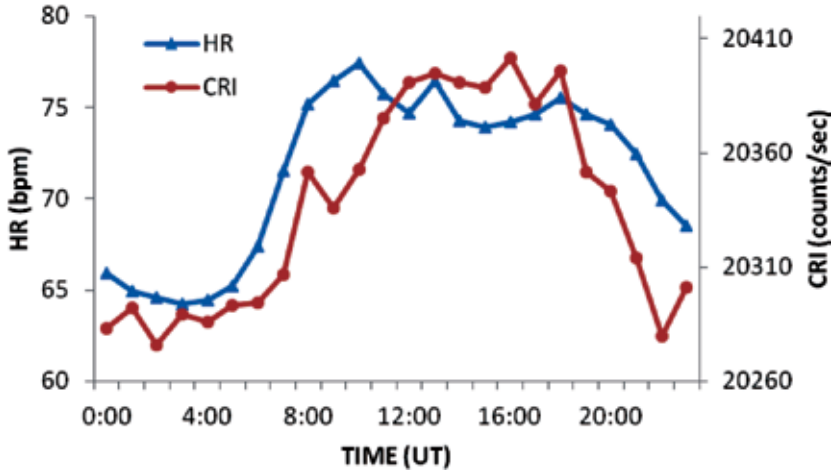


Figure 5. Daily distribution of the mean hourly HR and CRI values during the time period from July 2011 to June 2012

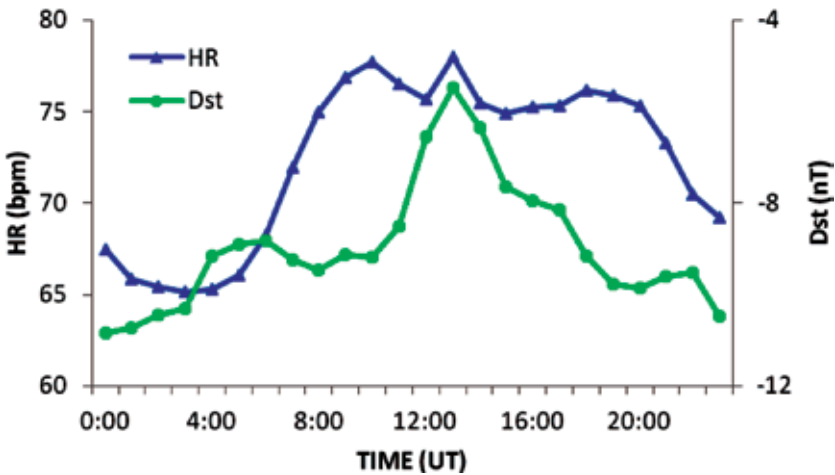


Figure 6. Daily distribution of the mean hourly HR and Dst index values during the time period from July 2011 to June 2012

According to the multiple linear regression model, after adjusting for day time and individual patient, both CRI and Dst index were found to be independently associated with HR. The cosmic ray activity was negatively correlated to the heart rate with a regression coefficient: -0.203 (95 % CI: -0.011 , -0.008) and p -value <0.01 , while Dst index values were positively correlated with a regression coefficient: 0.064 (95 % CI: 0.028 , 0.081) and p -value <0.01 .

Moreover, the average HR, CRI, and Dst values, stratified by day time, based on our data, were calculated. A graphic presentation of the mean hourly HR and CRI values, as well as of the mean hourly HR and Dst ones, is given in Figures 5 and 6, respectively.

Our results suggest a statistically significant association between space weather and human heart rate, as assessed by ambulatory Holter monitoring in individuals treated in two cardiology clinics in Greece, from July 2011 through June 2012. This time period is very close to the maximum period of the solar cycle 24 starting in January 2009 and is predicted to peak in 2013; it is considered to be an active period in the last active cycle in the past 100 years, according to NASA's predictions [Hathaway, 2012; Paouris et al., 2012]. In this regard, there were limited observations corresponding to days with strong geomagnetic disturbances (low GMA) in our study, and the extrapolation of our findings regarding the relationship between HR and Dst to such a setting may be limited.

Our findings are in concordance with previous studies. Two recent studies examined the potential influence of cosmic ray activity and geomagnetic disturbances on human cardio-health state [Mavromichalaki et al., 2008, 2012]. Both studies refer to the time period from July 2006 to March 2008 and included a total of 1673 measurements of HR from seven healthy volunteers. The HR was studied in relation to daily variations in cosmic ray intensity (CRI) and the respective daily variations of Dst and Ap geomagnetic indices, with a focus on days of geomagnetic storms. The investigators observed that the effects on HR were stronger in the low levels of Dst (when geomagnetic storms exist) and in high CRI decreases (Forbush decrease). It was as well determined that HR increased on the days before, during and after geomagnetic storms and on the days preceding, and following CRI decreases. Both studies concluded that HR variations might be connected to geomagnetic disturbances and CRI variations. In another study, the variations of heart rate, geomagnetic activity and cosmic ray intensity were examined in a group of 4018 aviators (healthy volunteers) [Papailiou et al., 2011]. The investigators concluded that the cardiovascular function of the subjects was affected by both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations.

However, not all studies have detected a statistically significant relationship between GMA and HR. A study examining the effect of geomagnetic activity on some cardiovascular parameters found that low GMA was associated with disturbances in heart functionality such as higher levels of growth hormone and 11-ketosteroids in the peripheral blood, more sudden deaths and higher rate of ventricular tachycardia. In contrast, other studied parameters, including hemoglobin level, electrolyte level, heart beat and pulse rate, were found not to be related to the GMA [Stoupel, 2002]. Similarly, another study conducted for about 5 consecutive years found no such association, although the investigators acknowledged several limitations in the study design [Ghione et al., 1998]. An additional study examined the potential influence of GMA on heart rate variability during exercise recovery. And found out that there is no linear effect of GMA on heart rate variability after the exercises [Weydahl, 2002].

It should be noted that, in order to reach definitive conclusions about the association (or not) of GMA with HR, larger studies with long follow up, which might include more data about GMA events, are warranted. Multicausality and multicomplexity should be taken under consideration in the design of such studies, since approaches focusing only on individual parameters (not adjusting for possible cofounders) may mislead research needed to clarify the impact of space weather parameters on health. Therefore, even though CRI and GMA variations, in some cases, seem not to be the main contributors in causing specific illnesses, further research is warranted to examine their precise role in the development of disease.

CONCLUSION

This study examined the potential association between Space Weather variations, indicating by the cosmic ray intensity and the geomagnetic activity parameters, with the human heart rate. It is interesting that a statistically significant inverse relationship between cosmic ray intensity and heart rate on a daily basis was found. While the Dst index values were positively associated with the heart rate, indicating a significant effect of geomagnetic parameters on human heart rate. In this regard, the thorough comprehension of the profound mechanisms underlying this association may be helpful in identifying the pathophysiology, prevention, and treatment of cardiovascular disease, which is complex and multifactorial. Further studies with a greater sample of measurements are warranted to precisely determine the role of geomagnetic factors on human health.

Acknowledgments. Thanks are due to the staff of the two Cardiological clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece for the medical data. Thanks are also due to the Special Research Account of the National and Kapodistrian University of Athens for supporting the Athens Neutron Monitor Station.

REFERENCES

- [Ashkaliev et al., 1995] *Ashkaliev Ia.F., Drobzhev V.I., Somsikov V.M., Turkeeva B.A., Iakovets T.K.* The effect of heliogeophysical parameters on the ecological situation // *Biofizika*. 1995. V. 40(5). P. 1031–1037 (= *Ашкалиев Я. Ф., Дробжнев В. И., Сомсиков В. М., Туркеева Б. А., Яковец Т. К.* Влияние гелиогеофизических параметров на экологическую обстановку // *Биофизика*. 1995. Т. 40. Вып. 5. С. 1031–1038).
- [Babayev, Allahverdiyeva, 2007] *Babayev E., Allahverdiyeva A.* Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies // *Advances in Space Research*. 2007. V. 40. P. 1941–1951.
- [Baevsky et al., 1997] *Baevsky R.M., Petrov V.M., Cornelissen G., Halberg F., Orth-Gomer K., Akerstedt T., Otsuka K., Breus T., Siegelova J., Dusek J., Fiser B.* Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease // *Scripta Medica*. 1997. V. 70. N. 4–5. P. 201–206.
- [Beck et al., 2007] *Beck P., Latocha I M., Dorman L., Pelliccioni M., Rollet S.* Measurements and simulations of the radiation exposure to aircraft crew workplaces due to cosmic radiation in the atmosphere // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. V. 126. N. 1–4. P. 564–567.

- [Bolduc, 2002] *Bolduc L.* GIC observations and studies in the Hydro-Québec power system // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. 16. P. 1793–1802.
- [Conesa, 1997] *Conesa J.* Isolated sleep paralysis, vivid dreams and geomagnetic influences: II // *Perceptual and motor skills*. 1997. V. 85. N. 2. P. 579–584.
- [Cornelissen et al., 2002] *Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E. V., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E.* Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Cornelissen et al., 2005] *Cornelissen G., Halberg F., Kovac M., Mikulecky M., Otsuka K., Bakken E.* Geographic and extraterrestrial aspects of morbidity and/or mortality patterns from myocardial infarction and stroke // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2005. V. 59. P. 68–75.
- [Corsetti et al., 2012] *Corsetti R., Lombardi G., Barassi A., Lanteri P., Colombini A., D'Eril G. M., Banfi G.* Cardiac indexes, cardiac damage biomarkers and energy expenditure in professional cyclists during the Giro d'Italia 3-weeks stage race // *Biochemia Medica*. Zagreb. 2012. V. 22. N. 2. P. 237–246.
- [Dimitrova, 2008] *Dimitrova S.* Possible heliogeophysical effects on human physiological state // *Proc. International Astronomical Union (IAU) Symp.* 2008. V. 257. P. 65–67.
- [Dimitrova et al., 2009] *Dimitrova S., Mustafa F. R., Stoilova I., Babayev E. S., Kazimov E. A.* Possible influence of solar extreme events and related geomagnetic disturbances on human cardio-vascular state: results of collaborative Bulgarian-Azerbaijani studies // *Advances in Space Research*. 2009. V. 43. P. 641–648.
- [Dorman et al., 2001] *Dorman L. I., Iucci N., Pititsyna N. G., Villaresi G.* Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infarct myocardial, brain strokes, car and train accidents // *Proc. 27th Intern. Cosmic Ray Conf. (ICRC-2001)*. Hamburg, Germany, 7–15 Aug. 2001. P. 3511–3514.
- [Giannaropoulou et al., 2012] *Giannaropoulou E., Papailiou M., Mavromichalaki H., Gigoulas M., Tvildiani L., Janashia K., Preka-Papadema P., Papadima P. Th.* Possible influence of the polarity reversal of the solar magnetic field on the various types of arrhythmias // *Proc. 23rd European Cosmic Ray Symp. (ECRS-2012)*. Moscow, July 3–7, 2012. N. ecrs_geo_615.
- [Ghione et al., 1998] *Ghione S., Mezzasalma L., Del Seppia C., Papi F.* Do geomagnetic disturbances of solar origin affect arterial blood pressure? // *J. Human Hypertension*. 1998. V. 12. P. 749–754.
- [Hathaway, 2012] *Hathaway D. H.* Solar cycle prediction / National Aeronautics and Space Administration. 2012. (see also: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>. Last accessed 12 Aug. 2012).
- [Hopstock et al., 2012] *Hopstock L. A., Barnett A. G., Bønaa K. H., Mannsverk J., Njølstad I., Wilsgaard T.* Seasonal variation in cardiovascular disease risk factors in a subarctic population: the Tromsø Study 1979–2008 // *J. Epidemiology and Community Health*. 2012.
- [Kagami et al., 2009] *Kagami S., Bradshaw S. E., Fukumoto M., Tsukui I.* Cataracts in airline pilots: prevalence and aeromedical considerations in Japan // *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 2009. V. 80. N. 9. P. 811–814.
- [Kay, 1994] *Kay R. W.* Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission // *British J. Psychiatry*. 1994. V. 164. N. 3. P. 403–409.
- [Mavromichalaki et al., 2008] *Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S., Babayev E. S., Mustafa S. R.* Geomagnetic disturbances and cosmic ray variations in relation to human cardio-health state: A wide collaboration // *Proc. 21st European Cosmic Ray Symp. (ECRS-2008)*. 2008. P. 351–356.

- [Mavromichalaki, 2012] *Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S., Babayev E.S., Loucas P.* Space weather hazards and their impact on human cardio-health state parameters on Earth // *Natural Hazards*. 2012. doi: 10.1007/s11069-012-0306-2.
- [McNarry et al., 2012] *McNarry M.A., Kingsley M.I., Lewis M.J.* The influence of exercise intensity on pulmonary oxygen uptake kinetics in young and late middle-aged adults // *American J. Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. 2012.
- [Mikulecký, Strestík, 2007] *Mikulecký M., Strestík J.* Cerebral infarction versus solar and geomagnetic activity: a cross-regression study // *Israel Medical Association J.* 2007. V. 9. N. 12. P. 835–838.
- [Murphy et al., 2012] *Murphy S.L., Xu J.Q., Kochanek K.D.* Deaths: Preliminary data for 2010 // *National Vital Statistics Reports*. 2012. V. 60. N. 4.
- [Olbert, 1953] *Olbert S.* Atmospheric Effects on Cosmic-Ray Intensity near Sea Level // *Physica Rev.* 1953. V. 92. P. 454–461.
- [Pal et al., 2012] *Pal G.K., Chandrasekaran A., Hariharan A.P., Dutta T.K., Pal P., Nanda N., Venugopal L.* Body mass index contributes to sympathovagal imbalance in prehypertensives // *BioMed Central Cardiovascular Disorders*. 2012. V. 19. N. 12(1). P. 54.
- [Paouris et al., 2012] *Paouris E., Mavromichalaki H., Belov A., Guischina R., Yanke V.* Galactic cosmic ray modulation and the last solar minimum // *Solar Physics*. 2012. V. 280. P. 255–271.
- [Papailiou et al., 2011] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., Giannaropoulou E.* The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators // *Astrophysics and Space Sciences Transactions (ASTRA)*. 2011. V. 7. P. 373–377.
- [Papailiou et al., 2012] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S.* Cosmic radiation influence on the physiological state of aviators // *Natural Hazards*. 2012. V. 61. P. 719–727.
- [Reynolds et al., 2002] *Reynolds P., Cone J., Layefsky M., Goldberg D.E., Hurley S.* Cancer incidence in California flight attendants (United States) // *Cancer Causes and Control*. 2002. V. 13. N. 4. P. 317–324.
- [Sørensen et al., 2012] *Sørensen M., Andersen Z.J., Nordsborg R.B., Jensen S.S., Lillelund K.G., Beelen R., Schmidt E.B., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O.* Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study // *Public Library of Science (PLOS) One*. 2012. V. 7. N. 6. P. e39283.
- [Stapelberg et al., 2012] *Stapelberg N.J., Hamilton-Craig I., Neumann D.L., Shum D.H., McConnell H.* Mind and Heart: Heart Rate Variability in Major Depressive Disorder and Coronary Heart Disease — a Review and Recommendations // *Australian and New Zealand J. Psychiatry*. 2012.
- [Stoupel, 2002] *Stoupel E.* The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. P. 247–256.
- [Stoupel, 2006] *Stoupel E.* Cardiac Arrhythmia and Geomagnetic Activity // *Indian Pacing Electrophysiol.* 2006. V. 6. N. 1. P. 49–53.
- [Stoupel et al., 2006a] *Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Gaizauskiene A., Israelevich P., Abramson E., Sulkes J.* Monthly number of newborns and environmental physical activity // *Medicina. Kaunas, Lithuania*. 2006. V. 2. N. 3. P. 238–241.
- [Stoupel et al., 2006b] *Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Clinical Cosmobiology-sudden cardiac death and daily/monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity- the Baku study (2003–2005) // *Sun Geosphere*. 2006. V. 1. P. 13–16.
- [Stoupel et al., 2007] *Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Acute myocardial infarction occurrence: Environmental links — Baku 2003 — 2005 data // *Medical Science Monitor*. 2007. V. 13. P. 175–179.

- [Suzuki et al., 2012] *Suzuki K., Miyamoto M., Miyamoto T., Sakuta H., Hirata K.* The impact of sleep disturbances on neuroendocrine and autonomic functions // *Nihon Rinshō*. 2012. V. 70. N. 7. P. 1169–1176.
- [Thom, 1989] *Thom T.J.* International mortality from heart disease: rates and trends // *Intern. J. Epidemiology*. 1989. V. 18. N. 3. Suppl. 1. P. S20–S28.
- [Waydahl et al., 2001] *Waydahl A., Sothorn R.B., Cornelissen G., Wetterberg L.* Geomagnetic activity influences the melatonin secretion at latitude 70 degrees N // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2001. V. 55. N. 1. P. 57s–62s.
- [Weydahl et al., 2002] *Weydahl A., Sothorn R.B., Cornelissen G.* Non-linear relation of heart rate variability during exercise recovery with local geomagnetic activity // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. P. 298–300.
- [Yu et al., 2011] *Yu T., Parks B.W., Yu S., Srivastava R., Gupta K., Wu X., Khaled S., Chang P.Y., Kabarowski J.H., Kucik D.F.* Iron-ion radiation accelerates atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice // *Radiation Research*. 2011. V. 175. N. 6. P. 766–773.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ЧАСТОТУ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

С. Иоаннидоу¹, М. Папаиу¹, Х. Мавромичалаки¹, Т. Апостолу², К. Параволидакис², М. Коуремети³, Л. Рентифис³, Е. Симантиракис³, Г. Хисторис¹

¹ Отделение ядерной физики, Физический факультет, Афинский университет, Греция

² Отделение кардиологии больницы общего профиля Никеи, Греция

³ Отделение кардиологии госпиталя университета Гераклиона, Греция

Накопленные данные свидетельствуют о связи между солнечной и геомагнитной активностью и физиологическими параметрами человека. Ряд опубликованных исследований относился к изменениям в физиологических реакциях человека при различных уровнях геомагнитной активности. Мы стремились изучить потенциальную связь между изменениями частоты сердечных сокращений и конкретной космофизической активностью. В настоящем исследовании, в общей сложности 190 лиц, находившихся на лечении в кардиологической клинике Никеи, больницы в Пирее и Ираклион — университетской больнице на острове Крит, Греция, были исследованы за период с июля 2011 г. по июнь 2012 г. Частота сердечных сокращений пациентов записывалась ежедневно с помощью холтеровского монитора, в то время как почасовые вариации интенсивности космических лучей и геомагнитных индексов Dst были измерены на станции Афинского университета с помощью нейтронных мониторов и на обсерватории Киото, соответственно. Статистические методы включали дисперсионный анализ (ANOVA) и множественную линейную регрессию. Наблюдается статистически значимое воздействие как космических лучей, так и геомагнитной активности на частоту сердечных сокращений (отрицательная и положительная корреляции, соответственно). Наши результаты показывают, что изменения частоты сердечных сокращений у людей могут быть связаны с изменением параметров космической погоды.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА

О. Ю. Исайкина¹, Ю. И. Кукса², И. Г. Шибеев³

¹ Государственный научно-исследовательский центр профилактической медицины Минздравсоцразвития РФ (ГНИЦПМ), Москва, Россия

² Центр геоэлектromагнитных исследований Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ЦГЭМИ ИФЗ РАН), Троицк, Москва, Россия, e-mail: kuksa@igemi.troitsk.ru

³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия, e-mail: ishib@izmiran.ru

Представлен анализ данных длительного ежедневного (утром и вечером) измерения пульса и артериального давления более чем за тринадцать лет, взятых из дневника самоконтроля пациента. Даны статистические оценки рядов и их спектральные характеристики. Отмечено отличие спектров утренних и вечерних рядов: для вечерних рядов характерна спектральная гармоника с периодом в 7 дней; в утренних рядах следует отметить проявление «лунной» компоненты с периодом ~27,35 дня. Приводится сопоставление исследуемых рядов с ежедневным рядом атмосферного давления и точными числами Вольфа. Показано сезонное поведение пульса и артериального давления, а также представлены в табличном виде среднемесячные данные самоконтроля за тринадцать лет.

ВВЕДЕНИЕ

Артериальная гипертония (АГ) является широко распространённым заболеванием, которое может быть причиной тяжёлых сердечнососудистых осложнений и смертности больных вследствие недостаточного контроля артериального давления (АД). По данным Государственного научно-исследовательского центра профилактической медицины распространённость АГ среди взрослого населения в России за последние 10 лет не изменилась и составляет 39,7 %, а среди лиц пожилого возраста повышенные цифры артериального давления регистрируются более чем в 50 % случаев [Оганов и др., 2011]. Таким образом, достижение и поддержание стабильного контроля АД играют важнейшую роль в снижении сердечнососудистого риска у больных артериальной гипертонией. Значимый вклад в улучшение контроля АД вносит метод самостоятельного контроля (измерения) АД (СКАД). Можно отметить ряд работ, описывающих ряды разных наблюдений при самоконтроле. В статье [Ким, Конрадов, 1998] анализируются утренние и вечерние ряды частоты сердечных сокращений, длительность наблюдений составляет 560 дней. Собственные десятилетние наблюдения сна описал Афанасьев [Афанасьев, 2002]. Ссылка на 40-летние самонаблюдения за изменениями частоты сердечных сокращений клинически здорового испытуемого и анализ средненедельных данных этого ряда даны в работе [Халберг и др., 2009].

С 1990 г. начал активно изучаться и внедряться в клиническую практику метод суточного мониторинга АД (СМАД), оценивающий суточный профиль АД. Анализ 30-минутных наблюдений пульса и АД почти за 6 мес дан в работе [Гамбурцев и др., 2008]. Научные исследования показали, что величины АД, полученные методом СКАД, сопоставимы со средненедельными значениями АД (по методу СМАД). В настоящее время принято считать, что верхняя граница

нормального АД 140/90 мм рт.ст., измеренная на приёме у врача, соответствует АД 130...135/85 мм рт.ст. при измерении дома. При значениях артериального давления выше этих величин диагностируют артериальную гипертензию [Диагностика..., 2010].

Получено большое количество данных относительно положительного влияния использования СКАД на повышение приверженности больных АГ к лечению, что, в конечном счёте, повышает эффективность длительной антигипертензивной терапии. Использование СКАД пациентом даёт возможность активного его участия в лечении АГ, формирования мотивации и повышения приверженности к лечению, что является неотъемлемой частью осуществления программ по первичной и вторичной профилактике сердечно-сосудистых и цереброваскулярных осложнений.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ САМОКОНТРОЛЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Настоящая работа опирается на более чем тринадцатилетний материал по самоконтролю. Самостоятельный контроль артериального давления дома очень полезен — он позволяет врачу точнее оценить истинный уровень артериального давления и правильно назначить антигипертензивные препараты для длительного лечения пациентов с гипертензией. СКАД важен, потому что даёт информацию об уровне артериального давления за длительные отрезки времени, во время которых пациент не посещает врача и находится в привычной для него обстановке.

В работе анализируются систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД) и частота сердечных сокращений (ЧСС), взятые из дневника самоконтроля пациента (мужчина, 1940 г. рождения) с гипертонической болезнью II стадии 2-й ступени, на фоне приёма гипотензивных препаратов. Гипотензивный препарат принимался один раз в сутки утром. Измерения проводились с 25 марта 1997 г. по 2 апреля 2010 г. (всего 4758 дня) дважды в сутки: утром, до приёма препарата, и вечером. Утренние и вечерние ряды анализировались отдельно и их оценки сопоставлены с результатами анализа ежедневного ряда атмосферного давления (Н). Атмосферное давление бралось из утренних метеосводок по Москве. Значения САД, ДАД и атмосферного давления фиксировались в миллиметрах ртутного столба, пульс — в количестве ударов в минуту.

2. ОБЩИЕ ОЦЕНКИ РЯДОВ САМОКОНТРОЛЯ

2.1. Статистические характеристики и корреляционные отношения

Статистические оценки утренних и вечерних ежедневных рядов и атмосферного давления представлены в табл. 1, где приведены: среднее (mean); корень квадратный из дисперсии ($\sigma^{1/2}$); эксцесс (коэффициент Куртосиса — kurtosis); асимметрия (skewness) для рассматриваемых рядов.

Для пульса (ЧСС) и АД относительный разброс (отношение корня квадратного из дисперсии к среднему) находится в диапазоне 6,0...10,4 %, этот параметр у атмосферного давления равен 1,1 %. Утренние средние значения

АД выше вечерних значений, хотя их дисперсия утром ниже дисперсии вечерних значений. Это отличает АД от ЧСС, у которой большим средним вечерним значениям соответствует и большая дисперсия вечером, что вполне логично. Важно подчеркнуть положительность асимметрии распределений САД, ДАД и ЧСС в отличие от отрицательной асимметрии распределения Н.

Таблица 1. Статистические оценки

Показатели	Mean (утро / вечер)	$\sigma^{1/2}$ (утро / вечер)	Kurtosis (утро / вечер)	Skewness (утро / вечер)
ЧСС	58,21 / 62,02	4,63 / 6,47	3,89 / 3,20	0,57 / 0,43
САД	125,95 / 123,10	8,59 / 10,15	4,52 / 3,60	0,62 / 0,35
ДАД	82,12 / 80,02	4,91 / 5,83	4,15 / 3,54	0,68 / 0,14
Н	746,23	8,30	3,56	−0,158

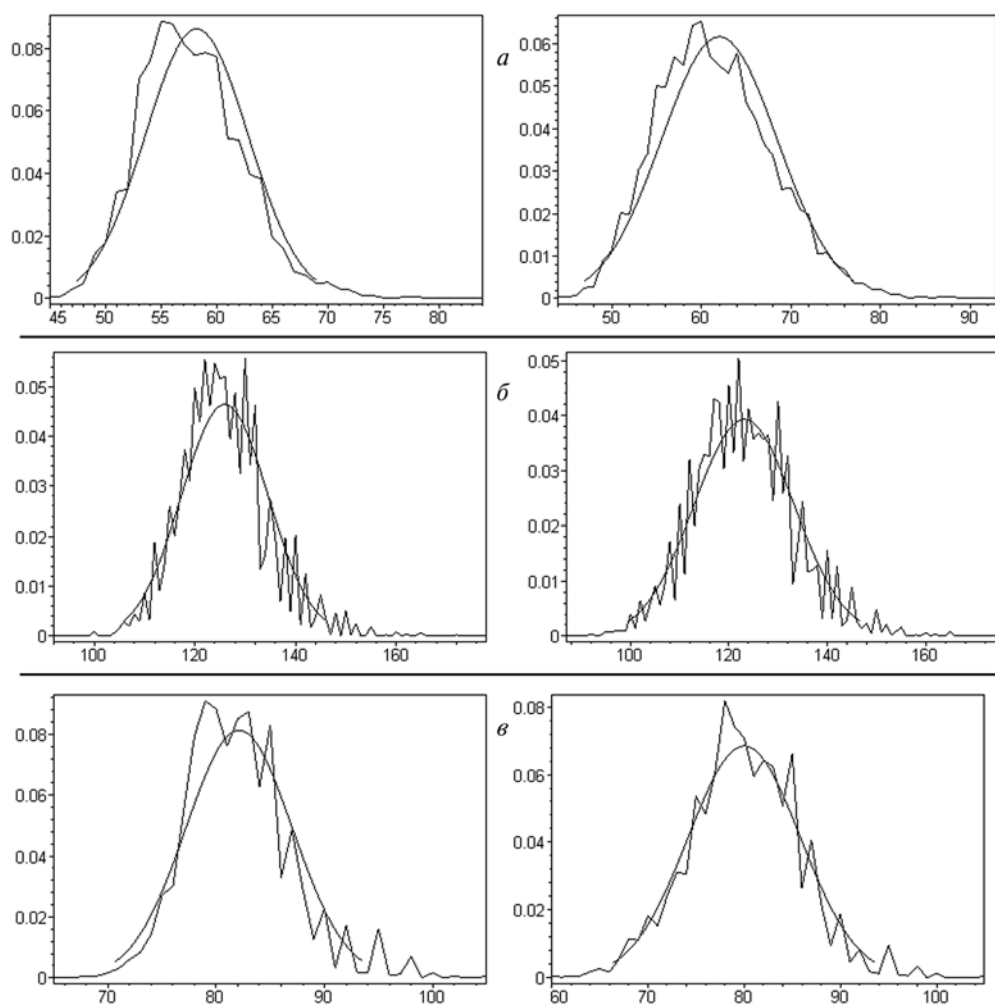


Рис. 1. Гистограммы: а — ЧСС; б — САД; в — ДАД.
Левая колонка — утро; правая — вечер

Наглядную оценку САД, ДАД и ЧСС дают гистограммы (рис. 1). На гистограммы наложены графики нормальных распределений, соответствующие параметрам этих рядов. Видно хорошее соответствие этого распределения с реальными данными, несмотря на различную степень локальной гладкости.

Приведём сравнение степени взаимосвязи утренних и вечерних показаний для различных временных интервалов усреднения. Коэффициенты линейной корреляции между утренними и вечерними ежедневными рядами для ЧСС, САД, ДАД равны соответственно 0,34; 0,32; 0,41. Малые значения коэффициентов говорят о значительном влиянии факторов длительностью несколько дней. Для средненедельных данных имеем соответственно 0,79; 0,76; 0,74. Из аналогичного анализа рядов среднemesячных значений ЧСС, САД, ДАД получаем следующие коэффициенты корреляции утро – вечер: 0,86; 0,86; 0,84. Естественно считать, что для среднemesячных данных влияние локальных факторов несущественно и взаимосвязь утренних и вечерних показаний характеризует устойчивые индивидуальные свойства организма.

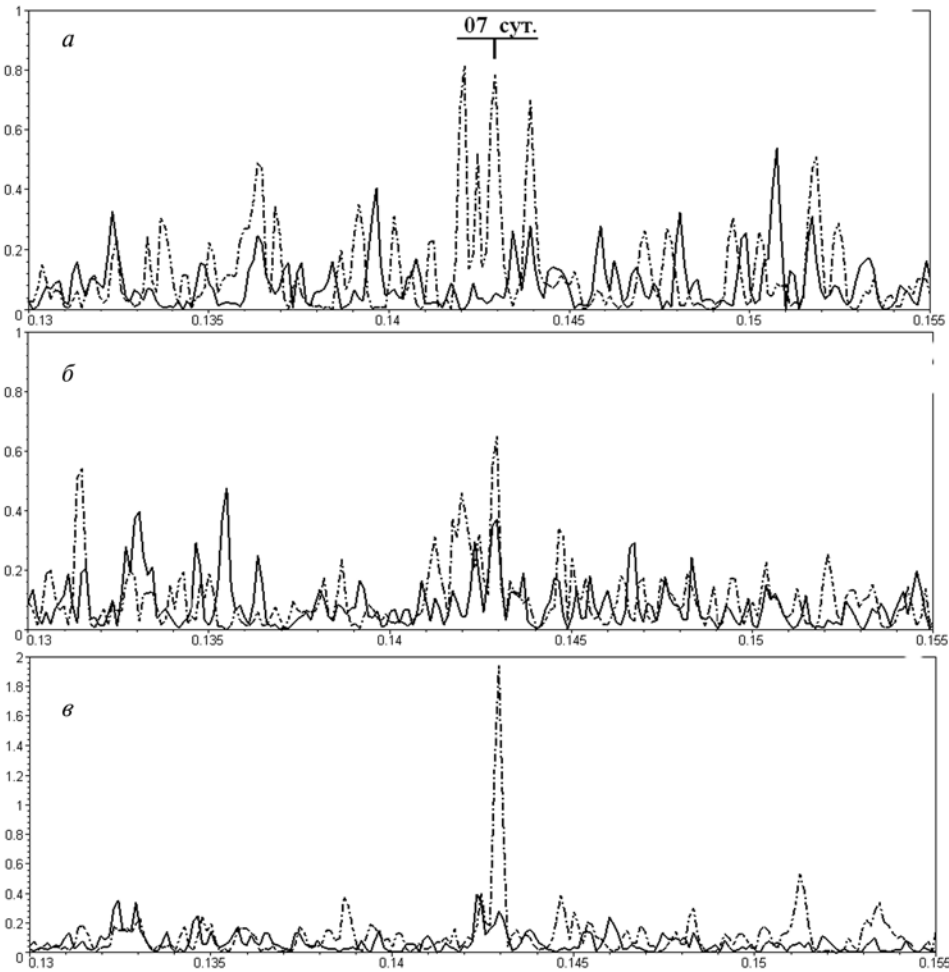


Рис. 2. Спектр, окрестность 7-дневная: а – ЧСС; б – САД; в – ДАД (— утро; - - - вечер)

2.2. Временные периоды утренних и вечерних рядов: недельная гармоника и 27-дневная

Спектральный анализ позволяет провести более детальное сравнение данных. Существенные отличия в характеристиках утренних и вечерних рядов прослеживаются в различных спектральных компонентах. Исследуемые ряды были предварительно приведены к соизмеримому масштабу, т.е. после вычитания среднего нормировались на соответствующий $\sigma^{1/2}$. Ось частот соответствует обратным суткам. На рис. 2 представлена окрестность недельной компоненты и обращает внимание её отсутствие в утренних рядах пульса и ДАД. В вечерних рядах семидневная компонента явно выделяется, а у пульса ещё и модулируется с периодом ~ 3 года (см. рис. 2а, прерывистая линия). В целом у недельных компонент вечерние амплитуды превосходят утренние.

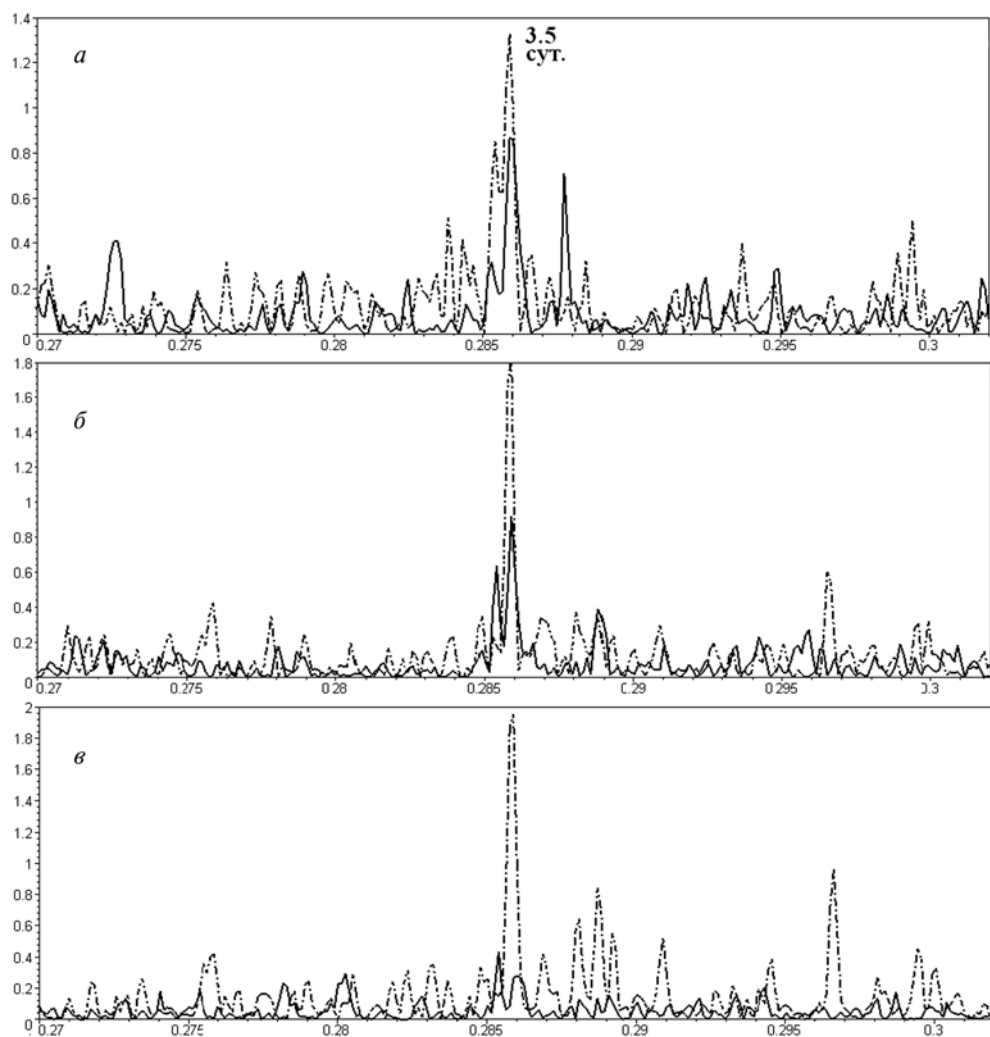


Рис. 3. Спектр, окрестность 3,5-дневная: а — ЧСС; б — САД; в — ДАД (— утро; - - - вечер)

У полунедельных спектральных компонент ситуация похожая, но отношение утренних и вечерних амплитуд иное (рис. 3). В работе [Singh et al., 2002] отмечалось наличие полунедельного периода во временных рядах АД и ЧСС.

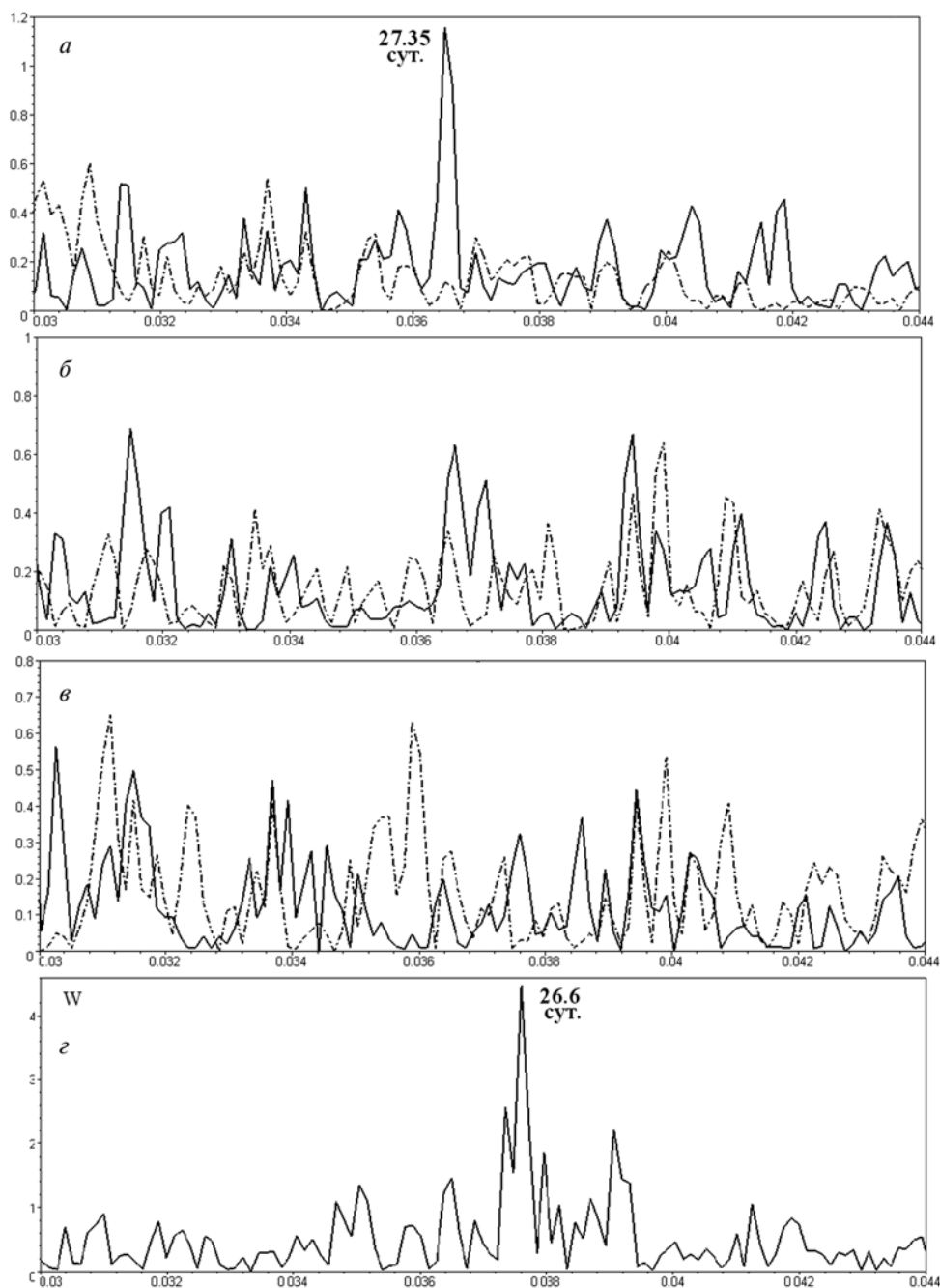


Рис. 4. Спектр, окрестность 27-дневная: *а* — ЧСС; *б* — САД; *в* — ДАД; *г* — W-daily (— утро; - - - вечер)

Интересен анализ спектров окрестности 27-дневной для пульса с АД (рис. 4а–в) и соответствующее сравнение с ежедневными числами Вольфа (рис. 4г). Теперь явно преобладает утренняя компонента пульса с периодом $T=27,35$ сут. Основная гармоника чисел Вольфа соответствует периоду в 26,6 сут. К этому следует добавить, что тройной «лунный» период $3T=81,9$ сут чётко выделяется в пульсе и атмосферном давлении (рис. 5).

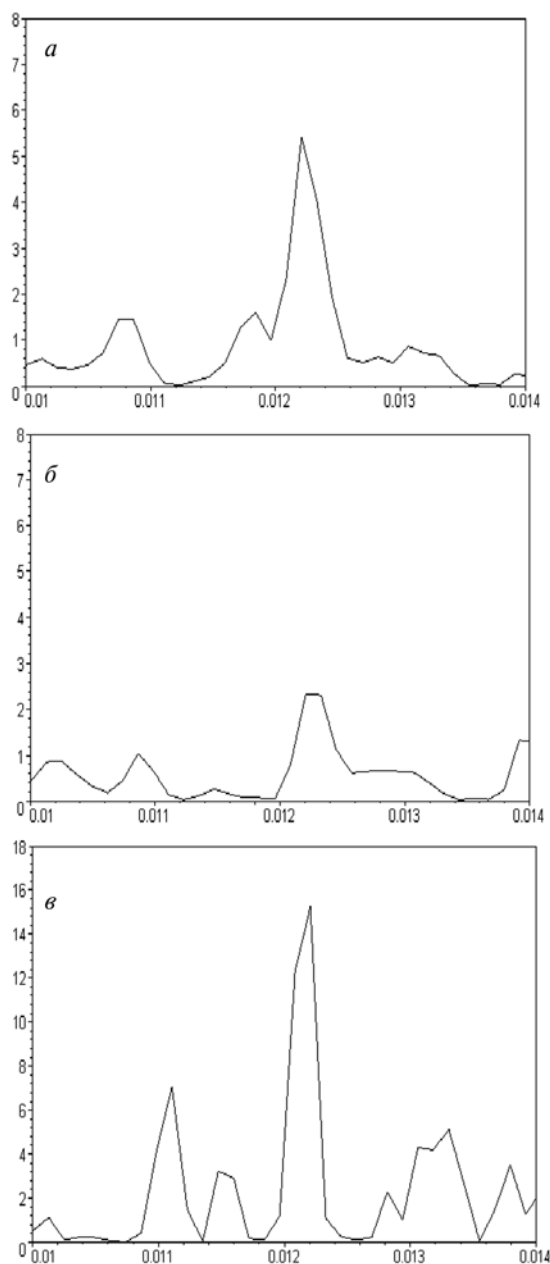


Рис. 5. Спектр, окрестность 81,9-дневная: а — ЧСС (утро); б — ЧСС (вечер); в — Н (— утро; - - - вечер)

3. СРЕДНЕМЕСЯЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧСС, АД И ИХ СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ

В табл. 2. приведены среднemesячные значения пульса за весь период наблюдений. Верхние значения, для каждого года и месяца, соответствуют утренним данным, нижние — вечерним. В последней колонке даны средние, утренние и вечерние, за год (жирный курсив). У пациента изначально отмечался пониженный пульс, что характерно для людей, занимающихся спортом. Наименьшие утренние значения пульса в 2004 и 2005 гг. связаны с приёмом бета-блокатора метопролола (беталок), который имеет свойство накапливаться в организме и понижать пульс. Сезонное (среднее по годам для каждого месяца) поведение ЧСС и квадратного корня из дисперсии ЧСС дано на рис. 6, где нижние кривые соответствуют утренним данным, ось X — месяц года. Пониженное значение пульса с ноября по апрель соответствует более спокойному ритму жизни в этот период.

Среднemesячные значения САД и ДАД за весь период наблюдений представлены в табл. 3. и 4. Сезонное поведение САД и ДАД иллюстрирует рис. 7, здесь верхние кривые соответствуют утренним значениям. Весенние и осенние периоды явно выделяются в сезонном поведении АД, которое в противофазе к сезонному поведению ЧСС. Это согласуется со значениями коэффициентов корреляции утро — вечер для сезонных данных ЧСС, САД, ДАД, которые равны 0,89; 0,56; 0,62.

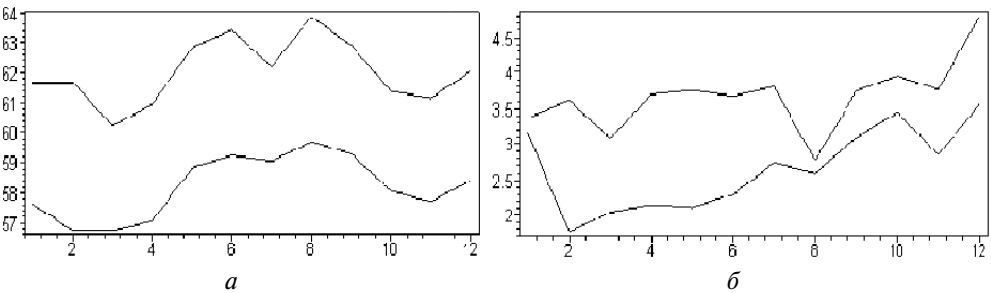


Рис. 6. Сезонное поведение ЧСС (а) и корня квадратного из дисперсии ЧСС (б).
Верхние кривые — вечерние данные

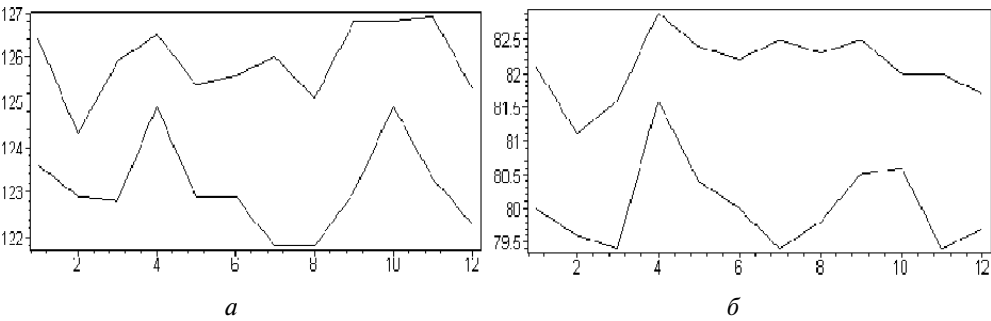


Рис. 7. Сезонное поведение САД (а) и ДАД (б).
Верхние кривые — утренние данные

Таблица 2. Среднемесячные значения ЧСС
(в количестве ударов в минуту)

Год	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1997				54,4 57,6	59,8 61,9	58,1 58,8	63,5 63,2	62,2 65,4	62,7 65,1	63,9 65,1	60,9 60,6	59,2 59,9	
1998	56,2 58,3	57,0 62,0	55,3 60,2	56,0 58,3	59,3 60,6	57,9 62,4	57,0 60,5	58,0 64,3	57,3 60,5	53,1 56,8	52,9 59,3	55,8 58,4	56,3 60,1
1999	56,6 60,2	57,3 60,1	55,0 58,6	57,1 60,4	58,9 60,5	56,5 61,0	56,9 60,0	56,2 60,6	55,7 58,7	57,2 58,7	57,0 57,7	54,7 57,5	56,6 59,5
2000	56,4 60,0	57,1 61,9	57,2 57,5	56,8 60,7	57,8 61,3	62,2 65,5	58,9 63,2	59,6 63,2	60,4 63,9	58,3 60,1	57,4 59,2	56,4 58,6	58,2 61,3
2001	56,7 61,2	57,2 61,6	58,0 61,1	59,1 62,4	58,4 63,2	57,4 61,2	56,4 61,1	60,5 64,7	57,4 61,0	57,6 60,3	59,0 62,3	58,5 60,8	58,0 61,7
2002	55,8 60,0	57,5 60,3	57,9 60,7	58,6 60,2	59,1 61,0	57,0 62,2	59,7 63,0	59,8 63,4	59,9 63,4	56,9 59,0	57,7 60,3	59,7 62,2	58,3 61,3
2003	57,7 60,5	55,9 60,7	57,5 59,4	55,9 57,6	54,1 56,2	61,2 58,9	57,0 54,3	60,8 62,9	53,4 55,6	54,1 57,5	56,2 57,0	57,7 58,2	56,8 58,2
2004	56,4 59,6	56,5 58,3	55,5 56,9	56,5 59,5	56,4 59,9	57,0 60,6	55,6 59,3	56,5 63,4	58,8 62,9	54,4 57,8	53,1 56,1	53,5 57,6	55,9 59,3
2005	53,5 57,6	51,9 55,9	53,5 57,5	53,2 56,3	57,2 62,1	57,5 62,6	57,8 61,3	55,5 57,7	57,6 60,8	56,7 61,2	57,3 62,0	56,7 63,1	55,7 59,8
2006	58,6 64,8	59,8 68,9	57,6 65,3	57,6 64,3	60,4 66,3	61,2 68,0	61,3 65,5	60,8 65,1	63,1 67,0	60,6 62,7	57,5 61,0	67,2 72,1	60,5 65,9
2007	66,6 70,2	57,0 63,4	57,5 61,3	56,9 60,8	59,0 65,2	58,8 64,2	57,9 61,5	58,9 63,0	57,4 61,3	56,0 60,4	56,6 61,4	56,1 59,9	58,2 62,7
2008	57,1 62,1	56,2 61,0	54,0 56,1	57,5 63,3	61,2 66,9	63,8 72,0	65,0 71,6	64,9 70,1	63,2 70,1	63,7 70,3	62,4 69,2	63,0 70,9	61,0 67,0
2009	61,7 66,4	58,5 69,1	61,6 67,1	62,3 71,1	62,9 71,6	61,2 66,9	60,3 64,0	62,3 66,2	63,4 67,3	62,4 67,9	62,4 68,4	60,9 67,2	61,7 67,8
2010	55,4 60,7	55,5 58,7	56,8 61,2										

Таблица 3. Среднемесячные значения САД
(в мм рт. ст.)

Год	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1997				139,6 137,7	136,5 133,9	143,7 141,5	134,3 129,7	128,9 123,6	135,3 132,3	139,2 138,9	141,1 138,6	143,0 141,0	
1998	146,3 145,1	124,2 123,2	126,4 123,2	121,8 119,3	119,0 114,4	123,7 118,7	128,5 123,7	122,3 118,9	125,9 122,9	128,0 127,1	127,0 124,9	122,9 119,3	
1999	119,4 122,1	118,8 122,9	121,3 119,6	119,0 119,0	119,6 121,3	117,7 116,5	117,2 117,1	124,9 122,9	118,9 118,6	125,4 124,3	121,4 120,5	120,8 118,2	
2000	123,0 117,6	119,2 117,9	123,3 118,7	123,6 122,9	122,0 121,2	125,9 124,0	120,7 122,0	121,3 119,0	122,9 119,4	125,3 122,2	122,0 118,2	119,9 114,5	
2001	121,2 115,6	120,7 121,1	126,1 123,2	125,2 119,9	122,5 119,2	124,7 121,0	123,8 122,0	121,0 118,3	124,4 118,2	119,6 118,5	122,3 120,8	120,9 121,5	

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2002	125,8 123,4	121,4 120,9	124,2 118,9	122,3 121,8	126,4 119,9	125,3 118,4	125,7 117,5	126,8 121,4	125,0 120,5	125,2 124,8	125,6 117,9	123,1 119,2
2003	125,1 119,7	124,5 118,5	126,2 120,8	137,1 130,7	126,5 120,3	133,8 129,4	134,6 122,1	120,3 115,9	127,7 123,2	125,4 121,5	124,5 119,3	121,6 119,2
2004	120,7 118,2	121,2 118,1	121,1 117,1	122,3 118,7	123,9 116,2	123,8 116,0	121,2 115,5	123,3 116,2	123,2 113,7	122,3 121,6	124,5 122,4	121,6 119,4
2005	120,6 116,7	121,6 121,3	122,9 120,2	124,5 122,8	126,2 120,3	123,9 118,6	123,1 118,8	123,3 117,1	124,8 121,5	123,2 123,3	125,3 124,0	122,3 123,2
2006	124,4 123,6	123,5 122,9	122,5 124,3	122,9 123,6	124,3 127,5	123,8 124,5	124,5 124,2	127,4 130,0	126,1 124,5	128,1 128,7	127,6 122,5	121,5 121,5
2007	122,7 120,6	121,6 124,5	125,4 120,2	125,7 122,1	122,2 117,6	119,3 118,8	123,4 119,1	123,8 121,8	130,6 124,4	126,4 123,3	127,3 125,1	128,2 123,9
2008	129,9 127,7	130,4 125,6	128,9 122,4	130,6 135,7	130,6 135,3	114,0 120,5	122,0 122,7	123,1 126,0	128,2 126,0	128,3 122,6	129,2 121,7	131,1 122,1
2009	132,5 127,2	132,6 130,2	131,2 134,5	129,9 130,0	130,8 130,1	133,6 129,4	139,3 128,9	140,3 131,8	136,0 133,8	132,2 127,0	132,1 127,1	132,1 127,2
2010	131,7 128,8	136,8 130,9	137,2 133,5									

Таблица 4. Среднемесячные значения ДАД (в мм рт. ст.)

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1997				94,9 90,27	92,5 88,26	93,4 91,67	93,3 87,48	88,9 84,53	93,1 87,19	90,9 88,23	89,7 83,52	92,57 88,47
1998	92,9 89,87	84,8 79,4	84,5 81,55	82,8 79,27	79,9 76,32	81,1 75,73	83,7 77,29	83,7 79,23	84,1 81,03	83,6 81,53	83,8 81,16	81,67 76,97
1999	82,7 81,42	81,7 80,57	83,0 80,16	81,0 78,43	81,9 80,45	79,4 76,87	81,9 80,48	83,8 80,67	81,0 80,58	83,8 82,07	81,9 78,35	81,97 80,6
2000	81,7 76,52	80,6 78,0	82,1 74,68	82,4 79,53	82,1 80,32	83,0 80,67	80,7 80,71	82,2 79,73	82,2 79,94	83,1 81,13	83,6 80,84	81,83 78,0
2001	82,4 78,1	82,3 82,1	85,1 82,97	84,0 81,6	83,9 81,81	82,9 80,53	82,0 80,16	80,5 78,5	81,9 79,58	80,3 79,33	82,9 81,1	82,57 81,23
2002	84,1 83,39	83,3 82,4	84,8 82,26	83,2 82,47	85,0 81,74	84,7 81,03	84,1 79,65	84,8 81,6	82,7 81,35	83,4 83,07	83,0 78,71	82,53 80,47
2003	82,4 79,29	83,4 80,17	84,0 80,9	88,2 85,67	80,3 77,16	87,6 84,63	86,0 80,42	81,7 78,83	82,2 80,58	81,6 81,13	81,9 78,55	81,47 78,6
2004	81,3 78,77	80,7 78,2	79,7 77,74	81,8 80,07	81,9 77,16	81,2 76,77	81,0 77,29	81,5 78,47	80,5 77,35	79,9 79,03	80,5 78,94	78,9 77,53
2005	78,3 75,71	78,3 77,23	79,4 76,87	78,67 8,83	79,5 76,65	78,7 75,7	78,4 75,84	77,2 75,27	78,2 77,77	77,1 77,8	78,1 77,03	77,67 77,9
2006	80,1 79,94	79,5 79,87	77,7 80,48	77,6 80,07	80,1 82,52	80,5 80,43	80,9 80,94	82,0 82,2	80,7 80,61	81,3 82,17	79,3 78,71	77,67 80,97

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2007	78,8 79,29	76,3 78,8	78,0 76,13	79,4 78,03	79,0 76,1	76,5 75,23	76,1 73,71	77,5 75,33	78,9 75,55	76,7 74,6	77,7 77,0	78,57 77,47
2008	79,2 78,52	79,8 77,37	78,7 75,74	81,2 83,3	82,7 84,13	75,7 78,23	79,1 77,9	79,1 79,93	81,0 80,58	81,5 77,63	81,6 79,19	82,63 77,73
2009	83,1 79,77	82,5 81,53	82,0 82,35	82,3 82,7	81,4 82,32	83,3 82,3	84,7 80,06	86,0 82,57	85,4 83,77	82,4 80,67	82,1 79,52	82,63 79,87
2010	79,3 79,13	81,2 78,97	82,0 80,55									

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Так как нам доступны столь длительные наблюдения только одного пациента, то просто приведём основные результаты анализа рядов самоконтроля:

- утренние и вечерние измерения хорошо описываются нормальным законом распределения с соответствующими средним и дисперсией;
- асимметрия утренних рядов может значительно превосходить асимметрию вечерних массивов, у вечерних рядов САД, ДАД и ЧСС-эксцесс сравним;
- по характеру взаимосвязи утренних и вечерних показаний можно судить об устойчивости функционирования организма и его индивидуальных свойствах;
- в спектрах утренних рядов отсутствует или слабо выражена недельная компонента, которая явно доминирует в спектрах вечерних рядов;
- в то же время в утренних рядах, в отличие от вечерних рядов, чётко выделяется период $T=27,35$ дня, в спектре ежедневных чисел Вольфа наблюдается период в 26,6 дня;
- в спектрах ЧСС и атмосферного давления присутствует гармоника с периодом $3T=81,9$ дня.

Можно говорить о более ритмичной работе организма к вечеру и достаточно быстрой его релаксации к утру от физических нагрузок, что подчёркивается отсутствием недельной и присутствием «лунной» компонент в утренних рядах. На временных интервалах в неделю и более возрастает устойчивое функционирование организма. Достаточно информативно сопоставление сезонных ЧСС с АД. Рассмотренный материал подтвердил эффективность СКАД для выбора, при необходимости, гипотензивного препарата и контроля АД, что обеспечивает нормальную жизнедеятельность пациента. Подобные исследования столь длительных и регулярно проводимых медицинских наблюдений, несмотря на единичные случаи, представляют несомненный интерес.

Авторы считают целесообразным провести в дальнейшем подробное сопоставление более протяжённых рядов самоконтроля не только с фоновыми данными, но и лунными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

- [Афанасьев, 2002] *Афанасьев С.Л.* Вариации длительности сна по собственным наблюдениям // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействия. М.: Янус-К, 2002. С. 566–568.
- [Гамбурцев и др., 2008] *Гамбурцев А.Г., Чибисов С.М., Стрелков Д.Г.* Вариации артериального давления и частоты сердечных сокращений по данным многосуточного мониторинга и их вероятная связь с внешними воздействиями // Геофиз. процессы и биосфера. 2008. Т. 7. № 2. С. 53–66.
- [Диагностика..., 2010] Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (четвёртый пересмотр) / Российское медицинское общество по артериальной гипертензии. Всероссийское научное общество кардиологов // Системные гипертензии. 2010. № 3. 34 с.
- [Ким, Конрадов, 1998] *Ким В.А., Конрадов А.А.* Длительная динамика изменения пульса супружеской пары // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Науч. мир, 1998. С. 321–322.
- [Оганов и др., 2011] *Оганов Р.Г., Константинов В.В., Тимофеева Т.Н., Капустина А.В., Деев А.Д., Шальнова С.А., Колтунов И.Е., Баланова Ю.А., Лельчук И.Н.* Эпидемиология артериальной гипертензии в России. Результаты федерального мониторинга 2003–2010 гг. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2011. № 1. С. 9–13.
- [Халберг и др., 2009] *Халберг Ф., Корнелиссен Г., Сотерн Р.Б., Чаплицкий Е., Шварцкопф О.* 35-летний климатический цикл в гелиогеофизике, психофизиологии, военной политике и экономике // Геофиз. процессы и биосфера. 2009. Т. 8. № 2. С. 13–42.
- [Singh et al., 2002] *Singh R. B., Cornelissen G., Siegelova J., Homolka P., Hulberg F.* About half-weekly (circasemiseptan) pattern of blood pressure and heart rate in men and women of India // Scripta medica (Brno). 2002. V. 75. P. 125–128.

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF LONG MONITORING OF ARTERIAL PRESSURE AND PULSE

O. Isaikina¹, Y. Kuksa², I. Shibaev³

¹ State Research Centre of Preventive Medicine (SRCPM), Moscow, Russia

² GEMRC IPE RAS, Troitsk, Moscow, Russia, e-mail: kuksa@igemi.troitsk.ru

³ N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia, e-mail: ishib@izmiran.ru

In the given work long supervision are analyzed Systolic arterial pressure (SBP), Diastolic arterial pressure (DBP) and Pulse (heartbeats per minute, HR) taken from a diary self-checking of the patient with hypertonic disease, on a background of reception pharmacologic preparations. The pharmacologic preparation was accepted once a day in the morning. Measurements were carried out from 1997 March, 25, till April, 02.2010 (only 4758 days) twice per day: in the morning, before reception of a preparation, and in the evening. Morning and evening data the SBP, DBP and HR are analyzed separately and their estimations are compared to results of the analysis of daily data atmospheric pressure.

Statistical estimates of these supervision and their spectral characteristics are received. Morning and evening measurements are well described by the normal law of distribution with corresponding to averages and dispersion. Difference of spectrums of morning and evening series is noted. The spectral harmonic with the period in 7 days is in detail analyzed, typical for evening data and its modulation. In morning data follows to note display “lunar” components with the period $T = 27.35$ days. Also comparison of researched data to daily series Wolf’s numbers is carried out, in which the harmonic with the period in 26.6 days is obviously allocated. Spectrum of pulse and atmospheric pressure contain the period $3T = 81.9$ days.

The seasonal behavior of pulse and arterial pressure are given in work, and also monthly average data of self-checking in thirteen years in a tabular look are presented. The considered material confirmed efficiency of self-checking for a choice of a hypotensive preparation and control the BP that provides normal activity of the patient. Similar researches, despite isolated cases of so long and regularly carried out medical supervision, represent doubtless interest.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СУТОЧНОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У БОЛЬНЫХ С ПОСТИНФАРКТНЫМ КАРДИОСКЛЕРОЗОМ

Л. М. Парфёнова¹, Ю. И. Гурфинкель^{1,2}, Е. А. Митрофанова³, А. Л. Васин¹

¹ Научный клинический центр Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (НКЦ ОАО РЖД), Москва, Россия, e-mail: luvadins@mail.ru

² Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия

На сегодняшний день во многих случаях остаётся неясным, что является иницирующим моментом, благодаря которому ишемическая болезнь сердца, протекающая до определённого времени латентно, реализуется в острый коронарный синдром или в инфаркт миокарда. Влияние внешней среды, в том числе геомагнитного фактора, на развитие фатальных аритмий, внезапной смерти, в силу серьёзных технических затруднений пока недостаточно изучено.

Наши предварительные исследования показали, что влияние геомагнитных возмущений на здоровых добровольцев выражается как в некотором ухудшении их психофизиологического статуса, реологических свойств крови, в системе микроциркуляции [Gurfinkel et al., 1995], так и в некотором увеличении количества нарушений сердечного ритма, чаще наджелудочковой экстрасистолы (в целом, не выходящих за норму).

Из 32-х исследованных пациентов с ИБС нарушения сердечного ритма при 24-часовом ЭКГ-мониторировании во время геомагнитных возмущений зарегистрированы у 22. Небольшие сдвиги в показателях отмечены у 8 человек. Значимые изменения у 9, значительные сдвиги показателей у 7 человек.

Результаты исследований космической погоды, и в частности геомагнитной обстановки, на возникновение нарушений сердечного ритма в ряде случаев носят противоречивый характер. По данным [Stoupel, 1999] количество эпизодов желудочковой тахикардии в периоды возмущённой геомагнитной обстановки достоверно увеличивалось по сравнению со спокойной обстановкой. Однако у 211 кардиологических больных с наджелудочковой и желудочковой экстрасистолы достоверной разницы в частоте аритмий при различных уровнях геомагнитной активности не было обнаружено.

ЦЕЛЬ

Целью настоящего исследования являлось выявление взаимосвязи количества желудочковых нарушений сердечного ритма с геомагнитной обстановкой в период холтеровского мониторирования ЭКГ у больных ишемической болезнью сердца, ранее перенёсших инфаркт миокарда (с постинфарктным кардиосклерозом).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Все пациенты были разделены на 4 группы в зависимости от геомагнитной обстановки на момент проведения холтеровского мониторирования.

Суточное мониторирование ЭКГ проводилось с помощью комплекса холтеровского мониторирования (Росси) в период с 2005 по 2009 г.

Нами были исследованы 180 больных в возрасте от 39 до 82 лет. Средний возраст $66 \pm 10,1$ лет. Проводился анализ суточной записи ЭКГ пациентов, находящихся в клинике, на фоне различного состояния магнитного поля Земли. Данные магнитной обстановки были представлены сотрудниками ИЗМИРАН.

В наших исследованиях мы использовали 3-часовые К-индексы за период холтеровского мониторирования в течение 21 ч с 12 ч утра и до 9 ч утра следующего дня.

Из 180 записей мониторирования ЭКГ 64 производились на фоне спокойного состояния магнитного поля Земли, 44 записи — в слабовозмущенной обстановке, 45 — на фоне возмущённой обстановки и 27 — во время магнитной бури. Анализ суточной записи ЭКГ (по Холтеру) включал исследование количества желудочковых экстрасистол (ЖЭ). При анализе учитывалось количество пациентов с ЖЭ II, III и IV ст. (градация желудочковых экстрасистол по Лауну, 1971): частыми монотопными ЖЭ — свыше 30 экстрасистол за любой час мониторирования; политопными ЖЭ, парными экстрасистолами, групповыми ЖЭ.

Результаты исследования представлены в таблице.

Распределение пациентов с желудочковыми нарушениями ритма по группам

Геомагнитная обстановка	Средний возраст	Среднее количество ЖЭ/ч на 1 больного	Количество больных с II, III, IV ст. ЖЭ по Лауну	Процент больных с II, III, IV ст. ЖЭ по Лауну от общего количества больных
Спокойная ($N=64$)	$67 \pm 9,7$	53	14	21,8
Слабо возмущённая ($N=44$)	67 ± 13	19	8	18
Возмущённая ($N=45$)	$65 \pm 9,8$	68,6	13	28,8
Магнитная буря ($N=27$)	$66 \pm 7,3$	95	8	29,6

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Статистическое распределение показателей ЖЭ носит полимодальный характер. Поэтому выборка была разделена на две части. В первую выборку (выборка 1) вошли данные пациентов, у которых значения ЖЭ были в норме. Объём выборки оказался $n_n = 80$ (значение логарифма ЖЭ менее 3,5). Остальные данные вошли во вторую выборку (выборка 2). Дальнейший анализ проводился по обеим выборкам. Проверка критерия согласия χ^2 о нормальности распределения логарифмов значений ЖЭ подтвердила логнормальное распределение с уровнем значимости $p < 0,01$ для выборки 1 и $p < 0,05$ для выборки 2.



Рис. 1. Среднее количество желудочковых экстрасистол на одного больного в различных геомагнитных условиях



Рис. 2. Количество больных с опасными видами нарушений желудочкового ритма (IV ст. градации по Лауну) в процентном отношении от общего числа исследованных в различных условиях геомагнитной обстановки

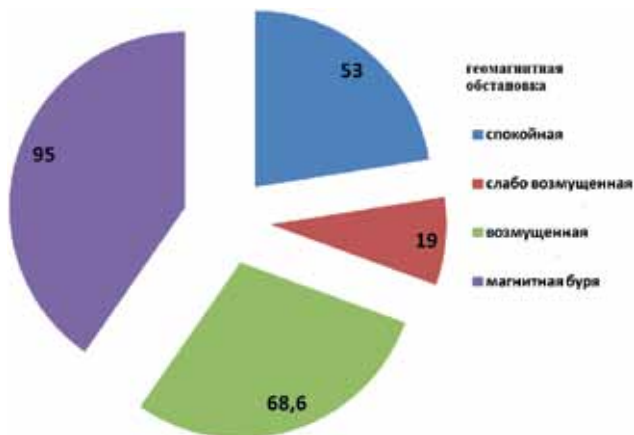


Рис. 3. Среднее количество желудочковых экстрасистол в час на одного больного в различных геомагнитных условиях

Для обеих выборок наблюдается как увеличение варьирования, так и возрастание дисперсии данных при увеличении К-индекса ГМП. Наибольшее различие между группой данных наблюдается в выборке 2 между слабо возмущённым геомагнитным полем и данными в период магнитной бури. Эти данные достоверно отличаются при уровне значимости $p < 0,05$. Различия между другими группами выборки 2, на уровне значимости 0,05 не достоверны ($p > 0,05$).

Исследование выявило, что в период спокойной геомагнитной обстановки количество желудочковых эктопических сокращений (ЖЭС) в пересчёте на 1 пациента за сутки составило 1109. В период слабо возмущённой геомагнитной обстановки среднее количество желудочковых эктопических сокращений за сутки было 394 на одного исследуемого. При возмущённой геомагнитной обстановке показатели были соответственно 1440 желудочковых эктопических сокращений. Во время магнитной бури было выявлено в среднем 1995 желудочковых нарушений ритма в пересчёте на 1 пациента (рис. 1). Количество больных с опасными видами нарушений желудочкового ритма (IV ст. градации по Лауну) в процентном отношении от общего числа исследованных в условиях магнитной бури и в условиях возмущённой геомагнитной обстановки возрастало (рис. 2). Среднее количество желудочковых экстрасистол в час на одного больного было наибольшим в условиях магнитной бури (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В статье [Chernouss et al., 2001] идентифицирована группа особенно чувствительных к геомагнитным возмущениям людей, которые отвечают активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) на рост К-индекса (геомагнитные возмущения), и тех, кто отвечает активацией преимущественно парасимпатического отдела ВНС. В литературе накоплена информация о влиянии на возникновение и поддержание аритмий гуморальных факторов [Дзизинский и др., 1999] в частности о роли в патогенезе аритмий сердца неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК), являющихся энергетическим субстратом миокарда и состояния системы перекисного окисления липидов [Вахляев и др., 2000]. Повышение концентрации НЭЖК при ИБС связывают с высокой симпатической активностью. В моделях на животных было показано, что повышение активности симпатической нервной системы при ишемии миокарда приводит к возникновению желудочковых нарушений ритма, в то время как возрастание активности парасимпатической нервной системы обладает протективным эффектом [Schauerte, Sherlag, 2000].

В работе [Stoupel, 1999] на основании обширных собственных наблюдений продемонстрировано, что несмотря на преобладание случаев инфаркта миокарда передней стенки левого желудочка во все периоды, за исключением самой спокойной геомагнитной обстановки, (когда преобладают случаи задненижнего ИМ), в периоды высокой ГМА было зарегистрировано заметно больше случаев инфаркта миокарда передней стенки левого желудочка.

Известно также, что левая коронарная артерия, которая кровоснабжает переднюю и, в большинстве случаев, боковую стенку ЛЖ регулируется симпатическим отделом вегетативной нервной системы. Правая коронарная артерия

кровообращает преимущественно задненижнюю стенку левого желудочка и регулируется как симпатическим, так и парасимпатическим отделом ВНС.

Высказываются предположения [Stoupe, 1999], что наблюдаемые изменения в уровнях некоторых нейрогормонов и медиаторов, типа серотонина или эндотелина, связанные с геомагнитной активностью, могут быть частью моста между морфологическими изменениями сердечнососудистой системы и такими вторичными местными и общими осложнениями как тромбоз и нестабильность артериальной бляшки, вазоспазм, сердечная аритмия (включая остановку сердца).

Все вышеизложенные факты позволяют объяснить полученные в нашем исследовании результаты, связанные с тенденцией к увеличению количества желудочковых экстрасистол в периоды ГМА, преимущественной активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако остаётся открытым вопрос о возможных механизмах, при помощи которых изменения солнечных и геофизических параметров оказывают влияние на состояние сердечнососудистой системы.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшее количество желудочковых эктопических сокращений выявлено у пациентов, чьи записи суточной электрокардиограммы совпали с периодами геомагнитных бурь и возмущённой геомагнитной обстановкой. Наименьшее число желудочковых эктопических сокращений наблюдалось у пациентов в период слабовозмущённой геомагнитной обстановки.

2. В спокойной геомагнитной обстановке желудочковых эктопических сокращений оказалось больше, чем в период слабовозмущённой геомагнитной обстановки.

3. Установлено достоверное различие между группами пациентов, обследованных в период магнитной бури и слабо возмущённого геомагнитного поля ($p < 0,05$). Также выявлена тенденция к преобладанию количества желудочковых эктопических сокращений у пациентов, страдающих ишемической болезнью сердца с постинфарктным кардиосклерозом в период спокойной геомагнитной обстановки над их количеством в период слабо возмущённой геомагнитной обстановки при уровне значимости $p < 0,2$.

ЛИТЕРАТУРА

- [Вахляев и др., 2000] Вахляев В.Д., Недоступ А.В., Царегородцев Д.А., Мазинг М.Ю. Роль гуморальных факторов в патогенезе аритмий сердца // Рос. мед. журн. 2000. № 2. С. 54–56; № 4. С. 47–50.
- [Гурфинкель и др., 1995] Гурфинкель Ю.И., Любимов В.В., Ораевский В.Н., Парфёнова Л.М., Юрьев А.С. Влияние геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток больных ишемической болезнью сердца // Биофизика. 1995. Т. 4. Вып. 4. С. 793–799.
- [Гурфинкель, 2004] Гурфинкель Ю.И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность: Монография. М.: Эльф-3, 2004. С. 77–91.
- [Дзизинский и др., 1999] Дзизинский А.А., Смирнова Ю.Ю., Белялов Ф.И. Оценка активности вегетативной нервной системы при приступе ишемии миокарда с помощью исследования вариабельности ритма // Кардиология. 1999. № 1. С. 34–37.

- [Комаров и др., 1989] Комаров Ф. И., Бреус Т. К., Рапопорт С. И., Мусин М. М., Набоков И. В. Гелиогеофизические факторы и их воздействие на циклические процессы в биосфере // Итоги науки и техники. Сер. Мед. география. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 18. 175 с. С. 138–142, 145, 147, 148, 172–174.
- [Breus et al., 2002] Breus T. K., Pimenov K. Y., Cornélissen G., Halberg E., Syutkina E. V., Baevsky R. M., Petrov V. M., Orth-Gomer K., Akerstedt T., Otsuka K., Watanabe Y., Chibisov S. M. The biological effects of solar activity // Biomedicine and Pharmacotherapy. 2002. V. 56 (Suppl. 2). P. 273s–283s.
- [Chernouss et al., 2001] Chernouss S., Vinogradov A., Vlassova E. Geophysical hazard for Human health in the circumpolar Auroral Belt: evidence of a relationship between heart rate variation and electromagnetic disturbances // Natural Hazards. 2001. V. 23. P. 121–135.
- [Cornélissen et al., 2002] Cornélissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E. V., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2002. V. 64. P. 707–720.
- [Lown, Wolf, 1971] Lown B., Wolf M. Approches to sudden death from coronary heart disease // Circulation. 1971. V. 49. P. 130–142.
- [Schauerte, Sherlag, 2000] Schauerte P., Sherlag B. J. Treatment of tachycardic atrial fibrillation by catheter assisted electrical stimulation of the cardiac parasympathetic nervous system // Zeitschrift für Kardiologie (Z Kardiol). 2000. V. 89. N. 9. P. 766–773.
- [Stoupelet et al., 1994] Stoupelet E., Martfel J. N., Rotenberg Z. Paroxysmal atrial fibrillation and stroke (cerebrovascular accidents) in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity levels // J. Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 1994. V. 5. N. 3–4. P. 315–329.
- [Stoupelet, 1999] Stoupelet E. Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // J. Clinical and Basic Cardiology. 1999. V. 2. P. 34–40.

VENTRICULAR ECTOPIC ACTIVITY IN PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE IN DIFFERENT GEOMAGNETIC CONDITIONS

L. M. Parfenova¹, Y. I. Gurfinkel^{1,2}, E. A. Mitrofanova³, A. L. Vasin¹

¹ Scientific Medical Center JSC "Russian Railways", e-mail: luvadins@mail.ru

² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia

³ N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia

There are only several publication devoted the influence of solar and geomagnetic activity on disorders of heart rhythm [Stoupelet et al., 1999; Gurfinkel, 2004]. However this theme is very actual both for applied medicine and for scientific approaches because some kinds of heart rhythm disorders could be very dangerous for the human health.

The aim of this study was to determine the relation between ventricular ectopic activity (VEA) and geomagnetic conditions in patients with coronary heart disease (CHD).

Patients and methods. We studied records of 24-hours electrocardiogram (Holter monitoring) in 180 CHD patients with myocardial infarction in history in age from 39 till 82 years (66 ± 10.1 years) performed during the period from 2006 to 2009 years. The obtained data has been compared with geomagnetic indices delivered by Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Russia. The K-indices for every

3 hours for the period of Holter monitoring were used. At the time of the study neither the patients nor the doctors who conducted the analysis the records, did not have information about geomagnetic field conditions. Patients have been divided into 4 groups depending on what geomagnetic conditions existed at that time when 24-h records were performed. The significant differences in age between the groups were not found.

We defined average quantity of VEA episodes per one patient for each period of geomagnetic condition. Values of quantity of VEA episodes during different geomagnetic conditions after taking the logarithm compared using two-selective t-criterion of Student method. Results are presented as $\text{mean} \pm \text{SEM}$, p values < 0.05 were considered statistically significant.

Results. On the average 1995 episodes of VEA belong to one patient within 24 hours have been revealed in patients, whose records coincided with the periods of geomagnetic storms, and an average values were 1440 VEA per one patient for this period. Minimal quantity of VEA — 394 episodes was found for weak geomagnetically disturbed condition: In a quiet geomagnetic condition VEA episodes appeared more often than in periods with weak disturbances: —1109. Statistical significance of VEA episodes between groups of the patients coincided with periods of geomagnetic storms and week disturbances of geomagnetic conditions was found ($p < 0.05$). It was revealed the tendency to prevalence of VEA episodes quantity at patients in a quiet geomagnetic condition over VEA episodes quantity in weakly disturbed conditions at the level of statistical significance: $p < 0.2$.

GEOMAGNETIC STORM'S INFLUENCE ON ELECTRIC POTENTIALS OF A HUMAN CEREBRAL CORTEX

O. B. Novik, F. A. Smirnov

N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia,
e-mail: fasmirnov-1@mail.ru

The electro-neurophysiological effect of geomagnetic storms was observed by us for a group of 13 students (practically healthy girls and boys from 18 to 23 years old). To control the main functional systems of the men under investigation, their electroencephalograms (EEG) were being registered along with electrocardiograms, respiratory rhythms, arterial blood pressure and other characteristics during a year. According to the EEG investigations during implementation of the proof-reading test in absence of magnetic storms, the values of the coherence function of time series of the theta-rhythm oscillations of electric potentials of the frontal and occipital parts of the head belong to the interval [0.3, 0.7] for nearly all of the students under investigation. (As the proof-reading test, it was necessary to choose given symbols from a random sequence of ones demonstrated at a monitor and to enter the number of the symbols discovered in a computer).

Let us formulate the main result: by implementation of the same test during a magnetic storm, $5 \leq K \leq 6$, or no later then 24 hours after it (the data of the IZMIRAN regarding the space weather were used), the values of the coherence function of time series of the theta-rhythm oscillations of electric potentials of the frontal and occipital parts of the head of all of the students of the group under consideration occurred to be decreased considerably: 2 to 3 times or more including the case with zero coherence after a magnetic storm. The usual coherence function values were being registered, typically, about 48 hours after the magnetic storm.

Comparison of two sets of time series of oscillations: a) the set of time series measured without a magnetic storm and b) the set of time series measured under its influence, regardless an individual, demonstrates the same result: a distinctive decrease of coherence of the theta-rhythm oscillations of electric potentials of the frontal and occipital parts of the head by a magnetic storm. By the EEG measurements with closed or open eyes, but without a functional load on the brain in the form of the proof-reading test, a distinctive decrease of the coherence function was not observed during a magnetic storm as well as for pairs of points from other parts of the head (see above) or other rhythms.

INTRODUCTION

Navigation, communication, transport, electric energy distribution and other technological processes and systems (gas and oil pipe-lines) were being damaged by geomagnetic storms. It is hardly possible to suppose that electromagnetic (EM) processes of a human brain are independent of powerful EM disturbances of the magnetosphere-ionosphere plasma, including geomagnetic storms, caused by solar activity. But technologies, with their increasing completeness, scale, economic and social importance, are controlled by men and their functional systems are not protected from helio-geophysical dynamics [Breus, Rappoport, 2003; Chyzhevsky, 1995; Novik, Smirnov, 2007, 2008a, b; Smirnov, 2007; Vladimirsky et al., 2004).

We are trying to clear out whether is it possible to get numerical characteristics of the moderate geomagnetic storm's (these events are more frequent as compared with the strong geomagnetic storms) influence on a human brain using standard measurements of electroencephalograms (EEG) and mathematical processing of the recorded time series of oscillations of electric potentials of the cerebral cortex of healthy young volunteers, by usual conditions of their life (students), i.e. without

hospital isolation and possible changes of their psycho-physiological state due to unusual, from their viewpoint, testing (see below). Standard methods are preferable at this stage because their properties, including artifacts, are known better.

The Holter monitoring approach to the ECG (electrocardiogram) measurements was used by S.V. Pobachenko and A.G. Kolesnik in the case of EEG measurements to establish influence of helio-geophysical conditions, including ones of the Shuman resonator, on dynamics of the amplitude and frequency parameters of EEGs of the volunteers aged 20...55 years without expressed pathologies [Pobachenko, Kolesnik, 2012]. Whereas these authors compared the characteristics of the geophysical EM field and ones of a brain (see [Merzlyy et al., 2012]), as well, we investigated changes of correlations between the EEG time series caused by moderate geomagnetic storms.

We shall use the term ‘background’ recordings (or EEGs, cartograms, data etc) for measurements made without influence of a magnetic storm, i.e. its absence during the day of measurements and two days before. The term ‘storm’ recordings (or EEGs, cartograms, data etc) will be used in an opposite case.

In the paper [Babayev, Allahverdyeva, 2005], for a group of healthy adult women in the states of relax, in photo-stimulation, and in the process of a hyperventilation, (conditions of an isolated room or hospital were used), the qualitative visible difference between background EEGs, cartograms, characteristics of the blood, on the one hand, and the same storm data, on the other hand, was demonstrated, for the case of major geomagnetic storms. Medical estimations of the changes under influence of geomagnetic storms were formulated.

We are trying to answer question about a moderate magnetic storm’s influence on a human brain (see above) in the following quantitative sense. We construct a function with numerical values, determined on sets of EEG recordings. If the values of this function are different for the set of the background recordings and the set of the storm recordings, we conclude that there is influence of geomagnetic storms on a brain. Intensity of influence may be characterized as the difference of the values of the constructed function on the set of the storm recordings and the set of the background recordings.

METHOD OF MEASUREMENTS

The electroencephalograms (EEG) were being registered for a group of 13 practically healthy girls and boys, 18 to 23 years old, during a year. Duration of every EEG investigation by open eyes and by closed ones was 2 minutes, whereas duration of every investigation by the implementation of the proof-reading test in absence of a magnetic storm or under its influence was 15 to 30 minutes. The electroencephalograph “Neuron Spector” (in Russian) with eight channels was used. The left group of four active electrodes were measuring the electric potentials (in regard to the lobe of the left ear where a passive electrode was located) of four points of the left part of the head: the first point was at the forehead, the second one at the sinciput, the third at the temple, and the fourth at the back of the head (occiput). The right group of four electrodes was measuring the electric potentials (in regard to the lobe of the right ear) of the symmetric points at the same parts of the head but above the right cerebral semi-sphere. The data of IZMIRAN about dynamics of the geomagnetic field were used. To control the functional state of the men under test, the respiratory rhythms,

arterial blood pressure and other characteristics, along with electrocardiograms, were registered and any considerable deflections were not observed. As the proof-test, everyone from the group tested was given the lines of random symbols at the monitor of a computer and an unlimited time interval to find two prescribed symbols from these lines. Everybody was known that the time interval for searching is unlimited. So, the additional stress connected with the estimation that the time interval is too short for the true determinations, was excluded. The volunteers were not known about success or errors of determinations during the test, though the results were registered by the computer. As well, they were not informed that the EEG measurements are connected with geomagnetic storms and were unknown about geomagnetic prognosis, to avoid the special state of expectation of the geomagnetic storm influence.

We considered the brain electric potential oscillations combining two points located in the parts of the head mentioned. So, we choose two time series of oscillations of electric potentials: a) for the forehead point and b) for the occiput point (the point at the back part of the head, see above), both of the points being located above the left cerebral semi-sphere. Other pairs of points for this semi-sphere was chosen from another pairs of the parts of the head mentioned. The choice of the pairs of points for investigation of the electric potential oscillations for the case of the right semi-sphere was the same as for the left one.

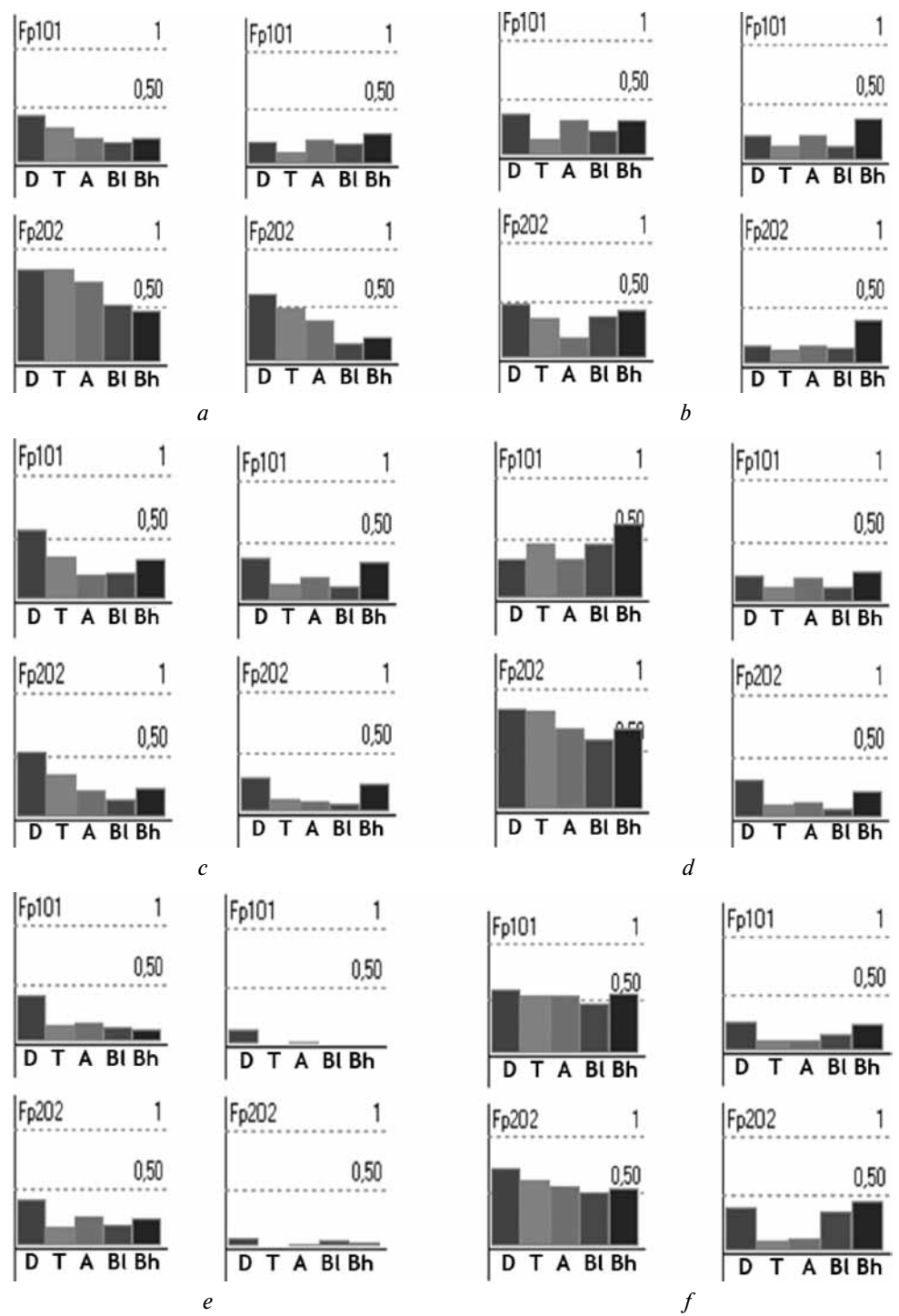
TWO APPROACHES TO THE PROCESSING OF THE MEASURED DATA

Aiming to answer the question about influence of a magnetic storm on the brain electric potential oscillations, we compared the time series of oscillations in presence a magnetic storm of everyone investigated with the same his (her) oscillations without a magnetic storm (below, we describe the characteristic of oscillations occurred to be available for similar comparison). This approach may be regarded as the individual one. By this approach, the EEG of everyone under investigation must be measured both in presence of a magnetic storm and without it.

On the other hand, we have two sets of time series of oscillations: 1) set A of time series measured without a magnetic storm (background recordings) and 2) set B of time series measured in presence of a magnetic storm (storm recordings), regardless to an individual. Surely, by this approach, every EEG (of a proper quality from the viewpoint of the EEG practical standards) may be included in the set A or B and therefore in the investigation. Let us regard this approach as the set's approach. In other words, a wider total set of the EEG's may be used in this case. We shall show there is a number (let us denote it by PCDC, i.e. the part of cases of decreased coherence, see below), which may be determined for both of sets A and B and occurred to be changing distinctively under a magnetic storm influence (Figure).

THE RHYTHMS AND COHERENCE FUNCTION OF TIME SERIES OF OSCILLATIONS OF ELECTRIC POTENTIALS OF THE CEREBRAL CORTEX

An analysis of the EEG electric potential recordings includes usually extracting of the following five modes of electric oscillations, typical for bioelectrical activity of a brain and known in neuro-physiology as rhythms: δ -rhythm ($f=0.5\ldots3.9$ Hz, $A=20$ μ V), denoted by D at the diagram below; θ -rhythm ($f=4\ldots7.9$ Hz, $A=20$ μ V), denoted by T; α -rhythm ($f=8\ldots13$ Hz, $A=15$ μ V), denoted by A; β -low-rhythm



The diagrams of the coherence function values of the forehead (Fp) and occipital (O) electric oscillations by rhythms D, T, A, BI, Bh; the identification number of a EEG measurement by the proof-reading test implementation (see the text) is written under every group of four diagrams

($f=14\ldots19.9$ Hz, $A=5$ μ V), denoted by Bl; β -high-rhythm ($f=20\ldots35$ Hz, $A=5$ μ V), denoted by Bh; here f is the frequency and A is the amplitude. To characterize the co-ordination of the electric potential oscillations of the forehead (Fp) and occipital (O) points of the left (1) cerebral semi-sphere (resulting notation is Fp1O1), we used the coherence function for oscillations in every oscillatory rhythm mentioned. The height of a rectangle at a diagram is equal to the value of the coherence function of the time series of oscillations in the rhythm shown at the bottom of a rectangle. In other words, according to the main property of the coherence function we characterize the co-ordination of the electric potential oscillations of a pair of points of the head by five coherence functions, according to the five basic rhythms, and visualize the numerical result using the five rectangles at the diagrams for the pair of points under consideration. So, the coherence function values (CFV) for every rhythm without a storm (index of the cosmic weather $K_p < 2$) are shown in the left column for the left (the upper diagram Fp1O1) and for the right (lower diagram Fp2O2) semi-spheres, whereas the same results but under a storm influence ($K_p = 5$ or 6) are shown in the right column.

THE MAIN RESULT IN TERMS OF THE INDIVIDUAL APPROACH

At similar CFV diagrams measured during the proof-reading test implementation, the CFV for the low-frequency rhythm T is decreased considerably (rather approximately, half as many, in most of the computed cases) during or after (up to 24 hours) the end of magnetic storms, both for the left and right forehead-occipital pairs. The only case of absence of decrease of the CFV for the left semi-sphere may be interpreted as a stage of the asymmetric process of rehabilitation of the functional state of the brain during 24 hours after beginning of the geomagnetic storm (see the diagrams before the letter E). Typically, a distinctive decrease or increase of the forehead-occipital CFV for all of the higher frequency rhythms A, Bl, Bh is absent, though this decrease is seen at separate diagrams. Variations of measured data for different volunteers, especially the case of decrease of the CFV up to zero (see diagrams), and, therefore, the corresponding disorder of electromagnetic processes of the brain, may be considered as a reason to choose those for the control of complicated technological systems (see the Introduction) whose negative neurophysiological reaction, generated by a geomagnetic storm, is minimal.

THE MAIN RESULT IN TERMS OF THE SET'S APPROACH

We considered 26 coherence function values (CFV) corresponding to 13 Fp1O1 and 13 Fp2O2 θ -rhythm channels measured by a magnetic storm ($K_p > 5$) during the proof-reading test implementation and determined the part of cases of the decreased coherence (PCDC), i.e. the part of cases when the $CFV \leq 0.2$, where 0.2 was chosen as a threshold (i.e. maximal) value of the coherence function regarded as a decreased value. We obtained 22 cases of decreases of the CFV's, see the left (first) column of the Table. Then we used 0.3 as the threshold value of the coherence function and the $CFV \leq 0.3$ were regarded as decreased ones. We obtained 24 cases (from the total 26) of the decreased CFV's by this higher threshold (2-nd column). The mean $CFV=0.2$ by a magnetic storm (3^d column).

PCDC, $K_p > 5$ Thresh. 0.2	PCDC, $K_p > 5$ Thresh. 0.3	Mean CFV, $K_p > 5$	PCDC, $K_p < 5$ Thresh. 0.2	PCDC, $K_p < 5$ Thresh. 0.3	Mean CFV $K_p < 5$
22/26	24/26	0.2	5/24	10/24	0.4

During the same test but without a magnetic storm ($K_p < 5$) the PCDC = 5/24 by the threshold of 0.2 (4th column) and 10/24 by the threshold of 0.3 (5-th column), whereas the mean CFV = 0.4. So, the decreases of the CFV's occur more often by geomagnetic storms than without them. In other words, the PCDC is the function with numerical values, determined on the sets of the EEG recordings, and the values of this function are different for the background and storm sets of the EEG recordings. As the synonymous, the PCDC-function distinguishes the background and storm sets of recordings (see the Introduction).

CONCLUSION

In terms of both the individual and set's approaches, a moderate geomagnetic storm at the latitude of Moscow decreases considerably (typically, half as many for a group of healthy boys and girls of 18 to 23 years old) the coherence function values of the brain electric potential θ -rhythm oscillations for the forehead-occipital pair of the points of the head during the proof-reading test implementation. The distinctive effect was not observed without any of the conditions mentioned.

Acknowledgements. The authors are grateful to the participants of the Helio-biological Section of the Space Research Institute of RAS, of the Scientific Seminar of the Institute of Medico-Biological Problems of RAS, and the Section of the Ionosphere and Radio Wave Propagation of the IZMIRAN of RAS for the useful and encouraging discussions of the results of this work.

REFERENCES

[Babaev, Allahverdiyeva, 2005] *Babaev E. S., Allahverdiyeva A. A.* Geomagnetic storms and their influence on the human brain functional state // Revista CENIC Ciencias Biologicas. 2005. V. 36. No Especial.

[Breus, Rappoport, 2003] *Breus T. K., Rappoport S. I.* Magnytnyye buri, medikobiologicheskiye i geofizicheskiye aspekty. M.: Sovyetskiy sport, 2003. (In Russian.)

[Chyzhevsky, 1995] *Chyzhevsky A. L.* Kosmichesky puls zhizny (Cosmic pulse of life). M.: Mysl, 1995. 768 p. (= *Чужевский А. Л.* Космический пульс жизни. М.: Мысль, 1995. 767 с.).

[Merzlyy et al., 2012] *Merzlyy A. M., Poskotinova L. V., Demin D. B., Krivonogova E. V.* The results of experiment on the influence of Earth's magnetic field on the parameters of brain electrical activity: Poster SWH P.53 // Международная конф. «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле». ИКИ РАН, Москва, Россия, 4–8 июня 2012: Сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 176.

[Novik, Smirnov, 2007] *Novik O. B., Smirnov F. A.* A magnetic storm decreases the coherence function of time series of oscillations of electric potentials of the cerebral cortex during implementation of the proof-reading test // 5th Intern. Aerospace Congress (IAC-06): Proc. M.: Russian Space Agency, 2007. P. 361–364.

- [Novik, Smirnov, 2008a] *Novik O. B., Smirnov F. A.* A magnetic storm affects electric potentials of a human brain // Sun-Terrestrial Physics. 2008. N. 12. V. 2. P. 352–353 (= *Новик О. Б., Смирнов Ф. А.* Влияние магнитной бури на электрический потенциал человеческого мозга // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 352–353).
- [Novik, Smirnov, 2008b] *Novik O. B., Smirnov F. A.* Magnetic storm decreases coherence of oscillations of electric potentials of a human brain // Intern. Conf. Geocosmos-2008: Book of Abstr. 2008. P. 115–116.
- [Pobachenko, Kolesnik, 2012] *Pobachenko S. V., Kolesnik A. G.* Comparative estimation of dynamics of human brain activity in different gelio-geophysics according around the clock monitoring // Международная конф. «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле». ИКИ РАН, Москва, Россия, 4–8 июня 2012: Сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 67.
- [Smirnov, 2007] *Smirnov F. A.* Magnetic storm is decreasing coherence of electric potentials of the brain when it is functioning // Intern. Conf. Intern. Heliophysical Year 2007. New Insight into Solar-Terrestrial Physics (IHY2007-NITSP): Book of Abstr. Zvenigorod, Moscow Region, 2007. P. 76.
- [Vladymyrsky et al., 2004] *Vladymyrsky B. M., Temuryantz N. A., Martynyuk V. S.* Kosmicheskaya pogoda y nasha zhizn (Cosmic weather and our life). Fryazino: Vek 2, 2004. 217 p. (= *Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А., Мартынюк В. С.* Космическая погода и наша жизнь. Фрязино: Век 2. 2004. 224 с.).

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

О. Б. Новик, Ф. А. Смирнов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия, e-mail: fasmirnov-1@mail.ru

Регистрировались и анализировались в течение года электроэнцефалограммы (ЭЭГ) группы из 13 практически здоровых юношей и девушек от 18 до 23 лет, а также (для контроля состояния) — их электрокардиограммы, дыхательные ритмы, артериальное кровяное давление и другие характеристики. По результатам ЭЭГ, при выполнении корректурного теста в отсутствие магнитных бурь, значения функции когерентности колебаний в тета-ритме электрических потенциалов лобной и затылочной частей коры головного мозга лежали у большинства испытуемых в интервале [0,3; 0,7] (тест состоял в выборе из случайной последовательности символов на экране компьютера двух заданных символов и вводе в компьютер числа обнаруженных символов без ограничений времени выполнения).

Основной результат: при выполнении теста во время умеренной магнитной бури ($5 < K < 6$) или не более чем через 24 часа после её окончания (использовались данные ИЗМИРАН по космической погоде), значения лобно-затылочной функции когерентности на тета-ритме снижались у всех испытуемых в 2–3 раза, зафиксирован и случай снижения до 0. Обычные значения восстанавливались через двое суток после окончания бури. Другой способ обработки, когда совокупность всех ЭЭГ разбивалась на два множества: а) ЭЭГ, снятые при буре, б) ЭЭГ без неё (таким образом, персонализации испытуемых при этом способе нет) — приводит к тому же результату — отчётливому снижению при магнитной буре когерентности колебаний в тета-ритме электрических потенциалов лобной и затылочной частей коры головного мозга. При открытых или закрытых глазах, но без функциональной нагрузки на мозг в виде корректурного теста, а также при других ритмах или на других отведениях, понижение когерентности при магнитной буре в описанной отчётливой форме не наблюдалось.

POSSIBLE INFLUENCE OF THE POLARITY REVERSAL OF THE SOLAR MAGNETIC FIELD ON THE VARIOUS TYPES OF ARRHYTHMIAS

*E. Giannaropoulou*¹, *M. Papailiou*¹, *H. Mavromichalaki*¹, *M. Gigolashvili*²,
*L. Tvildiani*³, *K. Janashia*³, *P. Preka-Papadema*¹, *Th. Papadema*⁴

¹ Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece, e-mail: emavromi@phys.uoa.gr

² E. Kharadze Abastumani Astrophysical Observatory, Ilia State University, Tbilisi, Georgia, e-mail: marina.gigolashvili@iliauni.edu.ge

³ Helio-Magneto-Cardiological Scientific and Practical Center, Tbilisi, Georgia

⁴ Medical School, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

Over the last few years various researches have reached the conclusion that cosmic ray variations and geomagnetic disturbances are related to the condition of the human physiological state. In this study medical data concerning the number of incidents of four types of cardiac arrhythmias (Supraventricular extrasystols, Supraventricular paroxysmal tachycardia, Ventricular single extrasystols, Ventricular multiple extrasystols), which refer to 1902 patients in Tbilisi, Georgia and were registered during 24-hour Holter monitoring and electrocardiography records from different hospitals, were used. This particular study refers to the time period 1983–1992 covering almost one complete solar cycle. The smoothing method and the Pearson *r*-coefficients were used to examine the possible effect of different solar and geomagnetic activity parameters (such as sunspot number, solar flares, proton events, interplanetary magnetic field, Dst and Ap indices) and cosmic ray intensity variations on the aforementioned types of arrhythmias. The time interval under examination was separated into two different time periods from 1983 to 1988 and from 1989 to 1993, which coincided with the polarity reversal of the solar magnetic field and as a result a different behavior of all the above mentioned parameters as well as of the different types of arrhythmias was noticed during the two time intervals. In addition, changing of polarity sign of the solar magnetic field was found to affect the sign of correlation between the incidence of arrhythmias and solar and geomagnetic variations and cosmic ray intensity. It is interesting that the primary and secondary maxima observed in the solar parameters during the solar cycle 22, also appeared in several types of arrhythmias with a time lag of about five months.

INTRODUCTION

The possible effect of solar, cosmic ray and geomagnetic activity on human health has been the subject of ongoing research. New fields of research such as Clinical Cosmobiology [Stoupel et al., 2006] and Biogeomagnetism [Dorman et al., 2001] are developing with remarkable results. Important results emerged from studies of cardiovascular diseases or diseases of the nervous system such as stroke, myocardial infarction or even accidents [Ptitsyna et al., 1998; Villaresi et al., 1994], or mental disorders [Ventriglio et al., 2011] and from surveys that examine changes in human physiological parameters like heart rate and arterial systolic and diastolic pressure [Dimitrova, 2008; Papailiou et al., 2009, 2011; Stoupel, 1980]. Several studies have been made to investigate heart rhythm disturbances in relation to solar and geomagnetic activity [Gigolashvili et al., 2010; Stoupel, 1990; Stoupel, Shimshoni, 1991; Stoupel et al., 1994]. It was observed that the number of Supraventricular extrasystols and Ventricular extrasystols showed a significant increase in lower levels of geomagnetic activity [Stoupel, Shimshoni, 1991]. In periods of low geomagnetic activity showed the greatest frequency of occurrence of Ventricular tachycardia [Stoupel, 1990] and cases of atrial fibrillation [Stoupel et al., 1994]. It was also shown a 27-day periodicity of the incidence of arrhythmias and a possible effect of

the polarity sign change of the interplanetary magnetic field on the rate of the incidence of arrhythmias, especially on multiple Ventricular extrasystolic arrhythmia and Supraventricular paroxysmal tachycardia [Gigolashvili et al., 2010]. This study is a result of the collaboration of two different scientific groups, from Athens (Greece) and Tbilisi (Georgia). The results that are presented concern mainly the influence of solar, geomagnetic and cosmic ray intensity variations might have on the occurrence of the aforementioned cardiac arrhythmias.

1. DATA AND METHOD OF ANALYSIS

A group of 1902 patients with ages from 30 yr to 75 yr with ischemic heart disease (IHD) was supervised and medical data concerning the number of incidents of Supraventricular extrasystols (S), Supraventricular paroxysmal tachycardia (Ps), Ventricular single extrasystols (V1) and Ventricular multiple extrasystols (Vm) were statistically collected with daily Holter-monitoring and ECG-recording. This particular study refers to the time period 1983–1992 covering almost one complete solar cycle.

The smoothing method and the Pearson r -coefficients were used to examine the possible effect of different solar and geomagnetic activity parameters (such as sun-spot number, solar flares, proton events, interplanetary magnetic field, Dst and Kp indices) and cosmic ray intensity (CRI) variations on the aforementioned types of arrhythmias.

Daily pressure corrected data of the CRI were obtained from Moscow Neutron Monitor Station (24NM64, cut-off rigidity). The geomagnetic indices Dst and Ap were obtained from the online data base Space Physics Interactive Data (<http://spidr.ngdc.noaa.gov>). The total number of Solar Flares for the aforementioned time period was obtained from the National Geophysical Data Center (NGDC). (<ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>). For the analysis, the total number of solar flares, the number of solar flares C and the number of solar flares >M were used. The total daily number of Solar Proton Events (SPEs) for each day was obtained from the Proton Events Database (<http://cosray.phys.uoa.gr>) [Belov et al., 2005a].

The Statistical method of Exponential Smoothing was applied on a 365 — day basis (1 year) using the program Origin 6.0. Microcal Origin 6.0, Microcal Software, Inc., 1991–1999). Correlation coefficients were calculated and diagrams were conceived by the help of statistical package STATISTICA ver.6, StatSoft Inc., 2001.

2. RESULTS

Heart arrhythmias have been analyzed in regard to CRI, GMA and Solar Activity (SA). At first the correlation coefficients between GMA, SA and CRI parameters and the number of arrhythmias (Total and for each type separately on 1-year basis) were calculated. It is seen that there are significant correlation coefficients although small by value, especially for Total and V1 type of arrhythmias (Table 1).

It is interesting that the primary and secondary maxima observed in the solar (Figure 1–5) and geomagnetic parameters (Figure 6, 7) during the solar cycle 22, were also appeared in all types of arrhythmias with the exception of the S type of arrhythmias (Figure 8) with a time lag of about five months.

Table 1. Correlation coefficients between GMA, SA and CRI parameters and the number of different types of arrhythmias

Type of arrhythmias	Rz	C Flares	X, M Flares	SPE	Bz	CRI counts/s	Ap	Dst (nT)
Total	0.4106*	0.2377*	0.3087*	0.4390*	0.0475	-0.3546*	0.1305	-0.3523*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0.022$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
S	-0.1855	0.1361	-0.2272*	-0.2800*	-0.1819	-0.0764	0.1800	0.3219*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
Ps	0.1260	0.2830*	0.0543	0.0857	0.0588	-0.3569*	0.2838*	0.1427
	$p=0$	$p=0$	$p=0.001$	$p=0$	$p=0.004$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
V1	0.4794*	0.1508	0.4190*	0.5287*	0.0492	-0.2600*	-0.0010	-0.5116*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0.017$	$p=0$	$p=0.954$	$p=0$
Vm	0.1598	-0.1127	0.1387	0.2679*	0.1178	0.0457	-0.1326	-0.3465*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0.007$	$p=0$	$p=0$

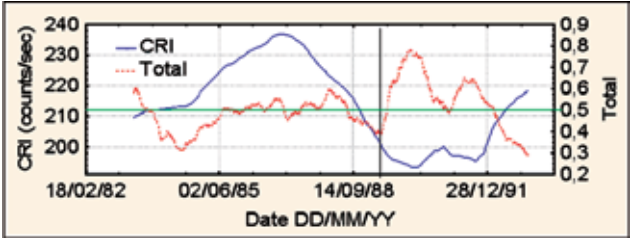


Figure 1. Variations of the total number of arrhythmias and CRI variations for the examined time period

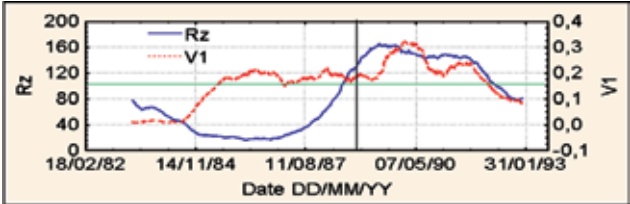


Figure 2. Variations of the number of V1 type of arrhythmia and Rz variations for the examined time period

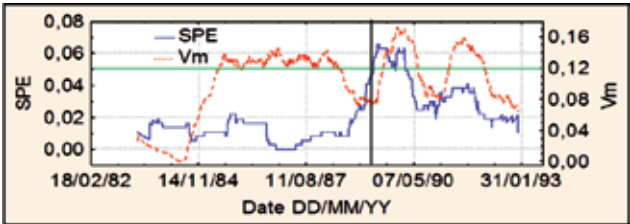


Figure 3. Variations of the number of Vm type of arrhythmia and SPE variations for the examined time period

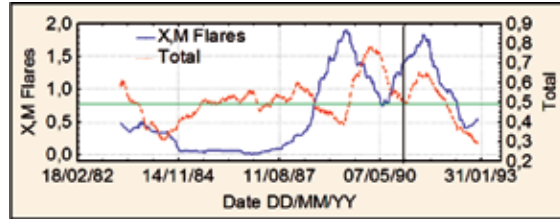


Figure 4. Variations of the total number of arrhythmias and X, M Flares variations for the examined time period

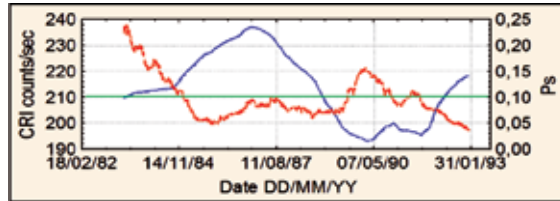


Figure 5. Variations of the number of Ps type of arrhythmia and CRI variations for the examined time period

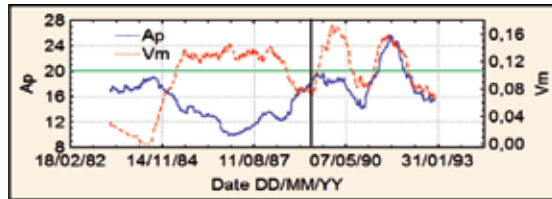


Figure 6. Variations of the number of Vm type of arrhythmia and Ap index variations for the examined time period

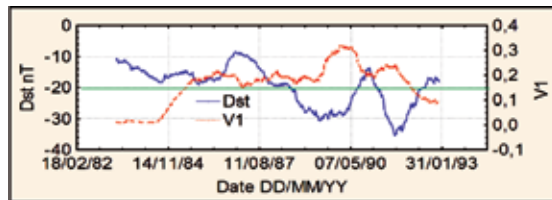


Figure 7. Variations of the number of V1 type of arrhythmia and Dst index variations for the examined time period

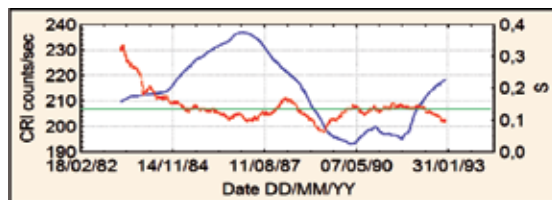


Figure 8. Variations of the number of S type of arrhythmia and CRI variations for the examined time period

It is clearly seen (see Figures 1–4, 6) a different behavior of solar and geomagnetic parameters as well as of the different types of arrhythmias before and after 1989 (or 1990 in some cases). This time period coincides with the polarity reversal of the solar magnetic field: N — to + January 1990 S + to — June 1991 [Mavromichalaki et al., 1998].

The parameter Rz (see Figure 2) is inversely correlated with V1 type of arrhythmia before and positively correlated after 1989–1990. (The reversal of correlation is marked with the black vertical line. The green horizontal line indicates the average number of arrhythmias.) The parameters SPE (see Figure 3), X, M Flares (see Figure 4) and Ap (see Figure 5) show the same behavior, while CRI (see Figure 1) shows the opposite behavior (positive correlation before and negative correlation after 1989–1990) as expected, since CRI and solar and geomagnetic activity variations are not independent. Low CRI is related to strong GMA [Belov et al., 2005b; Chilingarian, Bostanjyan, 2009 and strong SA [Forbush, 1958; Perko, Fisk Solar, 1983; Pomerantz, Duggal, 1974]. This time period (1989–1990) coincided with the polarity reversal of the solar magnetic field [Mavromichalaki et al., 1998; Webber, Lockwood, 1993].

The time interval under examination was separated into two different time periods from 1983 to 1988 and from 1989 to 1993 and the calculated correlation coefficients are presented in Table 2. Differences are observed in the sign and value of the correlation coefficients. Specifically, sign changes were observed only for Total, and Ventricular arrhythmias V1 and Vm. The values of the correlation coefficients are higher for each period separately than those calculated for the whole time interval (see Table 1). This time period coincides with the polarity reversal of the solar magnetic field: N — to + January 1990 S + to — June 1991 [Mavromichalaki et al., 1998].

Table 2. Correlation coefficients between GMA, SA and CRI parameters and the number of different types of arrhythmias for two different time periods from 1983 to 1988 and from 1989 to 1993

Type of arrhythmias	Rz	C Flares	X, M Flares	SPE	CRI, counts/s	Ap	Dst (nT)
Total (1983–1988)	0.0097	–0.0780	–0.1522	–0.1819	0.4700*	–0.6599*	0.1426
	$p=0.659$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
Total (1989–1992)	0.6672*	0.2425*	0.3010*	0.5228*	–0.8875*	0.3651*	–0.4170*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
V1 (1983–1988)	–0.1115	–0.4995*	–0.1469	–0.0803	0.7390*	–0.8164*	–0.2331*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
V1 (1989–1992)	0.8161*	0.1593	0.4051*	0.6481*	–0.9254*	0.2501*	–0.4055*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$
Vm (1983–1988)	–0.3143*	–0.6394*	–0.3795*	–0.2636*	0.8480*	–0.8874*	0.0027
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0.901$
Vm (1989–1992)	0.4631*	0.1935	0.2965*	0.5074*	–0.7184*	0.6410*	–0.6558*
	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$	$p=0$

CONCLUSIONS

This study focuses on the possible relation between the polarity reversal of the solar magnetic field and the various types of arrhythmias. The most interesting results are:

- The primary and secondary maxima observed in the solar parameters during the solar cycle 22, also appeared in Total, V1, Vm and Ps types of arrhythmias with a time lag of about five months;
- Changing of polarity sign of the solar magnetic field was found to affect the sign and value of correlation between the incidence of arrhythmias and solar and geomagnetic variations and cosmic ray intensity.

Ventricular arrhythmias (V1 and Vm) appear to be more sensitive in the changing of polarity sign of the solar magnetic field compared to Supraventricular arrhythmias (S, Ps).

Acknowledgements. The authors thank all the providers of the NMDB stations and the solar and interplanetary data. The authors from the University of Athens thank the Special Research Account for supporting the Cosmic Ray Research.

REFERENCES

- [Belov et al., 2005a] *Belov A., Baisultanova L., Eroshenko E., Mavromichalaki H., Yanke V., Pchelkin V., Plainaki C., Mariatos G.J.* Magnetospheric Effects in Cosmic Rays During the Unique Magnetic Storm on November 2003// *Geophysical Research*. 2005. V. 110. N. A9.
- [Belov et al., 2005b] *Belov A., Garcia H., Kurt V., Mavromichalaki H., Gerontidou M.* Proton enhancements and their relation to X-ray flares during the three last solar cycles // *Solar Phys*. 2005. V. 229. N. 1. P. 135–143.
- [Chilingarian, Bostanjyan, 2009] *Chilingarian A., Bostanjyan N.* // *J. Geophysical Research*. 2009. V. 114. P. 143–146.
- [Dimitrova, 2008] *Dimitrova S.* Universal Heliophysical Processes // *Proc. International Association of Universities (IAU) Symp*. 2008. N. 257.
- [Dorman et al., 2001] *Dorman L. I., Lucci N., Ptitsyna N. G., Villosesi G.* // *IRC*. 2001.
- [Forbush, 1958] *Forbush S. E.* Cosmic-ray intensity variations during two solar cycles // *J. Geophysical Research*. 1958. V. 63. N. 651–669.
- [Gigolashvili et al., 2010] *Gigolashvili M., Ramishvili G., Janashia K., Tvildiani L., Pitiurishvili P.* National Astronomical Observatory: Internal Report. 2010. (se also: <http://www.docstoc.com/docs/48038168>.)
- [Mavromichalaki et al., 1998] *Mavromichalaki H., Belehaki A., Rafios X.* Simulated effects at neutron monitor energies: evidence for a 22-year cosmic-ray variation // *Astronomy and Astrophysics*. 1998. V 330. P. 764–772.
- [Papailiou et al., 2009] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Vassilaki A., Kelesidis K. M., Mertzanos G. A., Petropoulos B.* Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during the December 2006 solar extreme events // *Advances in Space research*. 2009. V. 43. P. 523–529.
- [Papailiou et al., 2011] *Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., Giannaropoulou E.* The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators // *Astrophysics and Space Science*. *Trans*. 2011. V. 7. P. 373–377. doi: 10.5194/astra-7-373-2011.

- [Perko, Fisk Solar, 1983] *Perko J. S., Fisk Solar L. A.* Solar modulation of galactic cosmic rays. V—Time- dependent modulation // J. Geophysical Research. 1983. V. 88. P. 9033–9036.
- [Pomerantz, Duggal, 1974] *Pomerantz M. A., Duggal S. P.* The Sun and cosmic rays // Reviews of Geophysics. 1974. V. 12. N. 3. P. 343361.
- [Ptitsyna et al., 1998] *Ptitsyna N. G., Villoresi G., Dorman L. I., Iucci N., Tyasto M. I.* Natural and man-made low-frequency magnetic fields as a potential health hazard // Uspekhi Physicheskikh Nauk (UFN). 1998. V. 168. P. 767–791.
- [Stoupel, 1980] *Stoupel E.* // Proc. Solar-Terrestrial Predications Workshop: Boulder, Co., National Ocean Atmospheric Administration. Space Environment Laboratory, USAF Geophysical Laboratory. 1980. V. 4. P. G-29–G-40.
- [Stoupel, 1990] *Stoupel E. J.* // Cardiovascular Technology. 1990. V. 9. P. 400.
- [Stoupel, Shimshoni, 1991] *Stoupel E., Shimshoni M.* // Intern. J. Biometerol. 1991. V. 35. P. 6–9.
- [Stoupel et al., 1994] *Stoupel E., Martfel J., Rotenberg Z., Bas J.* Paroxysmal atrial fibrillation and stroke (cerebrovascular accidents) in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity levels // Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. 1994. V. 5(3–4). P. 315–329.
- [Stoupel et al., 2006] *Stoupel E., Babayev E. S., Mustafa F. R., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J.* Clinical cosmobiology — sudden cardiac death and daily / monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity — the Baku study (2003–2005) // Sun and Geosphere. 2006. V. 1. P. 13–16.
- [Ventriglio et al., 2011] *Ventriglio A., Borelli A., Bellomo A., Lepore A.* Birthdates of patients affected by mental illness and solar activity: A study from Italy // Advances in Space Research. 2011. V. 47. P. 1135–1139.
- [Villoresi et al., 1994] *Villoresi G., Breus T. K., Iucci N., Dorman L. I., Rapoport S. I.* The influence of geophysical and social effects on the incidences of clinically important pathologies (Moscow 1979–1981) // Physica Medica. 1994. V. 10. P. 79–91.
- [Webber, Lockwood, 1993] *Webber W. R., Lockwood J. A.* Large Cosmic Ray Transient Decreases Observed in the Heliosphere at the Earth, Voyagers 1 and 2, and Pioneer 10 from 1987 to 1991 and their Role in the Overall Intensity Decrease that is Observed // J. Geophysical Research. 1993. V. 98. N. 21095.

ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ СМЕН ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ АРИТМИЙ

Е. Гуаннаропулу¹, М. Папаиу¹, Х. Мавромичалаки¹, М. Гизолашвили², Л. Твилдиани³, К. Янашия³, П. Прека-Пападама¹, Т. Пападама⁴

¹ Отделение ядерной физики, Физический факультет, Национальный и Каподистрийский университет, Афины, Греция

² Астрофизическая обсерватория им. Е. Харадзе, Абаструмани, Государственный университет Грузии, Тбилиси, Грузия

³ Гелиомагнито-кардиологический научный и практический центр, Тбилиси, Грузия

⁴ Медицинская школа, Национальный и Каподистрийский университет, Афины, Греция

За последние несколько лет различные исследователи пришли к выводу, что вариации космических лучей и геомагнитных возмущений влияют на физиологическое состояние человека. В данном исследовании были использованы медицинские данные о количестве инцидентов четырех типов нарушений сердечного ритма (наджелудочковые

экстрасистолы, суправентрикулярная пароксизмальная тахикардия, желудочковые одиночные экстрасистолы, желудочковые множественные экстрасистолы) у 1902 пациентов из различных больниц в Тбилиси (Грузия), зарегистрированные в течение 24-ч холтеровского мониторирования и электрокардиографии. Данное исследование относится к периоду времени с 1983 по 1992 г., охватывающего почти полный солнечный цикл. Метод сглаживания и g -коэффициенты Пирсона использовались для изучения возможного влияния различных параметров солнечной и геомагнитной активности (таких как число солнечных пятен, солнечные вспышки, протонные события, межпланетное магнитное поле, Dst- и Ap-индексы) и вариаций космических лучей на интенсивности указанных видов аритмий. Рассматриваемый временной интервал был разделен на два различных периода времени — с 1983 по 1988 г. и с 1989 по 1993 г., которые совпадали с переполусовками магнитного поля Солнца и, как следствие, различное поведение всех вышеперечисленных параметров, а также различные виды аритмий были выявлены в течение двух временных интервалов. Кроме того было обнаружено, что изменение полярности знака магнитного поля Солнца влияет на знак корреляции между частотой аритмий и солнечными и геомагнитными вариациями и интенсивностью космических лучей. Интересно заметить, что первичные и вторичные максимумы наблюдаются в солнечных параметрах в течение солнечного цикла 22, и они также проявилась в нескольких видах аритмий с временным лагом около пяти месяцев.

ПРОЯВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В СОСТОЯНИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

С. Н. Самсонов, В. И. Маныкина

Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю. Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук (ИКИА СО РАН), Якутск, Россия,
e-mail: s_samsonov@ikfia.ysn.ru

Исследование числа вызовов скорой медицинской помощи по поводу сердечно-сосудистых заболеваний в высоких широтах показало наличие сезонного хода с двумя максимумами в весенний и осенний периоды, совпадающими с максимумами геомагнитной возмущённости. В то же время в опубликованной литературе показано, что сезонный ход числа вызовов скорой медицинской помощи и смертей от инфаркта миокарда в средних широтах характеризуется одним максимумом в зимний период. Отличия сезонного хода в высоких широтах, особенно вблизи максимума 11-летнего цикла геофизической возмущённости, могут быть легко поняты, принимая во внимание наличие мощной электроструи (авроральный электроджет), протекающей на этих широтах на высоте более 100 км. Кроме того, проведённый авторами статьи биофизический эксперимент на группах добровольцев в Якутске и посёлке Тикси показал, что изменения состояния сердечно-сосудистой системы человека совпадают с изменениями параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и геомагнитной возмущённости.

ВВЕДЕНИЕ

Как было показано во многих опубликованных работах, космическая погода является фактором внешней среды, оказывающей влияние на здоровье человека. Организм человека представляет собой открытую нелинейную систему, поэтому изменение условий во внешней среде оказывает влияние на его самочувствие. Сердечно-сосудистая система одна из первых включается в процесс адаптации к изменяющимся внешним условиям. Это проявляется в изменениях в системе кровообращения, в частности, изменением тонуса сосудистой стенки, реологических свойств крови, нарушениями взаимоотношений свёртывающей и противосвёртывающей систем и т. д. **Болезни сердечно-сосудистой системы человека занимают первое место в инвалидизации и смертности людей, поэтому эти заболевания являются социально значимыми и требуют повышенного внимания к ним.**

Опубликовано много работ, посвящённых изучению влияния космической погоды на здоровье человека, например [Андропова и др., 1982; Бреус, 1998; Бреус, Рапопорт, 2003; Владимирский, Кисловский, 1982; Владимирский, Темуриянц, 2000; Владимирский и др., 2004; Галль, 2009; Гурфинкель, 2004; Ковальчук, 1974; Комаров и др., 1989, 1994; Леднев, 1996; Птицина и др., 1998; Рагульская и др., 2010; Сидякин и др., 1985; Чибисов и др., 1998; Ягодинский, 2003; Baevsky et al., 1994; Breus et al., 1995; Cornelissen et al., 1994; Lipa et al., 1976; Watanabe et al., 1994] и т. д. Но до сих пор осталось много невыясненных вопросов о конкретных параметрах космической погоды, воздействующих на организм человека, и механизмах такого влияния. При этом влияние параметров космической погоды на здоровье человека может отличаться в высоких и средних широтах. В первую очередь это может быть связано с наличием в высоких широтах на высоте более 100 км мощной электроструи (авроральный электроджет), создающей значительные электро-

магнитные поля, воздействующие на организм человека. Рассмотрению вопроса о проявлении такого влияния на авроральных и субавроральных широтах и посвящена данная работа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ

В работе использовались данные вызовов скорой медицинской помощи, а также данные собственного биофизического эксперимента, проводимого на группах добровольцев.

Сбор информации проводился по данным скорой медицинской помощи Якутска. С целью изучения динамики ухудшения самочувствия людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, было обработано около 145 тысяч медицинских карт скорой медицинской помощи за период с 1992 по 2001 г. Для детального рассмотрения были выбраны данные за 1992 и 1998 г., поскольку эти годы приходятся на фазы вблизи максимума (1992) и минимума (1998) 11-летнего цикла геофизической активности.

Сведения о параметрах космической погоды были получены из данных мировой сети. В качестве характеристик солнечной активности использовались: скорость солнечного ветра (v) и плотность частиц в нём (ρ), напряжённость межпланетного магнитного поля (B), динамическое давление солнечного ветра ($\rho m v^2$). В качестве геофизического параметра использовался Кр-индекс геомагнитной активности, а метеорологических параметров — влажность (f), скорость (V), температура (T) и давление (P) приземной атмосферы.

С целью исследования реакции сердечно-сосудистой системы человека в авроральной и субавроральной зонах на изменение параметров космической погоды был проведён специальный биофизический эксперимент на группах добровольцев в Якутске (субавроральная зона) и посёлке Тикси (авроральная зона). В качестве экспериментального материала использовались данные первого отведения электрокардиограммы ЭКГ добровольцев с последующим вычислением коэффициента симметрии Т-зубца (КСТ), характеризующего функциональное состояние сердечно-сосудистой системы человека. В эксперименте участвовали добровольцы общей численностью в 45 человек различного возраста, пола и состояния здоровья. Более подробно о применимости коэффициента симметрии Т-зубца для оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека и о работе комплекса «Фазаграф» (экспресс-кардиограф) можно ознакомиться в работах [Вишневский и др., 2003; Файнзильберг, 1998].

Таким образом, на каждого пациента был получен индивидуальный ряд данных за весь период эксперимента — с 5 октября по 30 декабря 2009 г. Затем, с целью создания непрерывного ряда данных, была проведена интерполяция показателей каждого добровольца, поскольку измерения основной части группы добровольцев проводились лишь в рабочие дни. С целью сглаживания вариаций КСТ были отфильтрованы данные с периодом менее 4 сут. Измерения проводились ежедневно по единому для всех центров протоколу эксперимента, а именно: без нагрузки, после прохождения психоэмоционального теста, физической нагрузки и 10-минутного отдыха после нагрузки. Таким образом, каждый день проводилось по четыре измерения для каждого

участника мониторинговой группы. С целью устранения возможного субъективизма экспериментаторов данные ежедневного мониторинга передавались при помощи Интернет-протоколов в единый, для всего эксперимента, центр обработки информации — Институт проблем математических машин и систем НАН Украины в Киеве. Результаты предварительной обработки были доступны участникам эксперимента через стандартный веб-интерфейс портала Гелиомед.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование сезонного хода числа вызовов скорой медицинской помощи к больным с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ) в год вблизи максимума (1992) и минимума (1998) геофизической возмущённости показало, особенно наглядно в 1992 г., наличие весеннего (март — апрель) и осеннего (сентябрь — октябрь) максимумов. Время появления этих максимумов совпадает с максимумами геомагнитной возмущённости.

На рис. 1 и 2 представлены данные по вызовам скорой медицинской помощи Якутска к больным с инфарктом миокарда (ИМ) и острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) в годы вблизи максимума (1992) и минимума (1998) геофизической активности. Для построения этих рисунков использовались данные из работы [Самсонов и др., 2005]. Как видно на рис. 1, сезонный ход в 1992 г. по ИМ имеет три максимума: весенний (март), осенний (сентябрь) и летний, который связан с сильными геофизическими возмущениями в мае ($\sigma = 8,5$ — среднее квадратическое отклонение). В то же время сезонный ход по ОНМК в 1992 г. имеет два максимума: весенний (март), а также летне-осенний с пологим максимумом в июле-сентябре ($\sigma = 21,6$). Сезонный ход геомагнитной возмущённости также обычно имеет два максимума: весенний и осенний.

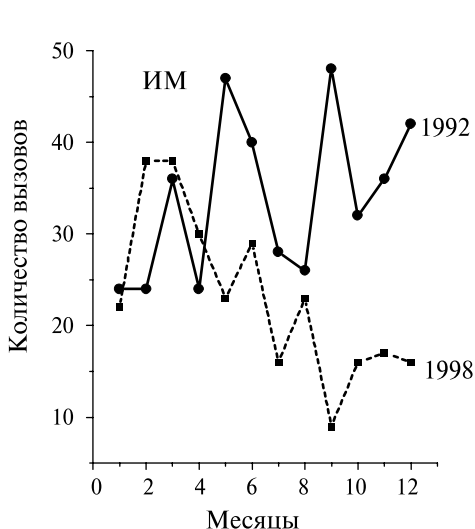


Рис. 1. Количество случаев инфаркта миокарда за 1992 и 1998 гг., абс. вел.

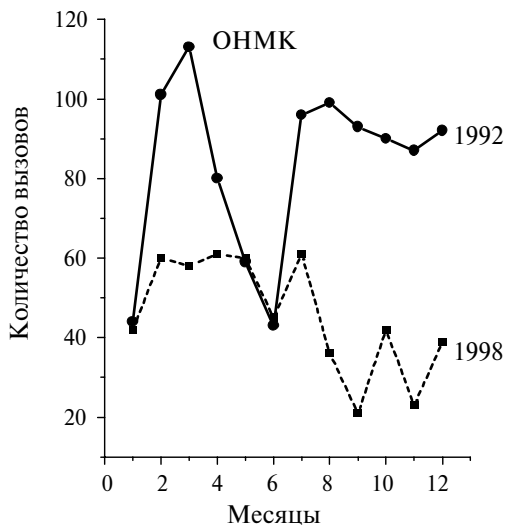


Рис. 2. Количество случаев ОНМК за 1992 и 1998 гг., абс. вел.

Также стоит отметить, что соотношение среднего за год числа ИМ в 1992 г. к 1998 г. составило 1,5, а по ОНМК — 1,8, т.е. в год вблизи максимума геофизической возмущённости наблюдалось в 1,5...1,8 раз больше вызовов скорой медицинской помощи по поводу сердечно-сосудистых заболеваний, чем в год вблизи минимума активности. Наличие весеннего и осеннего максимумов в числе вызовов скорой медицинской помощи, а также превышение числа вызовов в 1992 г. по отношению к 1998 г. в 1,5...1,8 раза являются косвенным доказательством того, что ИМ и ОНМК могут быть связаны с геомагнитной возмущённостью. Предполагается, что близость авроральной электроструи к станциям Тикси и Якутска является фактором, обуславливающим влияние магнитного возмущения от электроструи на здоровье человека. Вместе с тем в работах [Иванова и др., 2002; Клейменова, Козырева, 2008; Kleimenova et al., 2007a, b] по данным среднеширотных наблюдений было показано наличие лишь одного зимнего максимума.

На рис. 3 и 4 представлены изменения состояния сердечно-сосудистой системы групп добровольцев в Якутске и Тикси, а также параметры космической погоды: Кр-индекс геомагнитной возмущённости; $\mathbf{B}$ — полный вектор межпланетного магнитного поля; V — скорость солнечного ветра; ρ — плотность частиц солнечного ветра; $\rho m V^2$ — динамическое давление солнечного ветра (m — масса протона).

Как видно на этих рисунках, практически все максимумы и минимумы приведённых параметров совпадают по времени появления с такими же максимумами и минимумами в групповой реакции КСТ добровольцев в Якутске и Тикси.

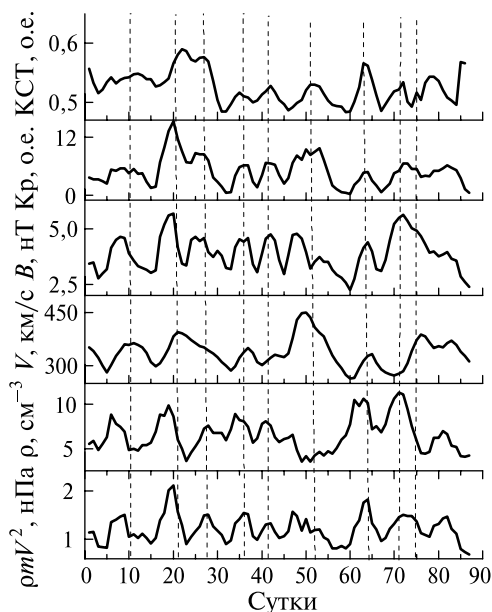


Рис. 3. Изменение состояния сердечно-сосудистой системы групп добровольцев в Якутске и параметров космической погоды

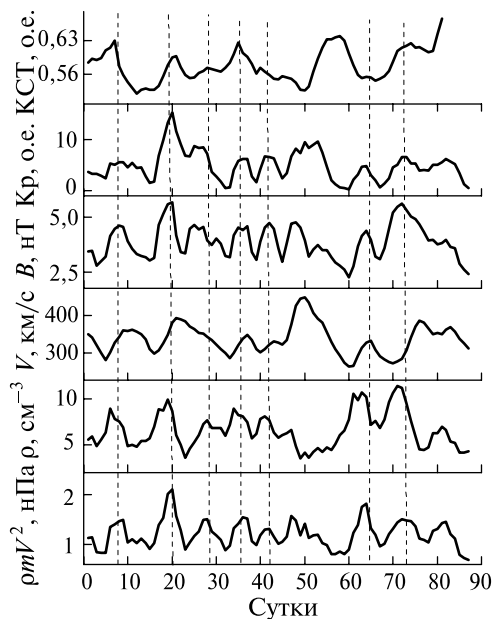


Рис. 4. Изменение состояния сердечно-сосудистой системы групп добровольцев в Тикси и параметров космической погоды

Такое практически полное совпадение наблюдалось для половины групп добровольцев в Якутске (12 человек) и Тикси (10 человек). Другие половины добровольцев (11 человек в Якутске и 11 человек в Тикси) показали частичное совпадение КСТ с параметрами космической погоды, а у одного человека не было никакого совпадения с КСТ. Наилучшее совпадение наблюдается для КСТ с полным вектором межпланетного магнитного поля, динамическим давлением солнечного ветра и Кр-индексом геомагнитной возмущённости. К примеру, коэффициент корреляции между КСТ в Якутске и Кр-индексом составил 0,55, и это при условии того, что КСТ представляет собой не показатель одного человека, а усреднённую величину (групповой параметр) половины добровольцев, участвующих в эксперименте.

Известно, что организм человека реагирует на изменения обычной земной погоды. Для того чтобы убедиться в том, что в данном исследовании обычная земная погода оказывала или не оказывала влияние на состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) добровольцев, сравним изменения состояния ССС добровольцев с изменениями параметров обычной земной погоды. На рис. 4 и 5 показаны изменения состояния ССС половины группы добровольцев в Якутске и Тикси с метеопараметрами (f — влажность, %; V — скорость солнечного ветра; T — температура; P — давление приземной атмосферы). Как видно на этих рисунках, наблюдается совпадение отдельных изменений каждого из метеопараметров с КСТ, что означает наличие в рассматриваемый период, в лучшем случае, лишь частичного влияния абсолютных значений метеопараметров на ССС человека.

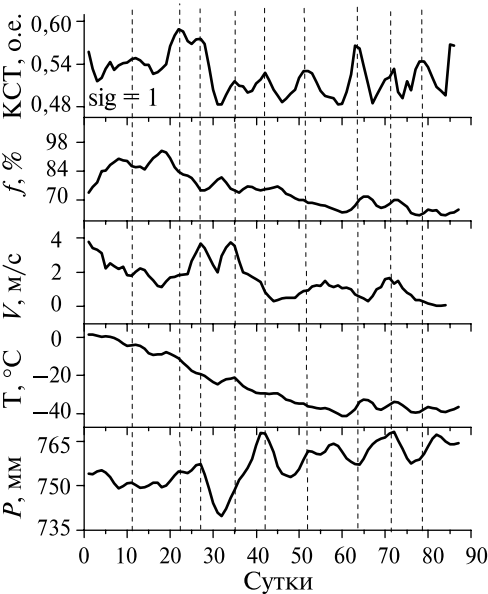


Рис. 5. Изменение состояния ССС половины группы добровольцев в Якутске и метеопараметров

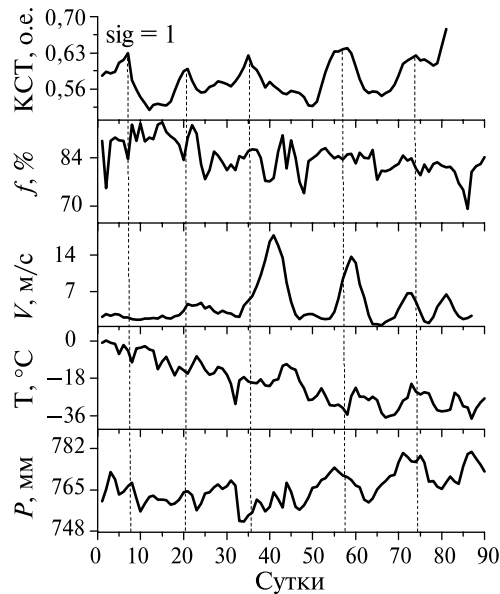


Рис. 6. Изменение состояния ССС половины группы добровольцев в Тикси и метеопараметров

Кроме того, в работе [Самсонов С. Н. и др., 2009] было показано, что при одновременном исследовании состояния ССС групп добровольцев, расположенных на расстоянии более 6000 км (Якутск, Киев и Симферополь) в эксперименте 2008 г., были обнаружены одновременные одинаковые изменения КСТ во всех трёх пунктах наблюдения, совпадающие с изменениями Кр-индекса геомагнитной возмущённости. При этом не наблюдалось совпадение изменений КСТ с изменениями метеорологических параметров, что также свидетельствовало именно о влиянии параметров космической погоды на состояние ССС групп добровольцев.

С целью обнаружения совпадающих скрытых периодичностей параметров космической погоды и состояния ССС добровольцев было проведено сравнение спектров мощности параметров космической погоды и КСТ. На рис. 7 и 8 представлены спектры мощности КСТ и параметров космической погоды. Как видно на этих рисунках, наблюдается наличие одних и тех же периодов колебаний 7; 9 и 13 сут в данных КСТ и параметрах космической погоды.

С этой же целью было проведено сравнение спектров мощности параметров космической и обычной земной погоды. Рисунки 9 и 10 демонстрируют отсутствие совокупности максимальных значений амплитуд в спектрах мощности метеопараметров в Якутске и Тикси для периодов в 7; 9 и 13 сут, присутствующих в параметрах космической погоды и КСТ.

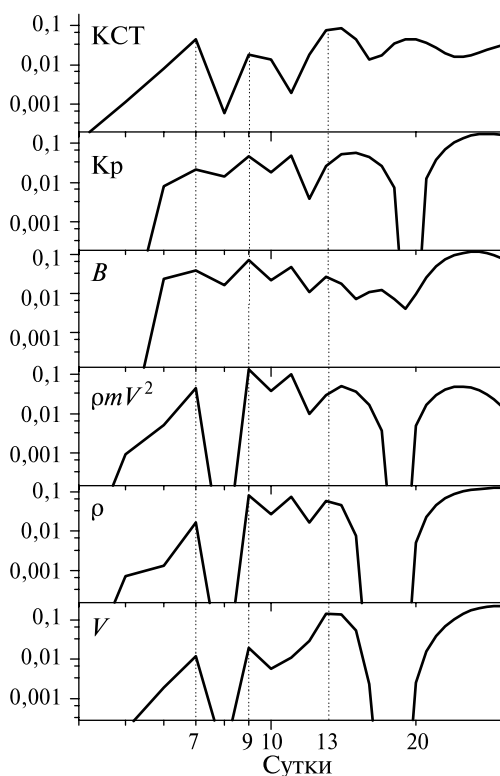


Рис. 7. Спектр мощности КСТ группы добровольцев в Якутске и параметров космической погоды

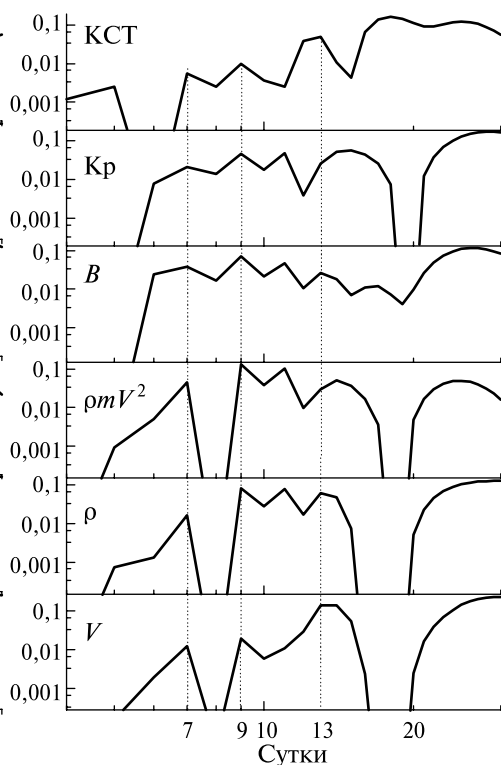


Рис. 8. Спектр мощности КСТ группы добровольцев в Тикси и параметров космической погоды

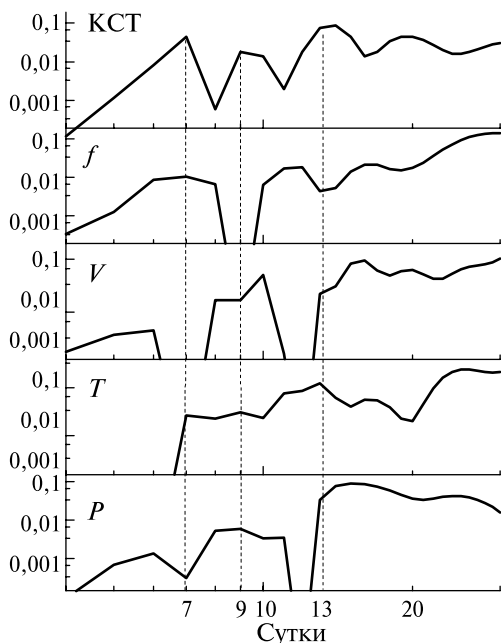


Рис. 9. Спектры мощности КСТ группы добровольцев в Якутске и метеопараметров

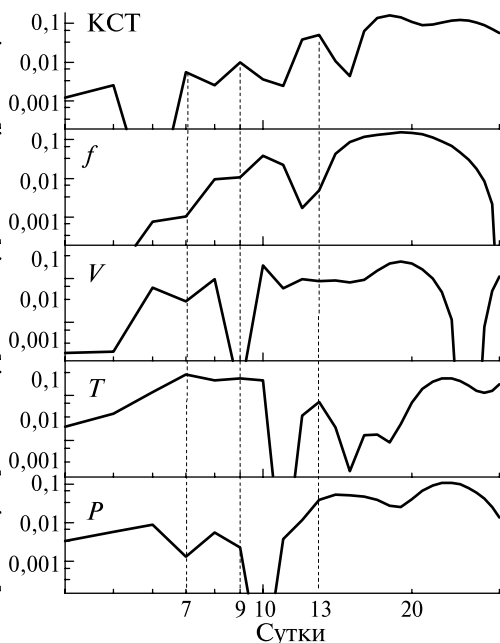


Рис. 10. Спектры мощности КСТ группы добровольцев в Тикси и метеопараметров

ВЫВОДЫ

Наличие весеннего и осеннего максимумов в сезонном ходе числа вызовов скорой медицинской помощи к больным ССЗ (в год вблизи максимума геофизической возмущённости), совпадающих с сезонным ходом геомагнитной активности; временное совпадение максимумов и минимумов в изменениях параметров космической погоды (без сохранения соотношения амплитуд) с изменениями КСТ, характеризующего состояние ССС человека в Якутске и Тикси; совпадение лишь отдельных максимумов и минимумов в изменениях метеопараметров с изменениями КСТ в Якутске и Тикси; наличие совокупности совпадающих периодов в спектрах мощности параметров космической погоды и КСТ; отсутствие совокупности совпадающих периодов в спектрах мощности метеопараметров и КСТ позволяет сделать вывод, что именно параметры космической погоды, такие как скорость и плотность солнечного ветра, полный вектор межпланетного магнитного поля, трансформирующиеся в магнитосфере Земли в геомагнитную возмущённость, проявляются в состоянии сердечно-сосудистой системы человека в высоких широтах.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 12-02-98508-р_восток_а и 12-05-98522-р_восток_а).

ЛИТЕРАТУРА

- [Андропова и др., 1982] Андропова Т. И., Деряпа Н. Р., Соломатин А. П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, 1982. С. 247.
- [Бреус, 1998] Бреус Т. К. Биологические эффекты солнечной активности // Природа. 1998. № 2. С. 76–88.
- [Бреус, Рапопорт, 2003] Бреус Т. К., Рапопорт С. И. Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты. М.: Сов. спорт, 2003. 192 с.
- [Вишневский и др., 2003] Вишневский В. В., Файнзильберг Л. С., Рагульская М. В. Влияние солнечной активности на морфологические параметры ЭКГ сердца здорового человека // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 3. С. 3–11.
- [Владимирский, Кисловский, 1982] Владимирский Б. М., Кисловский Л. Д. Солнечная активность и биосфера. М.: Знание, 1982. 63 с.
- [Владимирский, Темурьянц, 2000] Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу. М.: МНЭПУ, 2000. 374 с.
- [Владимирский и др., 2004] Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А., Мартынюк В. С. Космическая погода и наша жизнь. Фрязино: Век-2, 2004. 224 с.
- [Галль, 2009] Галль Л. В мире сверхслабых. Нелинейная квантовая биоэнергетика: новый взгляд на природу жизни. СПб., 2009. 317 с.
- [Гурфинкель, 2004] Гурфинкель Ю. И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. М.: ИИКЦ «Эльф-3», 2004. 170 с.
- [Иванова и др., 2002] Иванова П. К., Клейменова Н. Г., Гамбурцев А. Г. Смертность от инфаркта миокарда в Болгарии // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты взаимодействий. М.: Янус-К, 2002. С. 561–563.
- [Клейменова, Козырева, 2008] Клейменова Н. Г., Козырева О. В. Магнитные бури и инфаркты: всегда ли бури опасны // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7. № 3. С. 5–24.
- [Ковальчук, 1974] Ковальчук А. В. Космически обусловленные многодневные ритмы физиологических процессов. М.: Наука, 1974. С. 133–149.
- [Комаров и др., 1989] Комаров Ф. И., Бреус Т. К., Рапопорт С. И. и др. Гелиогеофизические факторы и их воздействие на циклические процессы в биосфере. 1989. 175 с.
- [Комаров и др., 1994] Комаров Ф. И., Бреус Т. К., Рапопорт С. И. и др. Медико-биологические эффекты солнечной активности // Вестн. РАМН. 1994. Вып. 11. С. 37–53.
- [Леднев, 1996] Леднев В. В. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. 1996. Т. 41. С. 224–234.
- [Птицына и др., 1998] Птицына Н. Г., Виллорези Дж., Дорман Л. И. и др. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168. № 7. С. 767–791.
- [Рагульская и др., 2010] Рагульская М. В. и др. Биотропное воздействие космической погоды. М.: ИЗМИРАН, 2010. 312 с.
- [Самсонов и др., 2005] Самсонов С. Н., Петрова П. Г., Соколов В. Д., Стрекаловская А. А., Макаров Г. А., Иванов К. И. Инсульт // Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2005. № 14. С. 18–22.
- [Самсонов и др., 2009] Самсонов С. Н., Маныкина В. И., Скрябин Н. Г., Крымский Г. Ф., Петрова П. Г., Вишневский В. В., Григорьев П. Е., Подладчикова Т. Н., Рагульская М. В. // Вестн. новых медицинских технологий. 2009. Т. 16. № 1. С. 246–248.
- [Сидякин и др., 1985] Сидякин В. Г., Темурьянц Н. А., Макеев В. Б., Владимирский Б. М. Космическая экология. Киев: Наукова думка, 1985. 176 с.

- [Файнзильберг, 1998] *Файнзильберг Л. С.* Информационная технология для диагностики функционального состояния оператора // *Управляющие системы и машины.* 1998. № 4. С. 40–45.
- [Чибисов и др., 1998] *Чибисов С. М., Овчинникова Л. К., Бреус Т. К.* Биологические ритмы сердца и «внешний» стресс. М.: Изд-во РУДН, 1998. 288 с.
- [Ягодинский, 2003] *Ягодинский В. Н.* Нами правит космос. М.: РИПОЛ КЛАССИК, 2003. 576 с.
- [Baevsky et al., 1994] *Baevsky R. M., Petrov V. M., Cornelissen G.* et al. Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease // *Scripta medica.* 1994. V. 70. P. 99–204.
- [Breus et al., 1995] *Breus T., Cornelissen G., Halberg F., Levitin A. E.* Temporal associations of life with solar and geophysical activity // *Annales Geophysicae.* 1995. V. 13. P. 1211–1222.
- [Cornelissen et al., 1994] *Cornelissen G., Wendt H. W., Guillaume F.* et al. Disturbances of the interplanetary magnetic field and human pathology // *Chronobiologia.* 1994. V. 21. P. 151–154.
- [Kleimenova et al., 2007a] *Kleimenova N. G., Kozyreva O. V., Breus T. K., Rapoport S. I.* Pc1 geomagnetic pulsations as a potential hazard of the myocardial infarction // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2007. V. 69. P. 1759–1764.
- [Kleimenova et al., 2007b] *Kleimenova N. G., Kozyreva O. V., Breus T. K., Rapoport S. I.* Seasonal Variations in Myocardial Infarctions Influence of Short-Period Geomagnetic Pulsations on the Human Cardiovascular System // *Biophysics.* 2007. V. 52. N. 6. P. 1112–1119.
- [Lipa et al., 1976] *Lipa B. G., Sturrock P. A., Rogot G.* Search for correlation between geomagnetic disturbances and mortality // *Nature.* 1976. V. 259. N. 5541. P. 302–304.
- [Watanabe et al., 1994] *Watanabe Y., Hillman D. C., Otsuka K.* et al. Cross-spectral coherence between geomagnetic disturbance and human cardiovascular variables at non-societal frequencies // *Chronobiologia.* 1994. V. 21. P. 265–272.

MANIFESTATION OF SPACE WEATHER IN A CONDITION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM OF A HUMAN BEING AT HIGH LATITUDES

S. N. Samsonov, V. I. Manykina

Establishment of the Russian Academy of Sciences Yu.G.Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, Yakutsk, Russia, e-mail: s_samsonov@ikfia.ysn.ru

Study of the number of ambulance calls for the medical care concerning cardiovascular diseases at high latitudes has shown a presence of seasonal change with two maxima during spring and autumn periods coinciding with maxima of geomagnetic disturbance. At the same time in the published literature it is shown that the seasonal change of the number of ambulance calls for the medical care and death from a myocardial infarction at middle latitudes is characterized by one maximum during a winter period. The difference of seasonal change at high latitudes, especially nearby a maximum of 11-year cycle of geophysical disturbance, can be easily perceived, in view of the presence of powerful electrojet (auroral one), proceeding at these latitudes at height above 100 km. Besides, a biophysical experiment on groups of volunteers in Yakutsk and settlement of Tixie carried out by authors of paper has shown that changes of the condition of cardiovascular system of a human being coincide with changes of the solar wind parameters, interplanetary magnetic field and geomagnetic disturbance.

ПОИСК МЕХАНИЗМОВ ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ШТОРМГЛАСС

И. А. Степанюк¹, Н. С. Фролова¹, А. В. Зимин¹, Н. Ф. Перевозчиков²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГУ), Санкт-Петербург, Россия

² Московский физико-технический институт (МФТИ), Москва, Россия

Конструкция и химический состав штормгласса широко известны среди специалистов, поэтому здесь не рассматриваются. В наших экспериментах использовалась стандартная ампула для штормгласса. В ранее опубликованных сообщениях разных авторов описывались преимущественно визуальные наблюдения за реакцией штормгласса, при этом синоптическая обстановка оценивалась также визуально. В наших экспериментах ампула была размещена в термо-светоизолированном боксе, лишь одно окошко оставалось открытым. Через это окошко пропусклся пучок света, который после прохождения ампулы попадал в фотоприёмник, затем сигнал через электронную схему поступал в один из каналов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и далее в персональный компьютер (ПК). Параллельно на второй канал поступал сигнал от измерителя естественного переменного магнитного поля с полосой пропускания 7...8 Гц. Синоптические карты (приземный анализ) брались из Интернета.

Эксперименты проводились в предположении, что воздействие на структуру штормгласса оказывают электромагнитные поля в указанной области частот. Ранее [Степанюк, 2002] было выявлено, что циклональные образования и атмосферные фронты возбуждают в окрестности такие поля, и они могут распространяться в направлении движения циклона до 1000...1500 км. Индукция в непосредственной близости от циклона может достигать 10...15 нТ.

В экспериментах было выяснено, что действительно существуют синхронные «события» в записях оптической плотности штормгласса и возмущений в области частот 7...8 Гц. Эти «события» соответствуют прохождению циклона с фронтальными разделами. Максимальный значимый коэффициент корреляции данных, полученных по двум каналам, составил $-0,73$. Знак минус свидетельствует лишь о полярности регистрируемых сигналов (детектированный ЕМ-сигнал и сигнал от штормгласса). ЕМ-сигнал регистрировался в противоположной полярности.

Однако не любой циклон и не любые фронтальные разделы, как связанные с циклоном, так и существующие отдельно (например, в барических ложбинах), формируют такие «события». Видимо, это говорит о том, что штормгласс как «предсказатель» шторма использовался моряками только дополнительно к обычным методам. Тем более он не может заменить современные методы прогноза.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Штормгласс — наиболее древний физико-химический тест, реагирующий на изменения погоды и солнечной активности, который применялся моряками ещё в XVIII—XIX вв. Показаниями служила наблюдаемая картина кристаллизации при различных погодных условиях. В целом, штормгласс представляет собой запаянную стеклянную трубку, в которую помещается водно-спиртовой раствор калийной селитры, хлорида аммония и камфары в определённых пропорциях. Конструкция и химический состав штормгласса широко известны среди специалистов, поэтому здесь не рассматриваются. В наших экспериментах использовалась стандартная ампула штормгласса в виде сосуда, заполненного смесью камфоры, нашатыря и калиевой селитры (4:1:1), растворённых в смеси спирта с дистиллированной водой. В ранее опубликованных

сообщениях различных авторов, например [Барановский и др., 2010, 2011], рассматривались преимущественно визуальные наблюдения за реакцией шторм-гласса, при этом синоптическая обстановка оценивалась также визуально.

ОБЪЕКТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

В наших экспериментах ампула была размещена в термо- и светоизолированном боксе, лишь одно окошко оставалось открытым. Через это окошко пропусклся сфокусированный отражателем пучок света. После прохождения ампулы этот пучок воспринимался фотоприёмником, затем через электронную схему (усилитель) сигнал поступал на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в персональный компьютер (ПК) (рис. 1). Параллельно на второй канал АЦП поступал сигнал с измерителя естественного переменного магнитного поля с полосой пропускания в области 7...8 Гц (рис. 2).

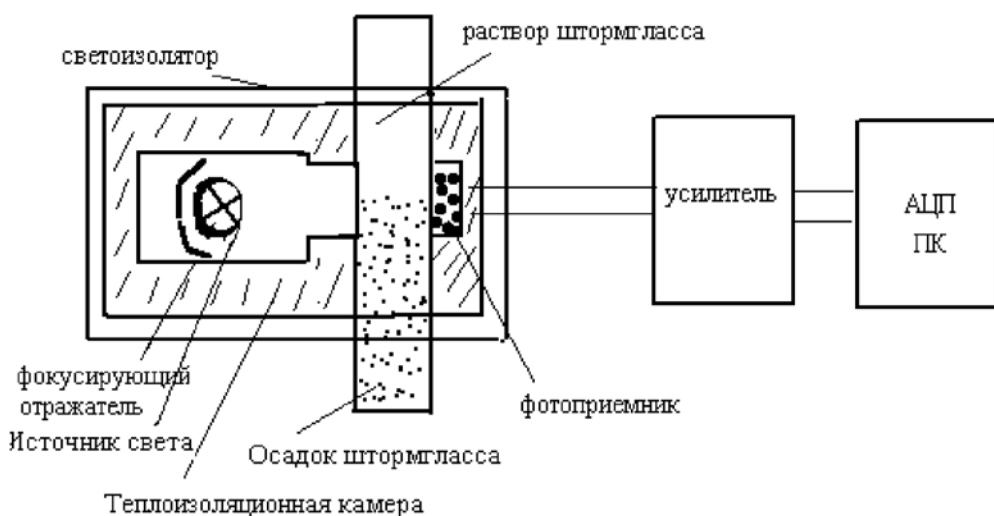


Рис. 1. Схема установки со штормглассом (первый канал)

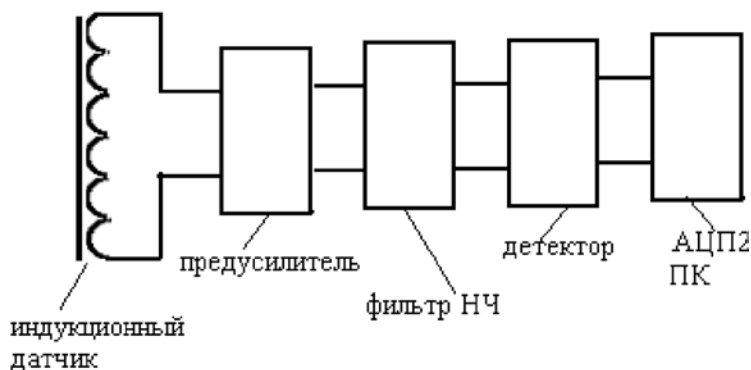


Рис. 2. Схема установки измерителя естественного переменного магнитного поля (второй канал)

В качестве датчика здесь использовалась индукционная катушка (40 000 витков) с ферромагнитным сердечником. Сигнал с катушки поступал на предусилитель, пропускаться через фильтр низких частот, затем детектировался схемой на двух операционных усилителях. После этого сигнал поступал на второй канал АЦП ПК. Синоптические карты (приземный анализ) брались с общедоступного немецкого сайта.

Эксперименты проводились в предположении, что воздействие на структуру штормгласса оказывают электромагнитные поля в указанной области частот. Ранее [Степанюк, 2002] было выявлено, что циклональные образования и атмосферные фронты возбуждают в окрестности такие поля, и они могут распространяться в направлении движения циклона до 1000...1500 км. Индукция в непосредственной близости от циклона может достигать 10...15 нТ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В экспериментах со штормглассом нам удалось выяснить, что действительно существуют синхронные «события» в записях оптической плотности штормгласса и возмущений индукции в области частот 7...8 Гц. Эти «события» соответствуют прохождению циклона с фронтальными разделами (рис. 3–6). Указанные «события» определялись путём статистического анализа рядов, полученных по записям двух каналов, в программном пакете Mesosaur.

Для оценки возможного «предчувствия» или задержки реакции на переменное электромагнитное поле сначала осуществлялось сглаживание рядов с помощью скользящего среднего, а затем проводился взаимокорреляционный анализ сглаженных рядов. На рис. 7 представлены результаты подобного анализа.

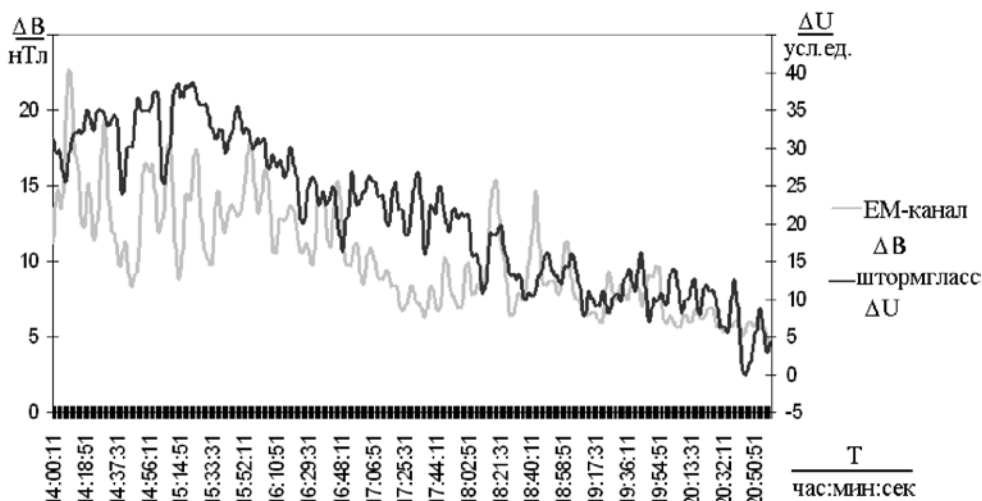


Рис. 3. Графическая зависимость данных, полученных по двум каналам (ЕМ-каналу и штормглассу) с 14:00:11 по 21:00:51 10.04.09: ΔB — вариации индукции; ΔU — вариации сигнала штормгласса. Значимый коэффициент корреляции равен 0,73. Время задержки реакции штормгласса 2...3 мин

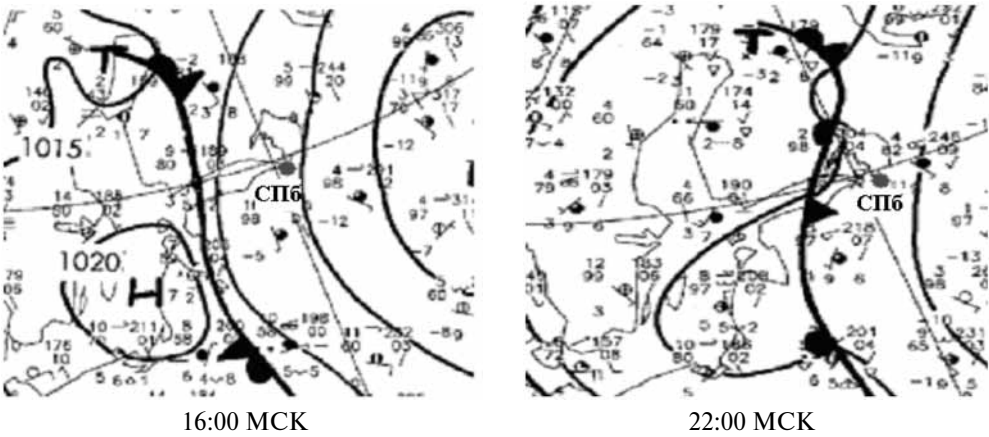


Рис. 4. Синоптические карты района исследования (10.04.09 на 16:00 и 22:00 по московскому времени). Пункт наблюдения — город Санкт-Петербург (СПб)

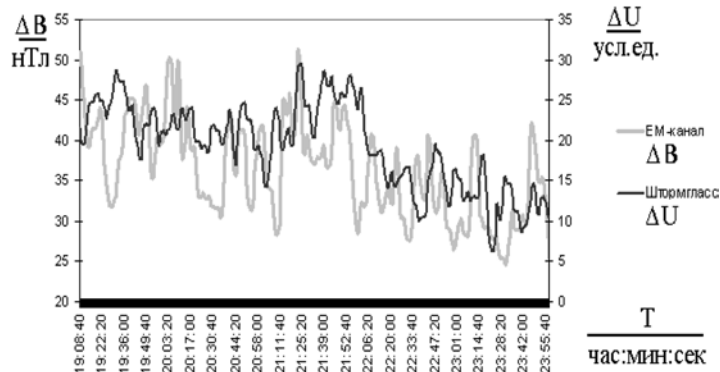


Рис. 5. Графическая зависимость данных, полученных по двум каналам (ЕМ-каналу и штормглассу) с 19:08:40 по 23:58:00 14.04.09: ΔB — вариации индукции; ΔU — вариации сигнала штормгласса. Значимый коэффициент корреляции равен 0,51. Время задержки реакции штормгласса 8 мин

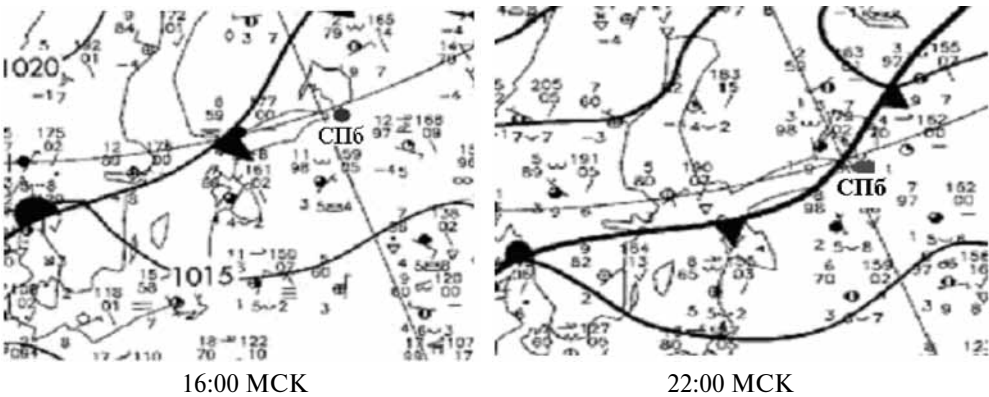


Рис. 6. Синоптические карты района исследования (14.04.09 на 16 и 22 ч по московскому времени). Пункт наблюдения — город Санкт-Петербург (СПб)

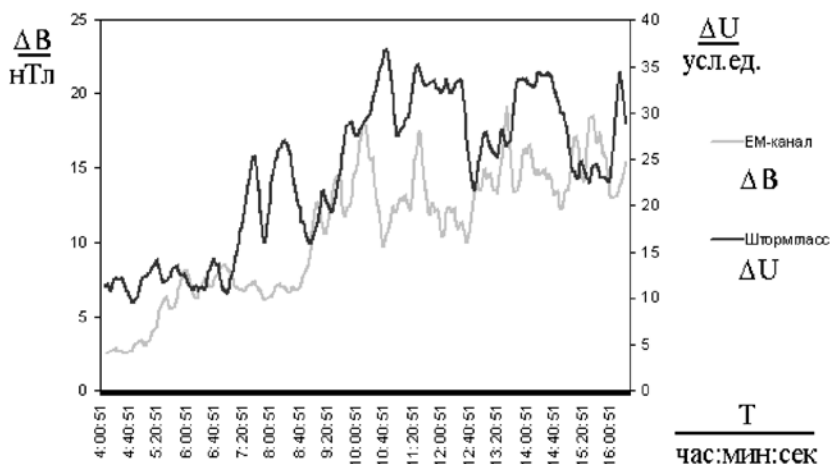


Рис. 7. Пример статистического анализа рядов (04:00:51–16:28:51 09.04.09): черная линия — сглаженная реакция штормгласса; серая линия — сглаженная реакция электромагнитного канала; ΔB — вариации индукции; ΔU — вариации сигнала штормгласса. Всплеск реакции штормгласса слева от «события» не идентифицирован. Время задержки реакции штормгласса 37 мин (110 шагов)

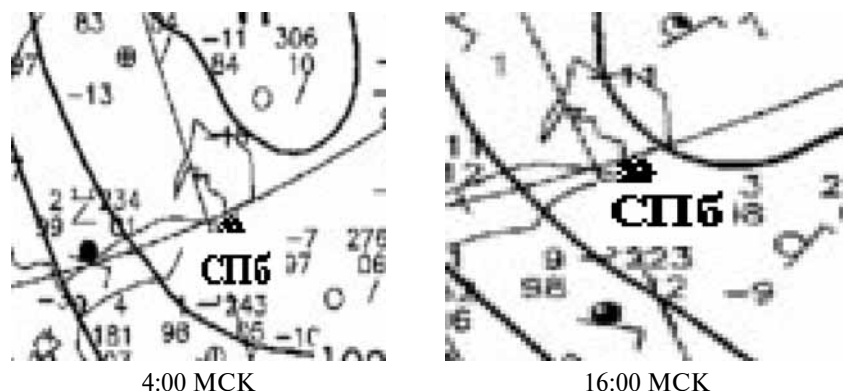


Рис. 8. Синоптические карты района исследования (09.04.09 на 4:00 и 16:00 по московскому времени). Ситуация антициклона. Пункт наблюдения — город Санкт-Петербург (СПб)

Наибольший коэффициент корреляции между двумя рядами составил 0,83 при сдвиге в 110 шагов, что соответствует 37 мин при шаге, равном 20 с. По данным эксперимента 09.04.09 реакция штормгласса на электромагнитные явления началась на 37 мин позже.

Интересные результаты получаются в противоположном случае, когда над пунктом наблюдений регистрируется антициклон. Перед приходом антициклона наблюдается сложная гидрометеообстановка с фронтальными разделами. В связи с этим оптическая плотность штормгласса низкая, а затем возрастает (рис. 8) в отличие от показанных выше результатов. При этом сигнал ЕМ-канала возрастает (кривая показаний штормгласса, как и ранее, перевёрнута для наглядности). Всё это убеждает, что показания штормгласса однозначно связаны с электромагнитными сигналами.

Примечание. Для наглядности сигнал штормгласа при обработке был инвертирован. В реальности возрастание ЕМ-сигнала приводит к снижению сигнала от штормгласа. Это соответствует повышению оптической плотности.

ВЫВОДЫ

1. Не любой циклон и не любые фронтальные разделы, как связанные с циклоном, так и существующие отдельно, например, в барических ложбинах, формируют такие «события». Видимо, это говорит о том, что штормглас, как «предсказатель» шторма, использовался моряками ввиду отсутствия более надёжных методов. Он не может заменить современные методы прогноза по синоптическим картам, но при отсутствии таковых может оказать существенную помощь.

2. Также было отмечено возрастание сигналов штормгласа, характерное для ситуации, когда в районе исследования стоит антициклон. Это эквивалентно уменьшению оптической плотности, т.е. повышению прозрачности (сигнал с фотоприёмника ΔU меняется обратно оптической плотности).

3. Полученные результаты показали, что изначальная гипотеза о том, что на реакцию штормгласа преимущественное влияние оказывают связанные с погодой электромагнитные поля в области крайне низких частот, по-видимому, справедлива.

ЛИТЕРАТУРА

- [Барановский и др., 2010] *Барановский Э.А., Тарашук В.П., Владимирский Б.М.* Влияние солнечной активности и геофизической возмущённости на физико-химические процессы в жидкой среде: предварительный анализ показаний штормгласа // Геофиз. процессы и биосфера. 2010. Т. 9. № 1. С. 19–33.
- [Барановский и др., 2011] *Барановский Э.А., Тарашук В.П., Владимирский Б.М.* Колба Фицроя (штормглас) как индикатор погоды — земной и космической. Новые данные // Космос и биосфера: Тез. докл. 9-й Международ. крымской конф. 2011. Алушта, Украина, 10–15 окт. 2011. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. С. 113–114.
- [Степанюк, 2002] *Степанюк И.А.* Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. 214 с.

A SEARCH OF THE HYDROMETEOROLOGICAL PROCESSES' INFLUENCE MECHANISMS ON A STORMGLASS

I. A. Stepanuk¹, N. S. Frolova¹, A. V. Zimin¹, N. F. Perevozchikov²

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia,

² Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia

The construction and chemical composition of a stormglass are widely known among experts so they are not considered here. We have used the standard stormglass ampoule in our experiments. In the main the visual observations were considered in the earlier works of different

authors, and at the same time weather situation was estimated by sight too. The ampoule was placed in the light and thermo-insulated box. Only one small window was open. The beam of light was passed through this window. After ampoule passing this bunch was perceived by the photodetector, then through the electronic scheme the signal went into the analog-digital converter (ADC) in the personal computer (PC). In parallel the signal from a natural variable magnetic field meter with a pass-band in the region of 7...8 Hz went on the second ADC channel. The synoptic maps (the surface analysis) were taken from archive data of German Meteorological Station.

The experiments were carried out in the assumption of the fact that an impact on a stormglass structure is influenced by electromagnetic fields in the said area of frequencies. It was brought out earlier [Степанюк, 2002] that the cyclonic formations and the atmospheric fronts generate such fields in the locality, and they can extend in the direction of the cyclone movement to 1000...1500 km. The induction in close proximity to a cyclone can reach from 10 to 15 nT.

We found out in the experiments with the stormglass that there are the real synchronous “events” in records of the stormglass optical density and the induction storms in the field of frequencies of 7...8 Hz. These “events” correspond to a cyclone passing with the frontal sections. The most significant correlation coefficient between the data received by two channels was 0.83. It was also noticed that a stormglass reaction was later towards an electromagnetic channel.

However not any cyclone and not any frontal sections, both connected with a cyclone, and existing separately, for example, in a pressure trough, form such “events”. Probably, it means that a stormglass as a “predictor” of a storm was used by seamen only in addition to usual methods. Especially it can’t replace the modern methods of forecasting.

О СВЯЗИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С АТМОСФЕРНЫМИ И ГЕОМАГНИТНЫМИ ФАКТОРАМИ У МУЖЧИН-СЕВЕРЯН В МНОГОМЕСЯЧНОМ ИССЛЕДОВАНИИ

Ю. Г. Солонин

Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук (ИФ Коми НЦ УрО РАН), Сыктывкар, Россия,
e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

Проведена оценка возможного влияния атмосферных и геомагнитных факторов на организм отдельных волонтеров при длительном ежемесячном мониторинге. Обследовано 8 практически здоровых мужчин в возрасте от 26 до 44 лет (в среднем 33 года). Измеряли функциональные показатели: частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (СД), диастолическое (ДД) и среднединамическое (СДД) артериальное давление (АД), двойное произведение (ДП), максимальную задержку дыхания на вдохе (МЗД), жизненный индекс (ЖИ), силовой индекс (СИ), кардиореспираторный индекс Скибинской (ИС) и время простой зрительно-моторной реакции (ВПЗМР). Применён корреляционный анализ динамических рядов у каждого испытуемого (внутрииндивидуальная или интра-корреляция). При длине ряда в 24 пары статистически значимый коэффициент корреляции (при $p < 0,05$) равен 0,41 и выше. Выявлена корреляция внешних воздействий и функциональных показателей у отдельных волонтеров и тенденция ухудшения функционального состояния обследованной группы в день с возмущённой магнитной активностью.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о солнечно-земных связях и о влиянии космической и земной погоды на организм человека занимает научные умы с давних времён. К исследованиям в этом направлении в XX в., ставшим классическими, можно отнести труды А.Л. Чижевского [Чижевский, 1973; Tchijewsky, 1934], работу Д. Ассмана (1966) с обзором более 1000 источников литературы и публикации многих других исследователей.

После выхода человека в космос, появления новых знаний в области астрофизики, гелиогеофизики и гелиобиологии в последние годы интерес к этой проблеме оживился, что проявилось в заметном возрастании числа публикаций в научных изданиях. Настоящее исследование во многом было стимулировано ознакомлением лишь с небольшой частью из необозримого числа источников литературы по этому вопросу [Агаджанян, Макарова, 2001; Бреус, Рапопорт, 2003; Зенченко, 2010; Зенченко и др., 2009, 2011; Стоилова и др., 2008].

В рамках проекта МАРС-500 в период с апреля 2009 г. по ноябрь 2011 г. на севере России (Сыктывкар) проводилось исследование группы испытуемых-волонтеров по единой методике, разработанной в Институте медико-биологических проблем РАН [Баевский и др., 2009] с целью контроля за функциональным состоянием практически здоровых людей в долговременных наблюдениях и выявления возможных отклонений в состоянии здоровья. Некоторые результаты этого исследования были опубликованы в ведущих журналах [Солонин и др., 2010, 2011].

Цель настоящей работы — на основе дополнительного углублённого анализа полученных данных попытаться оценить возможное влияние атмосферных и геомагнитных факторов на организм отдельных волонтеров-северян при длительном ежемесячном мониторинге.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ежемесячно (с некоторыми перерывами) в 24 точках наблюдения было обследовано 8 практически здоровых мужчин в возрасте от 26 до 44 лет (в среднем 33 года), ростом 164...183 см (в среднем 175 см), массой тела 70...109 кг (в среднем 80 кг), с индексом массы тела 23,4...33,2 кг/м² (в среднем 26 кг/м²), с долей жира в теле 10,6...32,1 % (в среднем 18,6 %), с максимальным потреблением кислорода 2,2...4,1 л/мин (в среднем 3,4 л/мин) или 36,6...53,5 мл/мин·кг (в среднем 37,5 мл/мин·кг). Это были волонтеры, родившиеся и постоянно проживающие в Сыктывкаре (61°40' с. ш., 50°50' в. д.) в зоне, официально приравненной к районам Крайнего Севера, представляющие научных работников и служащих МЧС из группы так называемых «сидячих профессий» с малой физической активностью и с ограниченным временем нахождения на открытом воздухе. Подтверждением малой физической активности этих волонтеров является невысокий (ниже среднего или низкий) уровень максимального потребления кислорода. Все они дали согласие на обследование. Работа одобрена локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН.

В работе использован аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007» фирмы «Медицинские компьютерные системы» (Зеленоград). Этот комплекс реализует методологию донозологического контроля за состоянием здоровья, позволяет изучать показатели вариабельности сердечного ритма, дисперсионного картирования ЭКГ, время простой (ПЗМР) и сложной (СЗМР) зрительно-моторных реакций. Наряду с этим применяли общепринятые соматометрические и физиометрические показатели и методики для определения и оценки состояния кардиореспираторной системы.

У волонтеров измеряли рост, массу тела и рассчитывали индекс массы тела. Долю жира в теле определяли прибором OMRON BF 302 (Япония). Силу сжатия кисти измеряли пружинным динамометром и рассчитывали силовой индекс (СИ = сила/масса тела). Жизненную ёмкость лёгких (ЖЕЛ) определяли сухим спирометром и рассчитывали жизненный индекс (ЖИ = ЖЕЛ/масса тела). Проводили пробу с максимальной задержкой дыхания после предварительного вдоха (проба Штанге).

Артериальное давление систолическое (САД) и диастолическое (ДАД), частоту сердечных сокращений (ЧСС) в покое сидя измеряли электронным прибором модели UA-767 (A&D Company Ltd., Japan). Рассчитывали пульсовое давление (ПД = САД – ДАД), среднединамическое давление (СДД = ДАД + 0,33ПД) по Хикему, двойное произведение (ДП = САД × ЧСС/100) по Робинсону, кардиореспираторный индекс Скибинской (ИС = ЖЕЛ/100 × МЗД/ЧСС) и вегетативный индекс Кердо (ВИК = (1 – ДАД/ЧСС) × 100). По мнению автора последнего индекса [Kerdo, 1957], ВИК, благодаря простоте его определения, очень удобен для характеристики метеорологических реакций организма.

Максимальное потребление кислорода как показатель аэробной работоспособности организма определяли однократно непрямой метод путём предъявления нарастающих велоэргометрических нагрузок и измерения ЧСС с последующим расчётом значений потребления кислорода по номограмме [Astrand, 1960].

Данные по земной атмосфере (давление воздуха — P , его влажность — $Вл$, температура — T) в Сыктывкаре в дни обследования были взяты с сайта <http://meteo.infospace.ru>, а данные по геомагнитной обстановке (индексы K_p и A_p) — с сайта ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/geomagnetic_data/indices/kp_ap. Содержание кислорода (PO_2) в атмосфере было рассчитано по формуле Клапейрона. В ходе обследования в помещении контролировали температуру и относительную влажность воздуха.

Полученные материалы подвергнуты статистической обработке с помощью программ Biostat 4.03 и Statistica 6.0 с проверкой вариационных рядов на характер распределения (по критерию Шапиро-Уилка). Критическим уровнем статистической значимости принимали $p < 0,05$. В работе применён корреляционный анализ динамических рядов у каждого испытуемого (внутрииндивидуальная или интракорреляция) по Спирмену. При длине ряда в 24 пары статистически значимый коэффициент корреляции (при $p < 0,05$) равен 0,41 и выше.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У волонтера 1 выявлена прямая связь ЧСС с T ($r=0,418$) и ДИ с PO_2 ($r=0,408$). У волонтера 2 прямо связаны ИС ($r=0,456$) и ВПЗМР ($r=0,469$) с P , ИС с PO_2 ($r=0,409$), обратно коррелируют ДД ($r=-0,472$), ЧСС ($r=-0,623$) и ДП ($r=-0,481$) с P , ЧСС с PO_2 ($r=-0,409$). У волонтера 3 имеется прямая связь МЗД с P ($r=0,451$), обратные связи МЗД ($r=-0,413$) и ИС ($r=-0,519$) с $Вл$, МЗД ($r=-0,495$) и ИС ($r=-0,431$) с K_p , ВПЗМР с A_p ($r=-0,426$). У волонтера 4 прямо коррелируют ИС с P ($r=0,433$), ЖИ с T ($r=0,428$), МЗД с A_p ($r=0,438$), обратно коррелируют ВПЗМР с P ($r=-0,639$), ЖИ с $Вл$ ($r=-0,437$). У волонтера 5 выявлена прямая корреляция МЗД с $Вл$ ($r=0,443$) и ЖИ с T ($r=0,590$), обратная корреляция ЖИ с PO_2 ($r=-0,429$). У волонтера 6 прямо коррелируют СД с P ($r=0,441$), ЖИ с T ($r=0,440$), СД ($r=0,422$) и СДД ($r=0,423$) с PO_2 , обратно коррелируют ЖИ с P ($r=-0,449$) и ЖИ с PO_2 ($r=-0,499$). У волонтера 7 выявлена прямая корреляция ЖИ с T ($r=0,564$), обратные корреляции ЖИ с PO_2 ($r=-0,552$), ДП с K_p ($r=-0,465$) и с A_p ($r=-0,446$). У волонтера 8 имеется только одна обратная корреляция СД с $Вл$ ($r=-0,429$). Таким образом, число выявленных статистически значимых корреляционных связей функциональных показателей с факторами земной и космической «погоды» различно у разных индивидуумов (от 1 до 7). Больше всего связей обнаружено с P (10 у 4 лиц), далее идут PO_2 (8 связей у 5 лиц), T (5 связей у 5 лиц), $Вл$ (5 связей у 4 лиц), A_p (3 связи у 3 лиц) и K_p (3 связи у 2 лиц). Из функциональных показателей чаще всего зависимыми и наиболее чувствительными оказались ЖИ (9 связей), МЗД и ИС (по 5 связей), менее чувствительны ЧСС, ДП, СД и ВПЗМР (по 3 связи), а также ДД и СИ (по 1 связи). Представляют интерес и умеренные, пусть и статистически незначимые, корреляции с коэффициентом 0,3...0,4, указывающие на

вероятные тенденции. С учётом этих и значимых коэффициентов ЖИ у 7 лиц из 8 прямо коррелируют с Т, а у 6 лиц ЖИ обратно коррелирует с PO_2 . С Р выявляется 17 таких связей, с Вл, Т, PO_2 — по 16 связей, с Ар — 15 связей, с Кр — 8 связей.

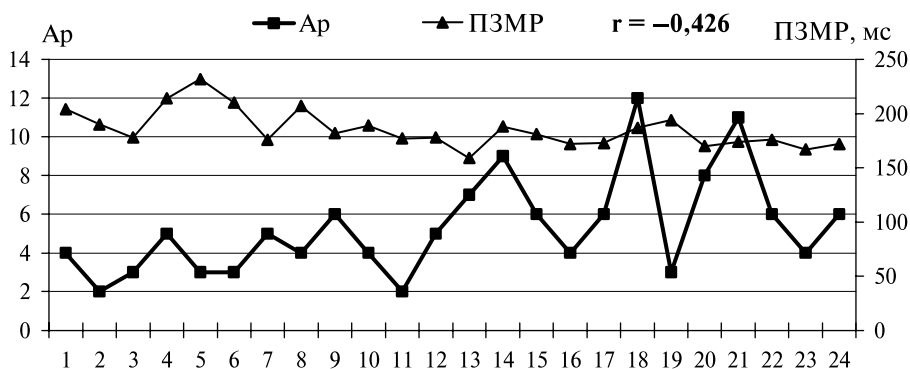


Рис. 1. Многомесячная динамика Ар-индекса и времени ПЗМР у волонтера 3

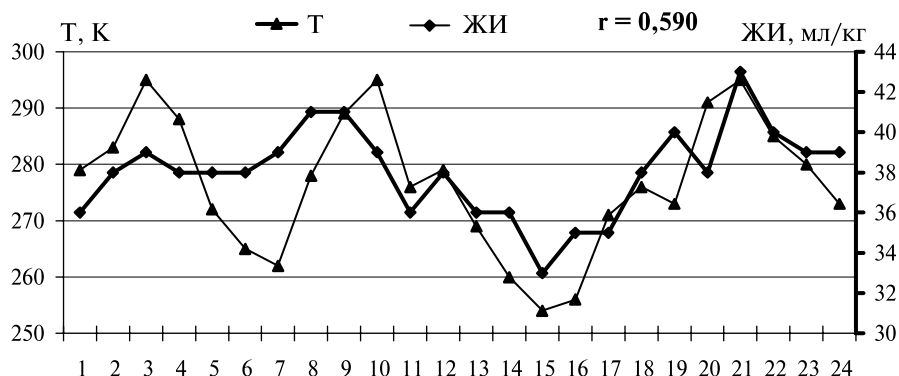


Рис. 2. Многомесячная динамика температуры атмосферного воздуха и жизненного индекса у волонтера 4

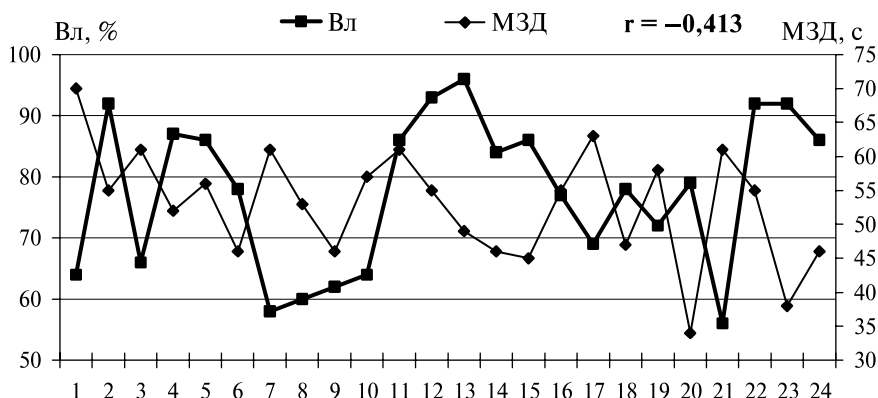


Рис. 3. Многомесячная динамика влажности атмосферного воздуха и времени максимальной задержки дыхания у волонтера 5

В качестве наглядного доказательства найденных связей приводим примеры некоторых пар динамических рядов внешних факторов и функциональных показателей у отдельных волонтеров на рис. 1–6.

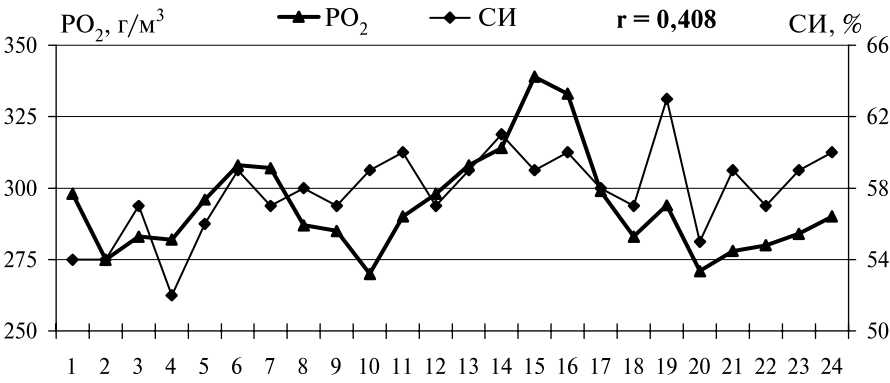


Рис. 4. Многомесячная динамика PO₂ и силового индекса у волонтера 1

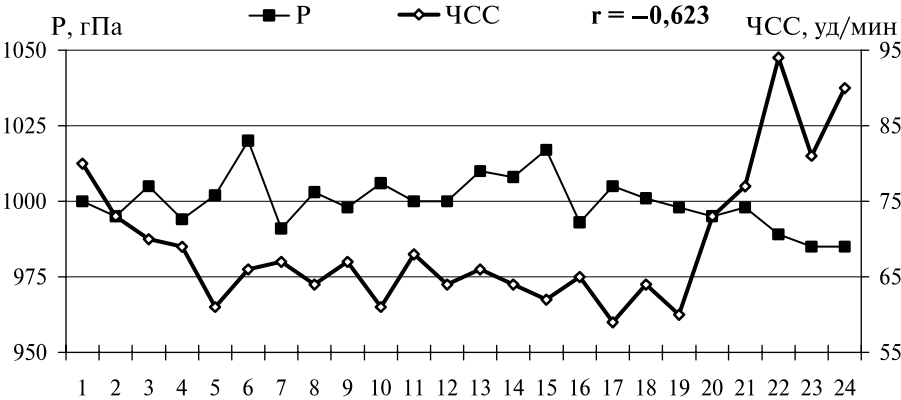


Рис. 5. Многомесячная динамика атмосферного давления и ЧСС у волонтера 2

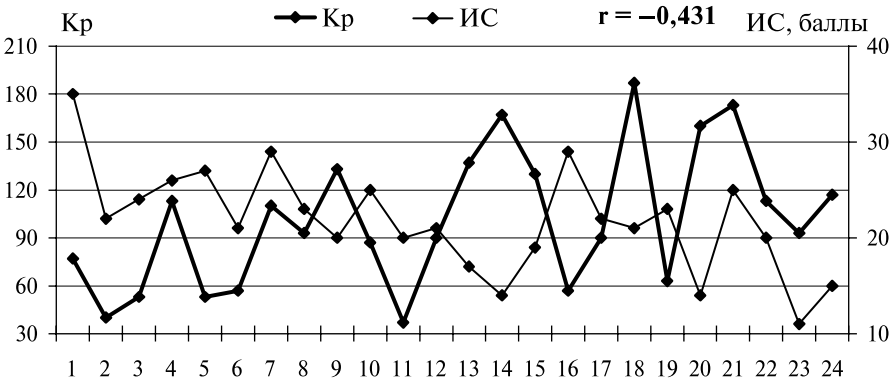


Рис. 6. Многомесячная динамика Kp-индекса и индекса Скибинской у волонтера 3

В ходе многомесячного мониторинга была сделана попытка оценить влияние возмущённой геомагнитной активности (ГМА) на организм волонтеров. Для этого 18 февраля 2011 г. в день повышенной ГМА волонтеры были приглашены для внеочередного обследования и их пришлось оповестить о наличии «магнитной бури». Полученные в этот день данные были сравнены с результатами обследования этих же людей в дни со спокойной ГМА (9, 10, 15 и 16 февраля 2011 г.). Усреднённые данные такого сравнения представлены в таблице.

Сравнение функциональных показателей у 8 волонтеров-северян при спокойной и возмущённой геомагнитной активности ($M \pm SD$)

Показатели	Спокойная ГМА	Возмущённая ГМА
Кр-индекс	85±40	267*
Ар-индекс	4±1,8	21*
Атмосферное давление, гПа	996±4,8	1003*
PO ₂ , г/м ³	323±6,3	325
Температура атмосферного воздуха, °C	-23,7±4,7	-23,1
Влажность атмосферного воздуха, %	76,7±2,9	76,1
Температура воздуха в помещении, °C	21,6±1,4	21,3
Влажность воздуха в помещении, %	28±1,1	28
Самочувствие, баллы	4,00±2,00	4,38±2,00
Простая ЗМР, мс	200±21	212±30
Сложная ЗМР, мс	252±30	241±19
САД, мм рт. ст.	120±7,1	123±7,2
ДАД, мм рт. ст.	75±5,8	77±3,6
ПД, мм рт. ст.	45±9,5	46±6,5
СДД, мм рт. ст.	91±3,8	93±3,6
ЧСС, уд/мин	69±7,6	72±11,8
ДП, усл. ед.	83±11,1	89±18,5
ВИК, %	-11±6,2	-10±7,8

*Примечание.** Статистически значимые различия между наблюдениями с разной ГМА.

В день с возмущённой ГМА помимо резкого возрастания Кр-индекса и Ар-индекса было несколько повышено атмосферное давление, остальные параметры внешней среды на улице и в помещении были идентичными. Как следует из таблицы, ни по одному из функциональных показателей не наблюдалось статистически значимых сдвигов. Но всё же следует обратить внимание на тенденции в реакциях некоторых показателей, причём однозначные, говорящие об ухудшении состояния организма. Это относится к увеличению баллов самочувствия (нормой считается до 2 баллов), удлинению времени простой ЗМР (превышения верхней границы среднестатистической нормы для жителей средней полосы в 200 мс), возрастанию САД, ДАД, СДД, ЧСС, ДП. Наблюдаемые «ножницы» между временем простой ЗМР (удлинение)

и временем сложной ЗМР (укорочение), так называемые «парадоксальные» реакции, свидетельствуют о неуравновешенности процессов в центральной нервной системе и напряжении организма при возмущённой ГМА. Из всех показателей наибольший относительный сдвиг произошёл в уровне ДП (на 7 %), что является свидетельством возросшей гемодинамической нагрузки на сердце. Значения ВИК в обоих случаях (при спокойной и возмущённой ГМА) одинаковы и отрицательны, что говорит о сохранении доминирования парасимпатического влияния на кровообращение.

Переходя к обсуждению индивидуальных и среднegrupповых данных, уместно отметить, что при планировании настоящего исследования мы и не ожидали получения чётких и однозначных результатов. Мы исходим из известных представлений о том, что, с одной стороны, фактор, воздействующий на организм человека, должен быть достаточным по интенсивности (выше порога влияния, как это принято в гигиене и экологии человека), чтобы вызвать заметные реакции биосистемы (причём гомеостатируемой биосистемы). С другой стороны, и организм должен быть чувствительным к интересующим нас внешним воздействиям. Для восприятия ряда изучаемых так называемых детерминированных факторов (температура, влажность, давление и состав газовой среды) организм имеет рецепторы. К тому же реакции каждого индивидуума на одно и то же детерминированное воздействие могут быть не только разными, но и противоположными, и будут зависеть от типа центральной нервной системы (сила, уравновешенность и другие свойства), типа кровообращения (эукинетический, гиперкинетический, гипокинетический), типа вегетативного тонуса (симпатотоники, нормотоники, ваготоники), ферментного статуса организма, исходного функционального состояния в данный момент и т.д. **Вопрос о рецепции к электромагнитным факторам всё ещё находится в стадии оживлённой дискуссии и не так очевиден.** Хотя понятно, что все живые существа на Земле (начиная от клеток, из которых они построены, и кончая отдельными органами и целостным организмом) являются по сути дела «электромагнитными системами» (без преувеличения можно сказать, что электрические токи являются основой жизни) и не могут быть безучастными к изменениям электромагнитной обстановки в космосе и на Земле, интенсивности излучений разных диапазонов и потоков заряженных частиц. По аналогии с терминологией из области гигиены «электромагнитный фактор» космического происхождения (или космическая погода) скорее всего можно отнести к факторам малой интенсивности, обладающим неспецифическим действием. Хотя в литературе уже устоялись представления о тепловых и нетепловых (информационных) биоэффектах электромагнитных излучений [Пряхин, Аклев, 2006]. Следует ещё добавить, что мешающим фактором при изучении влияния космической погоды на организм является всё возрастающий электромагнитный фон (или электромагнитный смог) техногенного (антропогенного) происхождения, особенно в крупных городах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом вышесказанного можно констатировать, что, несмотря на все трудности и ограничения такого исследования, применённая нами методология длительного ежемесячного обследования одних и тех же людей и сопоставления

данных однократных обследований в разные по геомагнитной активности дни даже при использовании простых и доступных функциональных показателей позволяет получить положительные заключения о влиянии атмосферных и геомагнитных факторов на организм человека, выраженном как в значимых корреляционных связях между внешними воздействиями и функциональными показателями у отдельных волонтеров, так и в однозначных тенденциях ухудшения функционального состояния обследованной группы лиц в день с возмущённой магнитной активностью.

Автор благодарит волонтеров за участие в многомесячных наблюдениях.

ЛИТЕРАТУРА

- [Агаджанян, Макарова, 2001] *Агаджанян Н. А., Макарова И. И.* Влияние геомагнитной активности на кардиореспираторную систему здоровых лиц // *Авиакосмич. и экологич. медицина*. 2001. № 5. С. 46–49.
- [Ассман, 1966] *Ассман Д.* Чувствительность человека к погоде / Пер. с нем. Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1966. 248 с.
- [Баевский и др., 2009] *Баевский Р. М., Берсенева А. П., Берсенов Е. Ю., Луцицкая Е. С., Слепченкова И. Н., Черникова А. Г.* Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей. М.: Фирма «Слово». 2009. 100 с.
- [Бреус, Рапопорт, 2003] *Бреус Т. К., Рапопорт С. И.* Магнитные бури. Медико-биологические аспекты. М.: Советский спорт. 2003. 186 с.
- [Зенченко, 2009] *Зенченко Т. А., Димитрова С., Стоилова И., Бреус Т. К.* Индивидуальные типы реакций артериального давления практически здоровых людей на действие геомагнитной активности // *Клинич. медицина*. 2009. № 4. С. 18–23.
- [Зенченко, 2010] *Зенченко Т. А.* Методика анализа временных рядов данных в задаче комплексной оценки метео- и магниточувствительности организма человека // *Экология человека*. 2010. № 2. С. 3–11.
- [Зенченко и др., 2009] *Зенченко Т. А., Мёрзлый А. М., Поскотинова Л. В.* Методика оценки индивидуальной метео- и магниточувствительности организма человека и её применение на различных географических широтах // *Экология человека*. 2009. № 10. С. 3–11.
- [Зенченко и др., 2011] *Зенченко Т. А., Мёрзлый А. М., Солонин Ю. Г.* Сравнение случаев индивидуальной метеочувствительности человека в экстремальных условиях зимы северных и средних широт // *Экология человека*. 2011. № 11. С. 3–13.
- [Пряхин, Аклеев, 2006] *Пряхин Е. А., Аклеев А. В.* Влияние неионизирующих электромагнитных излучений на животных и человека. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2006. 220 с.
- [Солонин и др., 2010] *Солонин Ю. Г., Марков А. Л., Бойко Е. Р.* Результаты годового медико-экологического мониторинга жителей Севера России // *Авиакосмич. и экологич. медицина*. 2010. № 4. С. 62–66.
- [Солонин и др., 2011] *Солонин Ю. Г., Марков А. Л., Бойко Е. Р.* Результаты донологических исследований участников 105-суточного эксперимента по проекту «Марс-500» // *Технологии живых систем*. 2011. Т. 8. № 1. С. 36–40.
- [Стоилова и др., 2008] *Стоилова И., Димитрова С., Бреус Т. К., Зенченко Т. А., Янев Т.* Солнечно-земные связи и здоровье человека // *Солнечно-земная физика*. 2008. Т. 2. № 12. С. 336–339.
- [Чижевский, 1973] *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973.

- [Astrand, 1960] *Astrand I.* Aerobic work capacity in men and women with special reference to age // *Acta Physiologica Scandinavica*. 1960. V. 49. Suppl. 169. P. 1–92.
- [Kerdo, 1957] *Kerdo I.* Eine neue Untersuchungsmethode zur Erfassung der vegetativen Reaktionslage unter dem Einfluss meteorologischer Faktoren // *Intern. J. Bioclimatology and Biometeorology*. 1957. Pt. 4. Sec. C.
- [Tchijewsky, 1934] *Tchijewsky A. L.* L'action de l'active periodique solaire sur la mortalite generale // *Traite de climatologie biologique et medicale*. Paris.: Publie par M. Piery, 1934. T. 2. P. 1042–1045.

THE RELATIONSHIP OF FUNCTIONAL PARAMETERS WITH ATMOSPHERIC AND GEOMAGNETIC FACTORS IN NORTHERN POPULATION OF MEN DURING THE LONG TERM OBSERVATIONS

Yu. G. Solonin

Institute of Physiology at Komi Science Centre of the Ural Division of Russian Academy of Science, Syktyvkar, Russia, e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

Introduction. Within the framework of the MARS-500 project from April, 2009 to November, 2011 in the North of Russia (Syktyvkar, 62 nl.) the study of test-volunteers group was carried out by the single method developed at the Institute of Biomedical problems of Russian Academy of Science. The goal of the work is to assess the possible effect of atmospheric and geomagnetic factors on the individual volunteers' body during long-term monthly monitoring.

Materials and methods. Monthly (with some interruptions) 8 almost healthy men at the age of 26 to 44 (their mean age was 33) were examined in 24 observation points. Functional parameters such as heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), average dynamic arterial pressure (ADAP), double product (DP), maximal breath-holding at inspiration (MBHI), life index (LI), power index (PI), the Skibinskaya cardiorespiratory index (CRI) and a simple visual-motor reaction time (SVMRT) were measured. The atmospheric data (air pressure — AP, its air humidity — AH, temperature — T) during these days in Syktyvkar were taken from the site <http://meteo.infospace.ru> and geomagnetic data (coefficients of Kp and Ap) were taken from the site ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/geomagnetic_data/indices/kp_ap. Atmospheric oxygen content (PO₂) was calculated using Clapeyron formula. In this work correlation analysis of time series was used in each test-volunteer (intra-correlation). Statistically significant correlation coefficient (at $p < 0,05$) equals 0,41 and above.

Results. The direct link of HR with T and PI with PO₂ were detected in the volunteer 1. CRI and SVMRT with AP, CRI with PO₂ have a direct connection, but DBP, HB and DP with AP, and HB with PO₂ correlate inversely in the volunteer 2. There are the direct link of MBHI with AP, a feedback of MBHI and CRI with AH, MBHI and CRI with Kp, and SVMRT with Ap in the volunteer 3. CRI with AP, LI with T, MBHI with Ap correlates directly, but SVMRT with AP and LI with AH correlate inversely in the volunteer 4. The direct link of MBHI with AH, LI with T and feedback of LI with AH are detected in the volunteer 5. In the volunteer 6 SBP with AP, LI with T, SBP and ADAP with PO₂ correlate directly, LI with PO₂ has the inverse correlation. The direct correlation of LI with T and the inverse correlations of LI with PO₂, DP with Kp and Ap are detected in the volunteer 7. The volunteer 8 has only one inverse correlation of SBP with AH. Thus, the number of identified statistically significant correlation of functional parameters with terrestrial and space “weather” factors are different in different individuals (1 to 7). Most of all correlations with AP (10 correlations in 4 persons) are identified, then comes correlations with PO₂ (8 correlations in 5 persons),

T (5 correlations in 5 persons), AP (5 correlations in 4 persons), Ap (3 correlations in 3 persons) and Kp (3 correlations in 2 persons). Most frequently LI (9 correlations), MBHI and CRI (5 correlations each) appeared to be the most dependent and sensitive indexes, with HR, DP, SBP and SVMRT being less sensitive (3 correlations each). DBP and PI had one correlation each. However statistically insignificant, correlations with 0.3...0.4 coefficients may be of interest as they show the possible tendencies. Taking in to account significant coefficients, LI correlates directly with T in 7 of 8 subjects, with LI inversely correlating with PO_2 in 6 subjects. 17 such correlations are found with P, the number of correlations with AH, $\bar{T}$ and PO_2 being 16, the number of correlations with Ap and Kp being 15 and 8 correspondingly.

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА: СОЗДАНИЕ ПЕРВОЙ ОБЩЕДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Н. И. Хорсева^{1,2}, П. Е. Григорьев³, Л. В. Поскотинова⁴, Г. В. Килесса⁵, А. В. Гливенко⁵

¹ Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

² Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: sheridan1957@mail.ru

³ Крымский государственный медицинский университет имени С. И. Георгиевского, Симферополь, Украина, e-mail: mhnty@yandex.ru

⁴ Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия, e-mail: liliya200572@mail.ru

⁵ Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Украина, e-mail: kilessa@gmail.com

Известно, что нервная система человека (особенно центральная нервная система — ЦНС) весьма чувствительна к изменению различных факторов внешней среды; например, во время геомагнитных возмущений изменяются многие психофизиологические параметры. Однако их редко используют для изучения влияния факторов внешней среды на ЦНС; кроме того, как правило, исследователи изучают только *отдельные* психофизиологические показатели, а не их совокупность.

Поэтому цель данной работы — создание программного **комплекса**, позволяющего всесторонне оценить функциональное состояние человека, дать оценку взаимосвязи психических субъективных состояний и комплекса объективных психофизиологических и физиологических показателей при их длительной регистрации и сопоставлять их с параметрами внешней среды (прежде всего, с космофизическими и метеорологическими).

Исходя из результатов многолетних пилотных экспериментов, а также анализа длительного временного ряда ежедневной регистрации психофизиологических параметров нами создана информационная система (ИС), реализованная на веб-портале www.umon.org.ua. «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека», позволяющая:

- а) получать нейродинамические, психологические, психоэмоциональные, гемодинамические показатели от испытуемых независимо от их местонахождения, аккумулировать данные о динамике их состояния;
- б) сравнивать полученные результаты со среднегрупповыми нормами, визуализировать их в виде цветовых шкал, таблиц, графиков, диаграмм;
- в) проводить анализ данных, оценивая состояние человека и его зависимость от действующих факторов, в том числе космофизических;
- г) получать выводы и рекомендации для научных и практических целей.

Информационная система обладает целым рядом преимуществ, среди которых: доступность и экономичность, отсутствие необходимости приобретения дополнительных устройств, датчиков, программного обеспечения. Архитектура ИС позволяет легко подключать дополнительные методики и модули и расширять сферу их применения, являясь основой реализации широкого спектра научно-практических задач по требованию потенциальных заказчиков и/или партнёров.

Кроме ИС, создан отдельный программный продукт «Локальный универсальный мониторинг», который обеспечивает не только регистрацию дополнительных психофизиологических параметров, но и более расширенную интерпретацию полученных результатов. Кроме этого, регистрируемые параметры могут быть также переданы на сайт «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека» для их дальнейшей обработки.

Следует отметить, что все методики и среднегрупповые нормы, используемые в данных программных продуктах, валидизированы с помощью профессионального оборудования — автоматизированного рабочего места психофизиолога, т.е. соответствуют принятым стандартам.

Мы полагаем, что предложенный комплекс может быть использован в любых исследовательских задачах изучения влияния факторов внешней среды на центральную нервную систему человека и позволит проводить эффективное формирование профилактических мероприятий, направленных на сбережение здоровья.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

До сих пор ведутся дискуссии о том, какие структуры и физиологические процессы в организме человека являются «первичными» мишенями воздействия космофизических факторов. Однако, как показывают результаты совокупности исследований, все биологические процессы (от молекулярного до популяционного уровней) так или иначе синхронизированы или реагируют на определённые космофизические факторы. Более того, физико-химические процессы (и не только в воде) также чувствительны к сверхслабым электромагнитным полям. Поэтому каждый из этих процессов может быть первичным в том или ином случае, выполняя сигнальное значение для организма.

Есть мнение, что, несмотря на огромное число новых действующих факторов внешней среды (химическое загрязнение, электромагнитный смог и т.п.), организмы сохранили чувствительность к факторам космической погоды, в которых они эволюционно развивались и которые имеют предсказательную силу в отношении наступления экологически значимых изменений для особи. Именно поэтому для каждого случая имеется своя уникальная и типологически определённая последовательность физиологических реакций, которая развёртывается во времени. И первым, кто описал эти эффекты, был А.Л. Чижевский — основоположник гелиобиологии — нового направления в науке о воздействии космофизических факторов на различные биологические объекты, в том числе и на организм человека [Чижевский, 1973, 1995].

Дальнейшие исследования в этой области указывают на то, что в первую очередь «функциональный отклик» на воздействие космофизических факторов проявляют нервная, а затем — сердечно-сосудистая система организма человека.

Однако число публикаций в области изучения влияния космофизических факторов на нервную систему человека, в отличие от сердечно-сосудистой, невелико, поскольку оценка функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) требует от исследователей использования более трудоёмких методов диагностики, в том числе аппаратных, которые можно условно разделить на две группы. Первую группу составляют методы регистрации изменения электрической или магнитной активности головного мозга или сердца, в том числе и в момент воздействия внешних факторов. Ко второй группе можно отнести использование методов психофизиологической диагностики: оценку времени реакции на различные стимулы, характеристики когнитивных процессов — внимания, памяти и так далее. Кроме того, в силу максимальной сложности цитоархитектонической структуры головного мозга и центральной нервной системы в целом (взаимодействие разных по степени

филогенетической зрелости структур мозга), реакция человека на факторы космической погоды является максимально индивидуализированной. Это значительно затрудняет поиск закономерностей как электрофизиологических, так и психофизиологических свойств нервной системы в человеческих сообществах.

В настоящее время установлено, что и электрическая активность головного мозга (по данным ЭЭГ) в той или иной мере «синхронизирована» как с параметрами геомагнитной активности [Белов и др., 2001; Кануников и др., 2011], так и некоторыми метеорологическим показателям [Пятков, 1989]. В частности, определено, что показатели ЭЭГ различаются у мужчин и женщин, латерально детерминированы, т.е. чувствительность правого и левого полушарий головного мозга к внешним воздействиям различаются. Этот факт особо важен, поскольку межполушарная асимметрия мозга человека характеризует индивидуально-типологические особенности человека и лежит в основе формирования адаптивных программ под влиянием разнообразных факторов, в том числе и космофизических [Белов и др., 2001].

Кроме того, экспериментально доказано, что во время геомагнитных возмущений изменяются многие психофизические параметры: время простой двигательной реакции на звуковой раздражитель [Агапова и др., 2004] и скорость переработки зрительной информации [Агапова и др., 2004; Кайбышев, 1976]; мышечная сила; дискоординация движений [Агаджанян, Власова, 1992; Владимирский, Кисловский, 1982; Кулешова, Пулинец, 2001; Сидякин и др., 1989]; показатели работоспособности [Кайбышев, 1972, 1976; Уразаев, 1978]; внимания и памяти [Агапова и др., 2004; Рыжиков, Раевская, 1982]. Доказано, что колебания ряда психофизиологических показателей человека носят либо синхронный, либо «запаздывающий» характер в зависимости от космофизических параметров, что может отражать разную чувствительность систем организма к соответствующим космофизическим факторам в соответствующем функциональном состоянии [Бобко, Василик, 2004].

Следует отметить, что и психофизические показатели, в частности, время реакции, а также электрическая активность головного мозга — это компоненты единого процесса, с помощью которых можно описать ответ нервной системы на внешние воздействия. Однако, как видно из представленных данных, исследованы лишь связи одиночных показателей организма человека с космофизическими факторами. Но даже на основании уже имеющихся результатов невозможно однозначно установить общие закономерности развёртывания реакций целостного организма и его отдельных систем, в частности, ЦНС, на действие, например, специфических факторов космической погоды — геомагнитные возмущения, геомагнитные штили, смены знака ММП и солнечные вспышки.

Для определения параметров индивидуальной чувствительности к изменчивым факторам внешней среды (экологическим, метеорологическим, космофизическим и другим) необходима длительная регулярная регистрация параметров функционального состояния человека. Только при условии накопления временных рядов (максимально возможной длительности) информативных показателей состояния человека становится возможным достоверно определить и эффективно прогнозировать индивидуальные особенности реагирования организма на факторы различной природы. Именно такой подход позволит разработать адекватные профилактические мероприятия,

направленные на здоровьесбережение не только конкретного индивида, но также обеспечит выявление тех или иных групповых и популяционных эффектов воздействия внешних факторов на организм. Однако реализация подобного рода масштабных исследований невозможна без использования информационных технологий и Интернета.

При проектировании информационной системы (ИС) наиболее важен вопрос выбора её функциональной, пространственной и информационной архитектуры. Из существующих систем мониторинга состояния организма приведём некоторые существующие решения.

Проект ГЕЛИОМЕД (<http://www.geliomed.kiev.ua/>) — программно-аппаратный измерительный комплекс: функциональное состояние испытуемого оценивается на основании анализа ЭКГ-сигнала в фазовом пространстве [Файнзильберг, 2008]. К сожалению, в рамках данной ИС отсутствует возможность реализации исследований без специфических датчиков. Кроме того, получение выводов и рекомендаций не является автоматизированным процессом, что ограничивает область применения таких систем научно-исследовательскими задачами.

Распределённые клиент-серверные информационные системы — «Мониторинг здоровья» (HealthMonitor) (<http://www.healthmonitor.ru/>) и GMON Health Monitor (<http://www.gmon.info/>) — в которых пользователю необходимо на персональном компьютере установить специальное программное обеспечение, позволяю проводить мониторинг соматического здоровья человека. Хранилище данных может быть реализовано в пределах локальной сети организации или на одном персональном компьютере.

Данные программные продукты имеют следующие недостатки: отсутствует централизованное глобальное хранилище, доступное через сеть Интернет, а также не предусмотрены функции анализа связи состояния участников-испытуемых с внешними факторами среды. Тем не менее, существуют системы, позволяющие осуществлять слежение за состоянием человека посредством Интернета через веб-интерфейс. Примером такой технологии является сайт <http://www.monitorad.ru>, на котором возможен анализ показателей гемодинамики (артериального давления и пульса) с их последующей визуализацией и получением рекомендаций от специалистов. Несомненным преимуществом таких систем является их доступность для любого пользователя, которому в этом случае не требуется приобретать специальное оборудование (кроме тонометра).

Перечисленные выше виды информационных систем ограничиваются набором показателей или соматического здоровья (различные виды опросников), или только показателями сердечно-сосудистой системы, и не позволяют проводить комплексное монитирование функционального состояния организма.

СОЗДАНИЕ ПЕРВОЙ ОБЩЕДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Под комплексным монитированием мы понимаем перечень информативных экспресс-методик, которые позволяли бы объективно проводить оценку функционального состояния различных звеньев основных систем организма,

быстро реагирующих на изменение факторов среды. Поэтому для проведения подобного рода исследований, создания некой информационной системы нами были выбраны психофизиологические показатели, поскольку в настоящее время уже доказано, что параметры различных двигательных реакций (простой, сложной) достаточно чётко отражают силовые отношения в коре головного мозга. Динамика времени реакции позволяет получить достаточно адекватное представление о таких параметрах функционального состояния центральной нервной системы как возбудимость, реактивность, лабильность, отражает уровень функционального состояния неспецифических структур мозга, индивидуально-типологические свойства нервной системы и поэтому характеристики времени реакции могут служить надёжным критерием оценки функционального состояния ЦНС. Однако психофизиологические параметры не часто используются для диагностики функционального состояния ЦНС.

Тем не менее, ранее, в исследованиях Хорсевой Н. И. (2004, 2006) было показано, что результаты комплексной диагностики психофизических показателей могут быть использованы в качестве критерия оценки здоровья населения, проживающего в районах с различным уровнем загрязнения. Кроме того, установлено, что индивидуально-типологические особенности человека [Григорьев, Хорсева, 1999; Хорсева, Григорьев, 2005; Хорсева, Зенченко, 2005] и его психические состояния (аналитический обзор работ представлен в диссертации Григорьева П. Е. (2010)) также могут быть детерминированы космофизическими факторами.

Поэтому нами был проведён ряд пилотных экспериментов, позволяющих определить «чувствительность» тех или иных психофизиологических показателей к космофизическим факторам. Так, в работе [Хорсева, Зенченко, 2007] в течение двух месяцев проводилась ежедневная регистрация следующих показателей: простой слухо- и зрительно-моторной реакции (ПСМР и ПЗМР соответственно), сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР), реакции выбора и переработки световых сигналов, работоспособности, утомления, лабильности, показателей когнитивных процессов (произвольного внимания и смысловой памяти), параметры мелкой моторики руки. Установлено, что показатели ПЗМР, СЗМР, лабильности, смысловой памяти можно отнести к стабильным параметрам. Для показателей ПСМР выявлена достоверная корреляция латентных периодов простой слухо-моторной реакции с Кр-индексом ($p < 0,05$). Однако для выявления возможных изменений параметров работоспособности, произвольного внимания и показателей мелкой моторики данный период наблюдений оказался недостаточным и требовалось более длительное мониторинговое наблюдение. Поэтому экспериментальные исследования продолжались.

Дальнейшие исследования показали, что изучение динамики психофизических показателей организма и их зависимости от факторов обычной и космической погоды обязательно должно включать одновременное измерение и показателей артериального давления [Зенченко и др., 2008]. Кроме того, в рамках комплексного исследования, проводимого совместно сотрудниками научных институтов Москвы, Софии и Симферополя, с целью выяснения основных закономерностей распределения в популяции людей с чувствительностью к действию факторов обычной и космической погоды, проводились дальнейшая разработка и тестирование методики мониторинга и последую-

ший анализ психофизиологических показателей с точки зрения их чувствительности к внешним факторам [Зенченко и др., 2009; Zenchenko et al., 2009]. Более детальное изучение динамики психофизиологических показателей, психоэмоционального состояния и параметров гемодинамики в зависимости от космофизических факторов проведено в работах Григорьева П. Е. с соавторами.

В частности, было установлено, что скорость слухо-моторной реакции уменьшается при существенном отклонении геомагнитной активности от средних значений в любую сторону — как до максимальных, так и минимальных величин [Григорьев и др., 2009]. В комплексном мониторинге показателей сердечно-сосудистой, центральной и вегетативной нервной системы и психических состояний установлены вероятные последовательности развития реакций в окрестности дат специфических космофизических событий [Григорьев и др., 2008; Григор'ев и др., 2009]. Обнаружено, что среди систем организма на все типы космофизических событий в первую очередь реагируют психика и ЦНС, а затем запускаются реакции вегетативной нервной и сердечно-сосудистой систем.

Кроме того, анализ накопленных результатов показал, что при проведении мониторинговых исследований с использованием психофизиологических методов и регистрации параметров гемодинамики, обязательно должно учитываться и психо-эмоциональное состояние. Учёт этих параметров позволит объективно оценить влияние факторов внешней среды и выделить компоненту, которая напрямую не зависит от природных условий, а связано только с социальными процессами [Хорсева, Григорьев, 2010].

Проведённые предварительные исследования изменения различных психофизиологических, психоэмоциональных показателей, параметров гемодинамики от космофизических факторов легли в основу разработки информационной системы «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека» и реализованы на веб-портале www.umon.org.ua. Мы полагаем, что совокупность отобранных методов наиболее полно отражает возможные изменения со стороны ЦНС на факторы внешней среды, в том числе, космофизические. Так, показатель времени простой слухо-моторной реакции характеризует величину, обратную скорости взаимодействия сенсорной и моторной коры мозга. Учитывая высокую реактивность биоэлектrogenеза височных областей головного мозга при изменении геомагнитной активности [Кануников и др., 2010], можно говорить о высокой функциональной взаимосвязи высших центров обработки внешней информации как медико-базальных структур головного мозга, так и корковых анализаторов аудиальной информации в периоды геомагнитных возмущений.

Параметр устойчивости произвольного внимания, являясь динамической характеристикой внимания, определяет активность гиппокампальной системы [Виноградова, 1975; Swansson, 1982]. Показатели мелкой моторики руки, регистрируемые набором субтестов хаотичного десятипальцевого теппинга, отражают функциональное состояние моторных зон коры головного мозга и межполушарные взаимодействия [Григал, Хорсева, 2007]. Оценку психоэмоционального состояния (самочувствие, активность, настроение, тревожность, агрессивность, социум) проводили с помощью метода семантического дифференциала Ч. Осгуда и методики «САН» [Бачериков и др., 1988] в нашей модификации [Григорьев и др., 2008а].

Все перечисленные методы реализованы в виде программного продукта, находятся в открытом доступе на сайте www.umon.org.ua и могут быть установлены на компьютер пользователя с любой операционной системой семейства Windows. Анализ состояния гемодинамики и вегетативной нервной системы проводится по результатам последовательного трехкратного измерения тонометром систолического, диастолического артериального давления и частоты пульса в состоянии покоя. Результаты заносятся в специальную таблицу. На основании внесённых данных автоматически производится вычисление показателей пульсового давления и индекса Кердо, позволяющего оценить преобладание симпатического или парасимпатического звена вегетативной регуляции. Следует отметить, что последовательное выполнение всех предложенных тестов (с регистрацией показателей гемодинамики) не превышает 12...15 минут.

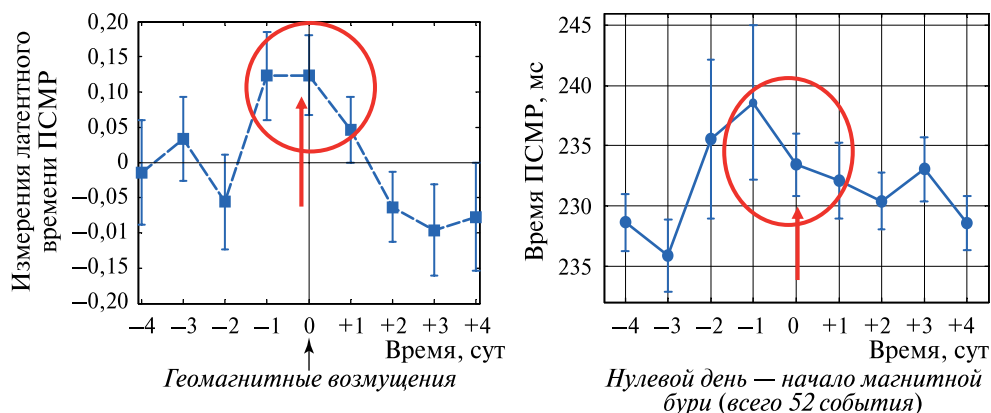
Таким образом, все перечисленные компоненты реализованы нами на сайте «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека» и позволяют:

- а) **получать нейродинамические, психологические, психоэмоциональные, гемодинамические показатели от испытуемых независимо от их местонахождения, аккумулировать данные о динамике их состояния;**
- б) **сравнивать полученные результаты со среднегрупповыми нормами, визуализировать их в виде цветовых шкал, таблиц, графиков, диаграмм.**
- в) **проводить анализ данных, оценивая состояние человека и его зависимость от действующих факторов, в том числе, космофизических;**
- г) **получать выводы и рекомендации для научных и практических целей.**

Разработанная нами информационная система (ИС) обладает целым рядом преимуществ, среди которых: доступность и экономичность, отсутствие необходимости приобретения дополнительных устройств, датчиков, программного обеспечения. Архитектура ИС [Григорьев, 2010; Григорьев, Хорсева, 2010; Григорьев и др., 2010а; Килесса и др., 2010а, б; Оленчук и др., 2010] позволяет легко подключать дополнительные методики и модули и расширять сферу их применения, являясь основой реализации широкого спектра научно-практических работ.

Кроме ИС, создан отдельный программный продукт «Локальный универсальный мониторинг», который обеспечивает не только регистрацию дополнительных психофизиологических параметров (механическую и смысловую память, простую зрительно-моторную реакцию), но и более расширенную интерпретацию полученных результатов. Кроме этого, регистрируемые параметры могут быть также переданы на сайт «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека» для их дальнейшей обработки и сопоставления с временными рядами космофизических индексов.

Следует отметить, что все методики и среднегрупповые нормы, используемые в данных программных продуктах, валидизированы с помощью профессионального оборудования — автоматизированного рабочего места психофизиолога, т.е. соответствуют принятым стандартам. При длительном мониторинге сравнение идёт также в рамках индивидуальных нейродинамических особенностей испытуемого.



Изменения латентного времени простой слухо-моторной реакции (ПСМР) в группе (слева) и индивидуальной динамики (справа) в диапазоне ± 4 суток относительно дат геомагнитных возмущений (нулевой день)

Результаты, которые мы получили при обработке данных 227 человек, зарегистрированных на сайте, и 50 волонтеров, которые проводят мониторинги с использованием программы «Локальный универсальный мониторинг», показывают, что при выявлении групповых эффектов следует более тщательно подходить к формированию самих групп для дальнейшего анализа данных, включая в них лиц с *однотипными* изменениями тех или иных показателей и одинаковыми индивидуально-типологическими особенностями (см. рисунок).

По оси абсцисс — время (сутки) до и после геомагнитных возмущений; по оси ординат — соответствующие параметры ПСМР.

Видно, что характер изменения времени реакции на звуковой сигнал в группе (длительность наблюдений не превышала 1,5...2 месяцев) несколько различается с индивидуальными показателями (более 1,5 тыс. дней измерений, 52 события). Возможно, это связано как с длительностью анализируемого ряда наблюдений, так и с индивидуальными особенностями реагирования данного волонтера. Кроме того, на этом же длительном ряде наблюдений удалось выявить, что число запаздывающих реакций на звуковой сигнал повышается в день геомагнитного возмущения, а в группе такой эффект отсутствовал.

Следует отметить, что для удобства пользователей вывод результатов осуществлялся в виде интерактивных графиков и таблиц, формирования отчетов (файлы формата PDF), экспорта результатов в файл формата CSV.

Таким образом, разработанная нами информационная система «Универсальный мониторинг экологического здоровья человека» и программа «Локальный универсальный мониторинг» социальноориентирована, доступна и позволяют осуществить личностно-ориентированный подход к анализу данных функционального состояния человека. Мы полагаем, что это даёт возможность дифференцированного подхода к анализу изменений психофизиологических показателей для определённых групп лиц (в том числе в областях деятельности человека, связанных с повышенным риском для здоровья, работы в экстремальных условиях), что в свою очередь увеличивает точность прогноза реагирования их на те или иные факторы внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА

- [Агаджанян, Власова, 1992] *Агаджанян Н. А., Власова И. Г.* Влияние инфранизкочастотного магнитного поля на ритмику нервных клеток и их устойчивость к гипоксии. // *Биофизика*. 1992. Т. 37. № 4. С. 681–689.
- [Агапова и др., 2004] *Агапова О. Б., Кормалыга В. И., Маджитов Р. У., Седакова Л. М.* Влияние колебаний космофизического фона на успеваемость учащихся среднего звена в школе // *Журн. проблем эволюции открытых систем*. 2004. Вып. 6. Т. 1. С. 143–147. Цит. по *Ковалёва А. В.* Влияние электромагнитных полей и излучений на биообъекты // *Актуальні питання біології, екології та хімії*. 2009. № 1. С. 64–85.
- [Бачеригов и др., 1988] *Бачеригов Н. Е., Воронцов М. П., Добромиль Э. И.* // Психогигиена умственного труда учащейся молодёжи. Киев: Здоровье, 1988. 165 с.
- [Белов и др., 1998] *Белов Д. Р., Кануников И. Е., Киселёв Б. В.* Зависимость пространственной синхронности ЭЭГ человека от геомагнитной активности в день опыта // *Росс. физиологич. журн. им. И. М. Сеченова*. 1998. Т. 84. № 8. С. 761–774.
- [Белов и др., 1999] *Белов Д. Р., Кануников И. Е., Киселёв Б. В.* Зависимость пространственной синхронности ЭЭГ человека от геомагнитной и солнечной активности // *Электромагнитные поля. Биологич. действие и гигиенич. нормирование*. Женева. 1999. 229–236.
- [Белов и др., 2001] *Белов Д. Р., Гетманенко О. В., Киселёв Б. В.* Двухфазная реакция нервной системы человека на геомагнитные бури по данным ЭЭГ // *Рос. физиологич. журн. им. И. М. Сеченова*. 2001. Т. 87. № 3. С. 296–314.
- [Бобко, Василик, 2004] *Бобко Н. А., Василик П. В.* Влияние космофизических факторов на психофизиологические показатели оператора в условиях круглосуточного производства: роль функционального состояния // *Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности»: Стендовый докл. Пушино-на-Оке*. 2004. [Электрон. текст]. Режим доступа: www.cosmos.ru/puschino/ppt/bobko.doc.
- [Виноградова, 1975] *Виноградова О. С.* Гиппокамп и память. М.: Наука, 1975. 333 с.
- [Владимирский, Кисловский, 1982] *Владимирский Б. М., Кисловский Л. Д.* Солнечная активность и биосфера. М.: Знание, 1982. 64 с.
- [Григал, Хорсева, 2007] *Григал П. П., Хорсева Н. И.* Способ диагностики мелкой моторики руки. Патент РФ. № 2314743.
- [Григор'ев и др., 2009] *Григор'ев П. Є., Поскотінова Л. В., Цандеков П. А., Подзносєва З. Л.* Зміни стану організму здорової людини в умовах проходження геліогеофізичних подій різних класів // *Питання біоіндикації та екології*. 2009. Вип. 14. № 2. С. 215–235.
- [Григорьев, 2010] *Григорьев П. Е.* Информационная технология мониторинга состояния человека для определения его зависимости от космофизических факторов. Дисс. ... д-ра биол. наук. Киев, Симферополь, 2010. 362 с.
- [Григорьев, Хорсева, 1999] *Григорьев П. Е., Хорсева Н. И.* О возможной корреляции конфигурации межпланетного магнитного поля и типа нервной системы человека в момент его рождения // *Тез. докл. Крымского Международ. семинара «Космич. экология и ноосфера»*. Партенит, Крым, Украина. 4–9 окт. 1999. С. 33.
- [Григорьев, Хорсева, 2010] *Григорьев П. Е., Хорсева Н. И.* Информационная система для изучения воздействия космической погоды на организм человека // *Вестн. Алматинского ун-та энергетики и связи*. 2010. № 4(11); *Материалы 7-й Юбилейной международ. научно-технич. конф. «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях»*. Алматы, Казахстан. 23–25 сент. 2010. С. 74–79.

- [Григорьев и др., 2008а] *Григорьев П. Е., Владимирская А. Б., Вайсман А. М.* Связь динамики психических состояний здоровых лиц с космофизическими факторами // Таврич. медико-биологич. вестн. 2008. Т. 11. № 11. С. 82–88.
- [Григорьев и др., 2008б] *Григорьев П. Е., Поскотинова Л. В., Цандеков П. А.* Динамика системных реакций организма человека на космофизические факторы // Таврич. медико-биологич. вестн. 2008. Т. 11. № 4(44). С. 124–134.
- [Григорьев и др., 2009] *Григорьев П. Е., Поскотинова Л. В., Цандеков П. А.* Зависимость слухо-моторной реакции здорового человека от геомагнитной активности // Фізіологічний журн. 2009. Т. 55. № 3. С. 128–132.
- [Григорьев и др., 2010а] *Григорьев П. Е., Килесса Г. В., Хорсева Н. И., Храмов В. В., Оленчук А. В., Асанов Э. Э.* Информационная система диагностики для определения зависимости состояния человека от действия космофизических факторов // Клинич. информатика и телемедицина. 2010. Т. 6. Вып. 7. С. 83–89.
- [Григорьев и др., 2010б] *Григорьев П. Е., Хорсева Н. И., Григал П. П., Сергачев И. А., Подзноева З. Л., Храмов В. В.* Создание информационной технологии изучения зависимости функционального состояния человека от космофизических факторов // Геофизич. процессы и биосфера. 2010. Т. 9. № 1. С. 63–73.
- [Григорьев и др., 2010в] *Григорьев П. Е., Хорсева Н. И., Козак Л. М.* Биотехническая система диагностики состояния человека и его связи с космофизическими факторами // Кибернетика и вычислительная техника. 2010. Вып. 161. С. 68–80.
- [Григорьев и др., 2010г] *Григорьев П. Е., Хорсева Н. И., Поскотинова Л. В., Килесса Г. В.* Информационная технология глобальных исследований влияния космофизических факторов на человека // Космос и жизнь: единство и многообразие: Коллективная монография / Под ред. Григорьева П. Е., Сулейменова И. Э. Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. С. 5–31.
- [Григорьев и др., 2012] *Григорьев П. Е., Килесса Г. В., Хорсева Н. И., Овсянникова Н. М.* Информационно-программное обеспечение для комплексного мониторингирования и экспресс-тестирования психофизиологического состояния человека // Кибернетика и вычисл. техника. 2012. Вып. 167. С. 75–87.
- [Зенченко и др., 2008] *Зенченко Т. А., Цандеков П. А., Григорьев П. Е., Мёрзлый А. М., Зенченко К. И., Хорсева Н. И., Григал П. П.* Исследование характера связей физиологических и психофизиологических показателей человеческого организма с метеорологическими и геомагнитными факторами // Геофизич. процессы и биосфера. 2008. Т. 7. № 3. С. 25–36.
- [Зенченко и др., 2009] *Зенченко Т. А., Хорсева Н. И., Григал П. П., Мёрзлый А. М., Цандеков П. А., Григорьев П. Е., Подзноева З. Л., Бреус Т. К., Стоилова И., Димитрова С., Джорданова М.* Метод мониторинга психофизиологических показателей человека для определения степени индивидуальной чувствительности к внешним факторам // Тр. Болгарской академии наук. 2009. С. 166–170.
- [Кайбышев, 1972] *Кайбышев М. С.* О значении гелиобиологического прогноза в практике гражданской авиации. // Солнце, электричество, жизнь. 1972. С. 20–21.
- [Кайбышев, 1976] *Кайбышев М. С.* Изучение изменений работоспособности лётного состава при геомагнитных возмущениях // Солнце, электричество, жизнь. 1976. С. 31–33.
- [Кануников и др., 2010] *Кануников И. Е., Белов Д. Р., Гетманенко О. В.* Влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека // Экология человека. 2010. № 6. С. 6–11.
- [Кануников и др., 2011] *Кануников И. Е., Киселев Б. В., Кисёлев В. Б., Шамаева Т. Ф.* Влияние геомагнитной активности на рекуррентную динамику электроэнцефалограммы человека // Вопросы геофизики. Вып. 44. СПб., 2011 С. 172–178 (Учёные записки СПбГУ; № 444).

- [Килесса и др., 2010а] *Килесса Г. В., Асанов Э. Э., Григорьев П. Е., Хорсева Н. И.* Универсальный мониторинг экологического здоровья человека. Сообщение 1. Информационная технология мониторинга функционального состояния человека от действия космофизических факторов // Тр. 10-й Ежегод. молодеж. конф. ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика». Москва, 8–10 нояб. 2010. С. 94–98.
- [Килесса и др., 2010б] *Килесса Г. В., Шмидт М. В., Хорсева Н. И., Григорьев П. Е.* Универсальный мониторинг экологического здоровья человека. Сообщение 3. Программа-клиент информационной системы мониторинга функционального состояния человека от действия космофизических факторов // Тр. 10-й Ежегод. молодеж. конф. ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика». Москва, 8–10 нояб. 2010. С. 100–103.
- [Килесса и др., 2010в] *Килесса Г. В., Шмидт М. В., Григорьев П. Е., Хорсева Н. И.* Архитектура программного обеспечения для комплексного психофизиологического мониторингирования // Тр. 10-й Ежегод. молодеж. конф. ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика». Москва, 8–10 нояб. 2010. С. 102–105.
- [Кулешова, Пулинец, 2001] *Кулешова В. П., Пулинец А.* Частота появления тяжёлых травм в периоды планетарных геомагнитных бурь // Биофизика. 2001. Т. 46. № 5. С. 927–929.
- [Оленчук и др., 2010] *Оленчук А. В., Асанов Э. Э., Килесса Г. В., Григорьев П. Е., Хорсева Н. И.* Универсальный мониторинг экологического здоровья человека. Сообщение 2. Серверная компонента информационной системы мониторинга функционального состояния человека от действия космофизических факторов // Тр. 10-й Ежегод. молодеж. конф. ИБХФ РАН-ВУЗЫ «Биохимическая физика». Москва, 8–10 нояб. 2010. С. 98–100.
- [Пятков, 1989] *Пятков А. В.* Корреляционный анализ метеолабильности церебрального гомеостаза у практически здоровых молодых людей Европейского Севера // Тез. докл. Регионального симп. «Адаптация к экстремальным геофизическим факторам и профилактика метеотропных реакций». Новосибирск, 1–3 нояб. 1989. С. 37–40.
- [Рыжиков, Раевская, 1982] *Рыжиков Г. В., Раевская О. С.* Влияние геомагнитного поля на некоторые показатели психической деятельности // Психологич. журн. 1982. № 6. С. 73–75.
- [Сидякин и др., 1989] *Сидякин В. Г., Янова Н. П., Баженова С. И., Архангельская Е. В.* // Биофиз. и клинич. аспекты гелиобиологии. Л., 1989. С. 87–92.
- [Уразаев, 1978] *Уразаев А. М.* Физиологические свойства нервной системы как критерий индивидуально-типологических различий реакций человека-оператора на магнитное поле // Применение магнитного поля в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов. 1978. С. 100.
- [Файнзильберг, 2008] *Файнзильберг Л. С.* Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. Киев.: Наукова думка, 2008. 333 с.
- [Хорсева, 2004] *Хорсева Н. И.* Экологическое значение естественных электромагнитных полей в период внутриутробного развития человека: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.02. М., 2004. 144 с.
- [Хорсева, 2006] *Хорсева Н. И.* Психофизиологические показатели как критерий оценки экологической безопасности места проживания // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей: Сб. науч. тр. М.: АдамантЪ, 2006. 246 с.
- [Хорсева, Григорьев, 2005] *Хорсева Н. И., Григорьев П. Е.* Возможная роль космофизических факторов в развитии симптомокомплекса послеродовой энцефалопатии // Геофиз. процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № 1–2. С. 98–100.
- [Хорсева, Григорьев, 2010] *Хорсева Н. И., Григорьев П. Е.* Методические подходы к обработке индивидуальных данных компьютеризированного мониторинга функ-

- ционального состояния человека. Ч. 1. Учёт психоэмоционального состояния // Таврич. медико-биологич. вестн. 2010. Т. 13. № 3(51). С. 242–247.
- [Хорсева, Зенченко, 2005] *Хорсева Н. И., Зенченко Т. А.* Сравнение индивидуально-типологических особенностей людей, рождённых в разные годы 21–23-го циклов солнечной активности // Тез. 6-й Международ. крымской конф. «Космос и биосфера». Партенит, Крым, Украина, 26 сент. – 1 окт. 2005. С. 76.
- [Хорсева и др., 2007] *Хорсева Н. И., Зенченко Т. А., Григал П. П.* Предварительные результаты оценки чувствительности психофизиологических показателей к геомагнитной активности // Тез. докл. 7-й Международ. крымской конф. «Космос и биосфера». Судак, Крым, Украина. 1–6 окт. 2007. Киев, Mavis, 2007. С. 80.
- [Чижевский, 1973] *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 349 с.
- [Чижевский, 1995] *Чижевский А. Л.* Космический пульс жизни: Земля в объёмах Солнца. Гелиотараксия. М.: Мысль, 1995. 770 с.
- [Swansson, 1982] *Swansson L. M.* Normal hippocampal circuitry. Anatomy // Neurosciences Research Program Bull. 1982. N. 20. P. 624–634.
- [Zenchenko et al., 2009] *Zenchenko T. A., Breus T. K., Merzlyi A. M., Grigoriev P. E., Stoilova I., Jordanova M., Dimitrova S., Khorseva N. I., Grigal P. P.* Method of Psychophysical Parameters Monitoring for Revealing of Human Sensitivity to Geomagnetic and Meteorological Factors / Eds. Jordanova M., Lievens F. Global Telemedicine / eHealth Updates: Knowledge Resources. Luxembourg: Luxexpo, 2009. V. 2. P. 371–375.

INTEGRATIVE APPROACH TO STUDY THE EFFECT OF COSMOPHYSICAL FACTORS ON FUNCTIONAL STATE OF HUMAN HEALTH. INTERNATIONAL PROJECT

N. I. Khorseva^{1,2}, *P. E. Grigoryev*³, *L. V. Poskotinova*⁴, *G. V. Kilessa*⁵, *A. V. Glivenko*⁵

¹ Institute of Biochemical Physics named after N. M. Emanuel RAS, Moscow, Russia

² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia, e-mail: sheridan1957@mail.ru

³ Crimea State Medical University named after S. I. Georgievsky, Simferopol, Ukraine, e-mail: mhnty@yandex.ru

⁴ Institute of Physiology of Natural Adaptations Ural section of RAS, Archangelsk, Russia, e-mail: liliya200572@mail.ru

⁵ Tavrida National University named after V. I. Vernadsky, Simferopol, Ukraine, e-mail: kilessa@gmail.com

It is known that nervous system (especially the central nervous system, CNS) is very sensitive to the environmental changes, for example, geomagnetic disturbances can affect many physiological parameters. However, they are rarely used to study the influence of environmental factors on CNS. Moreover, researchers have been studying only particular physiological parameters, but not their complex effect.

The aim of this work to develop a software complex that enables a comprehensive evaluation of the functional state of a person and assess the relationship between subjective mental state and objective psycho-physiological and physiological parameter, their monitoring and comparison with some environmental parameters (mainly cosmophysical and meteorological).

We have developed an information system (IS) based on the results of long-term pilot experiments and analysis of time trends of daily monitoring of psychophysiological parameters,

uploaded on a web-portal www.umon.org.ua “Universal monitoring of environmental health” where one can:

- a) receive neurodynamic, psychological, psycho-emotional, hemodynamic parameters of the subjects irrespective of their location, collect the data of their dynamic;
- b) compare the results obtained to the norms; represent them in the form of color scales, tables, graphs, and diagrams.
- c) analyze the data, assessing the human health state and its dependence on operating factors, including cosmophysical ones;
- g) receive the conclusions and recommendations for scientific and practical purpose.

IS has many advantages, including: the availability and affordability, there is no need to purchase additional devices, sensors and software. Architecture of IS makes it easy to upgrade with new modules and techniques and to expand their scope, as a basis for implementing a wide range of scientific and practical tasks per request of prospective customers and/or partners.

In addition to IS, it has been created a separate software product called “Local universal monitoring” which provides a registration of additional psycho-physiological parameters as well as enhanced interpretation of the results. The recorded parameters can be transferred to the website “Universal monitoring of environmental health” for their further processing.

It should be noted that all methods and standards used in these software products were validated by means of professional technique — equipped working place of psychophysiological, i.e. satisfy the requirements.

We consider this complex software product could be used in any research work studying the effects of environmental factors on CNS, and will help to develop effective preventive measures.

ВОЗМОЖНЫЕ И НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МАССУ ТЕЛА НОВОРОЖДЁННЫХ

Г. С. Катинас, О. М. Юлдашова, Л. А. Алексина

Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова,
e-mail: gkatinas@mail.ru

При изучении космогеобиосферных связей вопрос стоит не об их существовании, что можно считать доказанным, но, скорее, об условиях, способствующих и обеспечивающих их реализацию.

Высказано предположение, что одного только совпадения частот колебаний (их конгруэнтности), недостаточно чтобы между космогелиогеофизическими изменениями и биологическими ритмами возник резонанс. Ещё одним необходимым условием возникновения резонансов, поскольку такие сигналы не синусоидальны, может стать их форма.

Это предположение было проанализировано сопоставлением колебаний напряжённости магнитного поля (A_p) и такого общепринятого антропологического показателя как масса тела (МТ) новорождённых.

Данные о МТ новорождённых мальчиков были выписаны в медицинских архивах шести районов Кыргызстана из историй родов с 18 июля 2003 по 21 августа 2011 г. (длина временного ряда 2956 сут, т. е. 8,09 года). Данные о геомагнитном поле за тот же отрезок времени были заимствованы на сайтах <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>, <ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov> и <http://www.ngdc.noaa.gov/>.

Так как данные о МТ — неравноотстоящие, то анализ спектра и аппроксимацию формы сигналов на выделенных частотах осуществляли специализированными программами, допускающими такую организацию временных серий.

Было выявлено, что совпадение частот и изменчивости формы сигналов (вследствие изменчивости того и другого признаков) наблюдается только в отдельные отрезки времени продолжительностью от немногих месяцев до 1 года, следовательно, вероятность возникновения резонансов A_p и МТ на всём протяжении изученного срока весьма различна, и они кратковременны. Это и может быть одной из причин того, что многие прежние попытки обнаружить связи геомагнитных и биологических явлений долгое время не удавались и, как было ранее подчёркнуто Т. К. Бреус [Бреус, 2003], порождали скептицизм.

При изучении космогеобиосферных связей вопрос стоит не об их существовании, что можно считать доказанным, но, скорее, об условиях, способствующих и обеспечивающих их реализацию. Одним из них может быть совпадение частот колебаний физической и биологической переменных.

Частоты (длительности периодов), у которых их доверительные статистические интервалы взаимно пересекаются, Ф. Халберг назвал конгруэнтными [Cornélissen et al., 2010; Halberg et al., 2008a, b; Katinas et al., 2008], рис. 1.

Фазовым соотношениям совпадающих частот (т. е. их когеренции) уделялось меньше внимания [Cornelissen et al., 1998]. Возникновение резонансов конгруэнтных частот также была лишь отмечено [Halberg et al., 2003, 2010], но не анализировалось подробно.

Одними из первых к важной роли, которую играют в жизни человечества и всей живой природы космогеобиосферные связи, обратили внимание А. Л. Чижевский [Chizhevsky, 1926, 1940, 1968] и Ф. А. Браун [Brown, 1959, 1960; Brown et al., 1955, 1959].

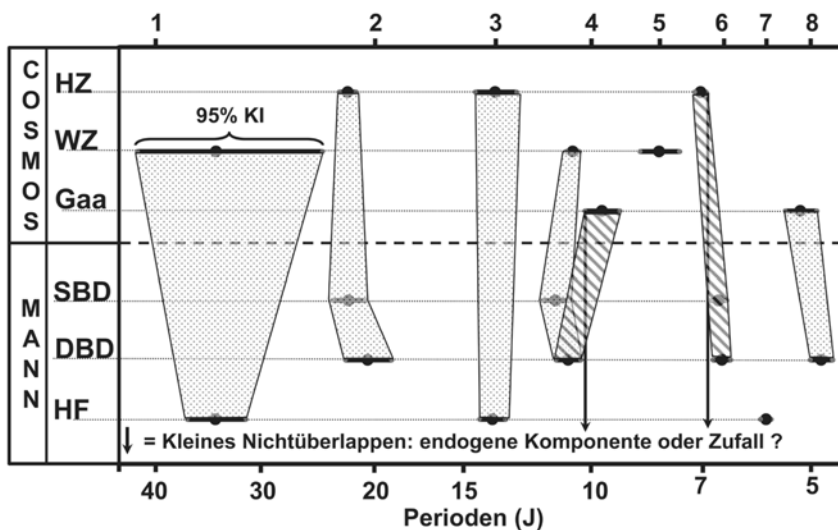


Рис. 1. Конгруэнтность гелиогеофизических и биологических циклов. Оси абсцисс (логарифмическая шкала): сверху — частоты (циклов за 40 лет); снизу — длительность периодов (годы). COSMOS, космические проявления: HZ — цикл Хейла; WZ — цикл солнечной активности (числа Вольфа); Gaa — геомагнитный aa-индекс; MANN, физиологические переменные у мужчины (RBS) по данным непрерывных наблюдений в течение около 40 лет: SBD — систолическое артериальное давление; DBD — диастолическое артериальное давление; HF — частота сердечных сокращений. 95 % CI — 95%-й доверительный интервал. Вертикальные стрелки — небольшие несовпадения доверительных интервалов могут быть расценены либо как случайные, либо как проявление эндогенности многолетних ритмов у человека. Конгруэнтность ритмов выделена точками, только близость — косой штриховкой [Halberg et al., 2008b]

Позже, когда вопросу стали уделять больше внимания, проявления таких связей были показаны на примере самых различных видов патологии, в том числе частоты случаев эпилепсии [Halberg et al., 1991], инсультов [Brown, 1960; Feigin et al., 1997; Villosesi et al., 1994a, b], инфарктов миокарда [Stoupel, 1976] и сердечных приступов иной природы [Halberg et al., 2008], а также в таких социально опасных явлениях («болезнях общества») как дорожно-транспортные происшествия [Strestik, Prigancova, 1986], суициды [Düll, Düll, 1934; Stoupel et al., 1999], убийства [Halberg et al., 2001a] и в других сферах [Halberg et al., 2004; Starbuck et al., 2002]. Один из наиболее подробных обзоров проблемы принадлежит Б.М. Владимирскому [Владимирский и др., 2004]. Было показано также, что выраженность колебаний одинаковой частоты может быть разной при наблюдениях в разных географических широтах [Halberg, 2003]. Связи полученных от Т.К. Бреус и С.И. Рапопорта медицинских данных были проанализированы Ф. Халбергом и его сотрудниками и опубликованы в монографии на русском языке [Бреус, Рапопорт, 2003].

Природные циклы образуют сложную иерархическую структуру, и конгруэнтные колебания обнаружены во всех исследованных в этом направлении диапазонах проявлений процессов жизни отдельных особей и целых популяций. Многие такие циклы картированы, т.е. представлены наглядными схемами. Циркадианные колебания в этом отношении оказались только «верхушкой айсберга изменчивости» [Halberg, 2003].

В широких диапазонах частот выявлены колебания и антропологических показателей [Cornelissen et al., 1998, 2004; Garcia et al., 1993a, b, 1998; Halberg et al., 2001b, 2010; Rosenberg, 1988; Wohlfahrt, 1998].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Достаточно ли наличия конгруентности колебаний, чтобы возник резонанс между космогелиогеофизическими изменениями и биологическими ритмами? Мы полагаем, что условия для этого должны быть кроме того обеспечены ещё и когерентцией сигналов, между которыми в течение хотя бы некоторого времени сохранялись бы постоянные фазовые отношения.

Когда речь идёт о «классических» синусоидальных колебаниях, особых проблем с возможностью резонансов не возникает: при равной частоте они когерентны всегда. Если же сигналы не синусоидальны, то ещё одним необходимым условием возникновения резонансов может стать их форма.

Это предположение было проанализировано сопоставлением колебаний напряжённости магнитного поля (индекса A_p), спектр которого характеризуется колебаниями в различных диапазонах, и такого общепринятого антропологического показателя как масса тела новорождённых.

Являются ли колебания A_p -индекса и МТ когерентными в совпадающих диапазонах, — не ясно.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данные о массе тела новорождённых мальчиков были выписаны из историй родов, которые хранились в медицинских архивах шести районов Кыргызстана, с 18 июля 2003 по 21 августа 2011 г. Таким образом, общая длина временного ряда составила 2956 сут, т.е. 8,09 года. Ряд был очищен от выбросов — значений, которые отличались от средней величины более чем на три стандартных отклонения. Данные о геомагнитном поле за тот же отрезок времени были заимствованы на сайтах <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>, <ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov> и <http://www.ngdc.noaa.gov/>.

Так как данные о МТ — неравноотстоящие, то анализ спектра осуществляли средствами, допускающими такое построение временных серий, — программами, принципы которых описаны ранее [Карп, Катинас, 1989, 1997]. Для выявления скрытых периодичностей и спектрального анализа использовали программы «Непер (Neper)» и «Дрейф (Drift)» [Katinas et al., 2002; Watanabe et al., 2003], для аппроксимации формы сигнала — программу «Форма (Form)» [Катинас, 2008; Катинас, Пупышева, 1997; Katinas et al., 2011]. Динамика отдельных частот прослеживалась методом серийных срезов [Katinas et al., 2002; Watanabe et al., 2003].

ГЛОБАЛЬНЫЕ И СКОЛЬЗЯЩИЕ СПЕКТРЫ

Анализ колебаний был проведён в спектральном диапазоне от 9 лет до 5 сут. Периодограммы в разных диапазонах приведены на рис. 2.

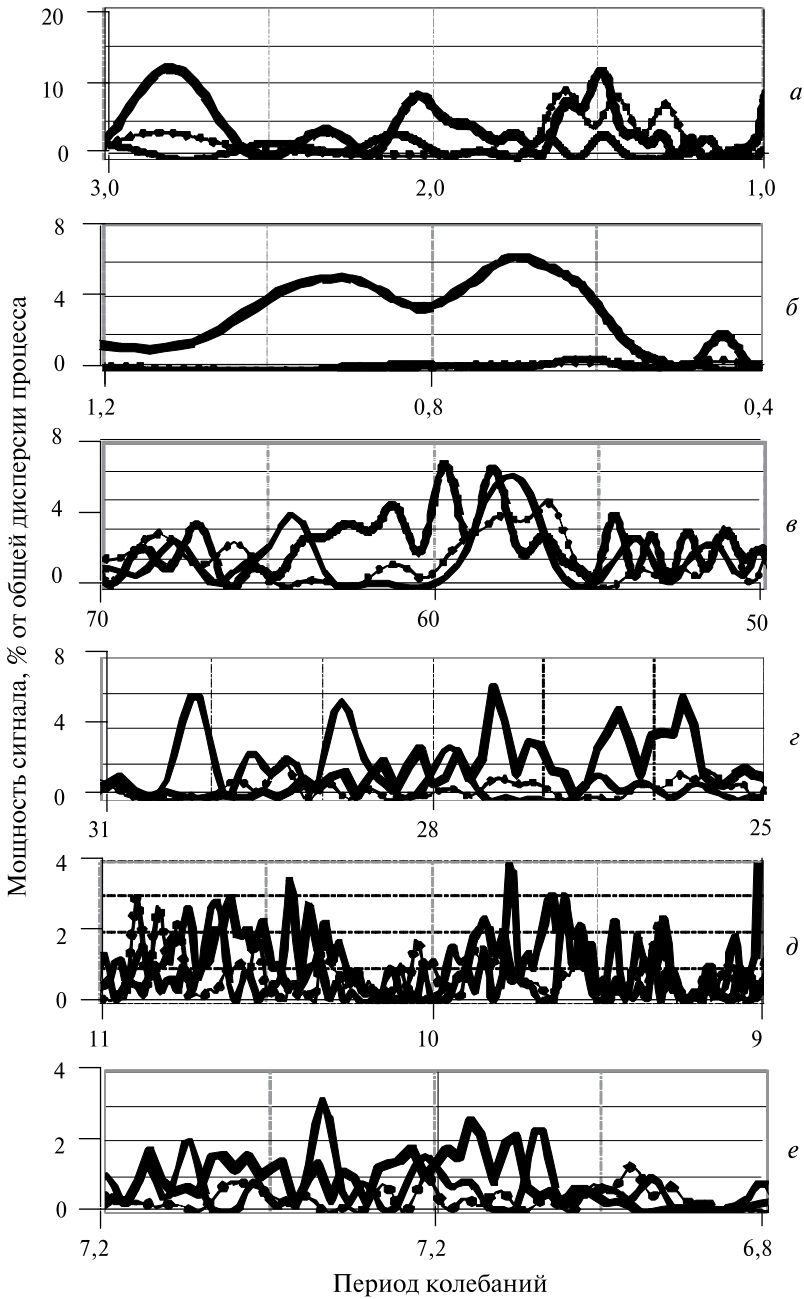


Рис. 2. Периодограммы измерений Ар-индекса, массы тела новорожденных и возможных резонансов в 2003–2011 гг. Диапазоны: *a* — 3...1 год; *б* — 1,2...0,4 года (440...150 сут); *в* — 70...50 сут; *г* — 31...25 сут; *д* — 11...9 сут; *е* — 7,2...6,8 сут. Оси абсцисс: длительность периода колебаний; оси ординат: мощность сигнала (отношение объясненной дисперсии модели к общей дисперсии процесса, %). Линии: толстая — Ар; тонкая — MT; пунктир — модель резонанса

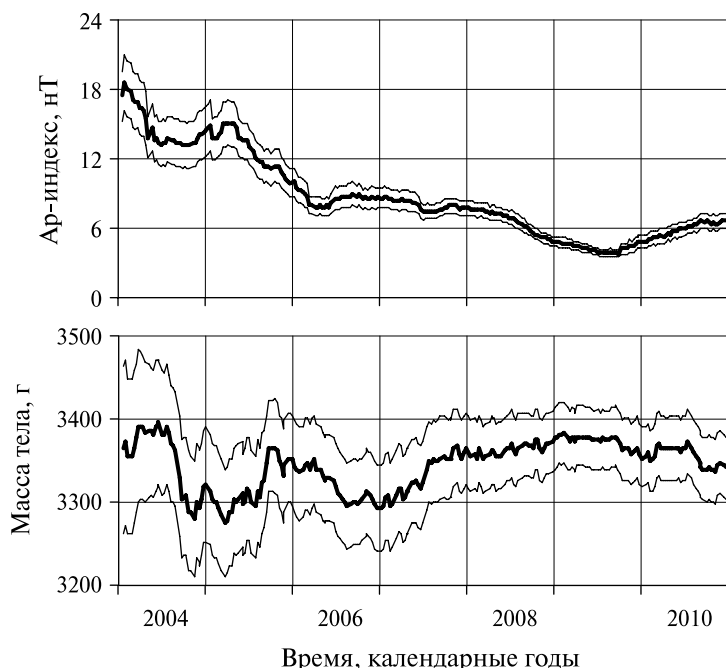


Рис. 3. Динамика Ар-индекса и массы тела новорожденных в 2004–2010 гг. Оси абсцисс: время (календарные годы); оси ординат: величины Ар-индекса (нТ, вверху) и МТ (годы, внизу). Коридоры значений: средняя линия — средние значения; верхняя и нижняя — границы 95%-х доверительных интервалов. Параметры скольжения: интервал — 1 год; сдвиг — 10 сут

Выявленные статистически значимые пики периодограммы ($p < 0,05$) были проверены на взаимную совместимость и при оценке спектров во внимание принимали лишь те, добавление которых значимо снижало остаточную сумму квадратов отклонений.

Средние значения Ар-индекса с начала наблюдений до 2008 г. непрерывно снижались, затем начали увеличиваться, но к концу наблюдений были значительно ниже исходных величин. Эти результаты вполне соответствуют известной зависимости величины напряжённости магнитного поля от солнечной активности [Ермолаев, Ермолаев, 2009], коррелируя с таким показателем как числа Вольфа. В средних значениях МТ заметного тренда не проявилось (рис. 3).

В структуре периодограммных кривых выявляются признаки модуляции — как амплитудной, так и частотной: множественные боковые пики понижающейся мощности вокруг наибольшего, центрально расположенного (см., например, рис. 2в и 2д). Чтобы выявить явления модуляции, были рассчитаны скользящие спектры (рис. 4 и 5).

В 2003–2005 гг. во всех диапазонах выявленные колебания были значительно более мощными, чем в последующие. Это совпало с высокой солнечной активностью в начале её снижения в 23-м цикле. При минимальной солнечной активности мощность колебаний была также наименьшей. С возрастанием её после 2008 г. мощность колебаний Ар стала нарастать, но в колебаниях МТ это не проявилось.

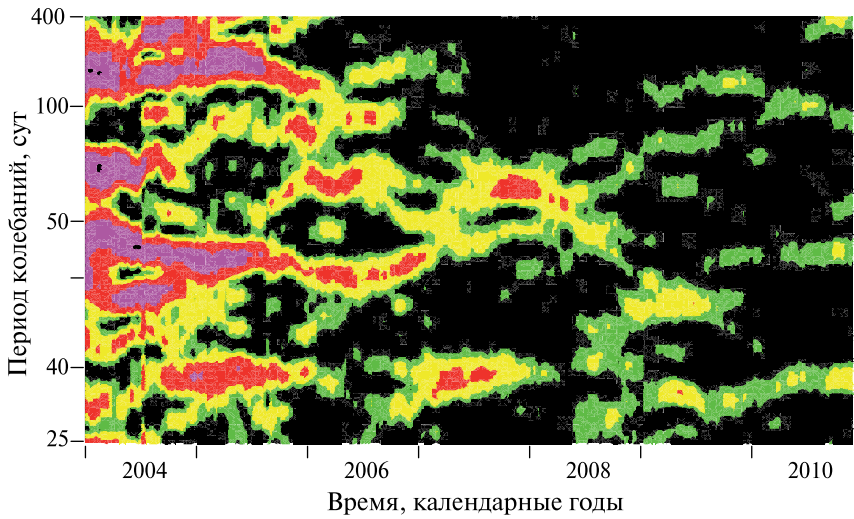


Рис. 4. Динамика составляющих спектра колебаний массы тела новорожденных в 2004–2010 гг. в диапазоне 1,1 года – 25 сут. Ось абсцисс: время (календарные годы); ось ординат: периоды колебаний (сут). Мощность колебаний обозначена цветом: черный — до 0,5 %; зеленый — 0,5...1 %; желтый — 1...2 %; красный — 2...5 %; фиолетовый — 5...8 % (логарифмическая шкала). Параметры скольжения: интервал — 1 год; сдвиг — 10 сут

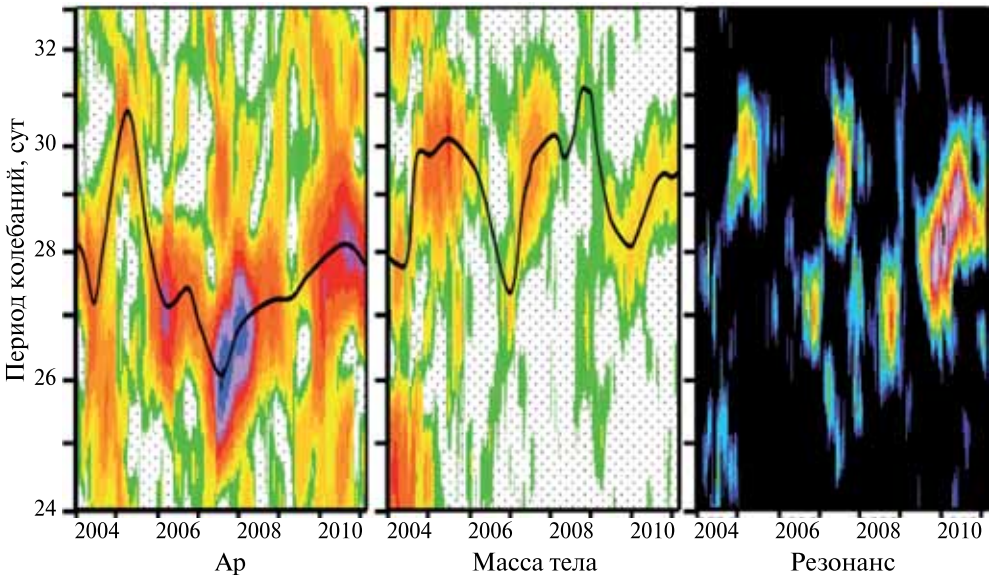


Рис. 5. Динамика составляющих спектра колебаний Ар-индекса, массы тела новорожденных и возможных резонансов (2004–2010) в диапазоне 33...24 сут. Оси абсцисс: время (календарные годы); оси ординат: периоды колебаний (сут). Левый и средний фрагменты: мощность колебаний от 0,04 до 0,20 % обозначена цветом — от зеленого до голубого. Скелетирующие линии соединяют наибольшие величины мощности в последовательные моменты времени. Правый фрагмент: возникновение резонансов Ар-индекса и МТ. Разным цветом обозначена статистическая значимость $0,05 > p > 0,0001$

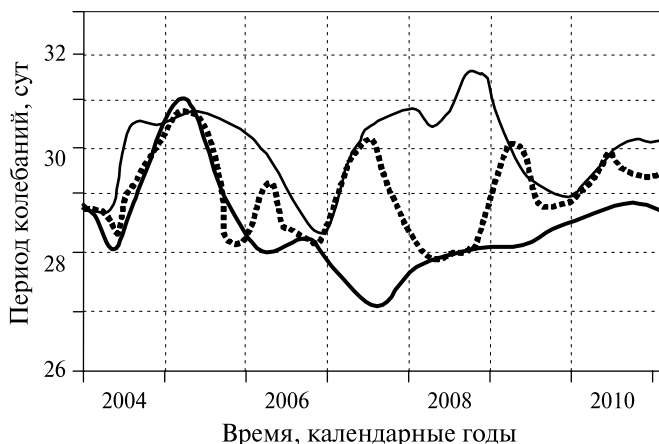


Рис. 6. Частотная модуляция ритмов колебаний Ар, массы тела новорожденных и возможных резонансов (2004–2010) в диапазоне 26...32 сут. Ось абсцисс: время (календарные годы); ось ординат: периоды колебаний (сут). Линии: толстая — Ар-индекс; тонкая — МТ; пунктир — возможные резонансы

На всём протяжении наблюдений колебания, несмотря на динамику солнечной активности, сохранялись в диапазоне 25...34 сут, поэтому на них при дальнейшем анализе и было обращено особое внимание.

Частотная модуляция колебаний Ар-индекса происходила в диапазоне 25,8...30,8; колебаний МТ — 26,8...30,1 сут. **Мощность этих переменных** изменялась не одинаково. У Ар-индекса она была максимальной с мая 2007 по февраль 2008 г., а у МТ — с октября 2004 по август 2005 г.

Для сопоставления частотной модуляции процессов было произведено скелетирование скользящих спектров: на каждом графике точки с наибольшим значением мощности были соединены линией. Скелетирующие линии разных переменных были совмещены. Различия частотной модуляции процессов представлены на рис. 6.

До мая 2005 г. частоты колебаний изменялись, но почти совпадали. Далее до марта 2006 г. частота колебаний уменьшалась, причём у Ар более заметно. Вплоть до января 2010 г. изменения частоты Ар-индекса и МТ были разнонаправленными, но позже направленность изменений обоих показателей стала сближаться, хотя полностью совпала при этом только в январе–феврале 2010 г.

РЕЗОНАНСЫ

Мы предположили, что резонанс между двумя изучаемыми нами переменными, скорее всего, может возникнуть, когда и сами значения, и размах колебаний каждой из них в совпадающие моменты времени максимальны. С наименьшей вероятностью они могут возникнуть при совпадении минимальных значений переменных. Для проверки была построены простейшие модели таких возможных резонансов.

Для первой из них ординаты рядов наблюдений были попарно перемножены, что имитировало усиление сигнала на участках, где резонансы возможны.

Для этого модельного сигнала была, в свою очередь, вычислена периодограмма и сопоставлена с исходными (см. рис. 2, пунктир).

Вторая модель была построена перемножением ординат периодограмм на совпадающих частотах. Она подтвердила заключения, сделанные на основе анализа первой модели.

Оказалось, что резонансы возможны не по всему спектру, а, скорее всего, в довольно узких полосах колебаний: от 2 до 0,8, 0,68...0,48, 0,41...0,33 года (150...120 сут), 110...95; 59...56; 30...28,5; 28...27; 11...10,5; 10,4...10,2; 10...9,45 и 7,2...6,8 сут. Хотя некоторые полосы и очень тесно прилежат друг к другу, между ними видны чёткие разрывы.

Частотная модуляция возможных резонансов представлена на рис. 5 (правый фрагмент) и рис. 6 (пунктирная линия).

ФОРМА СИГНАЛОВ

Применённые спектральные методы способны выявить во временном ряду среди шумов периодичность сигналов любой конфигурации, но для определения последней нужен отдельный анализ. Как уже сказано, для этой цели была использована специализированная программа, позволяющая аппроксимировать форму сигнала по неравноотстоящим данным, не прибегая к условному моделированию её суммой тригонометрических функций.

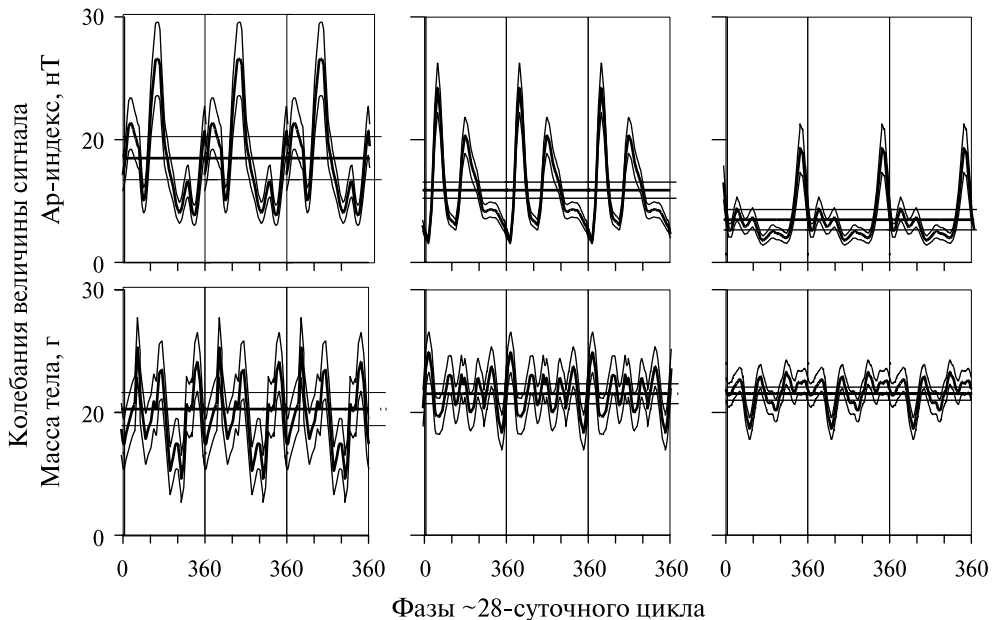


Рис. 7. Форма сигналов Ар-индекса и массы тела с периодом 28 сут. Оси абсцисс: фазы цикла (град); оси ординат: колебания величины сигналов Ар-индекса (нТ) и МТ. Слева направо: сигналы на разных отрезках времени 02.2005–07.2005; 01.2008–11.2008; 12.2009–09.2010. Коридоры горизонтальных линий — уровень сигнала на данном отрезке времени. Коридоры извилистых линий — колебания величины сигнала (Ар-индекс — нТ; МТ — годы). Средние линии коридоров — средние значения переменных; боковые — их 95%-е доверительные границы

На основании данных рис. 4 и 5 для анализа были избраны участки от октября 2004 по апрель 2005 г. (участок 1), когда колебания были конгруентны, с января по май 2008 г. (участок 2), когда частоты Ар-индекса и МТ сильно различались, и с декабря 2009 по апрель 2100 г. (участок 3), когда частоты вновь сблизились.

Форма сигналов (рис. 7) на разных участках в деталях не совпадала, но для сигналов Ар были характерны один доминирующий пик и более мелкие холмы, в сигналах же МТ, напротив, преобладали спады.

На первом участке конфигурация в сигналах Ар-индекса холмы и впадины были значительными, один из пиков доминировал над остальными. В сигналах МТ доминировал спад, сдвинутый по отношению к Ар-индексу на 100...110 град, т.е. он наступал, учитывая длину периода колебаний, на 7...8 сут позже.

На втором участке в сигналах МП преобладающих спадов и пиков не было.

На третьем участке, хотя конфигурация сигналов была и иная, чем в начале наблюдений, в Ар-индексе также доминировал пик, а в МТ — запаздывающий на 7...8 сут спад. Мощность колебаний была ниже, чем на участке 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не мощность сигналов определяет возможность резонансов, а их форма при равенстве частот в данный момент времени. Именно соотношение этих двух факторов и может определять необходимое условие для проявления влияния напряжённости геомагнитного поля на биологические процессы.

Поскольку, вследствие разной частотной модуляции, совпадение длительности периодов Ар-индекса и МТ (их конгруентность) наблюдается только в отдельные отрезки времени продолжительностью от немногих месяцев до 1 года, вероятность возникновения резонансов на всём протяжении изученного срока весьма различна и, в общем, кратковременна. Это и могло быть одной из причин того, что многие попытки обнаружить связи геомагнитных и биологических явлений долгое время не удавались и, как было ранее подчёркнуто Т. К. Бреус [Бреус, 2003], порождало скептицизм.

ЛИТЕРАТУРА

- [Бреус, 2003] *Бреус Т. К.* Влияние солнечной активности на биологические объекты: Автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: ИКИ РАН, 2003.
- [Бреус, Рапопорт, 2003] *Бреус Т. К., Рапопорт С. И.* Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты. М.: Советский спорт, 2003. 192 с.
- [Владимирский и др., 2004] *Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А., Мартынюк В. С.* Космическая погода и наша жизнь. Фрязино: Век 2, 2004. 224 с.
- [Ермолаев, Ермолаев, 2009] *Ермолаев Ю. И., Ермолаев М. Ю.* Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8. № 1. С. 5–35.
- [Карп, Катинас, 1989] *Карп В. П., Катинас Г. С.* Математические методы исследования биоритмов // Хронобиология и хрономедицина: Руководство / Под ред. Ф. И. Комарова. М.: Медицина, 1989. С. 29–45.

- [Карп, Катинас, 1997] *Карп В. П., Катинас Г. С.* Вычислительные методы анализа в хронобиологии и хрономедицине. СПб.: Восточная корона, 1997. 116 с.
- [Катинас, 2008] *Катинас Г. С.* Выявление профиля несинусоидальных колебаний. В кн.: Адаптационная физиология и качество жизни: проблемы традиционной и инновационной медицины // Материалы Международ. симп., посвящённого 80-летию Н. А. Агаджаняна. 14–16 мая 2008. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2008. С. 141–143.]
- [Катинас, Пупышева, 1997] *Катинас Г. С., Пупышева Г. А.* ППП «Форм» // Карп В. П., Катинас Г. С. Вычислительные методы анализа в хронобиологии и хрономедицине. СПб.: Восточная корона, 1997. 95 с.
- [Breus et al., 1995] *Breus T., Cornélissen G., Halberg F., Levitin A. E.* Temporal associations of life with solar and geophysical activity // *Annales Geophysicae*. 1995. V. 13. P. 1211–1222.
- [Brown, 1959] *Brown F. A. Jr.* Living clocks // *Science*. 1959. V. 130. P. 1535–1544.
- [Brown, 1960] *Brown F. A. Jr.* Response to pervasive geophysical factors and the biological clock problem // *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 1960. V. 25. P. 57–71 (= *Браун Ф. А. мл.* Биологические часы. М.: Мир, 1964. 694 с.).
- [Brown et al., 1955] *Brown F. A. Jr., Webb H. M., Bennett M. F., Sandeen M. I.* Evidence for an exogenous contribution to persistent diurnal and lunar rhythmicity under so-called constant conditions // *Biological Bull*. 1955. V. 109. P. 238–254.
- [Brown et al., 1959] *Brown F. A. Jr., Webb H. M., Bennett M. F.* Comparisons of some fluctuations in cosmic radiation and organismic activity during 1954, 1955 and 1956 // *American J. Physiology*. 1958. V. 195. P. 237–243.
- [Chizhevsky, 1926] *Chizhevsky A. L.* Physical factors of the historical process // *Annu. Meeting of the American Meteorological Soc.* Dec. 1926. (Translated and condensed by de Smitt V. P. *Cycles*. Jan. 1971. P. 11–27.)
- [Chizhevsky, 1940] *Chizhevsky A. L.* Cosmobiologie et Rythme du Milieu extérieur // *Verhandlungen, Zweiten Konferenz der Internationalen Gesellschaft für Biologische Rhythmusforschung*, 25–26 Aug. 1939, Utrecht, Holland / Ed. Holmgren Hj. *Acta med scand*. 108 (Suppl.). 1940. P. 211–226.
- [Chizhevsky, 1968] *Chizhevsky A. L.* The Earth in the Universe / Ed. V. V. Fedynsky. NASA TT F-345 TT. 1968. 280 p.
- [Cornelissen et al., 1998] *Cornelissen G., Halberg F., Sothorn R. B., Nikityuk B. A., Garcia Alonso L., Syutkina E. V., Grafe A., Bingham C.* Toward a chronoastrobiology: sunspot cycles and geomagnetism as well as sunshine may modulate human morphology // *Russian Morphological Newsletter*. 1998. V. 5. N. 3(4). P. 133–137.
- [Cornelissen et al., 2004] *Cornelissen G., Halberg F., Hamburger C., Perfetto F. et al.* Chronomics: multiple distinct yearly cycles in urinary steroid metabolite excretion // 2nd Intern. Symp. Problems of Rhythms in Natural Sciences. Moscow, March 1–3, 2004. М.: Russian People's Friendship University, 2004. P. 17–18.
- [Cornélissen et al., 2010] *Cornélissen G., Grambsch P., Sothorn R. B., Katinas G. S. et al.* Congruent biospheric and solar-terrestrial cycles // *J. Applied Biomedicine*. 2010. V. 8. P. 1–40.
- [Düll, Düll, 1934] *Düll T., Düll B.* Über die Abhängigkeit des Gesundheitszustandes von plötzlichen Eruptionen auf der Sonne und die Existenz einer 27tägigen Periode in den Sterbefällen // *Virchows Archiv*. 1934. V. 293. P. 272–319.
- [Feigin et al., 1997] *Feigin V. L., Nikitin Yu. P., Vinogradova T. E.* Solar and geomagnetic activities: are there associations with stroke occurrence? // *Cerebrovascular Diseases*. 1997. V. 7. P. 345–348.
- [Garcia et al., 1993a] *Garcia Alonso L., Hillman D., Cornélissen G., Garcia Penalta X., Wang Z. R., Halberg F.* Nature, not solely nurture: chronome as well as season governs

- growth patterns of infants // *Chronocardiology and Chronomedicine: Humans in Time and Cosmos* / Eds. Otsuka K., Cornelissen G., Halberg F. Tokyo: Life Science Publishing, 1993. P. 71–75.
- [Garcia et al., 1993b] *Garcia Alonso L., Garcia Penalta X., Cornélissen G., Siegelova J., Halberg F.* About-yearly 79 Chronomics: trends and cycles in growth and cosmos rather than secularity and about-monthly variation in neonatal height and weight // *Scripta medica* (Brno). 2000. V. 73. P. 125–133.
- [Garcia et al., 1998] *Garcia Alonso L., Garcia Penalta X., Cornélissen G., Halberg F.* About-yearly and about-monthly variation in neonatal height and weight: Abstr. 14 // *Neinvazivni metody v kardiiovaskularnim vyzkumu*. 6th Intern. Fair of Medical Technology and Pharmacy. MEFA Congress. Brno, Czech Republic, Nov. 3–4, 1998.
- [Halberg, 2003] *Halberg F., Cornélissen G., Katinas G., Syutkina E. V.* et al. Transdisciplinary unifying implications of circadian findings in the 1950s // *J. Circadian Rhythms*. 2003. V. 1. P. 1–61.
- [Halberg et al., 1991] *Halberg F., Breus T. K., Cornélissen G., Bingham C.* et al. International Womb-to-Tomb Chronome Initiative Group: Chronobiology in space // Keynote, 37th Annu. Meeting of the Japanese Society. Aerospace and environmental medicine. Nagoya, Japan. Univ. Minnesota. Medtronic Chronobiology Seminar Series. 1991. N. 1. 21 p.
- [Halberg et al., 2001a] *Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K., Katinas G.* et al. Essays on Chronomics Spawned by Transdisciplinary Chronobiology Witness in time: Earl Elmer Bakken // *Neuroendocrinology Letters*. 2001. V. 22. P. 359–384.
- [Halberg et al., 2001b] *Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K., Syutkina E. V., Masalov A., Breus T., Viduetsky A., Grafe A., Schwartzkopff O.* Chronoastrobiology: neonatal numerical counterparts to Schwabe's 10.5 and Hale's 21-year sunspot cycles. In memoriam Boris A. Nikityuk // *Internat J Prenatal and Perinatal Psychology and Medicine*. 2001. V. 13. P. 257–280.
- [Halberg et al., 2003] *Halberg F., Cornélissen G., Stoynev A., Ikononov O.* et al. Season's appreciations 2002 and 2003. Imaging in time: The transyear (longer-than-the-calendar year) and the half-year // *Neuroendocrinology Letters*. 2003. V. 24. P. 421–438.
- [Halberg et al., 2004] *Halberg F., Cornelissen G., Regal P., Otsuka K.* et al. Chronoastrobiology: proposal, nine conferences, heliogeomagnetics, transyears, near-weeks, near-decades, phylogenetic and ontogenetic memories // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2004. V. 58. Suppl. 1. P. 150–187.
- [Halberg et al., 2005] *Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K., Fiser B.* et al. Incidence of sudden cardiac death, myocardial infarction and far- and near-transyears // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2005. V. 59. P. 238–260.
- [Halberg et al., 2008a] *Halberg F., Cornélissen G., Sothorn R. B., Katinas G. S.* et al. Cycles Tipping the Scale between Death and Survival (=“Life”) // *Progress of Theoretical Physics Supplement* N. 173. 2008. P. 153–181).
- [Halberg et al., 2008b] *Halberg F., Schwartzkopff O., Cornélissen G., Hardeland R.* et al. Gegenseitig gestutzte Ferntransjahre, Nahtransjahre und Cishalbjahre in Sonnenmagnetik // *Sonnenwind, Erdmagnetik und Biologie. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*. 2008. V. 23. P. 187–283.
- [Halberg et al., 2010] *Halberg F., Cornélissen G., Salti R., Perfetto F.* et al. Chronoauxology. Chronomics: trends and cycles in growth and cosmos rather than secularity. Milano, Edizioni Centro Studi Auxologici, 2010. 91 p.
- [Katinas et al., 2002] *Katinas G., Nintcheu-Fata S., Cornelissen G.* et al. Moving least squares spectra scrutinize chronomics in and around us: Abstr. 14 // *Kongres MEFA (International Fair for Medical Technology and Healthcare)*. Brno, Czech Rep. 5–8 Nov. 2002.
- [Katinas et al., 2008] *Katinas G. S., Cornélissen G., Halberg F., Schwartzkopff O.* Interplanetary and their transdisciplinary signatures resolved by aligning gliding with global spectral

- windows // **Адаптационная физиология и качество жизни: проблемы традиционной и инновационной медицины: Материалы Международ. симп., посвящённого 80-летию Н.А. Агаджаняна.** 14–16 мая 2008. М.: Рос. ун-т дружбы народов, 2008. С. 396–397.
- [Katinas et al., 2011] *Katinas G. S., Dementyev M. V., Halberg F., Grambsch P.* et al. Evaluating the form of nonsinusoidal variations // *World Heart Journal*. 2011. V. 3. N. 2. P. 135–149.
- [Rosenberg, 1988] *Rosenberg M.* Birth weights in three Norwegian cities, 1860–1984. Secular trends and influencing factors // *Annals of Human Biology*. 1988. V. 15. P. 275–288.
- [Starbuck et al., 2002] *Starbuck S., Cornélissen G., Halberg F.* Is motivation influenced by geomagnetic activity? // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2002. V. 56. Suppl. 2. P. 289–297.
- [Stoupel et al., 1999] *Stoupel E., Abramson E., Sulkes J.* The effect of environmental physical influences on suicide: How long is the delay? // *Archives of Suicide Research*. 1999. V. 5. P. 241–244.
- [Stoupel, 1976] *Stoupel E.* Forecasting in Cardiology. N. Y.: John Wiley and Sons, 1976. 141 p.
- [Strestik, Prigancova, 1986] *Strestik J., Prigancova A.* On the possible effect of environmental factors on the occurrence of traffic accidents // *Acta Geodætica, Geophysica et Montanistica Hungarica*. 1986. V. 21. P. 155–166.
- [Villoresi et al., 1994a] *Villoresi G., Breus T. K., Iucci N., Dorman L. I.* et al. The influence of geophysical and social effects on the incidences of clinically important pathologies (Moscow 1979–1981) // *Physica Medica*. 1994. V. 10. P. 79–91.
- [Villoresi et al., 1994b] *Villoresi G., Kopytenko Y. A., Ptitsyna N. G., Tyasto M. I.* et al. The influence of geomagnetic storms and man-made magnetic field disturbances on the incidence of myocardial infarction in St. Petersburg (Russia) // *Physica Medica*. 1994. V. 10. P. 107–117.
- [Watanabe et al., 2003] *Watanabe Y., Nintcheu-Fata S., Katinas G.* et al. Methodology: partial moving spectra of postnatal heart rate chronome // *Neuroendocrinol Letters*. 2003. V. 24. Suppl. 1. P. 139–144.
- [Wohlfahrt, 1998] *Wohlfahrt J., Melbye M., Christens P., Andersen A.-M. N., Hjalgrim H.* Secular and seasonal variation of length and weight at birth. *The Lancet*. 1998. N. 352 (Dec. 19–26). P. 1990.

POSSIBLE REQUIRED CONDITIONS FOR MAGNETIC FIELDS INFLUENCE ON NEWBORN BODY WEIGHT

G. S. Katinas, O. M. Yuldashova, L. A. Aleksina

I. P. Pavlov St-Petersburg State Medical University, e-mail: gkatinas@mail.ru

Is the coincidence of frequencies enough for resonances uprising between cosmo-helio-geophysical and biological rhythms? We supposed that one more necessary condition for such events may be the signals form.

For an analysis, the oscillations of magnetic field (A_p) and such conventional anthropometric parameter as newborn body weight (BW) were studied. Data of BW of newborn boys were picked out from hospital-charts in Kyrgyzstan from July 18, 2003 up to Aug 21, 2011 (series length 2956 days). Geomagnetic data for the same time span were obtained from <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>, <ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov> и <http://www.ngdc.noaa.gov/>.

Since the BW data were un-equidistant, for spectral analysis and signal form approximation specialized programs were used, allowing such organization of time series.

It was revealed, that coincidence of both frequencies and signal shape (due to variability of those parameters) took place only during several time spans lasting not longer than few months — 1 year. That is why probability of resonance uprising between Ap and BW during the whole time span studied varied very much, and they occurred only transitionally. Probably it might be one of the reasons why many past efforts to detect interrelations between geomagnetic and biological events did not happen and, as it was earlier stressed by T. K. Breus, resulted in skepticism.

DECADAL SOLAR ACTIVITY CYCLES MODULATE NEONATAL HEALTH

*E. V. Syutkina*¹, *G. Cornélissen*², *M. D. Mitish*¹, *O. S. Krylova*¹, *M. V. Narogan*³, *A. V. Masalov*⁴, *F. Halberg*²

¹ Institute of Pediatrics, Scientific Center for Children's Health, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, Russia

² Halberg Chronobiology Center, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA

³ Scientific-practical Center of Special Medical Care for Children, Moscow, Russia

⁴ Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

The fact that cosmos influences on human neonates' anthropometry, systolic and diastolic blood pressure, heart rate and some other physiological variables has been demonstrated in a number of studies, including ours [Cornélissen et al., 2007; Halberg et al., 2001; Syutkina et al., 2011]. It led to a supposition that newborn infant, due to periodic changes of these variables (reflecting 'cosmic' cycles), may be considered as a very sensitive 'cosmometer' [Sello et al., 2011]. This assumption, however, is based mainly on the coincidence of the periods of biological and cosmic cycles, with less attention to the relation between their phases.

The aim of this work is to study, at the population level, the long-term variability of some clinical signs which we observed in newborn infants and their mothers during 21 years and to compare it with solar activity (documented by Wolf numbers).

PATIENTS AND METHODS

We analyzed clinical data of 4,265 infants which were born from January 1985 to December 2005 (2,124 girls and 2,141 boys). Studied group included 118 (2.8 %) premature infants (with gestational age <37 weeks), 309 infants with gestational age >40 weeks and 3,838 full-term babies. The vast majority of infants studied (94.2 %) had Apgar score 6 or 7 at the 1st minute; 95.6 % of infants had Apgar score 7 or 8 at the 5th minute. Diagnosis of mild hypoxic-ischemic brain damage (HIBD) had 1,536 infants (36 %); moderately severe HIBD — 53 infants (1.24 %).

To reveal long-term trends in clinical signs, the data ordered chronologically (by the time of babies' birth) and averaged by intervals of 1/12 of a year were analyzed with the nonlinear cosinor. Nonlinear-cosinor analysis differs from that of ordinary COSINOR by variable frequency in the model $M + A \cos(2\pi f(t - t_0))$; variable frequency or period $\tau = 1/f$ is added to usual cosinor variables: amplitude A , acrophase t_0 , and mesor M . Frequency enters the model as an essentially nonlinear parameter, thus giving the name to the method of treatment. Calculations in the nonlinear cosinor analysis are made repeatedly where an ordinary cosinor analysis is applied with the set of frequencies, and the 'best' frequency is selected by the lowest p -value.

RESULTS AND DISCUSSION

Decadal or longer periods, τ s, in rates of toxicosis, anemia and pyelonephritis in pregnant women, rates of premature membrane rupture and precipitate labor, Apgar-1, Apgar-5, birth weight, head circumference, chest circumference, and incidence of perinatal hypoxic-ischemic brain damage were found. The τ s ranged from 9.6 years to some periods longer than the 21-yr data span.

An example of about-20-yr cycle is shown in Figure 1. The period equals to 23.6 years with a 95 % confidence interval extending from 22.4 to 24.8 years. Double amplitude was 0.50 ± 0.01 (SD), acrophase 1999.9 ± 0.2 yr, mesor 0.28 ± 0.01 ; $p < 0.001$. Therefore the incidence of anemia in women during pregnancy showed a cyclic pattern with period close to well-known period of solar activity.

Least-square-spectra analysis revealed about-10-yr cycles in some physiological variables, such as Apgar scores at the 1st (Figure 2) and 5th minute and rates of pre-term membrane rupture and perinatal hypoxic-ischemic brain damage.

Two examples of about-10-yr cycle are shown in Figure 3 (Apgar-1 and the rate of hypoxic-ischemic brain damage) together with Wolf numbers (WN) for studied time span. The parameters of approximating model $M + A \cos(2\pi(t - t_0)/\tau)$ are given in Table. Cosinor-analysis was not applied to WN because of obvious asymmetry of ascending and descending parts of the curve.

The parameters of approximating model for Apgar score at the 1st minute and the incidence of perinatal hypoxic-ischemic brain damage

Apgar score at the 1st min	Period: $\tau = 10.2$ y (95 % CI 9.9–10.6 yr)
	Amplitude: $A = 0.39 \pm 0.04$ (SD)
	Acrophase: $t_0 = 1992.8 \pm 0.09$ y (SD)
	Mesor: $M = 7.31 \pm 0.02$ (SD)
Incidence of hypoxic-ischemic brain damage	Period: $\tau = 9.6$ y (95 % CI 9.2–10.1 yr)
	Amplitude: $A = 0.20 \pm 0.04$ (SD)
	Acrophase: $t_0 = 1998.1 \pm 0.13$ yr (SD)
	Mesor: $M = 0.39 \pm 0.02$ (SD)

The difference in acrophases (5.3 yr) demonstrates that the time course of the incidence of hypoxic-ischemic brain damage over studied time span was reciprocal to that of averaged Apgar score at the 1st minute*. This relation reflects the fact that the pathology of hypoxic-ischemic brain damage strongly affects Apgar score (makes it lower).

It is more interesting that comparison of the time courses of Wolf numbers and physiological variables revealed the certain relation between them. Maxima of the curve approximating Apgar score (and minima of the curve for the rate of hypoxic-ischemic brain damage) coincide with the descending parts of WN-curve.

Calculation of cross-correlation between Wolf numbers and each of the physiological variables gives an accurate estimation of the delay time between them. (Figure 4). The curves demonstrate that maximal correlation between WN and Apgar score-1 is observed in 2...2.5 years after the maximum of Wolf numbers (the point where delay = 0). The same delay is seen for WN maximum and minimal incidence of hypoxic-ischemic brain damage. These delays are too long to speak about the influence of solar activity on the fetuses; the effect is rather looks like mediated by parents' reproductive health.

* Although Apgar scores are presented not by quantitative data, but by ordinal ranks which have not proportional scale, their averaging in this study is a correct procedure because in 95 % of infants these ranks varied within one unit — from 6 to 7.

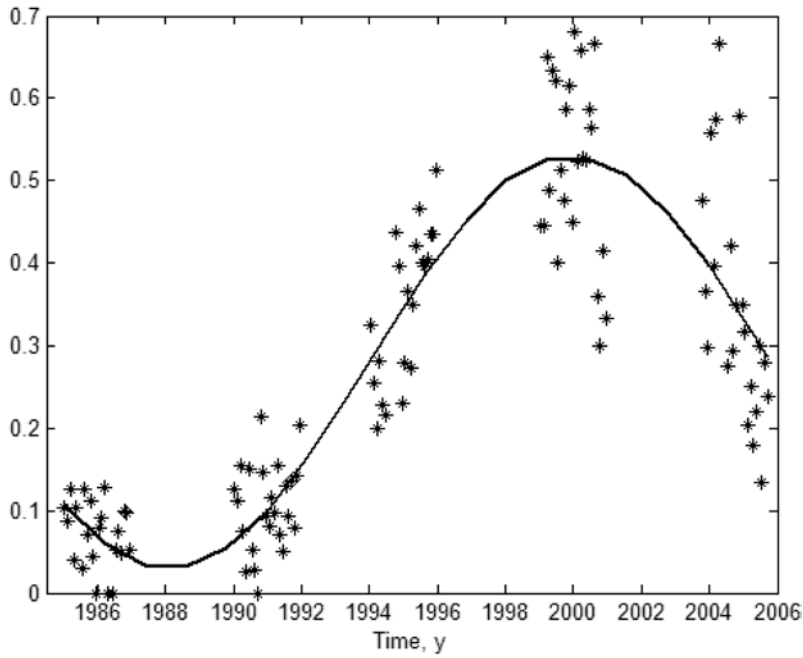


Figure 1. The rate of anemia during pregnancy
(solid line – approximation by cosine function)

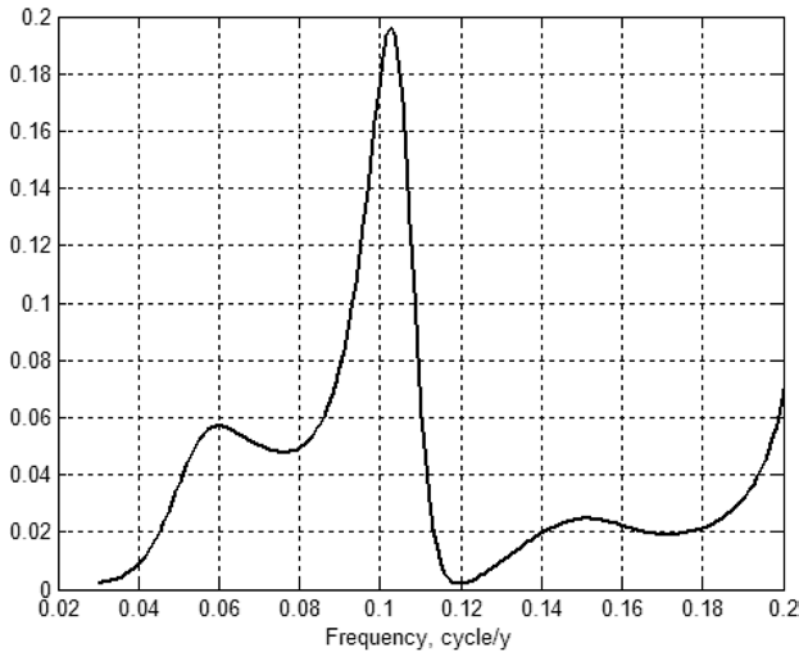


Figure 2. Least squares spectrum of Apgar score at the 1st minute (square of amplitudes)

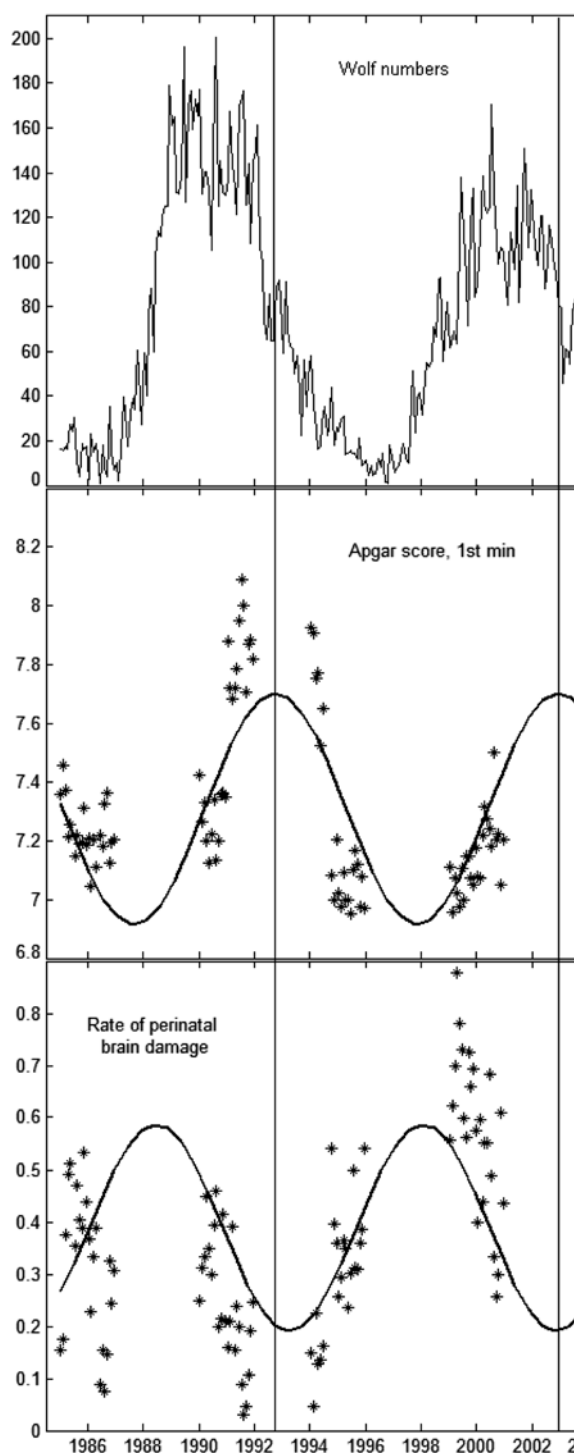


Figure 3. Wolf numbers (upper curve, monthly data), Apgar-1 (in the middle) and incidence of hypoxic-ischemic brain damage (bottom). Vertical lines denote the acrophases of Apgar-1

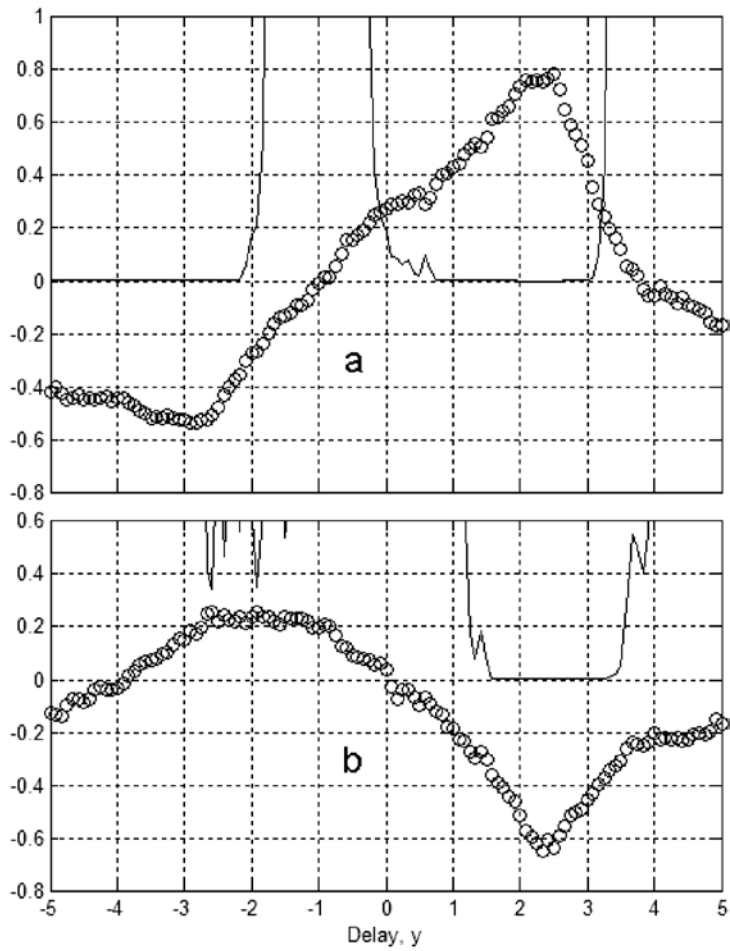


Figure 4. Cross-correlation between Wolf numbers and Apgar-1 (a) and hypoxic-ischemic brain damage (b). Solid lines show p -values of correlation (%), circles represent correlation coefficients (Wolf-numbers are ahead of data, see Figure 3)

In this study minimal value of the cosine curve for the rate of hypoxic-ischemic brain damage fell on 2002.9 y. Similar finding was described by [Cornelissen et al., 2011] for maternal mortality in the Republic of Kazakhstan: minimum of 11-y cosine curve took place between 2002 and 2003. This fact supports the hypothesis that solar activity affects infants through the parents' health.

CONCLUSIONS

- Physiological variables in newborn infants and their mothers exhibit cyclic behavior with decadal and/or two-decadal periods.
- There are some phase delays between solar activity variations and physiologic rhythms.
- The high solar activity seems to have delayed positive influence on the parents' reproductive health.

REFERENCES

- [Cornélissen et al., 2007] *Cornélissen G., Johnson D., Malkova I. et al.* Chronomics of solar activity and perinatal events // Proc. Noninvasive Methods in Cardiology 2007 / Eds. Halberg F., Kenner T., Fiser B., Siegelova J. Brno: Masaryk University, 2007. P. 28–35.
- [Cornelissen et al., 2011] *Cornelissen G., Gumarova L., Halberg F.* An 11-year cycle in maternal mortality? // Noninvasive Methods in Cardiology 2011 / Eds. Halberg F., Kenner T., Siegelova J. Brno: Masaryk University, 2011. P. 116–122.
- [Halberg et al., 2001] *Halberg F., Cornelissen G., Otsuka K. et al.* Chronoastrobiology: neonatal numerical counterparts to Schwabe's 10.5 and Hale's 21-year sunspot cycles. In Memorial Boris A. Nikityuk // Intern. J. Prenatal and Perinatal Psychology. 2001. V. 13. P. 257–280.
- [Sello et al., 2011] *Sello S., Halberg F., Cornelissen G.* Human babies: a slow-to-read, sensitive population magnetometer, also read by wavelets // Noninvasive Methods in Cardiology 2011 / Eds. Halberg F., Kenner T., Siegelova J. Brno: Masaryk University, 2011. P. 123–140.
- [Syutkina et al., 2011] *Syutkina E. V., Cornelissen G., Mitish M. et al.* Neonates as particularly sensitive magnetoreceptors? // World Forum "Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization". Istanbul, Turkey, 19–21 Sept. 2011. L.: SWB, 2011. P. 114–115.

ДЕСЯТИЛЕТНИЕ ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ МОДУЛИРУЮТ ЗДОРОВЬЕ НОВОРОЖДЁННЫХ

*Е. В. Сюткина¹, Ж. Корнелиссен², М. Д. Митиш¹, О. С. Крылова¹,
М. В. Нароган³, А. В. Масалов⁴, Ф. Халберг²*

¹ Научный центр здоровья детей Российской академии медицинских наук, Москва, Россия

² Халберговский хронобиологический центр, Университет Миннесоты, Миннеаполис, Миннесота, США

³ НПЦ медицинской помощи детям, Москва, Россия

⁴ Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), Москва, Россия

Методом нелинейного косинора проанализированы клинические данные о 4265 новорождённых во временном интервале январь 1985 ... декабрь 2005 г. (2124 девочки и 2141 мальчике). Обнаружены ритмы с периодами около 10 лет и более, включая околосороклетные. Сравнение кривых, отражающих временное поведение клинических показателей и чисел Вольфа, выявило определённые зависимости между ними. Так, максимумы косинусоид, аппроксимирующих усреднённые значения оценок по шкале Апгар на 1-й минуте жизни, приходились на нисходящую часть кривой чисел Вольфа. Такое же положение занимали минимумы частоты перинатальных гипоксически-ишемических поражений мозга. Расчёт коэффициентов кросскорреляции показал, что оценки по шкале Апгар максимальны, а частота поражений мозга минимальна через 2...2,5 года после максимума чисел Вольфа. Поскольку оба клинических признака характеризуют здоровье исследованной популяции новорождённых детей (чем выше оценки по шкале Апгар и реже наблюдаются поражения мозга, тем лучше состояние детей), можно заключить, что повышенная солнечная активность

оказывает положительное влияние на здоровье. Найденные задержки слишком велики, чтобы можно было говорить о влиянии солнечной активности на плод; скорее речь идёт о влиянии на репродуктивное здоровье родителей. Эта гипотеза подтверждается описанным ранее фактом, что минимальная смертность матерей совпадает с минимумом частоты перинатальных поражений мозга, и, следовательно, находится в тех же временных соотношениях с максимумом солнечной активности, которые найдены в данном исследовании.

О РОЛИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ЗЕМНОГО КЛИМАТА

ПУБЛИЧНАЯ ЛЕКЦИЯ

Л. И. Дорман^{1,2}

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия, e-mail: lid010529@gmail.com

² Центр космических лучей и космической погоды при Тель-Авивском университете, Израильском космическом агентстве и Институте исследований Голан при Хайфском университете

В последние годы среди населения, а также у многих учёных большое беспокойство вызвали результаты наблюдений, показывающие очень быстрый рост среднепланетарной годовой температуры на уровне моря (примерно на 0,8 °C за последние сто лет). Если экстраполировать этот рост на ближайшее будущее, то окажется, что для ряда стран ситуация может оказаться катастрофической из-за обильного таяния ледников в горах, а также льдов в Арктике и Антарктике. Этим серьёзно обеспокоились правительства многих стран и ООН. Многие учёные считают, что главная причина такого глобального потепления — это так называемый парниковый эффект, обусловленный быстрым ростом в земной атмосфере концентрации углекислого газа в связи с бурным развитием технической цивилизации и ростом потребления каменного угля, нефти и газа. Однако у ряда учёных имеются некоторые сомнения в правильности этой гипотезы, а главное, о наблюдавшихся в прошлом на шкалах многих миллионов и многих тысяч лет (ещё задолго до технической революции) огромных изменений среднепланетарной годовой температуры на уровне моря с ростом и понижением по отношению к современному уровню на 3...4 °C. Конечно, такие большие изменения климата существенно влияют на биосферу. А в чём причины этих изменений? Часть из них — это процессы в земной коре и в земной атмосфере. Но из данных за последние ~100 лет видно, что даже очень большие вулканические извержения вызывают понижения среднепланетарной годовой температуры только на 0,1...0,2 °C всего в течение нескольких лет (другое дело — возможные извержения супервулканов, таких как, например, Йеллоустон в США, где уже сейчас толщина твёрдой коры составляет всего несколько километров по сравнению с несколькими десятками километров в среднем). Рассмотрим изменения земного климата и соответствующего влияния на биосферу, причины которых лежат вне Земли, — это процессы в космосе, или, как теперь говорят, космическая погода и космический климат. Основные каналы, по которым космос влияет на земные климат и биосферу, это электромагнитное излучение, космические лучи (КМ), космическая пыль, столкновения с Землёй крупных метеоритов и астероидов, близкие вспышки Сверхновых. Как это происходит и каковы механизмы воздействия космоса на земной климат и биосферу, пока не совсем ясно, рассмотрим современное состояние проблемы. Конечно, необходимо затронуть и такие вопросы как вспышка Сверхновой и образование Солнечной системы, эволюция Солнца и Земли, движение Солнца в Галактике и столкновения с молекулярно-пылевыми облаками.

1. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Несколько возможных причин глобального изменения климата было обсуждено в научной литературе [Svensmark, 2000; Dorman, 2009a; 2012]: 1) орбитальные изменения в движении Земли вокруг Солнца; 2) внутренняя изменчивость в климатической системе, например, изменения планетарной атмосферной и океанической циркуляции; 3) крупные извержения вулканов,

которые известны как причина внезапного планетарного охлаждения продолжительностью несколько лет; 4) изменения концентрации парниковых газов (увеличение атмосферной концентрации CO_2 в течение последних 100 лет, примерно на 30 %, привело к увеличению примерно на $0,7^\circ\text{C}$ глобальной температуры на земной поверхности); 5) изменения в солнечной активности и в выпадении на Землю космической пыли, а также изменения в интенсивности космических лучей. Эта последняя возможная причина (№ 5) будет главной темой нашей лекции.

2. СВЯЗЬ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Около двухсот лет назад знаменитый астроном Уильям Гершель [Herschel, 1801] предположил, что цена на пшеницу в Лондоне непосредственно контролируется количеством солнечных пятен. Это его заключение было основано на наблюдениях, что гораздо меньше выпадало дождей при большом количестве пятен на Солнце (это исследование было продолжено недавно на более обширном статистическом материале, см. ниже, разд. 7). Уровень солнечной активности хорошо известен из прямых наблюдений в течение около 450 лет и из данных о космогенных изотопах (создаваемых в результате ядерного взаимодействия космических лучей) — более чем за 10 тыс. лет ([Eddy, 1976] см. также гл. 10 и 17 в монографии [Dorman, 2004]). За это долгое время наблюдается поразительная качественная корреляция между периодами холодного и тёплого климата с периодами низкой и высокой солнечной активности, соответственно. В качестве примера на рис. 1 показаны изменения концентрации радиоуглерода ^{14}C в течение последнего тысячелетия (более высокая концентрация ^{14}C соответствует более высокой интенсивности КЛ и снижению уровня солнечной активности).

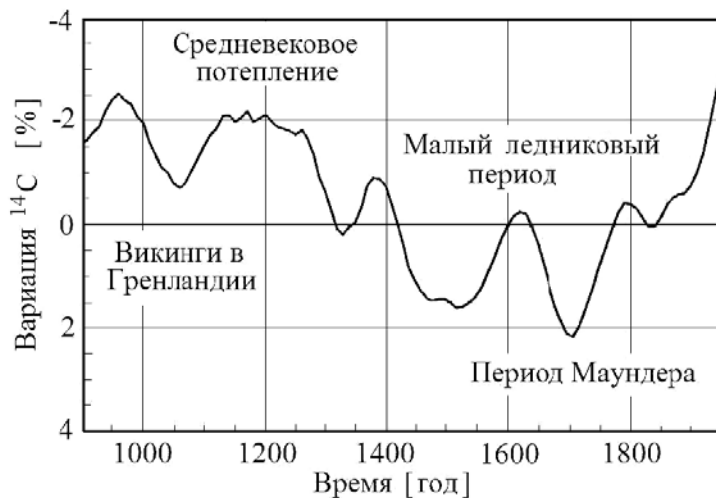


Рис. 1. Изменения солнечной активности и интенсивности КЛ (отраженные в вариации концентрации радиоуглерода ^{14}C в годовых кольцах деревьев) в течение последнего тысячелетия. Минимум солнечной активности Маундера относится к периоду 1645–1715 гг. [Swensmark, 2000]

На рис. 1 видно, что в течение 1000–1300 гг. интенсивность КЛ была очень низкой (что соответствует высокому уровню солнечной активности). Этот средневековый период был очень тёплым: в этот период викинги поселились на покрытой густой растительностью территории, которую поэтому называли Гренландией (Greenland — Зелёная Страна). После 1300 г. уровень солнечной активности значительно понизился, и увеличилась интенсивность КЛ. В результате, последовал долгий холодный период. Это так называемый «малый ледниковый период», который включал известный минимум Маундера (1645–1715) и продолжался вплоть до середины XIX в.

Е. Фриис-Кристиансен и К. Лассен [Friis-Christiansen, Lassen, 1991; Lassen, Friis-Christiansen, 1995] на основе данных за 400 лет нашли, что длительность цикла солнечной активности тесно связана с вариациями средней температуры земной поверхности в северном полушарии. К. Лабитцке и Г. ван Лун [Labitzke, van Loon, 1993] показали на основе данных за 18–21-го солнечных циклов, что высота поверхности давления в нижней стратосфере меняется в фазе с уровнем солнечной активности (это означает, что температура воздуха увеличивается с увеличением уровня солнечной активности). Г. Свенсмарк [Svensmark, 2000] также проанализировал проблему возможного влияния солнечной активности на климат Земли через изменения потока солнечной радиации. Однако прямые измерения потока солнечной радиации на спутниках в течение двух солнечных циклов показывают, что эти колебания за солнечный цикл составляют всего около 0,1 %, т.е. около 0,3 Вт/м². Это слишком мало, чтобы объяснить наблюдаемые изменения среднепланетарной температуры [Lean et al., 1995]. Гораздо больше изменений в течение солнечного цикла происходит в УФ-излучении (около 10 %, что имеет большое значение в формировании вариаций озонового слоя). Дж.Д. Хайх [Haigh, 1996] и Д. Шинделл с коллегами [Shindell et al., 1999] предположили, что нагревание стратосферы УФ-излучением может динамически переноситься в тропосферу.

3. О ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

Многие авторы рассматривают галактические и солнечные КЛ как важные связующие звенья между солнечной активностью и изменениями климата. Как хорошо известно (см. гл. 12 в монографии [Dorman, 2004]), КЛ являются основным источником ионизации воздуха ниже 40...35 км (только вблизи уровня Земли, ниже чем 1 км, радиоактивные газы из почвы также играют важную роль в ионизации воздуха). Первым, кто предложил гипотезу о возможном влиянии ионизации воздуха КЛ на климат, был Е. Р. Ней [Ney, 1959]. Г. Свенсмарк [Svensmark, 2000] отметил, что различия в ионизации воздуха, вызванные КЛ, могут потенциально влиять на оптическую прозрачность атмосферы, на изменения в образовании аэрозолей или повлиять на переход между различными фазами воды. Многие авторы рассматривали эти возможности [Пудовкин, Распопов, 1992; Dickinson, 1975; Dorman, 2009a, 2012; Dorman, Dorman, 2005; Ney, 1959; Marsh, Swensmark, 2000a, b; Pudovkin, Veretenenko, 1995, 1996; Swensmark, 1998; Swensmark, Friis-Christiansen, 1997;

Tinsley, 1996]. Возможные статистические связи между циклом солнечной активности и соответствующей вариацией интенсивности КЛ с характеристиками земного климата рассматривались в работе [Дорман и др., 1987; Dorman et al., 1988a, b].

Эта проблема по монастырским данным о ценах на пшеницу в период средневековья в Англии была рассмотрена в работе [Pustil'nik et al., 2003]. В работе [Dorman, 2003] реконструированы вариации интенсивности КЛ за последние 400 лет на основе данных о солнечной активности, принимая во внимание параметры конвекционно-диффузионного и дрейфового механизмов, полученные из исследования явления гистерезисной связи между солнечной активностью и космическими лучами.

Космические лучи играют ключевую роль в формировании грозы и молнии (см. гл. 11 в монографии [Dorman, 2004]). С другой стороны, многие авторы рассматривают явление атмосферного электрического поля как возможный канал связи между солнечной активностью и земным климатом [Dorman, 2003; 2005a; Markson, 1978; Price, 2000; Schlegel et al., 2001; Tinsley, 2000].

Отметим, что в целом, когда КЛ рассматриваются в качестве возможного канала связи между солнечной активностью и космической погодой, с одной стороны, и климатом Земли — с другой, необходимо учитывать влияние изменений геомагнитного поля на интенсивность КЛ через долговременные вариации эффективных жёсткостей обрезания в различных районах земного шара [Дорман, 1957; Dorman, 2009b; Shea, Smart, 2003]. Таким образом, иерархические отношения, определяющие долгосрочные изменения климата, связанные с КЛ будут: (циклы солнечной активности + долговременные изменения в геомагнитном поле) → (долговременная модуляция КЛ в гелиосфере + долговременные вариации эффективных жёсткостей геомагнитного обрезания КЛ в различных районах земного шара) → долговременные вариации облачного покрытия → долговременные изменения земного климата. Первое и второе звенья в этой иерархической связи рассматривались детально в монографиях [Dorman, 2006b, 2009b].

4. О СВЯЗИ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ВАРИАЦИЯМИ ПЛАНЕТАРНОГО ОБЛАЧНОГО ПОКРЫТИЯ; РОЛЬ ОБЛАКОВ В ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ЗЕМЛИ

Очень важные выводы для понимания механизма влияния цикла солнечной активности на земной климат были получены в результате открытия, что облачное покрытие Земли (по наблюдениям со спутников) сильно коррелирует с интенсивностью КЛ [Marsh, Swensmark, 2000a, b; Swensmark, 1998, 2000; Swensmark, Friis-Christiansen, 1997]. Почему это так важно? Дело в том, что облака влияют на радиационные свойства атмосферы как через охлаждение (из-за отражения входящей коротковолновой солнечной радиации), так и через нагрев (из-за захвата отражённого от земной поверхности длинноволнового излучения). Общий результат зависит, в основном, от высоты облаков. Согласно Д.Л. Хартманн [Hartmann, 1993] высокие оптически тонкие облака ведут, как правило, к нагреву, тогда как низкие оптически толстые облака, ведут, как правило, к охлаждению планеты (см. таблицу).

Глобальные среднегодовые форсирования радиационной энергии и энергетический бюджет для различных типов облаков. Результаты спутникового Earth Radiation Budget Experiment (ERBE). Положительное форсирование радиационной энергии увеличивает чистый радиационный бюджет и приводит к потеплению; отрицательное форсирование уменьшает бюджет излучения и вызывает охлаждение [Hartmann, 1993]

Параметр	Высокие облака		Средние облака		Низкие облака	Сумма
	тонкие	толстые	тонкие	толстые	Все	
Общая доля, %	10,1	8,6	10,7	7,3	26,6	63,3
Форсирование (относительно чистого неба), Вт·м ⁻²						
альbedo, SW-радиация	-4,1	-15,6	-3,7	-9,9	-20,2	-53,5
отражённая LW-радиация	6,5	8,6	4,8	2,4	3,5	25,8
суммарное форсирование	2,4	7,0	1,1	-7,5	-16,7	-27,7

Из данных таблицы можно видеть, что низкие облака дают охлаждение около 17 Вт·м⁻² (что во много раз больше 0,3 Вт·м⁻² — изменения потока радиационной энергии от Солнца в течение цикла солнечной активности). Поэтому низкие облака играют особенно важную роль в земном радиационном бюджете [Ardanuy et al., 1991; Ohring, Clapp, 1980; Ramanathan et al., 1989]. Таким образом, даже небольшие изменения в нижнем облачном покрытии могут дать важный вклад в радиационный бюджет и существенно повлиять на климат Земли.

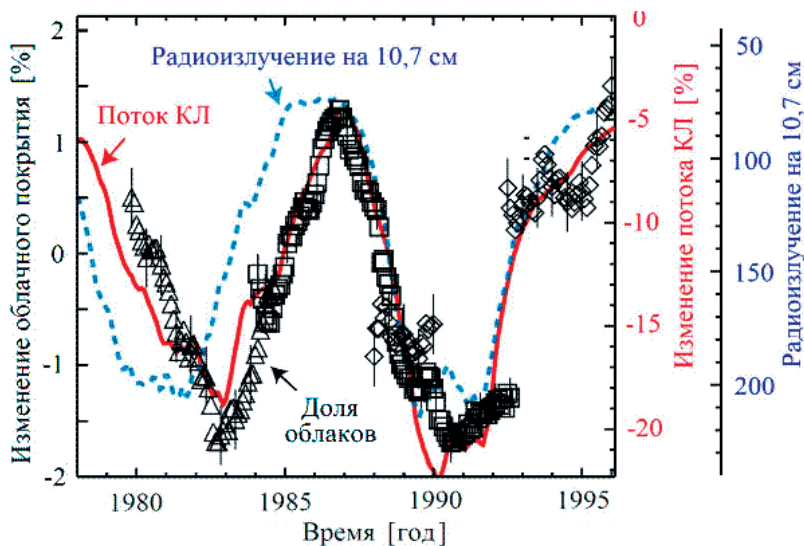


Рис. 2. Изменения в земном облачном покрытии: треугольники — данные со спутника «Нимбус-7» [Stowe et al., 1988]; квадраты — данные от международного Satellite Cloud Climatology Project [Rossow, Shiffer, 1991]; ромбы — от Defence Meteorological Satellite Program [Ferraro et al., 1996; Weng, Grody, 1994]; сплошная кривая — вариации интенсивности КЛ согласно наблюдениям на нейтронном мониторе Клаймакс; штрихованная кривая — поток радиоизлучения на длине волны 10,7 см (в единицах 10^{-22} Вт·м⁻²·Гц⁻¹). Все данные сглажены с помощью 12-месячного движущегося усреднения [Svensmark, 2000]

Рисунок 2 показывает данные спутниковых наблюдений Земли всего облачного покрытия планеты по сравнению с интенсивностью КЛ (согласно данным нейтронного монитора на горе Клаймакс в США) и солнечной активностью (интенсивность потока солнечного радиоизлучения на длине волны 10,7 см).

Из данных рис. 2 можно видеть, что корреляция глобального облачного покрытия с интенсивностью КЛ гораздо лучше, чем с солнечной активностью. Более детальные исследования [Marsh, Swensmark, 2000a] показали, что интенсивность КЛ очень хорошо коррелирует с глобальным низким облачным покрытием, но не с высоким и средним облачными покрытиями (рис. 3).

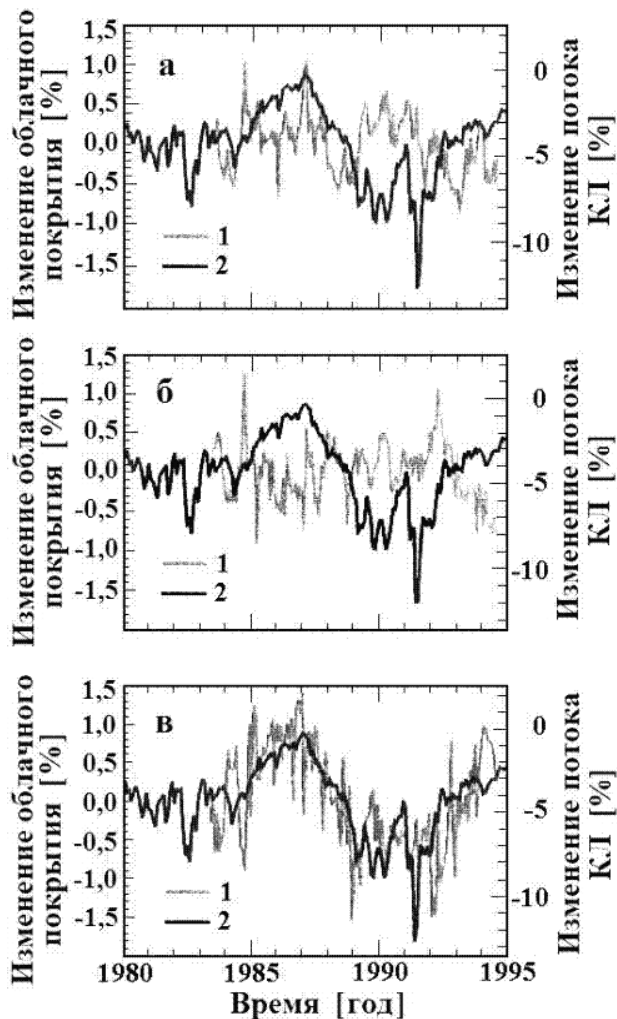


Рис. 3. Ежемесячные данные о планетарных облачных покрытиях (кривые 1): *а* — высокие облака, $H > 6,5$ км; *б* — средние облака, $6,5 > H > 3,2$ км; *в* — низкие облака, $H < 3,2$ км [Marsh, Swensmark, 2000a]. Вариации интенсивности КЛ согласно наблюдениям на нейтронных мониторах Уанкайо и Халеакалы (жесткость геомагнитного обреза на обеих станциях 12,9 ГВт, данные нормализованы к октябрю 1965 г.) — кривая 2 (одинаковая для всех трех панелей)

Важно отметить, что низкие облака ведут, как правило, к охлаждению атмосферы (см. таблицу). Это означает, что с возрастанием интенсивности КЛ и соответствующим возрастанием глобального низкого облачного покрытия ожидается понижение планетарной наземной температуры. Это находится в согласии с ситуацией за последнюю тысячу лет (см. рис. 1), а также с прямыми измерениями наземной температуры за последние несколько солнечных циклов (см. ниже, разд. 5).

5. ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ И ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

На рис. 4 (из работы [Svensmark, 2000]) показаны кривые изменений планетарной температуры на уровне моря (данные наземных измерений и поверхности океанов) и интенсивности КЛ, сглаженные путём движущегося усреднения с периодом 11 лет. Данные по температуре — за 1935–1995 гг. Данные по КЛ основаны на измерениях с помощью экранированных 10 см свинца ионизационных камер в Челтенхеме-Фредериксбурге (1937–1975) и в Якутске (1953–1994), а также на измерениях с помощью нейтронного монитора в Клаймаксе. В этой же работе [Svensmark, 2000] также сопоставляются изменения планетарной температуры на уровне моря за 1935–1995 гг. с вариациями продолжительности солнечного цикла, числа солнечных пятен и реконструированного потока энергии в солнечной радиации. Обнаружено, что связь планетарной температуры на уровне моря с интенсивностью КЛ выражена наиболее чётко по сравнению с указанными выше остальными параметрами солнечной активности.

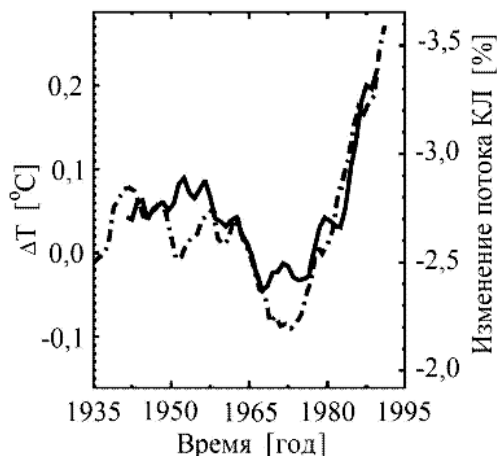


Рис. 4. Изменения планетарной температуры на уровне моря (данные наземных измерений и поверхности океанов) (штрихпунктирная кривая); интенсивность КЛ, сглаженная путем движущегося усреднения с периодом 11 лет (сплошная кривая). Данные по температуре — за 1935–1995 гг.; данные по КЛ основаны на измерениях с помощью экранированных 10 см свинца ионизационных камер в Челтенхеме-Фредериксбурге (1937–1975) и в Якутске (1953–1994), а также на измерениях с помощью нейтронного монитора в Клаймаксе (из работы [Svensmark, 2000])

6. ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА КЛИМАТ В ТЕЧЕНИЕ МИНИМУМА МАУНДЕРА

Рисунок 5 показывает ситуацию в минимуме Маундера по данным реконструированного солнечного излучения [Lean et al., 1992, 1995], данным о концентрации космогенного изотопа ^{10}Be , пропорционального интенсивности КЛ [Beer et al., 1991] и реконструированной температуре воздуха на уровне моря в северном полушарии [Jones et al., 1998]

Как видно на рис. 5а, поток энергии в солнечной радиации является почти постоянным в течение минимума Маундера и приблизительно на 0,24 % (или на $0,82 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) ниже современного уровня, но не показывает тех временных вариаций, которые характерны для планетарной наземной температуры воздуха (ср. рис. 5а и в).

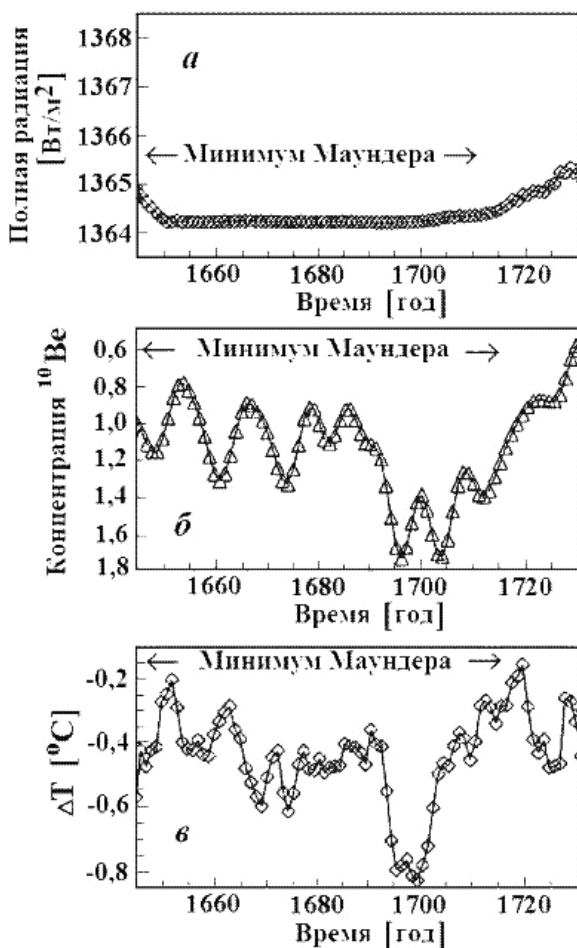


Рис. 5. Ситуация в минимуме Маундера: а — временная вариация потока реконструированного солнечного излучения [Lean et al., 1992, 1995]; б — вариация концентрации космогенного изотопа ^{10}Be [Beer et al., 1991]; в — вариация реконструированной температуры воздуха на уровне моря в северном полушарии [Jones et al., 1998]. Согласно работе [Svensmark, 2000]

В то же время интенсивность КЛ и планетарная наземная температура воздуха имеют очень похожие временные вариации в согласии с тем, как это было описано в предыдущих разделах: с увеличением интенсивности КЛ происходит снижение планетарной наземной температуры воздуха (см. рис. 5б и в). Самый высокий уровень интенсивности КЛ в 1690–1700 гг. соответствует самой низкой планетарной наземной температуре воздуха в ту же декаду 1690–1700 гг. [Mann et al., 1998].

7. ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕВЕКОВОЙ АНГЛИИ

Как мы упоминали в разд. 2, В. Гершель [Herschel, 1801] был первым, кто обратил внимание на корреляцию между наблюдаемым количеством солнечных пятен и состоянием рынка пшеницы в средневековой Англии. Его анализ был основан на данных о ценах на пшеницу, опубликованных в книге [Smith, 1776]. В. Гершель нашёл, что в течение пяти периодов с малым количеством солнечных пятен цены на пшеницу были наиболее высокими. На основе материалов, рассмотренных выше, этот результат интерпретирован так: с уменьшением числа солнечных пятен увеличивается интенсивность галактических КЛ, что приводит к увеличению выпадения осадков и понижению температуры воздуха, а это в условиях Англии приводит к снижению урожайности пшеницы и соответствующему росту цен на неё (интересно отметить, что в условиях сухого климата, например, как в Поволжье, на Ближнем Востоке, на севере Африки или на северо-западе США результат был бы обратный: увеличение интенсивности галактических КЛ привело бы к повышению урожайности и снижению цен).

База данных о ценах на пшеницу в средние века в Англии [Rogers, 1887] была использована в работе [Pustil'nik et al., 2003] для исследования связи с солнечной активностью и КЛ (по данным о космогенном изотопе ^{10}Be во льдах Гренландии и Антарктиды). Один из результатов показан на рис. 6.

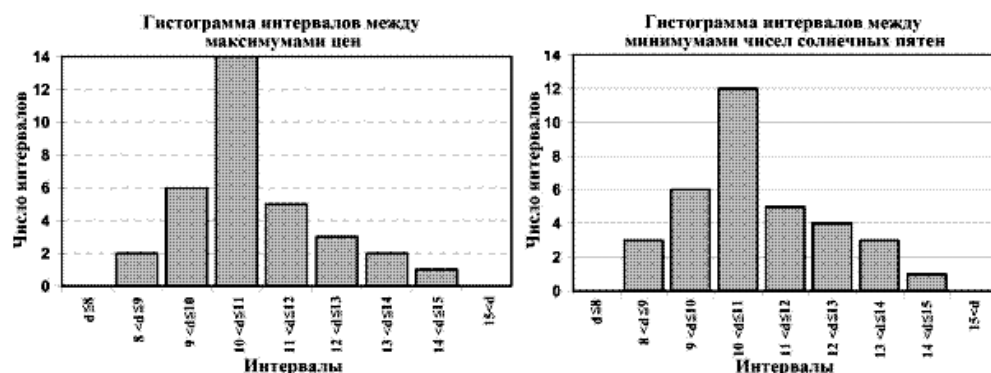


Рис. 6. Гистограммы распределения интервалов между максимумами цен на пшеницу в Англии (левая панель, данные за 1249–1702 гг) и интервалов между минимумами чисел солнечных пятен (правая панель, данные за 1700–2000 гг.) [Pustil'nik et al., 2003]

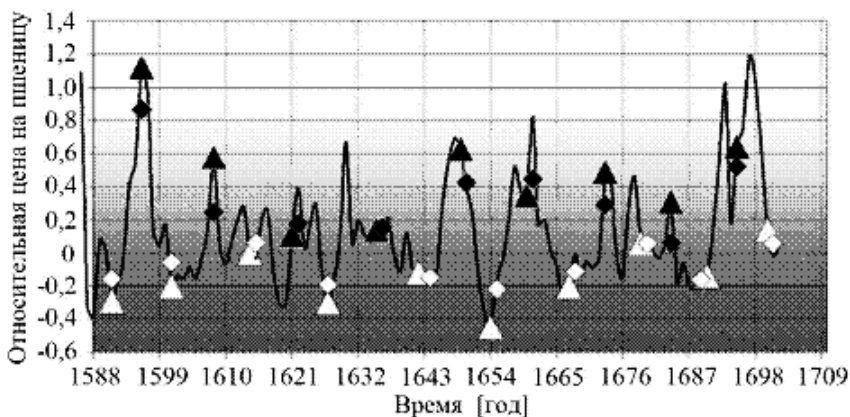


Рис. 7. Сравнение цен на пшеницу в периоды минимальной и максимальной интенсивности КЛ (по данным о содержании космогенного изотопа ^{10}Be в гренландском льде, согласно [Beer et al., 1998]). Белые треугольники показывают цены, усредненные за 3 года, центрированные около года минимума интенсивности КЛ; белые ромбы — то же самое, но по годовым данным. Черные треугольники и ромбы соответствуют максимуму интенсивности КЛ [Pustilnik, Yom Din, 2004b]

Получены практически одинаковые гистограммы интервалов между максимумами цен на пшеницу и гистограммы интервалов между минимумами чисел солнечных пятен.

Другой результат приведён на рис. 7, показывающий сравнение цен на пшеницу в периоды минимальной и максимальной интенсивности КЛ (по данным о содержании космогенного изотопа ^{10}Be в гренландском льде, согласно [Beer et al., 1998]). Из данных рис. 7 видно, что в периоды минимумов интенсивности КЛ цены на пшеницу (белые треугольники и ромбы на рис. 7) заметно ниже (т.е. урожайность выше), чем в годы максимальной интенсивности КЛ (чёрные треугольники и ромбы). Этот результат для средневековой Англии, где дождей и влаги достаточно, а главная проблема — недостаток тёплых, солнечных дней, понятен: с понижением интенсивности КЛ уменьшается ионизация воздуха, уменьшается количество облаков и увеличивается число тёплых солнечных дней, что приводит к повышению урожайности и соответствующему снижению цен на пшеницу. Близкие результаты существенного влияния солнечной активности и КЛ на цены на пшеницу в США в XX столетии были получены в работе [Pustilnik, Yom Din, 2004b].

8. О СВЯЗИ МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ ИОНОВ В АТМОСФЕРЕ И ПЛАНЕТАРНЫМ ОБЛАЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Данные о скорости генерации космическими лучами ионов в атмосфере $q(h)$ на высотах 2...5 км для периода январь 1984 г. — август 1990 г. на основании регулярных измерений интенсивности КЛ на радиобаллонах были получены Ю. И. Стожковым с коллегами [Стожков и др., 2001; Stozhkov et al., 2001], которые показали, что в тропосфере на некотором уровне с давлением h значения $q(h)$ и интенсивности КЛ $I(h)$ связаны в первом приближении простым соотношением $q(h) = AI(h)$, где $A = \text{const}$.

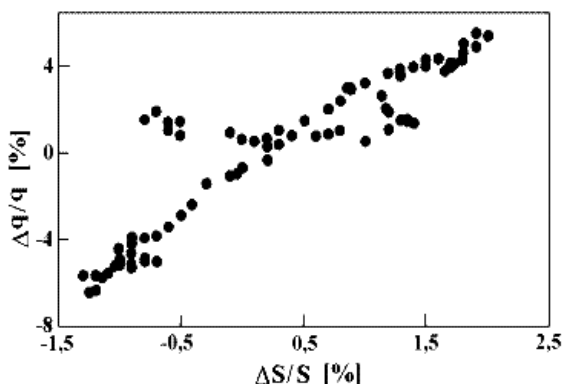


Рис. 8. Связь относительных изменений $\Delta S/S$ покрытия облаками поверхности Атлантического океана в период январь 1984 г. — август 1990 г. (согласно [Swensmark, Friis-Christiansen, 1997]) с относительными изменениями скорости ионизации КЛ воздуха в интервале высот 2...5 км $\Delta q/q$ (или относительными изменениями концентрации ионов $\Delta n/n$) [Стожков и др., 2001; Stozhkov et al., 2001]

С другой стороны, концентрация ионов $n(h)$ пропорциональна скорости генерации ионов $q(h)$, поэтому, в первом приближении $\Delta q(h)/q(h) \approx \Delta I(h)/I(h) \approx \Delta n(h)/n(h)$. На рис. 8 показана связь относительных изменений $\Delta q(h)/q(h)$ и относительных изменений общей поверхности облаков над Атлантическим океаном $\Delta S/S$.

9. УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ПЕРИОДЫ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В периоды больших магнитных бурь, сопровождаемых форбуш-понижениями интенсивности галактических КЛ, ионизация атмосферы понижается и это, в соответствии с описанными в разд. 1–8 результатами, должно несколько понизить вероятность образования облаков и уменьшить количество осадков.

Согласно работе [Веретененко, Пудовкин, 1994], уменьшение ионизации атмосферы ведёт к уменьшению концентрации центров конденсации, и в эти периоды уменьшается полная поверхность облаков и атмосферная турбулентность и наблюдается повышение высоты изобарических уровней. Как результат снижения облачности, ожидается уменьшение выпадения осадков. Это было опубликовано в работах [Стожков и др., 1996; Stozhkov, 2003; Stozhkov et al., 1995a, b], где методом наложения эпох проанализировано в общей сложности 70 форбуш-понижений интенсивности КЛ, наблюдавшихся в течение 1956–1993 гг. Данные по суммарным осадкам над территорией бывшего СССР показали, что в нулевой день (минимум интенсивности КЛ) сумма осадков на $17,4 \pm 2,7$ % меньше, чем до начала форбуш-понижения. Вероятность того, что этот результат является случайным, составляет менее 10^{-4} . Физика этого эффекта следующая: понижение интенсивности КЛ приводит к понижению степени ионизации воздуха → понижению облачности → уменьшению осадков.

10. ВОЗРАСТАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ПЕРИОДЫ НАЗЕМНЫХ ВОЗРАСТАНИЙ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В периоды наземных возрастаний солнечных КЛ увеличивается ионизация атмосферы. Поэтому в такие периоды ожидается увеличение облачности и усиление осадков. В работах [Стожков и др., 1996; Stozhkov, 2003; Stozhkov et al., 1995a, b] были проанализированы методом наложения эпох в общей сложности 53 наземных возрастания потоков солнечных КЛ, наблюдавшихся в течение 1942–1993 гг. Найдено, по данным о суммарных осадках над территорией бывшего СССР, что в периоды наземных возрастаний солнечных КЛ количество осадков в среднем возрастает на $13,3 \pm 5,3$ %. Вероятность того, что полученный результат случаен, — меньше 0,01.

11. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТИ КЛИМАТА, СВЯЗАННОЙ С КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ (В РАМКАХ КОНВЕКЦИОННО-ДИФфуЗИОННОГО И ДРЕЙФОВОГО МЕХАНИЗМОВ)

Как было показано в предыдущих разделах, КЛ могут рассматриваться как важное связующее звено воздействия космической погоды на земной климат и (через земной климат) — на биосферу. С этой точки зрения важно понять механизмы долговременных вариаций интенсивности галактических КЛ и на этой основе попытаться разработать метод определения этих вариаций в далёком прошлом и предсказания в будущем. Это позволит оценить часть изменений климата, обусловленных изменениями интенсивности КЛ. Одна из таких попыток была предпринята в работах [Dorman, 2005a, b; 2006a] на основе месячных данных о числах солнечных пятен с учётом временного запаздывания процессов в межпланетном пространстве от вызывающих эти процессы событий на Солнце и конвекционно-диффузионного и дрейфового механизмов глобальной модуляции галактических КЛ в гелиосфере.

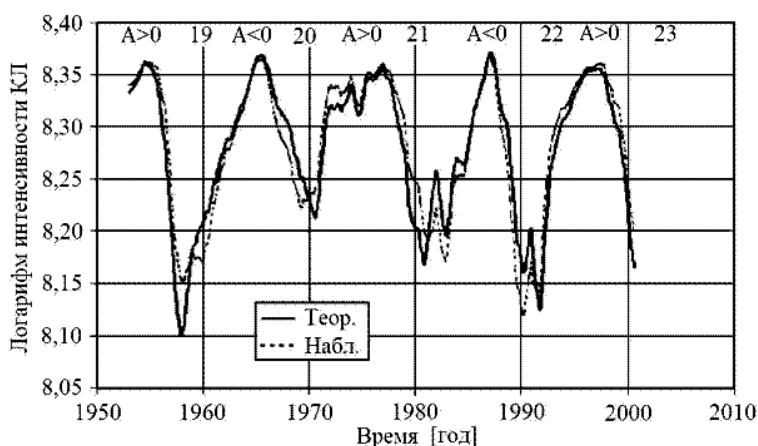


Рис. 9. Сравнение наблюдаемых на нейтронном мониторе Клаймакса долговременных вариаций интенсивности КЛ (движущееся усреднение с периодом 11 месяцев) с теоретически ожидаемыми в рамках конвекционно-диффузионного и дрейфового механизмов глобальной модуляции галактических КЛ в гелиосфере [Dorman, 2006a]

При учёте дрейфового механизма было принято во внимание изменение знака общего магнитного поля Солнца (вблизи максимумов солнечной активности). Это приводит к тому, что в одних солнечных циклах конвекционно-диффузионная и дрейфовая модуляции КЛ складываются, а в соседних — вычитаются; это приводит к заметному различию 11-летней модуляции КЛ — к возникновению 22-летней модуляции интенсивности КЛ. Результат такого анализа показан на рис. 9.

Рисунок 9 показывает хорошее согласие наблюдаемой и теоретически ожидаемой долговременных вариаций интенсивности КЛ. Это позволяет использовать метод, разработанный в работах [Dorman, 2005a, b; 2006a] не только для расчётов вариаций интенсивности КЛ как в прошлом (когда ещё не было измерений КЛ, но были измерения месячных чисел солнечных пятен), так и в будущем (при наличии соответствующего прогноза ожидаемых месячных чисел солнечных пятен на ближайшие годы).

12. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТИ КЛИМАТА, СВЯЗАННОЙ С КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ОБЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ СОЛНЦА

В работе [Belov et al., 2005] был разработан метод предсказания изменений части климата, связанной с космическими лучами, на основе данных об общем магнитном поле Солнца. Результат показан на рис. 10. Из данных рис. 10 видно, что при наличии прогноза временного изменения общего магнитного поля Солнца можно достаточно точно прогнозировать ожидаемые временные изменения интенсивности КЛ, а следовательно и ожидаемые изменения части земного климата.

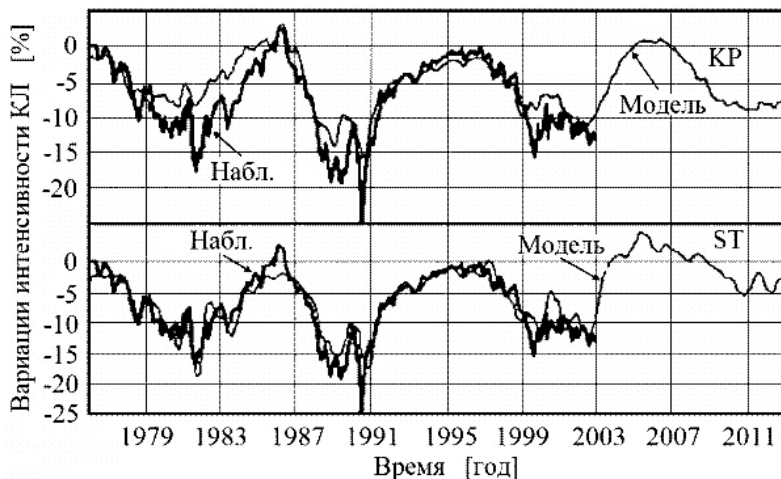


Рис. 10. Предсказание временного хода интенсивности галактических КЛ на основе данных об общем магнитном поле Солнца. Толстая линия — наблюдаемая интенсивность КЛ по данным московского нейтронного монитора, тонкая линия — теоретически ожидаемая интенсивность КЛ, вычисленная на основе измерений или прогнозирования общего магнитного поля Солнца согласно данным Обсерватории Китт Пик (верхняя панель) или Стэнфордской обсерватории (верхняя панель) [Belov et al., 2005]

Из сравнения рис. 10 с рис. 2 следует, что при полном изменении интенсивности нейтронной компоненты КЛ в течение солнечного цикла на 20 % ожидается изменение планетарного покрытия облаками примерно на 3,5 %. Из таблицы видно, что в результате изменение планетарного радиационного баланса на Земле ожидается в несколько раз больше, чем за счёт прямого изменения потока энергии солнечной радиации в течение цикла солнечной активности.

13. ВОЗМОЖНОСТЬ ОБЪЯСНЕНИЯ И ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТИ ПЛАНЕТАРНОГО И ЛОКАЛЬНОГО КЛИМАТА, СВЯЗАННЫХ С КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ЖЁСТКОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ОБРЕЗАНИЯ

Интенсивность КЛ меняется не только за счёт процессов вне Земли, как это было рассмотрено выше, в разд. 11 и 12, но и в результате изменений основного геомагнитного поля, приводящих к долговременным вариациям жёсткости геомагнитного обрезания $R_c(t)$. Это повлияет через вариации интенсивности КЛ на изменения не только глобального, но и локального климата. В случае малых изменений $R_c(t)$ изменение интенсивности КЛ составит

$$\frac{\delta N_i(R_c(t), h_o, t)}{N_{io}} = -\delta R_c(t) W_i(R_{co}, R_{co}, h_o), \quad (1)$$

где $\delta R_c(t) = R_c(t) - R_{co}$, R_{co} и N_{io} — жёсткость геомагнитного обрезания и интенсивность КЛ в некоторый нулевой момент времени;

$$W_i(R_{co}, R, h_o) = \frac{D_o(R) m_i(R, h_o)}{N_{io}} \quad (2)$$

— функция связи между вторичными КЛ типа i и первичными КЛ со спектром $D_o(R)$; $m_i(R, h_o)$ — интегральная кратность генерации вторичных КЛ на уровне с давлением h_o .

На самом деле, как мы увидим ниже, изменения жёсткости геомагнитного обрезания КЛ за сотни лет довольно большие, сравнимые с R_{co} [Flückiger et al., 2003; Shea, Smart, 2003, 2004] (см. детальный обзор в монографии [Dorman, 2009b]). В этом случае, уравнение (1) не работает и необходимо пользоваться более точным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{\Delta N_i(R_c(t), h_o, t)}{N_{io}} = & \frac{\int_{R_c(t)}^{\infty} D_o(R) m_i(R, h_o) dR - \int_{R_{co}}^{\infty} D_o(R) m_i(R, h_o) dR}{N_{io}} = \int_{R_c(t)}^{R_{co}} W_i(R_{co}, R, h_o) dR. \end{aligned} \quad (3)$$

Результаты расчётов [Shea, Smart, 2003] планетарного распределения изменений жёсткостей геомагнитного обрезания КЛ в течение 300 лет (от 1600 к 1900 г.) показаны на рис. 11.

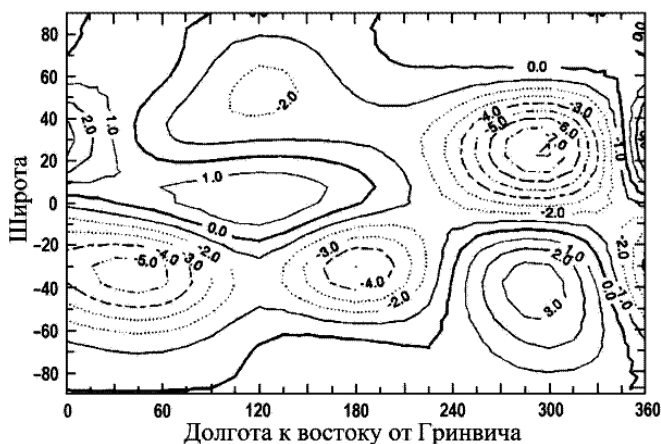


Рис. 11. Изменения жесткостей геомагнитного обрезания (в единицах $\text{ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$) для вертикально приходящих КЛ за 300 лет между 1600 и 1900 г. Сплошные линии показывают положительный тренд (возрастание жесткостей геомагнитного обрезания от 1600 к 1900 г.), пунктирные — отрицательный тренд [Shea, Smart, 2003]

Из данных рис. 11 видно, что имеются три большие области планеты, одна в северном полушарии и две в южном полушарии, где происходили значительные уменьшения $R_c(t)$, на 7...8 и 3...4 ГВт, что должно было приводить к локальному существенному возрастанию интенсивности КЛ, к увеличению облачности и осадков и к понижению наземной температуры. В то же время имеются две области с положительным трендом $R_c(t)$, где происходили уменьшения интенсивности КЛ, что должно было приводить к уменьшению облачности и осадков и к повышению наземной температуры. Очень важно расширить эти расчёты на многие тысячи лет назад; может быть, они позволят понять причины известных исторических локальных изменений климата, приводивших к грандиозным переселениям народов.

Кроме локальных изменений жёсткостей геомагнитного обрезания КЛ имеется тенденция постепенного ослабления геомагнитного поля (величины магнитного диполя Земли), что должно приводить к постепенному повышению общего потока КЛ на Землю. В работе [Shea, Smart, 2004] оценено, что в результате уменьшения величины магнитного диполя Земли общий поток КЛ на Землю за 400 лет (с 1600 до 2000 г.) должен был возрасти примерно на 18 % (в пересчёте к нейтронной компоненте на станции Клаймакс), т.е. ожидается возрастание потока КЛ в среднем на 4...5 %/100 лет. Окончательный результат определяется суммой двух эффектов: воздействия на КЛ геомагнитного поля и процессов в гелиосфере и локальной межзвёздной среде.

14. ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОБЩЕГО ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ СТО ЛЕТ; РОЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

На рис. 12 показаны среднегодовые планетарные значения наземной температуры воздуха за 1880–2005 гг. Из данных рис. 12 видно, что кроме постепенного подъёма планетарной температуры, начавшегося после окончания

Первой мировой войны, очевидны небольшие влияния больших вулканических извержений (с понижениями на $0,1...0,2$ °C и восстановлением в течение нескольких лет): Кракатау (1883), Везувий (1906 и 1944 гг.), Агунг (1963) и Пинатубо (1991).

Таким образом, эмиссия пыли в течение вулканических извержений недостаточна для объяснения долговременных изменений планетарной температуры воздуха (другое дело — космическая пыль, которая вместе с КЛ могут обеспечить долговременные изменения наземной планетарной температуры воздуха на шкале многих тысяч и миллионов лет, см. ниже, разд. 15 и 16).

Теперь рассмотрим изменения интенсивности КЛ. Прямые ежедневные регулярные измерения интенсивности КЛ на баллонах в тропосфере и стратосфере за более чем 40 лет показали [Стожков и др., 2001; Stozhkov et al., 2001], что в течение четырёх последующих минимумов солнечной активности в северной полярной атмосфере около Мурманска в слое 180...200 мбар по данным среднегодовых значений интенсивности КЛ имеется небольшой отрицательный тренд $d\ln(I(t))/dt \approx -(0,09 \pm 0,02) \text{ \%}/\text{год}$. Аналогичные измерения на баллонах над Москвой дали величину отрицательного тренда $d\ln(I(t))/dt \approx -(0,08 \pm 0,01) \text{ \%}/\text{год}$. В работе [Стожков и др., 2001; Stozhkov et al., 2001] показано, что согласно измерениям на нейтронных мониторах на станциях Туле, Апатиты, Москва и Юнгфрауйох имеется такой же отрицательный тренд $d\ln(I(t))/dt \approx -(0,08 \pm 0,01) \text{ \%}/\text{год}$. Такой тренд даёт в среднем уменьшение планетарной интенсивности нейтронной компоненты КЛ за 100 лет около 8 %, что соответствует разд. 4 (см. рис. 2) — уменьшению облачного покрова на 2 % и небольшому повышению планетарной наземной температуры воздуха. Это согласуется также с результатом разд. 5 (см. рис. 4), полученным путём 11-летнего сглаживания данных наблюдений КЛ с помощью ионизационных камер, экранированных 10 см свинца (такое сглаживание проводилось для того, чтобы исключить влияние цикла солнечной активности).

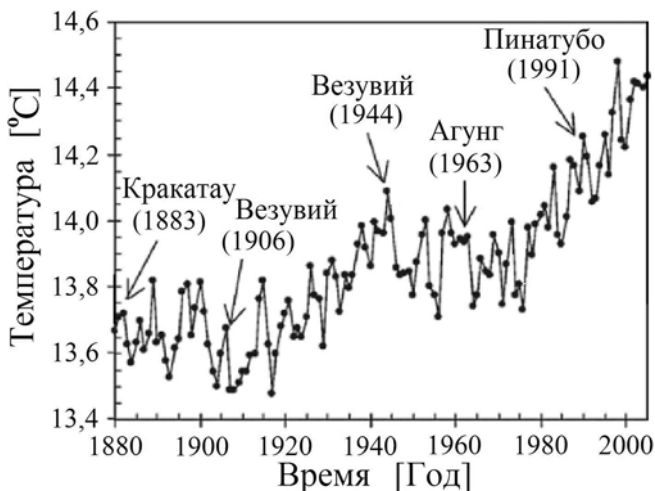


Рис. 12. Среднегодовые планетарные значения наземной температуры воздуха за 1880–2005 гг. и большие извержения вулканов с эмиссией вулканической пыли. Из работы [Ермаков и др., 2007]. Данные о температуре из работы [Handen et al., 1999]

Отметим, что согласно разд. 13, из-за уменьшения планетарного магнитного диполя Земли ожидается небольшое повышение потока КЛ в атмосфере примерно на 4...5 %/100 лет, а наблюдается, наоборот, понижение на 8 %/100 лет. Это означает, что вне Земли интенсивность КЛ в целом понижалась на 12...13 %/100 лет. Какова причина такого тренда — пока не ясно.

15. ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА МАСШТАБЕ МНОГИХ ТЫСЯЧ ЛЕТ И РОЛЬ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

На рис. 13 показаны изменения наземной планетарной температуры воздуха и космической пыли на масштабе многих тысяч лет по данным в антарктическом льде [Petit et al., 1999].

Из данных рис. 13 видно, что резкие (на масштабе тысяч лет) возрастания содержания космической пыли сопровождались соответствующими понижениями наземной планетарной температуры воздуха. Температура падала почти на 9 °С. Последнее такое падение закончилось около 20 тыс. лет назад (Большой ледниковый период, когда погибли мамонты и льды подходили к Чёрному морю). В современную эпоху мы имеем минимум космической пыли и максимум наземной планетарной температуры воздуха.

На рис. 13 также видно, что за последние 420 тыс. лет произошло четыре больших планетарных понижения наземной температуры воздуха, вызванных увеличением потоков космической пыли на Землю. Более того, на основе рис. 13 можно предположить, что пятое большое планетарное понижение наземной температуры воздуха ожидается в ближайшие несколько тысяч лет, и оно может продлиться 60...80 тыс. лет (по аналогии с четырьмя предыдущими понижениями).

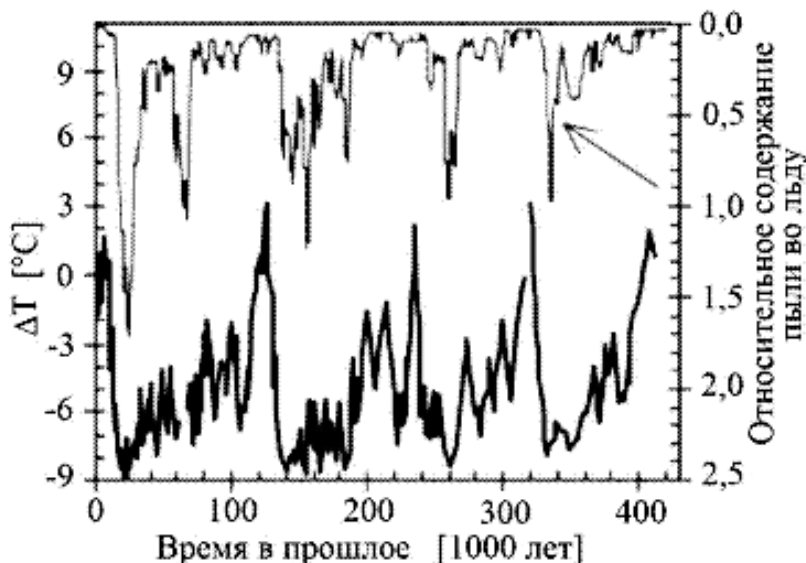


Рис. 13. Изменения наземной планетарной температуры воздуха и космической пыли в течение последних 420 тыс. лет по данным в антарктическом льде [Petit et al., 1999] (из работы [Ермаков и др., 2006])

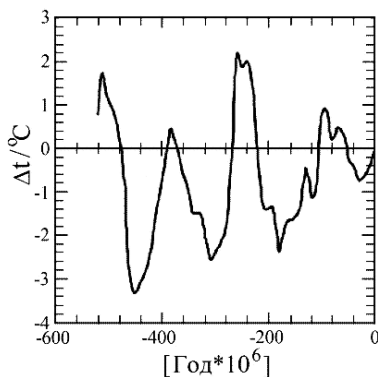


Рис. 14. Изменения наземной планетарной температуры воздуха Δt за последние 520 млн лет согласно работе [Veizer et al., 2000], полученные на основе анализа древних образцов (из работы [Ермаков и др., 2006])

16. ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА МАСШТАБЕ МНОГИХ МИЛЛИОНОВ ЛЕТ

Как известно, Солнце вместе с системой своих планет движется относительно межзвёздной среды со скоростью около 30 км/с и в течение многих миллионов лет сталкивается и пересекает при своём движении много молекулярно-пылевых облаков, сконцентрированных, в основном, в рукавах нашей Галактики. В рукавах Галактики сконцентрированы также вспышки Сверхновых и остатки Сверхновых, что приводит к заметному повышению интенсивности КЛ внутри рукавов. Поэтому попадание Солнца в галактические рукава должно приводить к увеличению как потоков пыли, так и потоков КЛ на Землю, что, в свою очередь, будет приводить к увеличению облачности и понижению наземной планетарной температуры воздуха. На рис. 14 показаны данные об изменениях наземной планетарной температуры воздуха за последние 520 млн лет согласно работе [Veizer et al., 2000], полученные на основе анализа древних образцов.

На рис. 14 видно, что за последние 520 млн лет наблюдалось четыре периода с небольшим превышением над современной температурой (на 0,5...2,0 °C) и четыре периода с пониженной температурой по отношению к современному уровню на 0,8...3,4 °C. В настоящее время на масштабе миллионов лет имеется тренд повышения наземной планетарной температуры воздуха $\sim 0,5$ °C/20 млн лет. Отметим, что такой медленный тренд на масштабе миллионов лет не противоречит гораздо большим изменениям наземной планетарной температуры воздуха на масштабе тысяч лет (см. разд. 15).

17. ВЛИЯНИЕ НА КЛИМАТ И БИОСФЕРУ СТОЛКНОВЕНИЙ АСТЕРОИДОВ С ЗЕМЛЁЙ

Важным космическим фактором, существенно влияющим на земной климат, являются столкновения астероидов с Землёй. Согласно работам [Alvarez et al., 1980; Sharpton et al., 1993], в результате одного из таких столкновений про-

изошло резкое относительно кратковременное изменение климата, к которому некоторые виды животных не успели адаптироваться (например, хорошо известная гибель динозавров). В современную эпоху проводится тщательное слежение за всеми потенциально опасными астероидами и разрабатываются методы, позволяющие избежать таких катастрофических столкновений.

18. ВЛИЯНИЕ НА КЛИМАТ И БИОСФЕРУ ЛОКАЛЬНЫХ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ

Важным космическим фактором, существенно влияющим на земной климат, являются вспышки Сверхновых на расстояниях от Солнца не более 100...200 световых лет [Dorman et al., 1993]. Хорошо известно, что Солнце и Солнечная система возникли около пяти миллиардов лет назад именно в результате вспышки Сверхновой. Чтобы оценить вероятность вспышек Сверхновых вблизи Солнечной системы следует учесть, что полная мощность, переходящая в КЛ от Сверхновых в Галактике, составляет $\sim 3 \cdot 10^{24}$ ГВт. От каждой Сверхновой переходит в КЛ $10^{43} \dots 10^{44}$ Дж энергии. Отсюда в работах [Dorman, 2008; Dorman et al., 1993] была оценена ожидаемая частота вспышек Сверхновых на различных расстояниях от Солнца и оценено ожидаемое их воздействие на земные климат и биосферу. Согласно работе [Ellis, Schramm, 1995], вспышка Сверхновой на расстоянии ближе 30 световых лет от Солнца приведёт не только к большим изменениям климата, но и к уничтожению озонового слоя на Земле примерно на 300 лет, что обеспечит свободное проникновение убийственной для морской и наземной биосферы ультрафиолетовой радиации от Солнца. Исследования Сверхновой SN 1987A и других показали, что такие локальные события (одно или несколько) могли произойти в Phanerozoic (пфанерозоик) эру, когда фотосинтезирующие организмы, включая планктон и рифовые семейства, были подвержены эффективному уничтожению [Ellis, Schramm, 1995].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой публичной лекции мы постарались осветить проблему воздействия космоса на земной климат и через климат — на биосферу. Конечно, на земной климат влияют и хорошо известные причины, такие как вариации потока радиационной энергии от Солнца, неравномерный нагрев и охлаждение, довольно сложная циркуляция атмосферы, влияние вулканических и тектонических процессов и т.п., а в последнюю сотню лет и технологическая деятельность человечества. Мы показали, что космос играет большую (а в некоторых случаях — решающую) роль в глобальных (а может быть, и в некоторых локальных) изменениях земного климата. При этом КЛ и космическая пыль могут быть важными каналами, через которые космос влияет на земные атмосферные процессы.

Благодарности. Я благодарен Ицику Бен Израелю, Ури Даю и Марисе Сторини, поддерживающих работу Израильского центра космических лучей и космической погоды и Израильско-итальянской обсерватории космических

лучей им. Эмилио Сегрэ на горе Хермон; Тамаре Бреус за ценную инициативу 20 лет назад, положившую начало многолетнему успешному сотрудничеству, а также моим коллегам Льву Пустильнику и Игорю Цукерману за интересные и полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

- [Веретененко, Пудовкин, 1994] *Веретененко С. В., Пудовкин М. И.* Эффект форбуш-понижений интенсивности галактических космических лучей в вариациях генераций облачности // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34. № 4. С. 38–44.
- [Дорман, 1957] *Дорман Л. И.* Вариации космических лучей. М.: Гостехтеориздат, 1957.
- [Дорман и др., 1987] *Дорман Л. И., Либин И. Я., Микалаюнас М. М., Юдахин К. Ф.* Связь космофизических и геофизических параметров в 18–21-м циклах солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1987. Т. 27. №. 2. С. 303–305.
- [Ермаков и др., 2006] *Ермаков В. И., Охлопков В. П., Стожков Ю. И.* Влияние космической пыли на климат Земли // Краткие сообщения по физике (ФИАН). 2006. №. 3. С. 41–51.
- [Ермаков и др., 2007] *Ермаков В. И., Охлопков В. П., Стожков Ю. И.* Влияние пыли космического происхождения на облачность, альbedo и климат Земли // Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2007. №. 5. С. 41–45.
- [Ермаков и др., 2009] *Ермаков В. И., Охлопков В. П., Стожков Ю. И.* Влияние космических лучей и космической пыли на атмосферу и климат Земли // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. № 3. С. 434–436.
- [Огурцов, Распопов, 2011] *Огурцов М. Г., Распопов О. М.* О возможном влиянии на климат Земли потоков межпланетной и межзвёздной пыли // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. № 2. С. 278–286.
- [Пудовкин, Распопов, 1992] *Пудовкин М. И., Распопов О. М.* Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP) // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. №. 5. С. 593–608.
- [Стожков и др., 1996] *Стожков Ю. И., Покревский П. Е., Зулло Ж. мл., Марьин И. М., Охлопков В. П., Пеллегрини Ж. К., Пинто Х. С., Безерра П. С., Турелли А. мл.* Воздействие потоков заряженных частиц на интенсивность осадков // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 36. № 4. С. 211–216.
- [Стожков и др., 2001] *Стожков Ю. И., Ермаков В. И., Покревский П. Е.* Космические лучи и атмосферные процессы // Изв. Акад. наук. Сер. Физ. 2001. Т. 65. № 3. С. 406–410.
- [Alvarez et al., 1980] *Alvarez L., Alvarez W., Asaro F., Michel H.* Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction // Science. New Series. 1980. V. 208. N. 4448. P. 1095–1108.
- [Ardanuy et al., 1991] *Ardanuy P. E., Stowe L. L., Gruber A., Weiss M.* Shortwave, longwave and net cloud-radiative forcing as determined from NIMBUS-7 observations // J. Geophysical Research. 1991. V. 96. N. D10. P. 18 537–18 549.
- [Beer et al., 1991] *Beer J., Raisbeck G. M., Yiou F.* Time variations of ^{10}Be and solar activity // The Sun in Time / Ed. Sonett C. P., Giampapa M. S., Matthews M. S. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1991. P. 343–359.
- [Beer et al., 1998] *Beer J., Tobias S., Weiss N.* An active sun throughout the Maunder Minimum // Solar Physics. (Netherlands). 1998. V. 181. N. 1. P. 237–249.
- [Belov et al., 2005] *Belov A. V., Dorman L. I., Gushchina R. T., Obridko V. N., Shelting B. D., Yanke V. G.* 2005. Prediction of expected global climate change by forecasting of galac-

- tic cosmic ray intensity time variation in near future based on solar magnetic field data // *Advances in Space Research*. 2005. V. 35. P. 491–495.
- [Dickinson, 1975] *Dickinson R. E.* Solar variability and the lower atmosphere // *Bull. American Meteorological Society*. 1975. V. 56. N. 12. P. 1240–1248.
- [Dorman, 2003] *Dorman L. I.* Principles of Cosmic Ray using for Space Weather Monitoring and Forecasting // *Proc. 28th Intern. Cosmic Ray Conf. Tsukuba, Japan*. 2003. V. 7. P. 4269–4272.
- [Dorman, 2004] *Dorman L. I.* Cosmic Rays in the Earth's Atmosphere and Underground. Dordrecht; L.; N. Y.: Kluwer Academic Publisher, 2004.
- [Dorman, 2005a] *Dorman L. I.* Estimation of long-term cosmic ray intensity variation in near future and prediction of their contribution in expected global climate change // *Advances in Space Research*. 2005. V. 35. P. 496–503.
- [Dorman, 2005b] *Dorman L. I.* Prediction of galactic cosmic ray intensity variation for a few (up to 10–12) years ahead on the basis of convection-diffusion and drift model // *Annales Geophysicae*. 2005. V. 23. N. 9. P. 3003–3007.
- [Dorman, 2006a] *Dorman L. I.* Long-term cosmic ray intensity variation and part of global climate change, controlled by solar activity through cosmic rays // *Advances in Space Research*. 2006. V. 37. P. 1621–1628.
- [Dorman, 2006b] *Dorman L.* Cosmic Ray Interactions, Propagation, and Acceleration in Space Plasmas. Dordrecht: Springer, 2006.
- [Dorman, 2008] *Dorman L. I.* Natural hazards for the Earth's civilization from space. 1. Cosmic ray influence on atmospheric processes // *Advanced Geosciences*. 2008. V. 14. P. 281–286.
- [Dorman, 2009a] *Dorman L. I.* The Role of Space Weather and Cosmic Ray Effects in Climate Change // *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth* / Ed. T. M. Letcher. Elsevier, Netherlands, 2009. P. 43–76.
- [Dorman, 2009b] *Dorman L.* Cosmic Rays in the Magnetospheres of the Earth and other Planets. Heidelberg: Springer, 2009.
- [Dorman, 2012] *Dorman L. I.* Cosmic rays and space weather: effects on global climate change // *Annales Geophysicae*. 2012. V. 30. N. 1. P. 9–19.
- [Dorman, Dorman, 1967a] *Dorman I. V., Dorman L. I.* Solar wind properties obtained from the study of the 11-year cosmic ray cycle. 1 // *J. Geophysical Research*. 1967. V. 72. P. 1513–1520.
- [Dorman, Dorman, 1967b] *Dorman I. V., Dorman L. I.* Propagation of energetic particles through interplanetary space according to the data of 11-year cosmic ray variations // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP)*. 1967. V. 29. P. 429–449.
- [Dorman, Dorman, 2005] *Dorman L. I., Dorman I. V.* Possible influence of cosmic rays on climate through thunderstorm clouds // *Advances in Space Research*. 2005. V. 35. P. 476–483.
- [Dorman et al., 1988a] *Dorman L. I., Libin I. Ya., Mikalajunas M. M.* About the possibility of the influence of cosmic factors on weather, spectral analysis: cosmic factors and intensity of storms // *Regional Hidrometeorology*. Vilnius, 1988. V. 12. P. 119–134.
- [Dorman et al., 1988b] *Dorman L. I., Libin I. Ya., Mikalajunas M. M.* About the possible influence of the cosmic factors on the weather. Solar activity and sea storms: instantaneous power spectra // *Regional Hidrometeorology*. Vilnius. 1988. V. 12. P. 135–143.
- [Dorman et al., 1993] *Dorman L. I., Iucci N., Villoresi G.* The use of cosmic rays for continuous monitoring and prediction of some dangerous phenomena for the Earth's civilization // *Astrophysics and Space Science*. 1993. V. 208. P. 55–68.
- [Dorman et al., 1997] *Dorman L. I., Villoresi G., Dorman I. V., Iucci N., Parisi M.* On the expected CR intensity global modulation in the Heliosphere in the last several hundred

- years // Proc. 25th Intern. Cosmic Ray Conf. Durban, South Africa. 1997. V. 7. P. 345–348.
- [Dorman et al., 2005] *Dorman L. I., Iucci N., Parisi M., Villaresi G.* The role of drift and convection-diffusion mechanisms in small energy global cosmic ray modulation: Application to the hysteresis phenomenon of proton and alpha particle satellite data // *Advances in Space Research*. 2005. V. 35. P. 569–578.
- [Eddy, 1976] *Eddy J. A.* The Maunder Minimum // *Science*. 1976. V. 192. N. 4245. P. 1189–1202.
- [Ellis, Schramm, 1995] *Ellis J., Schramm D. N.*, Could a nearby supernova explosion have caused a mass extinction? // *Proc. National Academy of Sciences USA Astron.* 1995. V. 92. P. 235–238.
- [Ferraro et al., 1996] *Ferraro R. R., Weng F., Grody N. C., Basist A.* An eight-year (1987–1994) time series of rainfall, clouds, water vapor, snow cover, and sea ice derived from SSM/I measurements // *Bull. American Meteorological Society*. 1996. V. 77. N. 5. P. 891–905.
- [Flückiger et al., 2003] *Flückiger E. O., Büttikofer R., Desorgher L., Moser M. R.* Global cosmic ray cutoff rigidities over the past 2000 years // *Proc. 28th Intern. Cosmic Ray Conf. Tsukuba, 7. 2003*. P. 4229–4232.
- [Friis-Christiansen, Lassen, 1991] *Friis-Christiansen E., Lassen K.* Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate // *Science*. 1991. V. 254. N. 5032. P. 698–700.
- [Haigh, 1996] *Haigh J. D.* The impact of solar variability on climate // *Science*. 1996. V. 272. N. 5264. P. 981–984.
- [Handen et al., 1999] *Handen J., Ruedy R., Glascoe J., Sato M.* // *J. Geophysical Research*. 1999. V. 104. N. D24. P. 30 997–31 022.
- [Hartmann, 1993] *Hartmann D. L.* Radiative effects of clouds on Earth's climate // *Aerosol-Cloud-Climate Interactions. Intern. Geophys. Ser.* 1993. V. 54 / Ed. Hobbs P. V. San Diego: Academic Press Inc., 1993. P. 151–173.
- [Herschel, 1801] *Herschel W.* Observations Tending to Investigate the Nature of the Sun, in Order to Find the Causes or Symptoms of Its Variable Emission of Light and Heat; With Remarks on the Use That May Possibly Be Drawn from Solar Observations // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1801. V. 91. P. 265–318.
- [Jones et al., 1998] *Jones P. D., Briffa K. R., Barnett T. P., Tett S. F. B.* High resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control run temperatures // *Holocene*. 1998. V. 8. N. 4. P. 455–471.
- [Labitzke, van Loon, 1993] *Labitzke K., van Loon H.* Some recent studies of probable connections between solar and atmospheric variability // *Annales Geophysicae*. 1993. V. 11. N. 11–12. P. 1084–1094.
- [Lassen, Friis-Christiansen, 1995] *Lassen K., Friis-Christiansen E.* Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP) (UK)*. 1995. V. 57. N. 8. P. 835–845.
- [Lean et al., 1992] *Lean J., Skumanich A., White O.* Estimating the Sun's radiative output during the Maunder minimum // *Geophysical Research Letters. (USA)*. 1992. V. 19. N. 15. P. 1591–1594.
- [Lean et al., 1995] *Lean J., Beer J., Bradley R.* Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change // *Geophysical Research Letters. (USA)*. 1995. V. 22. N. 23. P. 3195–3198.
- [Mann et al., 1998] *Mann M. E., Bradley R. S., Hughes M. K.* Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // *Nature*. 1998. V. 392. N. 6678. P. 779–787.

- [Markson, 1978] *Markson R.* Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationship // *Nature*. 1978. V. 273. N. 5658. P. 103–109.
- [Marsh, Swensmark, 2000a] *Marsh N. D., Swensmark H.* Low cloud properties influenced by cosmic rays // *Physical Rev. Letters*. 2000. V. 85. N. 23. P. 5004–5007.
- [Marsh, Swensmark, 2000b] *Marsh N., Swensmark H.* Cosmic rays, clouds, and climate // *Space Sci. Rev. (Netherlands)*. 2000. V. 94. N. 1–2. P. 215–230.
- [Ney, 1959] *Ney E. R.* Cosmic radiation and weather // *Nature*. 1959. V. 183. N. 4659. P. 451–452.
- [Ohring, Clapp, 1980] *Ohring G. Clapp P. F.* The effect of changes in cloud amount on the net radiation on the top of the atmosphere // *J. Atmospheric Sciences (USA)*. 1980. V. 37. N. 2. P. 447–454.
- [Petit et al., 1999] *Petit J. R., Jouzel J., Raunaud D.* et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. 1999. V. 399. P. 429–436.
- [Price, 2000] *Price C.* Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour // *Nature*. 2000. V. 406. N. 6793. P. 290–293.
- [Pudovkin, Veretenenko, 1995] *Pudovkin M. I., Veretenenko S. V.* Cloudiness decreases associated with Forbush-decreases of galactic cosmic rays // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP) (UK)*. 1995. V. 57. N. 11. P. 1349–1355.
- [Pudovkin, Veretenenko, 1996] *Pudovkin M. I., Veretenenko S. V.* Variations of the cosmic rays as one of the possible links between the solar activity and the lower atmosphere // *Advances in Space Research (UK)*. 1996. V. 17. N. 11. P. 161–164.
- [Pustil'nik, Yom Din, 2004a] *Pustil'nik L. A., Yom Din G.* Influence of solar activity on the state of the wheat market in medieval England // *Solar Physics (Netherlands)*. 2004. V. 223. N. 1–2. P. 335–356.
- [Pustilnik, Yom Din, 2004b] *Pustilnik L. A., Yom Din G.* Space climate manifestation in Earth prices — from medieval England up to modern U.S.A. // *Solar Physics. (Netherlands)*. 2004. V. 224. N. 1–2. P. 473–481.
- [Pustil'nik et al., 2003] *Pustil'nik L., Yom Din G., Dorman L.* Manifestations of Influence of Solar Activity and Cosmic Ray Intensity on the Wheat Price in the Medieval England (1259–1703 Years) // *Proc. 28th Intern. Cosmic Ray Conf. Tsukuba, Japan*. 2003. V. 7. P. 4131–4134.
- [Ramanathan et al., 1989] *Ramanathan V., Cess R. D., Harrison E. F., Minnis P., Barkstrom B. R., Ahmad E., Hartmann D.* Cloud-radiative forcing and climate: results from the Earth Radiation Budget Experiment // *Science*. 1989. V. 243. N. 4887. P. 57–63.
- [Rogers, 1887] *Rogers J. E. T.* Agriculture and Prices in England. In 18 V. Oxford: Clarendon Press, 1887.
- [Rossow, Cairns, 1995] *Rossow W. B., Cairns B.* Monitoring changes of clouds // *Clim. Change (Netherlands)*. 1995. V. 31. N. 2–4. P. 305–347.
- [Rossow, Shiffer, 1991] *Rossow W. B., Shiffer R. A.* ISCCP cloud data products // *Bull. American Meteorological Society (USA)*. 1991. V. 72. N. 1. P. 2–20.
- [Sakurai, 2003] *Sakurai K.* The Long-Term Variation of Galactic Cosmic Ray Flux and Its Possible Connection with the Current Trend of the Global Warming // *Proc. 28th Intern. Cosmic Ray Conf. Tsukuba, Japan*. 2003. V. 7. P. 4209–4212.
- [Schlegel et al., 2001] *Schlegel K., Diendorfer G., Thern S., Schmidt M.* Thunderstorms, lightning and solar activity — Middle Europe // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP) (UK)*. 2001. V. 63. N. 16. C. 1705–1713.
- [Sharpton et al., 1993] *Sharpton V., Burke K., Camargo-Zaroguera A.* et al. // *Science*. 1993. V. 261. P. 1564–1567.
- [Shea, Smart, 2003] *Shea M. A., Smart D. F.* Preliminary Study of the 400-Year Geomagnetic Cutoff Rigidity Changes, Cosmic Rays and Possible Climate Changes // *Proc. 28th Intern. Cosmic Ray Conf. Tsukuba*. 2003. V. 7. P. 4205–4208.

- [Shea, Smart, 2004] *Shea M.A., Smart D.F.* Preliminary study of cosmic rays, geomagnetic field changes and possible climate changes // *Advances in Space Research*. 2004. V. 34. N. 2. P. 420–425.
- [Shindell et al., 1999] *Shindell D., Rind D., Balabhandran N., Lean J., Lonengran P.* Solar cycle variability, ozone, and climate // *Science*. 1999. V. 284. N. 5412. P. 305–308.
- [Smith, 1776] *Smith A.* Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. L.: W. Strahan and T. Cadell, 1776.
- [Stowe et al., 1988] *Stowe L.L., Wellemayer C.G., Eck T.F., Yeh H.Y.M., the Nimbus-7 cloud data processing team.* Nimbus-7 global cloud climatology. I. Algorithms and validation // *J. Climate (USA)*. 1988. V. 1. N. 5. P. 445–470.
- [Stozhkov, 2003] *Stozhkov Yu. I.* The role of cosmic rays in the atmospheric processes // *J. Physics G: Nuclear and Particle Physics (UK)*. 2003. V. 29. N. 5. P. 913–923.
- [Stozhkov et al., 1995a] *Stozhkov Yu. I., Pokrevsky P. E., Martin I. M., Zullo J. Jr., Pellegrino G. Q., Pinto H. S., Turtelli A. Jr.* Cosmic Ray Fluxes in Atmosphere and Precipitations // *Proc. 24th Intern. Cosmic Ray Conf. Rome, Italy*. 1995. V. 4. P. 1122–1125.
- [Stozhkov et al., 1995b] *Stozhkov Yu. I., Zullo J. Jr., Martin I. M., Pellegrino G. Q., Pinto H. S., Bazilevskaya G. A., Bezerra P. C., Makhmutov V. S., Svirzhevsky N. S., Turtelli A. Jr.* Rain-falls during great Forbush decreases // *Nuovo Cimento*. 1995. V. 18C. N. 3. P. 335–341.
- [Stozhkov et al., 2000] *Stozhkov Yu. I., Pokrevsky P. E., Okhlopkov V. P.* Long-term negative trend in cosmic ray flux // *J. Geophysical Research*. 2000. V. 105. N. A1. P. 9–17.
- [Stozhkov et al., 2001] *Stozhkov Yu. I., Ermakov V. I., Pokrevsky P. E.* Cosmic rays and atmospheric processes // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. (USA)*. 2001. V. 65. N. 3. P. 447–451.
- [Swensmark, 1998] *Swensmark H.* Influence of cosmic rays on Earth's climate // *Physical Rev. Letters (USA)*. 1998. V. 81. N. 22. P. 5027–5030.
- [Swensmark, 2000] *Swensmark H.* Cosmic Rays and Earth's Climate // *Space Sciences Rev.* 2000. V. 93. N. 1–2. P. 175–185.
- [Swensmark, Friis-Christiansen, 1997] *Swensmark H., Friis-Christiansen E.* Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage — a missing link in solar-climate relationships // *J. Atmospheric and Terrestrial Physics (JASTP) (UK)*. 1997. V. 59. N. 11. P. 1225–1232.
- [Tinsley, 1996] *Tinsley B.A.* Solar wind modulation of the global electric circuit and the apparent effects of cloud microphysics, latent heat release, and tropospheric dynamics // *J. Geomagnetism and Geoelectricity*. 1996. V. 48. P. 165–175.
- [Tinsley, 2000] *Tinsley B.A.* Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere // *Space Sciences Rev. (Netherlands)*. 2000. V. 94. N. 1–2. P. 231–258.
- [Tinsley, Deen, 1991] *Tinsley B.A., Deen G. W.* Apparent tropospheric response to MeV-GeV particle flux variations: a connection via electrofreezing of supercooled water in high-level clouds? // *J. Geophysical Research*. 1991. V. 96. N. D12. P. 22 283–22 296.
- [Veizer et al., 2000] *Veizer J., Godderis Y., Francois I. M.* Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoiceon // *Nature*. 2000. V. 408. P. 698–701.
- [Weng, Grody, 1994] *Weng F., Grody N. C.* Retrieval of cloud liquid water using the special sensor microwave imager (SSM/I) // *J. Geophysical Research*. 1994. V. 99. N. D12. P. 25 535–25 551.

ON THE ROLE OF COSMIC RAYS AND OTHER FACTORS OF SPACE WEATHER IN THE GLOBAL EARTH'S CLIMATE CHANGES

L. I. Dorman^{1,2}

¹ N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation
of the Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Moscow, Russia,
e-mail: lid010529@gmail.com

² Israel Cosmic Ray and Space Weather Centre, affiliated to Tel Aviv University, Israel Space Agency,
and Golan Research Institute at Haifa University

In recent years, among people, as well as among many scientists have caused great concern to the observations showing a rapid increase in average annual temperature of the planetary-sea level (about 0.8 °C over the last hundred years). The fact is that if we extrapolate the growth in the near future, it would appear that for some countries the situation may be catastrophic because of heavy melting of glaciers in the mountains and ice in the Arctic and Antarctic. This is a serious concern for many governments and the UN. Many scientists believe that the main reason of global warming — the so-called greenhouse effect due to the rapid increase in the Earth's atmospheric carbon dioxide due to the rapid development of technological civilization and the increasing consumption of coal, oil and gas. In this public lecture I will discuss some concerns with a number of scientists of the correctness of this hypothesis, and most importantly, the observed in the past on the scales of many millions, and many thousands of years (long before the technological revolution) massive changes mid-year planetary temperature at sea level increasing and decreasing with respect to the current level at 3...4 °C, and some time, more. Of course, such large changes in climate significantly affect the biosphere. And what are causes of these changes? Of course, some of them — are processes in the crust and the Earth's atmosphere. But from the data for the last 100 years shows that even very large volcanic eruptions cause a lowering of the average annual temperature of the planetary-only 0.1...0.2 °C only for a few years (much bigger changes during much more years can give super volcanic eruptions, as well known Yellowstone, for example, but the probability of this type eruptions is very small). From our opinion, the main reason for changing the Earth's climate and the corresponding impact on the biosphere are outside of the Earth — are processes in space, or as they say now, space weather and space climate. The main channels through which space affects the terrestrial climate and biosphere, is electromagnetic radiation, cosmic rays and cosmic dust. As it happens — will also be discussed in this lecture. Of course, I'll also touch on issues such as supernova explosion and the formation of the solar system, evolution of the Sun and Earth, the motion of the Sun in the Galaxy and collisions with molecular-dust clouds.

055(02)2

Ротапринт ИКИ РАН
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32
Подписано к печати 18.03.2013

Заказ 3210

Формат 70×100¹/₁₆

Тираж 200

29,09 усл.-печ. л.

