

Вариабильность инфарктов и геомагнитных пульсаций Pc1 и Pc5 в 21-ом цикле солнечной активности

Клейменова Н.Г.^{1,2}, Козырева О.В.¹, Иванова П.К.^{3*}

¹Институт физики Земли РАН, Москва, Россия, kleimen@ifz.ru

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, kozyreva@ifz.ru

³Геофизический институт БАН, София, Болгария

* в настоящее время – на пенсии, pivanova@sellinet.net

Анализ данных медицинской статистики (смертность от инфаркта в Болгарии за 1970-1985 гг) показал, что в максимуме цикла солнечной активности отмечался четкий минимум «очищенного» от линейного тренда числа инфарктов, пиковые значения которых наблюдались на фазе спада и роста солнечной активности. Показана высокая корреляция циклической вариабильности инфарктов с геомагнитной активностью и геомагнитными пульсациями Pc1 ($T=0.2-5.0$ с) и Pc5 ($T=3-8$ мин).

Введение

Последние десятилетия появилось огромное число работ, часто противоречивых, о влиянии солнечной и геомагнитной активности на биосферу и человека. Основателем гелиобиологии А.Л. Чижевским [1] убедительно показана связь различных эпидемий с циклами солнечной активности. В 90-х годах прошлого века было установлено [например, 2-6], что основной «мишенью» человеческого организма, на которую может оказывать воздействие гелио-геомагнитная активность, является сердце и сердечно-сосудистая система в состоянии патологии. Поэтому целью данной работы было исследование вариабильности смертности от инфарктов миокарда в цикле солнечной активности на примере медицинской статистики о смертности от инфаркта в Болгарии в 1970-1985 гг. Первичный анализ этих данных был приведен в работе [7].

Анализ данных

На рис. 1 показаны вариации данных о смертности от инфаркта миокарда в Болгарии в 1970-1985 гг. На верхней кривой виден четкий сезонный ход с максимумами в зимнее время. Общее увеличение со временем числа инфарктов, по-видимому, происходит за счет как возрастания численности населения страны, так и влияния ряда неблагоприятных социальных причин.

После снятия линейного тренда годовые данные были нормализованы на число случаев смертности от инфаркта в данном году (рис. 1в). На нижнем графике рис. 1 приведены вариации солнечной активности (числа Вольфа - Wp). Четко видно, что в максимуме цикла солнечной активности наблюдается минимальная смертность.

На рис.2 показано сопоставление медицинских данных с вариациями геомагнитной активности и геомагнитными пульсациями Pc5 ($T=2-8$ мин) и Pc1 ($T=0.2-5.0$ с). В качестве меры умеренной геомагнитной возмущенности использовалось число дней в году с $24 < \sum Kp < 40$, а сильной возмущенности - число дней в году с $\sum Kp > 40$.

Все используемые в гелиобиологии индексы магнитной активности не содержат информации о спектральном составе вариаций геомагнитного поля, который может

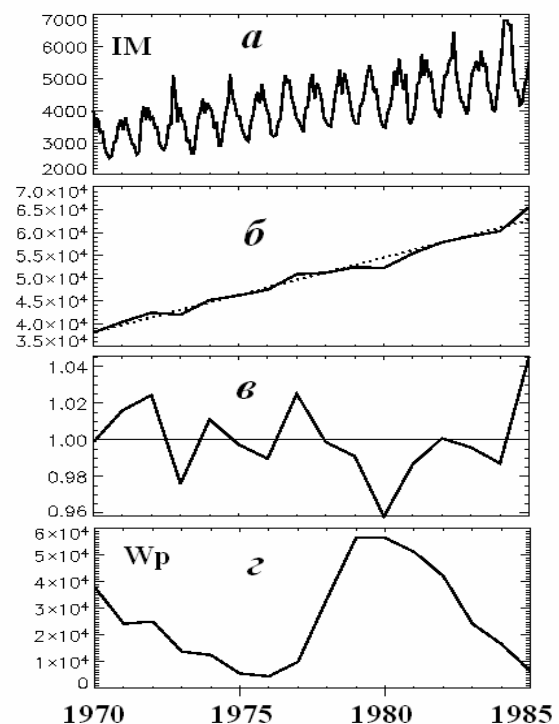


Рис.1. Месячные (а) и годовые (б) данные о смертности от инфаркта миокарда в Болгарии в 1970-1985 г.; годовые данные, «очищенные» от линейного тренда (в), (z) - вариации солнечной активности (числа Вольфа - Wp).

быть критически важным для биотропности магнитных бурь. В ряде работ [например, 8-9] приведены многочисленные примеры биологических эффектов переменных электромагнитных полей очень малых напряженностей. Следовательно, можно предположить, что биотропное действие магнитных бурь зависит от волновой структуры и спектра геомагнитных пульсаций, представляющих так называемую «тонкую структуру» магнитной бури.

Выдвигались гипотезы, например, [10] о том, что возможным биотропным агентом магнитных возмущений

могут быть геомагнитные пульсации с периодами от нескольких секунд до нескольких минут.

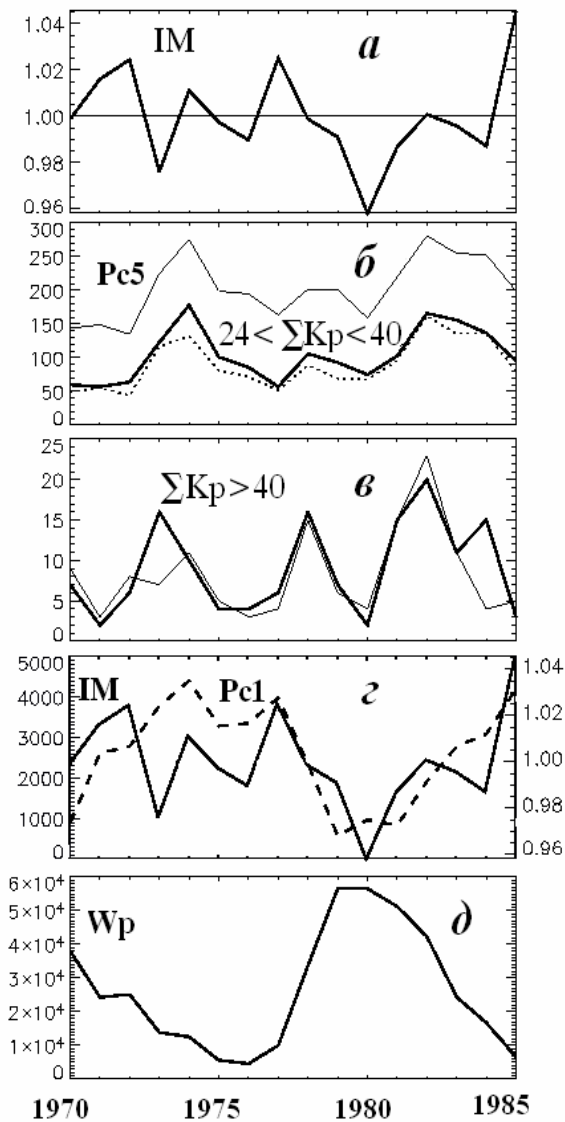


Рис. 2. Вариации геомагнитной активности и геомагнитных пульсаций в 21-ом цикле солнечной активности: (а) – медицинские данные, «очищенные» от линейного тренда; (б) – число умеренно возмущенных дней в году – жирная линия, число дней с геомагнитными пульсациями Pc5, превышающими фон – тонкая линия, с интенсивными Pc5 – пунктир; (в) число сильно возмущенных дней в году – жирная линия, с очень интенсивными Pc5, в 10 раз превышающими фон, – тонкая линия; (г) – годовая длительность геомагнитных пульсаций Pc1 – штриховая линия, разностная кривая (сплошная линия) вариаций смертности от инфарктов (повторение кривой –а), (д) – солнечная активность по Wp

Геомагнитные пульсации по морфологическим характеристикам разделяются на два вида – устойчивые, с длительностью до нескольких часов, характеризующиеся квазимонохроматическим спектром (Pc – pulsations continues) и иррегулярные, импульсные (Pi

– pulsations irregular). Первый вид наблюдается преимущественно в утреннее и дневное время, а второй – в вечернее и ночное. Амплитуды геомагнитных пульсаций относительно малы и убывают с уменьшением периода: от десятков – сотен нТл для колебаний с периодами в единицы минут, до десятых и сотых долей нТл для колебаний с периодами в единицы секунд. Несмотря на такие, казалось бы, малые величины амплитуд, ряд исследователей, например, [8] указывает на возможную биоэффективность таких колебаний. Можно предположить, что существует определенная избирательность биосистем к различным частотам, обусловленная резонансными взаимодействиями. Кроме того, не исключено, что определенное значение имеет также скорость изменения магнитного поля, т.е. его временные градиенты.

Наиболее короткопериодными Pc пульсациями являются пульсации типа Pc1, которые представляют собой квазисинусоидальные колебания с периодом от 0.2 до 5 с. Эти волны могут быть одним из наиболее «перспективных» типов геомагнитных пульсаций, оказывающих влияние на сердечно-сосудистую систему человека [11], поскольку их периоды попадают в диапазон сердечных сокращений. Кроме того, биотропное влияние на человека могут оказывать также характерные для магнитных бурь геомагнитные пульсации диапазона Pc5 (T=3-8 мин), которые характеризуются чрезвычайно большими (десятки – первые сотни нТл) амплитудами, резкими временными градиентами магнитного поля и большой продолжительностью (несколько часов).

На рис. 2 (б и в) показаны вариации активности геомагнитных пульсаций Pc5 в ходе 21-го цикла солнечной активности, т.е. распределение числа дней в году с интенсивными дневными (03-17 MLT) среднеширотными пульсациями Pc5. Уровень интенсивности пульсаций вычислялся по методике [12], измененной применительно к данным среднеширотных наблюдений. Для этого были разработаны специальные программы вычисления суточного, месячного и годового индексов локальной активности Pc5 пульсаций для отдельно выбранной среднеширотной обсерватории, поскольку в наших исследованиях использовались болгарские данные. При расчетах в условиях умеренной магнитной активности ($24 < \sum K_p < 40$) учитывались Pc5 пульсации с амплитудой, в 2 раза превышающей спокойный уровень, а в случае сильной возмущенности ($\sum K_p > 40$) – в 10 раз.

Видно, что вариации числа дней в году с интенсивными среднеширотными пульсациями Pc5 полностью повторяют вариации геомагнитной активности по Kp, как в условиях умеренной (рис. 2б), так и сильной (рис. 2в) возмущенности. На рис. 2б также видно, что число всех дней с геомагнитными пульсациями Pc5 (тонкая линия), амплитуда которых превышает фоновые значения, значительно больше числа возмущенных дней. Это является результатом того, что пульсации Pc5 наблюдаются как в главную, так и в восстановительную фазу магнитной бури, когда индекс Kp резко уменьшается.

Таким образом, геомагнитные пульсации Pc5 могут быть четким индикатором геомагнитной активности. На рис.2 видно, что основные максимумы геомагнитной активности как умеренной, так и сильной наблюдались на спаде и подъеме цикла солнечной активности. В максимуме цикла геомагнитная активность понижена.

Сопоставление медицинских и геомагнитных данных (рис. 2) показало, что максимумы инфарктов четко совпадают с пиками геомагнитной возмущенности и появлением интенсивных геомагнитных пульсаций Pc5.

На рис. 2г показаны вариации годовой длительности геомагнитных пульсаций Pc1 на среднеширотной обл. Борок. Корреляция сезонных вариаций развития инфарктов миокарда с длительностью этих пульсаций показана в работе [13]. Циклические вариации пульсаций Pc1 находится в противофазе с 11-ти летней периодичностью солнечной активности [14]. Видно, что циклические вариации смертности от инфаркта миокарда относительно хорошо совпадают с вариациями длительности пульсаций Pc1.

Обсуждение

Таким образом, проведенные исследования показали, что смертность от инфаркта миокарда возрастает синхронно с вариациями магнитной возмущенности на фазе спада и подъема солнечной активности. В максимуме цикла наблюдается уменьшение смертельных исходов инфаркта.

В работе А.Л. Чижевского [1] был получен такой же вывод при анализе развития мировых эпидемий гриппа в XY-XIX веках (в эпохи, когда не было эффективных средств борьбы с этим заболеванием). Мировые эпидемии гриппа наблюдались за 2-3 года до или после максимума солнечной активности (рис. 3а). Такая же тенденция была обнаружена А.Л. Чижевским и для вариаций общей смертности в Европейской России за 50 лет, с 1867 по 1917 г., т.е. более чем за 4 цикла солнечной активности. Метод наложения эпох показал, что в максимуме солнечной активности отмечается четко выраженный минимум смертности, а пики на кривой смертности наблюдаются на спаде и подъеме цикла солнечной активности (рис. 3б).

Поскольку мы не являемся специалистами в области медицины и биологии, то обсуждать какие-либо конкретные медико-биологические механизмы воздействия вариаций естественных электромагнитных полей на человеческий организм мы неправомерны. Заметим только, что некоторые аспекты возможности физического (резонансного и индукционного) воздействия сверхслабых магнитных полей на живые системы рассматривались в ряде работ, например [6, 8, 15]. Однако в этом вопросе многое остается невыясненным, поэтому выделить какой-либо конкретный механизм пока, по-видимому, не представляется возможным.

Заметный прогресс в понимании этой проблемы намечился в связи с успехами теории переходов, индуцированных шумом, например, [16]. Было установлено, что слабые сигналы на уровне шума могут играть важную роль в самоорганизации открытых

нелинейных систем, каковыми являются биологические объекты.

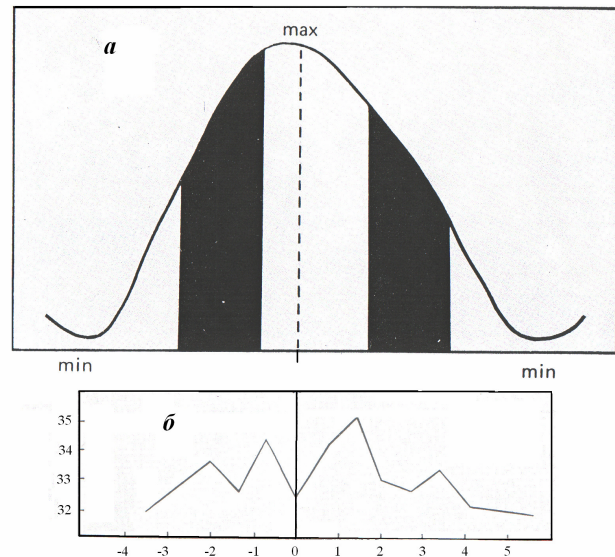


Рис. 3. Схема распределений мировых эпидемий гриппа в XY-XIX веках относительно максимума солнечной активности – (а); (б) – распределение общей смертности в Европейской части России с 1867 по 1917 г. (по А.Л.Чижевскому [1]), определенное методом наложения эпох, нулевой день – максимум солнечной активности.

Стохастический резонанс описывает захват слабого внешнего периодического сигнала системой под влиянием шума, инициирующего хаотические переходы системы из одного равновесного состояния в другое. Только шум определенной интенсивности позволяет осуществить такой захват. Этот физический механизм объясняет главное противоречие проблемы - почему слабые естественные электромагнитные поля «работают» в данном случае, а более интенсивные антропогенные «не работают» [3-5]. Биологические системы особенно чувствительны к эффектам влияния внешнего шума в состоянии неустойчивости, т.е. большие организмы.

Представляет интерес и теория параметрического магнитного резонанса в биосистемах, предложенная в работе [17], в которой рассматривается влияние низкочастотных колебаний магнитного поля на биологические объекты исходя из представлений о воздействии таких полей на связанные ионы, влияющие на физиологические процессы в клетках.

Согласно выводам работы [5], квазипериодические пульсации геомагнитного поля могут играть роль внешнего синхронизатора биологических ритмов. Реакция живых организмов на внешний стресс проявляется на частотах, попадающих в диапазон частот сердечных сокращений человека, наиболее интенсивно, если имеется патология адаптационной системы (заболевание). В ослабленном организме, находящемся в неустойчивом состоянии, под действием электромагнитного шума, всегда сопровождающего геомагнитные возмущения, происходит захват частоты сверхслабого внешнего периодического сигнала, каким могут быть геомагнитные пульсации Pc1, частоты

которых попадает в диапазон сердечных сокращений человека. Такой захват приведет к модуляции квазипериодическими частотами Pc1 индуцированных шумом хаотических переходов биосистемы из одного равновесного состояния в другое.

Известно [например, 18-21], что природа и солнечные источники магнитных бурь в максимуме и на спаде солнечной активности различна. Так, в работе [18] показано, что в 21-ом цикле солнечной активности, как и в последующем 22-ом цикле, максимум появления магнитных бурь наблюдался не в максимуме цикла, а на спаде и подъеме солнечной активности (см. рис. 1 из работы [18]).

Долгое время считалось, что магнитные бури вызываются, в основном, солнечными вспышками. Однако впоследствии было установлено, что это далеко не так. Основным источником магнитных бурь вблизи максимума солнечного цикла является выбросы корональной массы (СМЕ), формирующие межпланетные магнитные облака, а на спаде и подъеме цикла – области взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра (CIR) [18-21]. В первом случае наблюдаются более интенсивные, но менее продолжительные магнитные бури [20, 21]. Источником высокоскоростных потоков на спаде солнечной активности являются долгоживущие корональные дыры, для которых характерна ~27 дневная рекуррентность. Магнитные бури в максимуме и на спаде и подъеме солнечной активности различаются по многим параметрам [20]. Характеристики геомагнитных пульсаций, представляющие тонкую структуру магнитных бурь, также могут быть различными. К сожалению, таких детальных исследований пока не проводилось. Это является задачей будущего.

Заключение

Анализ данных медицинской статистики (смертность от инфаркта в Болгарии за 1970-1985 гг) показал, что в максимуме цикла солнечной активности отмечался четкий минимум «очищенного» от линейного тренда смертности от инфаркта миокарда, пиковые значения которой наблюдались на фазе спада и роста солнечной активности. Такой же циклический ход с максимумами на фазе спада и подъема цикла отмечен и в вариациях геомагнитной активности. Показана высокая корреляция циклической вариабильности инфарктов с геомагнитной активностью и геомагнитными пульсациями Pc1 ($T=0.2-5.0$ с) и Pc5 ($T=3-8$ мин).

Таким образом, выполненный анализ показал, что для человека наиболее «негативными» являются не периоды максимума солнечной активности, а периоды ее спада и подъема.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.Л.Чижевский. *Земное эхо солнечных бурь*. Москва: Мысль, 1973.
 [2] Ф.И.Комаров, Т.К.Бреус, С.И.Рапопорт и др. "Медико-биологические эффекты солнечной активности", *Вестник Академии Медицинских Наук*, Вып.11, 1994, сс. 37-50.

- [3] R.M.Baevsky, V.M.Petrov., G.Cornélissen et al. "Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease", *Scripta medica*, Vol. 70, 1994, pp. 99-204.
 [4] T.Breus, G.Cornelissen, F.Halberg, A.E. Levitin. "Temporal associations of life with solar and geophysical activity", *Ann. Geophys.*, Vol. 13, 1995, pp. 1211–1222.
 [5] Т.К.Бреус, С.И.Рапопорт. *Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты*, М.: Советский спорт, 2003.
 [6] Ю.И.Гурфинкель. *Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность*, Москва: ИИКЦ «Эльф-3», 2004.
 [7] П.К.Иванова, Н.Г.Клейменова, О.В.Козырева, А.Г.Гамбурцев "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 воздействий", М.: "Янус-К", 2002, сс561-563.
 [8] Г.Ф.Плеханов. *Основные закономерности низкочастотной электромагнитной биологии*. Томск: Изд. Томского Университета, 1990.
 [9] Н.А.Темурьянц, Б.М.Владимирский, О.Г.Тишкин. *Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире*. Киев: Наукова думка, 1992.
 [10] Н.Г.Клейменова, В.А.Троицкая. "Геомагнитные пульсации как один из экологических факторов среды", *Биофизика*, № 37, Вып.3, 1992, сс429-439.
 [11] Kleimenova N.G., Kozyreva O.V., Breus T.K., Rapoport S.I., "Pc1 geomagnetic pulsations as a potential hazard of the myocardial infarction", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol.69, 14, 2007, pp1759-1764.
 [12] O.Kozyreva, V.Pilipenko, M.J.Engelbreton, K.Yumoto, J.Watermann, N.Romanova. "In search of a new ULF wave index: Comparison of Pc5 power with dynamics of geostationary relativistic electrons", *Planet. Space Sci.*, Vol. 55, 2007, pp755-769.
 [13] Н.Г.Клейменова, О.В.Козырева, Т.К.Бреус, С.И.Рапопорт. "Сезонные вариации инфарктов миокарда и возможное биотропное влияние короткопериодных пульсаций геомагнитного поля на сердечно-сосудистую систему", *Биофизика*, Т. 52, Вып. 6, 2007, сс1112-1119.
 [14] Э.Т.Матвеева. "Циклическая вариация активности геомагнитных пульсаций Pc1", *Геомагнетизм и аэронавтика*, Т. 27, № 3, 1987, сс392-395.
 [15] Н.Г.Птицына, Дж.Виллорези, Л.И.Дорман и др. "Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья", *Успехи физических наук*, Т. 168, № 7, 1998, сс767-791.
 [16] W.Horsthemke, R.Lefever. *Noise-induced Transitions. Theory and Applications in Physics, Chemistry and Biology*, Springer-Verlag, Berlin-Tokyo, 1984.
 [17] В.В.Леднев. "Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей", *Биофизика*, Т. 41, 1996, сс224-234.
 [18] Ю. И. Ермолаев, М. Ю. Ермолаев. "О некоторых статистических взаимосвязях солнечных, межпланетных и геомагнитосферных возмущений в период 1976-2000 г. ", *Космич. исслед.* Т. 40, № 1, 2002, сс3-16.
 [19] M.H.Denton, J.E.Borovsky, R.M.Skoug, M.F.Thomsen, B.Lavraud, M.G.Henderson, R.L.McPherron, J.C.Zhang, M.W.Liemohn. "Geomagnetic storms driven by ICME- and CIR-dominated solar wind", *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, A07S07, 2006, doi:10.1029/2005JA011436.
 [20] J.E.Borovsky, M.Denton. "Differences between CME-driven and CIR-driven storms", *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, A07S08, 2006, doi: 10.1029/2005JA011447.
 [21] I.G.Richardson, E.W.Cliver, H.V.Cane. "Sources of geomagnetic storms for solar minimum and maximum conditions during 1972–2000", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 28, 2001, pp2569-2573.