

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧКИ НАБЛЮДЕНИЯ

Маркарян Н.Р.¹, Алексанян Г.К.¹, Кревченко Ю.Р.¹

¹ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», Новочеркасск, Россия (346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: nikal-markaryan@mail.ru

В статье представлены результаты исследования закономерностей изменения характера вектора напряженности (ВН) геомагнитного поля (ГМП) в зависимости от географического положения точки измерения. Были получены временные ряды значений ВН ГМП для четырнадцати обсерваторий, находящихся в разных точках Земли. Вычислены значения постоянной составляющей напряженности ГМП и их средние квадратические отклонения. Получен временной ряд, представляющий собой периодическую составляющую вектора напряженности ГМП. С применением метода сезонной декомпозиции получены временные ряды средних значений для каждого месяца (январь - декабрь) солнечно-суточных вариаций (SDV) вектора напряженности ГМП для всех обсерваторий. Были определены максимальные значения пиков главных гармоник солнечно-суточных вариаций. Рассчитаны сдвиги фаз SDV вектора напряженности, характеризующие разность географических долгот между обсерваториями. С применением факторного анализа произведена классификация SDV в зависимости от широты точки наблюдения.

Ключевые слова: солнечно-суточные вариации, метод сезонной декомпозиции, геомагнитное поле, вектор напряженности, постоянная составляющая, географическая широта, географическая долгота.

RESEARCH OF DEPENDENCE OF THE GEOMAGNETIC FIELD VECTOR PERIODIC COMPONENTS FROM THE GEOGRAPHIC COORDINATES OF THE OBSERVATION POINT

Markaryan N.R.¹, Aleksanyan G.K.¹, Krevchenko Y.R.¹

¹South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia (346428, Novocherkassk, street Prosveshenia, 132), e-mail: nikal-markaryan@mail.ru

In article the results of the research patterns of change in the nature of the intensity vector (IV) of the geomagnetic field (GMF), depending on the geographical location of the measurement point is offered. Time series of values of IV GMF for fourteen observatories located in different parts of the Earth were obtained. The values of the constant component of the GMF and their standard deviation were compute. Obtained time series, which is a periodic component of the intensity vector of the GMF. With the application of the method of seasonal decomposition obtained time series averages for each month (January - December) solar-daily variations (SDV) intensity vector of GMP for all observatories. Identified the main peak maximum harmonic solar-daily variations. Calculated phase shifts of SDV intensity vector describing the difference between geographical longitude observatories.

Key words: solar-daily variations, seasonal decomposition method, the geomagnetic field intensity vector, the constant component, latitude, longitude.

Введение

Проблема изучения электромагнитных полей (ЭМП) и их влияния на биологические и технические системы выходит на новый уровень и является одним из перспективных направлений развития современной науки [5]. Одной из новых областей исследования ЭМП является изучение магнитного поля Земли (МПЗ) как одного из естественных факторов электромагнитного воздействия [2]. Особое внимание следует уделять случайным возмущениям ГМП, возникновение которых оказывает негативное влияние на многие области жизнедеятельности человека [3].

В настоящее время существуют устройства и способы индикации и прогнозирования геомагнитных возмущений. Однако они имеют ряд недостатков, среди которых невозможность функционирования в бытовых условиях при наличии промышленных помех и электромагнитного смога, а также отсутствие свойств портативности и носимости [7]. В этой связи существует необходимость разработки новых методов и устройств индикации и прогнозирования геомагнитных возмущений, предназначенных для измерения окружающего ГМП и информирования о возрастании геомагнитной активности.

При реализации мобильного устройства прогнозирования геомагнитных возмущений необходимо использовать измерение трех составляющих вектора напряженности ГМП, т.к. пространственное положение прибора во время измерения будет носить произвольный характер. Известно [10], что напряженность ГМП изменяется от экватора к полюсам, поэтому для разработки такого устройства, показания и точность которого не будут зависеть от его географического положения на земном шаре, необходимо исследовать значения полного ВН ГМП, взятые в разных точках поверхности Земли.

Цель работы: исследование зависимости SDV вектора напряженности ГМП от географических координат точки наблюдения для создания портативных (мобильных) устройств индикации и прогнозирования геомагнитных возмущений.

Материал и методы исследования. Статистическая обработка материала и вычисления проводились с использованием пакета прикладных программ *MS Excel 2003*, *STATISTICA 6.0* [9].

В качестве исходных данных использовались измерения горизонтальной \vec{H}_x и вертикальной \vec{H}_z составляющих напряженности ГМП с интервалом $t = 1$ мин на четырнадцати непрерывно функционирующих обсерваториях за период времени Q с 1995 по 2012 г. [8]: *ADDIS ABAB* (AAE, Эфиопия), *ARGENTINE* (AIA, Аргентина), *BANGUI* (BNG, Африка), *CAMBRIDGE* (CBB, Англия), *CANBERA* (CNB, Австралия), *HARTLAND* (HAD, США), *LUNPING* (LNP, Тайвань), *MBOUR* (MBO, Франция), *PORT AUX F* (PAF, Франция), *FRIDERICKSBURG* (FRD, США), *COLLEGE* (CMO, США), *ESKADALEMUIR* (ESK, Великобритания), *HARTLAND* (HAR, Великобритания), *LERWICK* (LER, Великобритания).

Результаты и обсуждение

Из исходных данных по формуле (1) [6] были найдены значения ВН ГМП для перечисленных обсерваторий:

$$|\vec{H}| = \sqrt{(\vec{H}_x)^2 + (\vec{H}_z)^2}, \quad (1)$$

где $\overline{H_x}$ - горизонтальная составляющая ВН ГМП, $\overline{H_z}$ - вертикальная составляющая напряженности ВН ГМП.

На первом этапе из временного ряда значений ВН ГМП была исключена постоянная составляющая для каждого месяца за период Q . При этом сначала для каждой обсерватории создавалось 12 таблиц, характеризующих каждый из месяцев года (январь - декабрь), в которых столбцы содержали временные ряды значений напряженности за каждый год из Q . Из временных рядов каждого месяца по формуле (2) [1] было рассчитано среднее арифметическое значение напряженности ГМП для каждого момента измерения для каждой обсерватории за все годы:

$$H_{CPi}^{O,M} = \frac{\sum_{j=1}^n H_{ji}}{n}, \quad (2)$$

где $H_{CPi}^{O,M}$ - среднее арифметическое значение напряженности ГМП на i -й минуте за период Q ; O - обсерватория наблюдений; M - месяц; H_{ji} - значение напряженности на i -й минуте в j -м году; n - количество лет в интервале Q ; i - порядковый номер минуты (максимальные значения для месяцев, содержащих 31 день, $i_{max} = 44640$ - для месяцев, содержащих 30 дней $i_{max} = 43200$ - для февраля $i_{max} = 40320$).

По формуле (3) [6] были рассчитаны значения постоянной составляющей в каждом году для каждого месяца из Q :

$$H_{пост j} = \frac{\sum_{i=1}^{i_{max}} H_i}{i_{max}}, \quad (3)$$

где $H_{пост j}$ - значение постоянной составляющей ВН ГМП в j -м году; H_i - значение напряженности в i -й момент измерения; i_{max} - количество измерений.

Затем было найдено среднее значение постоянного ГМП $H_{CP}^{O,M}$ в каждом месяце для указанных обсерваторий.

Результаты вычислений постоянной составляющей ГМП за год для всего периода Q на четырнадцати обсерваториях H_{CP} и границ доверительных интервалов ξ_{min} и ξ_{max} (при уровне значимости $\alpha = 0,05$), а также расчет среднего квадратического отклонения σ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Постоянная составляющая напряженности ГМП

Обсерватория	H_{CP} , нТл	σ	ξ_{min}	ξ_{max}	Обсерватория	H_{CP} , нТл	σ	ξ_{min}	ξ_{max}
AAE	36107	8,8	36086	36128	MBO	32200	5,6	32187	32213
AIA	38898	26,0	38836	38959	PAF	46279	12,0	46251	46307
BNG	33308	5,5	33295	33321	FRD	53057	38,4	52966	53148
CBV	59325	14,2	59291	59359	CMO	56591	6,6	56575	56607
CNB	58119	8,0	58100	58138	ESK	49380	8,1	49361	49399
HAD	48198	8,4	48178	48218	HAR	48270	7,5	48252	48288
LNP	45105	5,4	45092	45118	LER	50477	6,0	50463	50491

Проверка на нормальность закона распределения величины H_{POST} проводилась согласно [4] по критерию ω^2 .

Затем был получен временной ряд $H_{ПГМП_i}$, представляющий собой переменную составляющую ГМП (ПГМП), по формуле 5 [6]:

$$H_{ПГМП_i} = H_{CP_i}^{O,M} - H_{CP} \quad (5)$$

Далее, используя пакет прикладных программ STATISTICA 6.0 и метод сезонной декомпозиции с шириной окна 24 часа для аддитивной модели, были получены временные ряды средних значений для каждого месяца SDV ГМП для всех обсерваторий. Результаты приведены на рисунке 1.

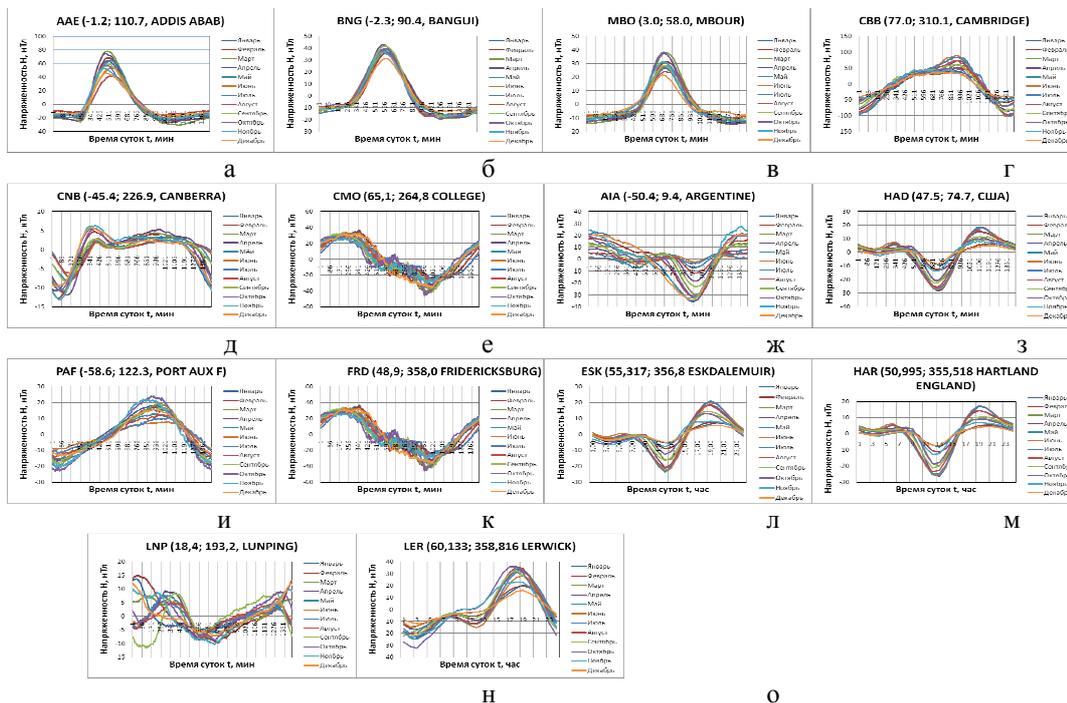


Рисунок 1 – Солнечно-суточные вариации ВН ГМП для обсерваторий (а - AAE, б - BNG, в - MBO, г - CBV, д - CNB, е - CMO, ж - AIA, з - HAD, и - PAF, к - FRD, л - ESK, м - HAR, н - LNP, о - LER)

Из рисунка видно, что амплитуда и форма SDV вектора напряженности ГМП зависят от географических координат.

Экспериментально определены максимальные $H_{max}^{пик}$ и минимальные $H_{min}^{пик}$ значения напряженности для SDV ВН ГМП, и выявлены соответствующие им временные значения

$t_{max}^{пик}$ и $t_{min}^{пик}$ и сдвиг фаз δ . Получены типы *SDV* для всех обсерваторий с учетом географической широты. Результаты приведены в таблице 2.

В столбце 9 таблицы 2 приведены значения сдвига фаз *SDV*, рассчитанные как разность максимальных по абсолютной величине значений пиков основной гармоники. В столбце 10 таблицы 2 приведен схематически график *SDV* – по оси абсцисс отложено время 24 часа, по оси ординат – напряженность, нТл.

Таблица 2 - Солнечно-суточные вариации ВН ГМП

№ п/п	Обсерватория	Широта, φ°	Долгота, λ°	$t_{max}^{пик}$, мин	$t_{min}^{пик}$, мин	$H_{max}^{пик}$, нТл	$H_{min}^{пик}$, нТл	Сдвиг фаз δ , $^\circ$	График <i>SDV</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
1	AAE	1,2	110,7	509	1077	57,4	-21,1	0	
2	BNG	-2,3	90,4	601	1216	37,9	-17,0	-20,3	
3	MBO	3	58	705	1316	30,2	-11,5	-52,7	
4	LNP	18,4	193,2	1312	629	5,1	-7,1	82,5	
5	CNB	-45,4	226,9	402	106	3,6	-8,9	116,2	
6	HAD	47,5	74,7	1133	728	11,5	-20,2	-36	
7	FRD	48,9	358	1309	963	9,5	-18,7	247,3	
8	AIA	50,4	9,4	1384	955	12,3	-21,6	-101,3	
9	HAR	51	355,5	1140	780	10,7	-18,5	244,8	
10	ESK	55,3	356,8	1140	720	14,0	-15,1	246,1	
11	PAF	-58,6	122,3	955	55	15,5	-16,0	11,6	
12	LER	60,1	358,8	1080	120	27,9	-20,3	248,1	
13	CMO	65,1	264,8	235	1002	29,5	-32,2	154,1	
14	CBV	77	310,1	903	1362	61,0	-74,8	199,4	

Полученные *SDV* корректировались по сдвигу фаз и к полученным временным рядам применялась процедура факторного анализа, по результатам которой была проведена классификация *SDV* в зависимости от широты точки наблюдения. Результаты факторного анализа приведены на рисунке 2.

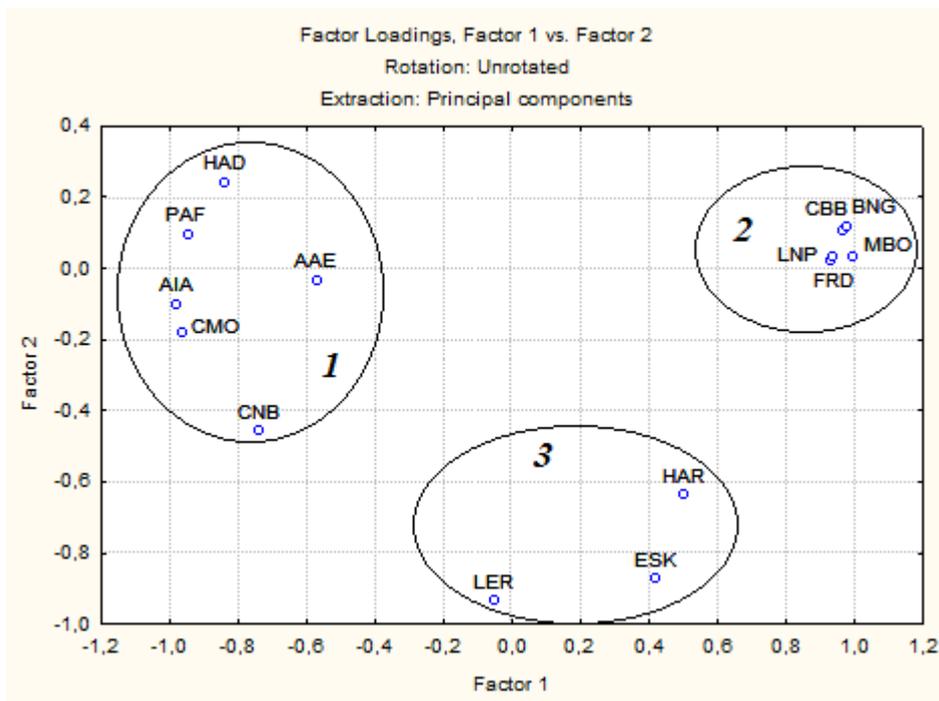


Рисунок 2 – Факторный анализ временных рядов SDV для 14 обсерваторий

В зависимости от широты SDV были разделены на три группы: 1) околополюсные, 2) околоэкваторные и 3) среднеширотные.

Таким образом вычислены значения вектора напряженности геомагнитного поля на четырнадцать непрерывно функционирующих обсерваториях. Из временного ряда значений ВН ГМП каждой обсерватории исключена постоянная составляющая для каждого месяца за период Q гг. Получен временной ряд, представляющий собой переменную составляющую ГМП. С применением метода сезонной декомпозиции получены временные ряды средних значений для каждого месяца солнечно-суточной составляющей ВН ГМП для всех обсерваторий. Рассчитаны сдвиги фаз солнечно-суточных вариаций. С применением факторного анализа получена классификация SDV в зависимости от географической широты обсерватории наблюдения.

Математическая модель вектора напряженности геомагнитного поля, учитывающая влияние географических координат точки наблюдения, позволит оптимизировать портативные устройства индикации и прогнозирования геомагнитных возмущений.

Результаты работы получены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на проведение НИОКР, шифр заявки № 8.2935.2011

Список литературы

1. Алексанян Г.К. Определение структуры математической модели горизонтальной составляющей геомагнитного поля / Г.К. Алексанян, М.В. Ланкин [и др.] // Моделирование.

- Теория, методы и средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 31 марта 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – С. 31–36.
2. Бочкарев Н.Г. Магнитные поля в космосе. - Изд. 2, доп. - 2011. - 216 с.
 3. Бреус Т.К. Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты / Т.К. Бреус, С.И. Рапопорт. – М. : Советский спорт, 2003. – 192 с.
 4. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 10 с.
 5. Короновский Н.В. Магнитное поле геологического прошлого Земли // Соросовский образовательный журнал. - 1996. - № 5.
 6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособие для втузов. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.
 7. Проект «Приборы МАГИК: индикаторы магнитной бури» [Электронный ресурс]. - URL: <http://pribory-magic.narod.ru/business50.html> (дата обращения: 21.03.2013).
 8. IZMIRAN Geomagnetic Data Archive [Электронный ресурс] // Учреждение Российской академии наук, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн ИЗМИРАН [сайт]. [2007]. - URL: http://serv.izmiran.ru/webff/magdb_all.html.
 9. Электронный учебник по статистике // StatSoft. [Москва, 2001]. - URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения: 20.03.2013).
 10. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 592 с.

Рецензенты:

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

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