

УДК 1.9.1

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ G-ИНДЕКСОВ СОСТОЯНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.Б. Судакова

Известно, что можно выделить шесть состояний магнитного поля Земли в зависимости от силы его воздействия на работу наземных служб. На основе G-индекса, который устанавливает зависимость техногенных сбоев от силы геомагнитных возмущений, рассчитаны вероятностные характеристики состояния магнитного поля Земли. Теоретически доказано, что геомагнитные бури класса G5 и G6 практически невозможны. Это заключение проверено по имеющимся данным за последние 70 лет.

Ключевые слова: магнитное поле, G-индекс, магнитное возмущение, техногенный сбой.

ВВЕДЕНИЕ

Данные о явлениях на Солнце и об изменениях в магнитном поле Земли стали широко использоваться в различных областях науки и техники и при решении многих прикладных задач [1,2,7,9,10].

Степень солнечной или геомагнитной активности характеризуется геомагнитными индексами. Важнейшими из них являются планетарный K-индекс и K_p -индекс Бартельса. Исправленные и стандартизованные значения K-индекса подготавливаются Постоянной службой в Гёттингене для каждой из 12 выбранных обсерваторий, расположенных в северном и южном полушариях. Среднее значение K-величин этих 12 обсерваторий даёт величину K_p -индекса. Суточный индекс K_p получается суммированием величин за восемь 3-х часовых интервалов [4].

ШКАЛА ШТОРМОВЫХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ

В штормовых предупреждениях [Geophysical Alert Message] применяется G-индекс, который характеризует интенсивность геомагнитного шторма по воздействию вариаций магнитного поля Земли на людей, животных, электротехнику, связь, навигацию и т.д. Градация G-индекса от G1 до G5, т.е. от слабого возмущения магнитного поля Земли до экстремального (очень сильного) была введена Национальной Океанической и Атмосферной Администрацией США (National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA) в ноябре 1999 года. Оригинал описаний шкал космической погоды находится на сайте: http://www.sec.noaa.gov/NOAA_scales/

Качественно состояние магнитного поля в зависимости от K_p и G-индекса характеризуется следующим образом:

G0 – $K_p < 5$ – геомагнитная обстановка от спокойной до неустойчивой;

G1 – $K_p = 5$ – слабая магнитная буря. Отмечаются незначительные сбои в работе энергосистем;

G2 – $K_p = 6$ – умеренная магнитная буря, в энергосистемах, расположенных в высоких широтах, могут происходить сбои напряжения, длительное геомагнитное возмущение может вызвать неполадки на трансформаторных подстанциях

G3 – $K_p = 7$ – умеренная магнитная буря. Возникают перенапряжения в промышленной электросети; наблюдаются ложные срабатывания автоматики; кратковременные сбои GPS-навигации и низкочастотной радионавигации, перебои коротковолновой связи

G4 – $K_p = 8$ – сильная магнитная буря. Возникают широкомасштабные перенапряжения в промышленной электросети, повсеместное ложное срабатывание АЗС; коротковолновая связь неустойчива, GPS-навигация ухудшается на несколько часов, средневолновая радионавигация отсутствует.

G5 – $K_p = 9$ – очень сильная буря. Могут возникнуть повсеместные проблемы с регулировкой напряжения промышленной электросети и проблемы в работе защитных систем (АЗС), энергосистемы могут полностью выйти из строя или отключиться.

Вследствие важности учета влияния геомагнитных возмущений на различные аспекты человеческой деятельности представляет интерес определить вероятности геомагнитных возмущений различной интенсивности – от малых возмущений до магнитных бурь.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является определение вероятности возникновения различных степеней возмущенности геомагнитного поля Земли без разделения по фазам солнечного цикла и другим факторам. Для решения этой проблемы нужно уметь находить вероятность принятия К_p-индексом различных значений.

Наряду с К_p индексом часто употребляется А_p индекс

А_p индекс измеряется в единицах магнитного поля (наноТеслах) и его соответствие К_p-индексу представлено в виде таблицы [8].

Переход от К_p к А_p осуществляется с помощью экспоненциальной зависимости

$$A_p = C + \exp(B_0 + B_1 \times K_p) \quad (1)$$

Значения соответственно равны C=1.2, B₀ = 1.016 и B₁=0.545. Стандартная ошибка для коэффициента C равна 3.181, для B₀ = 0.192 и для B₁ = 0.021. Аналогично и критерий Стьюдента равен для C 0.348, для B₀=5.29 и для B₁ = 25.027 при выборке из 28 элементов.

Таблица 1. Соответствие А_p и К_p индексов.

К _p =	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
А _p =	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
К _p =	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
А _p =	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	>400

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛАДКИ

Воспользовавшись значениями индекса А_p, взятыми за последние 55 лет, просчитаем вероятность возникновения бури определенного класса G. Данные находятся на сайте ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/KP_AP/. Подбираем преобразование для А_p, при котором наша случайная величина становится нормально распределенной. Логарифмирование удовлетворяет оговоренным условиям. Получается ряд нормально распределённых данных с плотностью, рассчитываемой по формуле

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad -\infty < x < \infty, \quad (2)$$

где $x = \ln(A_p)$ имеет среднее значение $\mu = 2.33$, выборочное среднее которого вычисляется по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

Это μ соответствует $A_p = 10$.

Случайная величина X имеет стандартное отклонение $\sigma = 0.8353$, выборочное значение которого s рассчитывается по формуле:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4)$$

Эти базовые сведения содержатся, например, в [6].

После нормировки значений X , $Z=(X - \mu)/\sigma$, данные преобразуются в выборку из стандартно распределенной нормальной случайной величины со средним, равным 0, и единичной дисперсией. По данным индекса A_p построена гистограмма преобразованных данных Z (рис. 1).

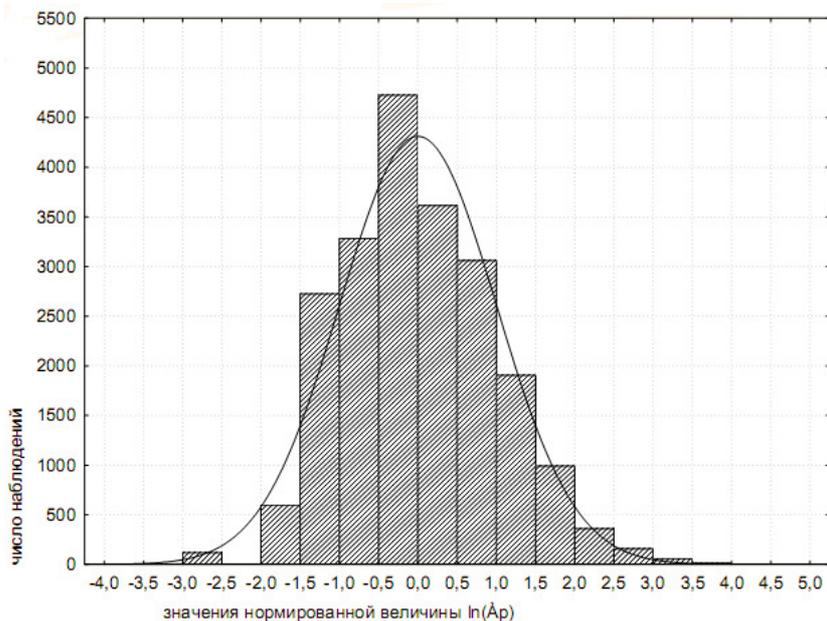


Рис.1. Гистограмма преобразованного индекса A_p .

По критерию Колмогорова можно оценить соответствие полученного распределения нормальному.

Используя значения z_1, z_2, \dots, z_n случайной величины Z можно построить эмпирическую функцию распределения $F(x)$.

$$F_n(x) = (\text{число таких } z_1, z_2, \dots, z_n, \text{ которые } \leq x) / n;$$

$$F(x) = P(Z < x).$$

Вводится статистика $d_n = \sup|F_n(X) - F(X)|$, для которой составлены таблицы максимальных значений в зависимости от объёма выборки. Если значение статистики d_n меньше табличного, то гипотеза о соответствии функции распределения данной выборки теоретическому распределению принимается с достоверной вероятностью α , иначе эта гипотеза отвергается.

Критерий Колмогорова-Смирнова даёт очень хорошее соответствие нормальному закону: $d_n=0.05426$ при $\alpha=0.95$.

Теперь можно рассчитать вероятность наступления различных магнитных бурь, используя преобразованные данные Z . Пусть Y – граничное значение A_p , с которого меняется характеристика магнитной бури. Тогда для случайной величины Z границей будет величина $(\ln Y - \mu)/\sigma$. Результаты расчёта $P(G_i)$ -вероятности магнитной бури класса G_i (i меняется от 1 до 5) представлены в табл.2.

Таблица значений нормального распределения содержится, например, в [3].

Таблица 2. $P(G_i)$ – вероятности магнитных бурь класса G_i .

	A_p	K_p	$(\ln A_p - \mu)/\sigma$	$1 - P(G_i)$	$P(G_i)$
G1	48	5	1,8451	0,96748	0,032519
G2	80	6	2,4566	0,99298	0,007012
G3	132	7	3,0561	0,99888	0,001121
G4	207	8	3,5947	0,99984	0,000016
G5	400	9	4,3833	0,999994	0,000006

Таким образом, если принять за 100% общий каждодневный поток событий, то из таблицы следует, что буря класса G1 может наблюдаться раз в месяц. Соответственно, буря класса G2 возможна семь раз в три года, т.е. один-два раза в год. Событие G3 уже маловероятно и наблюдается примерно раз в три года. Буря класса G4 по расчётам случается 3-4 раза в столетие. Прямая проверка показала, что с 1937 года и до наших дней бурь четвёртого класса было 4, из них три относились к аномально большому 19 циклу.

Буря класса G5 – уникальное событие. Во всяком случае, за всё время наблюдений не было бури такой силы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулируем основные выводы:

1. Анализ данных показал, что с помощью несложных преобразований переменной A_p можно получить нормально распределенную величину Z . С помощью новой случайной величины изучаются вероятностные характеристики индекса A_p

2. Средний уровень геомагнитной активности соответствует $A_p \approx 10$, т.е. в среднем отсутствуют какие-либо угрозы, связанные с геомагнитной активностью.

3. Уровень опасности G4 – достаточно редкое событие и, видимо, может встречаться преимущественно в солнечных циклах с аномально высокой солнечной активностью. Уровень G5 вряд ли может наблюдаться. Сильнейшая магнитная буря, зафиксированная 13 марта 1989 года и выведшая из строя электроснабжение канадского города Квебек, была уровня G4 и имела значение $A_p = 246$.

Анализ теоретических результатов хорошо согласуются с имеющейся практикой наблюдений магнитных бурь.

Выражаю А.А. Нусинову благодарность за постановку задачи.

PROBABILISTIC FEATURES G-INDICES OF THE GEOMAGNETIC FIELD

Sudakova I. B.

It is known that one can identify six states of the Earth's magnetic field depending on the strength of its impact on electrical power. Based on the G-index, which establishes the dependence of man-made disaster on the strength of geomagnetic disturbances, we calculated the probability characteristics of the state of Earth's magnetic field. Theoretically proved that the geomagnetic storms class of G5 and G6 are almost impossible. This conclusion is verified by available data for the last 70 years.

KEYWORDS: MAGNETIC FIELD, G-INDEX, GEOMAGNETIC DISTURBANCE, MAN-MADE DISASTER.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афраимович Э.Л., Демьянов В.В., Кондакова Т.Н (Институт солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН, Иркутск). (2003) Исследование качества функционирования двухчастотных GPS приемников во время геомагнитных бурь // Сборник докладов по тематике «Радиолокация и навигация» международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». С.824-835.
2. Белов А.В., Гайдаш С.П., Ерошенко Е.А., Канониди Х.Д., Кузнецов В.Д., Лобков В.Л., Фомичев В.В.(2006). Влияние сильных геомагнитных возмущений на работу Северной железной дороги. // ВКСС Коннект N5-2006 <http://www.connect.ru/journal.asp?jid=406>
3. Громыко Г.Л. Теория статистики. - Москва: ИНФРА-М, 2008. С.476 .
4. Заболотная Н.А. Индексы. геомагнитной активности. - Изд ЛКИ, 2007 С.88.
5. РД 50-25645.120-85. Методические указания. Атмосфера Земли верхняя. Методика расчета индексов солнечной и геомагнитной активности. //1987.М.: Государственный комитет СССР по стандартам.
6. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т1- Москва: Мир, 1964. С.499
7. Afraimovich E.L., Lesyuta O.S. and Voeykov S.V. GPS phase slips on L1-L2 and L1 frequencies during geomagnetic disturbances Proceedings of International Beacon Satellite Symposium, June 4-6, 2001// Boston College, Institute for Scientific Research, Chestnut Hill, MA, USA, 2001. P. 191.

8. Bartels.J., Heck,N.H. Johnston,H.F., 1939 The three-hour range index measuring geomagnetic activity// Geophys. Res.,44,411-454 (P.411)Bhattacharrya A., Beach T.L., Basu S. and Kintner P.M. Nighttime equatorial ionosphere: GPS scintillations and differential carrier phase fluctuations.// Radio Sci. 2000. V. 35. P. 209.
9. Shan S.J., Lin J.Y., Kuo F.S. et al. GPS phase fluctuation observed along the American sector during low irregularity activity months of 1997-2000.// Earth Planets and Space, 2002. V.54. N. 2. P. 141.