

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛИЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА ВОЗМУЩЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Алексамян Г.К.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», Новочеркасск, Россия (346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: graer@yandex.ru

В статье предложен метод выделения возмущений геомагнитного поля (ГМП), которые оказывают негативное влияние на организм человека. Для применения данного метода необходимо разработать математическую модель переменного ГМП, описывающего регулярные вариации магнитного поля Земли (ПГМП). Проведенный спектральный анализ показал, что наибольший вклад в ПГМП вносят солнечно-суточные вариации (ССВ), обусловленные вращением Земли вокруг собственной оси. С применением метода сезонной декомпозиции к временным рядам напряженности ГМП за 1997-2010 гг. были выделены ССВ для каждого месяца. С помощью факторного и иерархического кластерного анализов проведена классификация ССВ. Это позволило сократить количество кривых, описывающих ССВ в течение календарного года. Разработана математическая модель ССВ на основе быстрого преобразования Фурье. Получены уравнения регрессии. Рассчитаны коэффициенты уравнения модели, проведена оценка их значимости. Проведена проверка адекватности модели экспериментальным данным с применением критерия Фишера.

Ключевые слова: метод, математическая модель, геомагнитное поле, солнечно-суточные вариации, возмущения.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF ALLOCATION OF INDIGNATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD INFLUENCING THE HUMAN BODY

Aleksanyan G.K.

South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia (346428, Novocherkassk, street Prosveshenia, 132), e-mail: graer@yandex.ru

In article the method of allocation of indignations of a geomagnetic field (GMF) which make negative impact on a human body is offered. It is necessary to develop mathematical model of the variable GMF describing regular variations of a magnetic field of Earth (VGMF) for application of this method. The carried-out spectral analysis showed that the greatest contribution to VGMF is brought by the solar-daily allowance of variations (SDV) caused by rotation of Earth round own axis. With application of a method of seasonal decomposition to temporary ranks of intensity of GMF for 1997-2010 SDV for every month were allocated. By means of factorial and hierarchical cluster analyses SDV classification is carried out. It allowed to reduce quantity of the curves describing SDV within calendar year. The mathematical model of the SDV on the basis of Fourier's fast transformation is developed. The regression equations are received. Factors of the equation of model are calculated, the assessment of their importance is carried out. Checking of adequacy of model to experimental data with application of criterion of Fischer is carried out.

Key words: method, mathematical model, geomagnetic field, solar-daily variations, indignations.

Введение

Геомагнитными возмущениями (ГВ) называют любые отклонения геомагнитного поля (ГМП) от спокойного уровня [9]. Амплитуда этих отклонений может быть от единиц до тысяч гамм, а длительность от секунд до суток. При наложении этих флуктуаций друг на друга наблюдается картина хаотических и на первый взгляд совершенно произвольных изменений магнитного поля (МП) [9]. Магнитные возмущения, которые охватывают всю Землю, называются геомагнитными бурями (ГБ). Существует немало свидетельств

воздействия ГБ на технические системы и сооружения. Организм человека реагирует на подобное природное явление ухудшением общего состояния, увеличивается вероятность возникновения проблем с сердечно-сосудистой системой, изменяется чувствительность к медикаментозным воздействиям [4]. В дни усиления солнечной активности возрастает как нижнее, так и верхнее артериальное давление, увеличивается свертываемость крови. Число нарушений сердечного ритма во время ГБ увеличивается в 2,5 раза в состоянии покоя и в 1,5 раза при физической нагрузке. Число инфарктов миокарда возрастает на 13-14%, а инсультов головного мозга на 7%, наблюдается уменьшение вариабельности как у больных, так и у клинически здоровых людей до 22-26% по сравнению со спокойными в геомагнитном отношении днями [4]. Количество несчастных случаев и травматизма во время МБ увеличивается в 1,5 раза [4]. Также установлена сильная корреляция геомагнитной активности с числом ошибок в работе операторов диспетчерских служб, водителей автотранспорта, машинистов железных дорог. Достоверно выявлено влияние ГВ на реакции секреции и выделения таких гормонов, как кортизол, дофамин, норадреналин, мелатонин [4]. В настоящее время для составления прогноза ГБ анализируется выброс коронарного вещества, ритмы вариации солнечной активности, движение солнечного ветра, направления межпланетного магнитного поля. Но породят ли они масштабные вариации магнитосферы Земли, остается неизвестным до наступления возмущений. Особенно необходимым является создание портативных технических средств оценки и прогнозирования ГМП в бытовых условиях, позволяющих людям, чувствительным к геомагнитным воздействиям, принимать необходимые меры.

Цель работы: разработка метода выделения возмущений ГМП на основе математической модели регулярных вариаций ГМП для создания портативных информационно-измерительных средств оценки и прогнозирования ГБ, способных оповещать население, медицинские учреждения и специализированные организации о наступлении бури для принятия необходимых мер.

Материал и методы исследования. Статистическая обработка материала и вычисления проводились с использованием пакета прикладных программ *MatLab* 6.5, *MathCad* 2001, *MS Excel* 2003, *STATISTICA* 6.0.

Для исследований использовались данные геомагнитной обстановки, полученные на обсерваториях Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН) (г.Троицк, Россия) в течение 14 лет (5110 дней) с шагом $\Delta t=1$ час.

Результаты и обсуждение

Известно [1], что напряженность H на поверхности Земли имеет вид:

$$H = H_{\text{пост}} + \sum H_{\text{пер}} + H_{\text{ЕД}}. \quad (1)$$

Величина $H_{\text{пост}}$ описывает постоянное МП и является неизменной во времени и в каждой точке Земли имеет конкретную величину. Слагаемое $\sum H_{\text{пер}}$, определяет периодические геомагнитные вариации (вековые, годовые, одиннадцатилетние, солнечно-суточные, лунно-суточные вариации и рекуррентные возмущения) с известными источниками происхождения, амплитудами, частотами, формами и строго зависит от времени. И только $H_{\text{ЕД}}$ описывает возмущения ГМП. Из (1) следует, что:

$$H_{\text{ЕД}} = H - H_{\text{пост}} - \sum H_{\text{пер}}.$$

На основании вышесказанного автором предлагается метод выделения возмущений ГМП, с использованием математической модели (ММ) переменного ГМП (ПГМП). На рисунке 1 приведена схема определения возмущений $H_{\text{ЕД}}$.

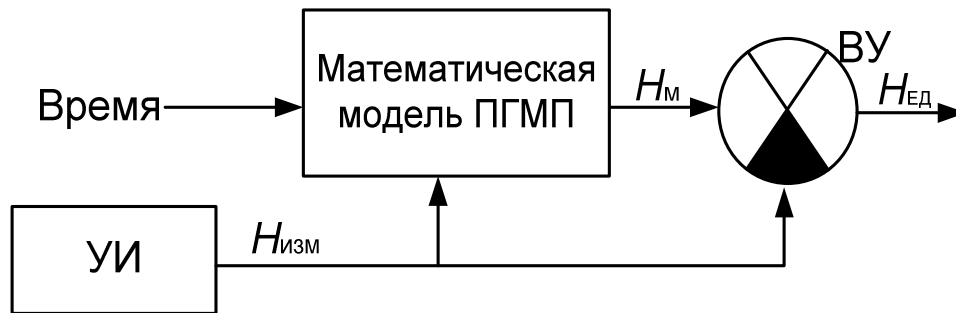


Рис. 1. Схема определения возмущений $H_{\text{ЕД}}$

Входным параметром модели является время. Таким образом, каждому моменту времени в модели соответствует определенное значение напряженности $H_{\text{М}}$. Устройство измерения (УИ) осуществляет регистрацию напряженности $H_{\text{ИЗМ}}$ ГМП. Вычитающее устройство (ВУ) на основании полученных с модели $H_{\text{М}}$ и с УИ $H_{\text{ИЗМ}}$ данных выделяет единичные возмущения $H_{\text{ЕД}}$. Для разработки метода, позволяющего выделять возмущения ГМП, необходимо решить задачу построения ММ ПГМП. Математическая модель должна описывать периодические вариации, характерные для спокойного состояния ГМП. В общем виде модель имеет вид $H = f(t)$, где t – время, $t=1, \dots, T$. В [1; 2] выполнен спектральный анализ исходных данных, проведена оценка периодических составляющих временного ряда напряженности ГМП, определены статистически значимые пики периодограммы. Установлено, что из всех периодических составляющих ГМП наибольший вклад в ПГМП вносят лишь солнечно-суточные вариации (ССВ) с периодом $T=24$ часа. Поэтому предложено ММ регулярных составляющих ГМП заменить ММ ССВ. С использованием метода сезонной декомпозиции были выделены ССВ для каждого месяца каждого года, а затем усреднены по соответствующему месяцу [8]. Для определения меры взаимосвязи

выделенных ССВ между собой вычислены коэффициенты парной корреляции r . Рассчитанные значения r лежат в пределах 0,7-0,9, что говорит о сильной взаимосвязи между месяцами всего года. При помощи кластерного (рис. 2) и факторного (метод главных компонент, рис. 3) анализов выделенные ССВ были разделены на три обособленные группы (рис. 2). Главные компоненты упорядочиваются в соответствии со значимостью, затем используется критерий восстановления характеристик и малозначимые компоненты отбрасываются. Использование метода главных компонент позволило сократить количество кривых (рис. 4), с помощью которых можно описать изменения ССВ в течение года, что обеспечивает оптимальную классификацию ССВ.

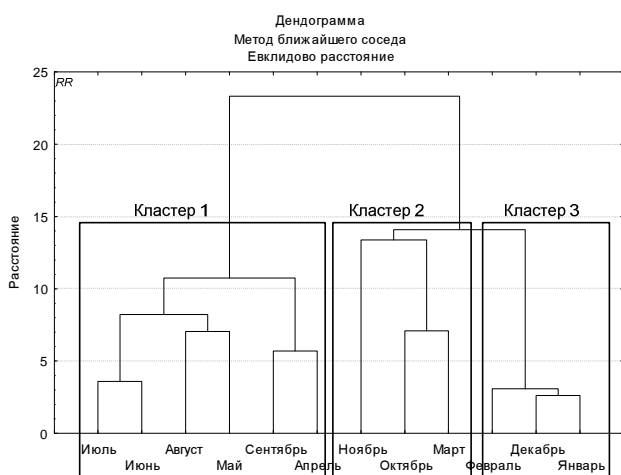


Рис. 2. Кластеризация ССВ, в результате получены три обособленные группы.

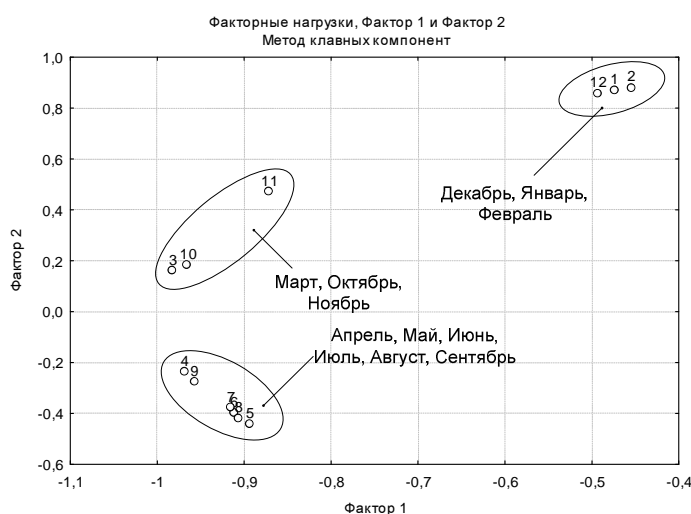


Рис. 3. Кластеризация ССВ.

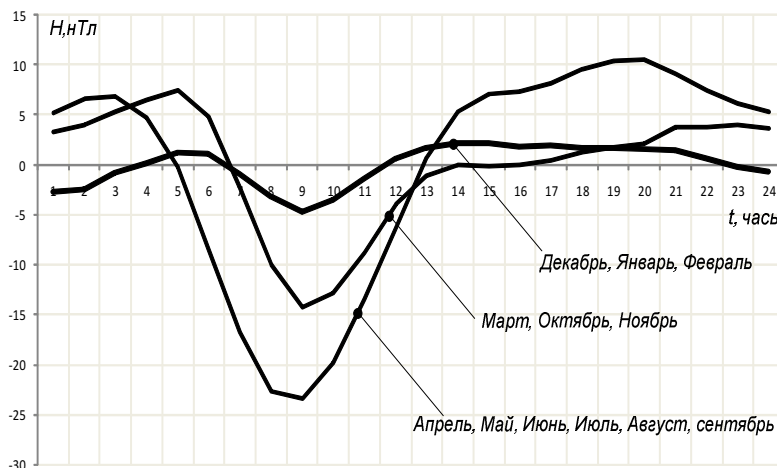


Рис. 4. Изменение ССВ ГГМП в течение года.

К первой группе относятся ССВ в декабре, январе, феврале, ко второй – в апреле, в мае, в июне, в июле, в августе, к третьей – в марте, в октябре и в ноябре. В качестве меры расстояния использовалось евклидово расстояние RR . Минимальный коэффициент парной корреляции при уровне значимости $\alpha=5\%$ в пределах первой группы составил 0,97, второй –

0,98, а третьей – 0,92. Проводились исследования по оценке степени взаимосвязи полученных групп фактическим значениям ГМП в магнитоспокойные дни (К-индекс не более 2) на статистике 14 лет. Коэффициент парной корреляции при уровне значимости $\alpha=5\%$ лежит в диапазоне $0,9\div 0,98$.

Для построения модели ССВ предложено воспользоваться математическим аппаратом спектрального анализа, в основе которого лежит преобразование Фурье [7]. Выбор данного метода обусловлен периодическим характером ССВ, а также широким применением данного метода при анализе космических процессов, циклов солнечной активности, особенностей структуры и движения космических тел, при цифровой обработке сигналов и во многих других областях науки и техники. Так как измерения напряженности ГМП осуществляются через равные промежутки времени Δt , то к полученным данным необходимо применить дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Такая модель линейной множественной регрессии может быть записана как (2) [6]:

$$H_i = \sum_{j=1}^m (a_j \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot \gamma_k) \cdot t + b_j \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \gamma_k) \cdot t), \quad (2)$$

где a_j, b_j – коэффициенты регрессии; γ_k – частота циклов за единицу времени.

Вычисления коэффициентов ДПФ значительно упрощаются при использовании алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ), при этом время выполнения спектрального анализа ряда длины N пропорционально $N \cdot \log_2 N$. В результате чего быстрое действие БПФ в сотни раз превосходит быстрое действие стандартного алгоритма ДПФ. А время, затрачиваемое пользователем при проведении вычислений БПФ на современных персональных компьютерах, не уступает преобразованию Хартли, являющемуся аналогом ДПФ [3]. В результате применения БПФ к выделенным ССВ были вычислены коэффициенты a_j и b_j уравнений регрессии. Согласно [5] был произведен постепенный отсев незначимых коэффициентов, и по критерию Фишера проводилась оценка значимости отношений остаточных дисперсий по формуле (3) [5]:

$$F_p = \frac{S_{ocm(j)}^2}{S_{ocm(j+1)}^2} \leq F_{кр}. \quad (3)$$

где F_p – критическое значение критерия Фишера для числа степеней свободы $f_1=(m \cdot k-1)$, $f_2=(m \cdot k - p - 1)$ и выбранного уровня значимости $\alpha = 5\%$ [5]; m – количество точек пространства; k – количество значений; p – количество слагаемых в уравнении модели.

Будем вычислять остаточную дисперсию по формуле (4),

$$S_{ocm(j)}^2 = \frac{\sum (H_i - \hat{H})^2}{(n - 2)}, \quad (4)$$

и сравнивать ее с предыдущим значением $\frac{S_{ост(j)}^2}{S_{ост(j+1)}^2}$, пока отличие $S_{ост(j)}^2$ и $S_{ост(j+1)}^2$ станет незначимым. Результаты вычислений $S_{ост}^2$, F_p , $F_{кр}$ при уровне значимости $\alpha=0,05$ [5] и при различных p приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1 – Результаты расчета остаточной дисперсии $S_{ост}^2$ модели ССВ для декабря, января и февраля

j	$S_{ост}^2$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{кр}$	j	$S_{ост}^2$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{кр}$
1	93,800	1	23	22	2,109	2,038	12	5,089	12	23	11	1,090	2,617
2	44,467	2	23	21	2,086	2,063	13	4,724	13	23	10	1,077	2,745
3	21,321	3	23	20	1,337	2,092	14	4,379	14	23	9	1,079	2,908
4	15,945	4	23	19	1,224	2,123	15	4,099	15	23	8	1,068	3,123
5	13,023	5	23	18	1,252	2,159	16	3,830	16	23	7	1,070	3,418
6	10,403	6	23	17	1,160	2,199	17	3,612	17	23	6	1,060	3,849
7	8,971	7	23	16	1,132	2,244	18	3,410	18	23	5	1,059	4,534
8	7,925	8	23	15	1,171	2,297	19	3,231	19	23	4	1,056	5,781
9	6,766	9	23	14	1,108	2,357	20	3,067	20	23	3	0,949	8,643
10	6,108	10	23	13	1,101	2,429	21	2,893	21	23	2	1,060	19,452
11	5,547	11	23	12	1,010	2,514	22	2,762	22	23	1	0,955	248,826

Таблица 2 – Результаты расчета остаточной дисперсии $S_{ост}^2$ модели ССВ для апреля, мая, июня, июля, августа и сентября

j	$S_{ост}^2$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{кр}$	j	$S_{ост}^2$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{кр}$
1	2320,724	1	23	22	4,020	2,038	12	31,169	12	23	11	1,069	2,617
2	577,273	2	23	21	4,858	2,063	13	29,114	13	23	10	1,071	2,745
3	118,834	3	23	20	0,996	2,092	14	27,501	14	23	9	1,059	2,908
4	119,329	4	23	19	1,712	2,123	15	25,894	15	23	8	1,062	3,123
5	69,692	5	23	18	1,180	2,159	16	24,831	16	23	7	1,043	3,418
6	59,039	6	23	17	1,134	2,199	17	21,677	17	23	6	1,145	3,849
7	52,081	7	23	16	1,119	2,244	18	20,536	18	23	5	1,056	4,534
8	46,553	8	23	15	1,199	2,297	19	21,518	19	23	4	0,954	5,781
9	38,842	9	23	14	1,083	2,357	20	20,566	20	23	3	0,956	8,643

10	35,864	10	23	13	1,076	2,429	21	19,650	21	23	2	1,047	19,452
11	33,323	11	23	12	1,007	2,514	22	18,794	22	23	1	0,956	248,826

Таблица 3 – Результаты расчета остаточной дисперсии $S^2_{\text{ост}}$ модели ССВ для марта, октября и ноября

j	$S^2_{\text{ост}}$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{\text{кр}}$	j	$S^2_{\text{ост}}$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{\text{кр}}$
1	394,709	1	23	22	3,714	2,038	12	11,092	12	23	11	1,087	2,617
2	106,283	2	23	21	1,691	2,063	13	10,259	13	23	10	1,081	2,745
3	62,854	3	23	20	1,397	2,092	14	9,539	14	23	9	1,075	2,908
4	45,003	4	23	19	1,174	2,123	15	8,915	15	23	8	1,070	3,123
5	38,321	5	23	18	1,334	2,159	16	8,360	16	23	7	1,066	3,418
6	28,721	6	23	17	1,282	2,199	17	7,868	17	23	6	1,062	3,849
7	22,399	7	23	16	1,377	2,244	18	7,439	18	23	5	1,058	4,534
8	16,260	8	23	15	1,134	2,297	19	7,047	19	23	4	1,056	5,781
9	14,341	9	23	14	1,091	2,357	20	6,698	20	23	3	0,950	8,643
10	13,148	10	23	13	1,091	2,429	21	6,381	21	23	2	1,050	19,452
11	12,052	11	23	12	1,004	2,514	22	6,091	22	23	1	0,955	248,826

После исключения незначащих коэффициентов уравнение модели, описывающее ССВ в декабре, январе и феврале, принимает вид:

$$H(t) = -0,7 \sin(2\pi \cdot 0,042 t) + 1,79 \sin(2\pi \cdot 0,083 t) - 1,42 \cos(2\pi \cdot 0,125 t).$$

В апреле, мае, июне, июле, августе и сентябре имеет вид:

$$H(t) = 6,26 \sin(2\pi \cdot 0,042 t) - 7,32 \sin(2\pi \cdot 0,042 t) - 3,77 \cos(2\pi \cdot 0,083 t) + 8,65 \sin(2\pi \cdot 0,083 t).$$

В марте, октябре и ноябре принимает вид:

$$H(t) = 5,43 \cos(2\pi \cdot 0,042 t) + 4,32 \sin(2\pi \cdot 0,083 t).$$

Таким образом, разработана математическая модель ССВ с применением процедуры быстрого преобразования Фурье. Данная модель состоит из трех уравнений, описывающих изменение напряженности ССВ в течение года. С помощью предложенного метода и полученных моделей разработаны алгоритмы выделения ГВ, оценки текущей геомагнитной обстановки и прогнозирования состояния ГМП. Полученные результаты используются для разработки структуры и алгоритмов функционирования информационно-измерительной

оценки и прогнозирования ГБ, которая позволит медицинским организациям, службам ЧС, а также непосредственно населению получать ценную информацию о возмущенности ГМП с целью уменьшения количества несчастных случаев, минимизации негативных последствий и планирования работ.

Список литературы

1. Алексанян Г.К. Определение структуры математической модели горизонтальной составляющей геомагнитного поля / Г.К. Алексанян [и др.] // Моделирование. Теория, методы и средства : мат. XI Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 31 марта 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – С. 31–36.

2. Алексанян Г.К. Спектральный анализ Фурье временных рядов годовых вариаций геомагнитного поля // Моделирование. Теория, методы и средства : мат. XI Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 31 марта 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – С. 34–36.

3. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения. – М. : Мир, 1990. – 175 с.

4. Бреус Т.К. Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты / Т.К. Бреус, С.И. Рапопорт. – М. : Советский спорт, 2003. – 192 с.

5. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособ. для вузов. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.

6. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. – М. : Радио и связь, 1985. – 248 с.

7. Снеддон И. Преобразование Фурье. – М. : 1955. – 668 с.

8. Электронный учебник по статистике // StatSoft. [Москва, 2001]. – URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения: 20.03.2011).

9. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та., 1978. – 592 с.

Рецензенты:

Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», заведующий кафедрой «Информационные и измерительные системы и технологии», г. Новочеркасск.

Никитенко Н.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», г. Новочеркасск.