

## АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ

Воробьев А.В., Шакирова Г.Р., Иванова Г.А., Попкова Е.Е.

*ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: gimslab@yandex.ru*

Исследуются частные геомагнитные вариации, под которыми понимается силовое воздействие на объект со стороны геомагнитного поля, возникающее в объеме существования этого объекта в среде невозмущенного анизотропного геомагнитного поля, при условии ненулевой угловой и/или линейной скорости объекта. Вводится понятие геомагнитной псевдобури, исследуются и анализируются амплитудно-частотные характеристики данного явления, наблюдаемого в условиях полета воздушных судов различного целевого назначения. На основании результатов исследований, представленных в статье, обосновывается заключение о том, что частные геомагнитные вариации не только имеют место в процессе авиаперелетов воздушных судов различного целевого назначения, но и обладают значениями амплитуды и частоты, на несколько порядков превосходящими амплитудно-частотные параметры геомагнитных вариаций естественной природы происхождения. Такое положение дел представляет целесообразным расширить традиционной ранжировки электромагнитных волн, принятой Международным союзом электросвязи (International Telecommunication Union, ITU), диапазоном 0 – 3 Гц, который предлагается именовать как «субкрайне низкий диапазон частот» (SELF). При этом актуальная проблема нейтрализации (экранирования) преимущественно негативного воздействия геомагнитных псевдобурь на биологические и технические объекты и системы, находящиеся на борту воздушных судов на сегодняшний день является нерешенной и весьма малоизученной, что ставит перед современной промышленностью ряд новых сложных научно-технических задач.

Ключевые слова: геомагнитные вариации, геомагнитное поле, геомагнитные псевдобури.

## ANALYSIS AND RESEARCH OF PRIVATE GEOMAGNETIC VARIATIONS

Vorobev A.V., Shakirova G.R., Ivanova G.A., Popkova E.E.

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, K. Marx St., 12), e-mail: gimslab@yandex.ru*

Investigates private geomagnetic variations, which are understood to force on the part of the geomagnetic field that occurs in the bulk of the existence of this object in the environment unperturbed anisotropic geomagnetic field, provided a nonzero angular and / or linear velocity of the object. Introduces the concept of geomagnetic pseudostorm, researched and analyzed the amplitude- frequency characteristics of the phenomenon observed during the flight of aircraft for various purposes. Based on the research results presented in this paper, proves the conclusion that private geomagnetic variations occur not only during flights of aircraft for various purposes, but also have the values of the amplitude and frequency of several orders of magnitude superior to the amplitude- frequency parameters of the natural geomagnetic variations natural origin. This situation is reasonable to expand the traditional ranking of electromagnetic waves, adopted by the International Telecommunication Union (International Telecommunication Union, ITU), range 0 - 3 Hz, which is proposed to refer to as "sub extremely low frequency range" (SELF). In this urgent problem of neutralization (shielding) predominantly negative impact on geomagnetic pseudostorm effect biological and technical facilities and systems on board aircraft today is very poorly known and unresolved, that poses a number of new industry sovremnoy complex scientific and technical problems.

Keywords: geomagnetic variations, geomagnetic field, geomagnetic pseudostorm

### Введение

В современном мире специалисты, научный интерес которых находится в области биологии, медицины, геофизики, геологии, техники, социологии, психологии и многих других наук, уделяют все большее внимание сопоставлению параметров внешних геомагнитных вариаций (ГМВ) с тенденциями существования и развития под их влиянием объектов и систем различной природы происхождения и последующему анализу полученных результатов.

На основании накопленных статистических данных известно, что некоторые составляющие ГМВ могут воздействовать как на биологические, технические и прочие объекты и системы в целом, так и на человека в частности. Искаженные нормальные условия существования системы вынуждают ее приспосабливаться к изменениям окружающей магнитной обстановки либо продолжать существовать в ней в стрессовом (неустойчивом) режиме [3].

Особенно остро проблема минимизации негативного воздействия ГМВ стоит в области построения и эксплуатации аэрокосмической техники различного целевого назначения. Такая ситуация первостепенно обусловлена взаимодействием человека со значительным количеством сложных навигационных, информационно-измерительных и управляющих систем в условиях непрерывности процесса полета и удаленности от наземных технических служб [1, 2, 10–12].

### **Современные методы исследования геомагнитного поля и его вариаций**

В настоящее время задача исследования и анализа параметров ГМВ частично решается посредством сети магнитных обсерваторий, расположенных преимущественно на Европы.

Публикуемые учеными-специалистами результаты исследований по данной тематике во многом отражают амплитудный диапазон, характер и динамику изменения параметров геомагнитного поля (ГМП) в точке земной поверхности, определенной географическими координатами. При этом неясно, какое воздействие на объект оказывают частные ГМВ, имеющие место лишь по отношению к конкретному объекту, наводимые в объеме пространства существования этого объекта при его перемещении в условиях анизотропии ГМП (рис. 1).

В [4, 13] вводится понятие эффекта геомагнитной псевдобури (ГМПБ), под которым понимается силовое воздействие на объект со стороны ГМП, возникающее в объеме существования этого объекта в среде невозмущенного анизотропного ГМП при ненулевой угловой и/или линейной скорости объекта.

Приоритетной научной задачей описываемых в настоящей статье исследований является определение, анализ и оценка основных параметров так называемых частных ГМВ, имеющих место в условиях невозмущенного состояния ГМП и наблюдаемых в процессе авиaperелета воздушных судов различного целевого назначения.

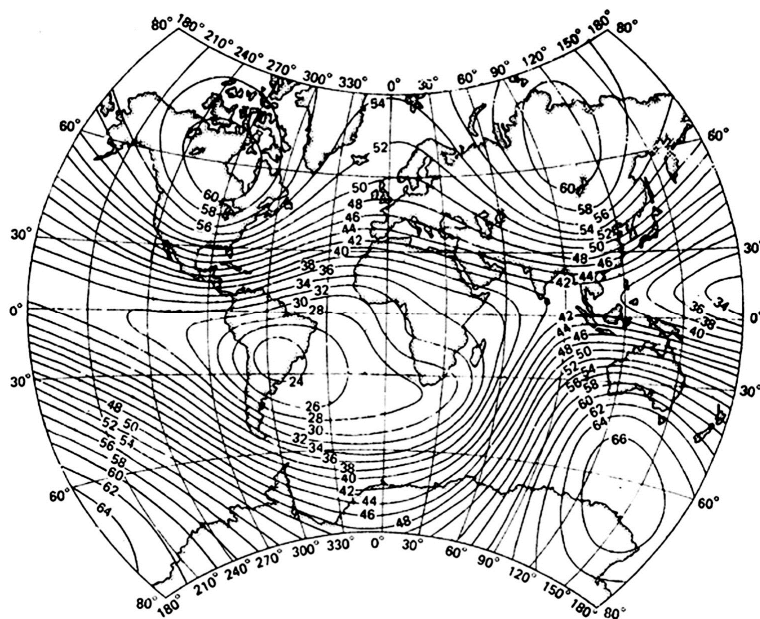


Рис. 1. Распределение главного магнитного поля по поверхности Земли  
и в околоземном пространстве

Таким образом, имеет место явление, получившее название ГМПБ, отражающее характерные воздействия реальных магнитных бурь на объект в условиях анизотропии невозмущенного ГМП и ненулевой скорости этого объекта.

#### **Моделирование и оценка параметров невозмущенного состояния геомагнитного поля**

Определим полный вектор индукции магнитного поля Земли в точке географического пространства, заданной пространственно-временными координатами (широта, долгота, высота над уровнем моря и год) как сумму трех составляющих:

$$\mathbf{B}_{ge} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_3,$$

где  $\mathbf{B}_1$  – вектор индукции ГМП внутривоздушных источников;  $\mathbf{B}_2$  – регулярная составляющая вектора индукции ГМП магнитосферных токов, вычисляемая в солнечно-магнитосферной системе координат;  $\mathbf{B}_3$  – иррациональная составляющая вектора индукции ГМП магнитосферных токов.

Магнитное поле внутривоздушных источников  $\mathbf{B}_1$  отражает преимущественно силовые характеристики невозмущенного ГМП, порождаемого, главным образом, полем электрических токов в земном ядре (главное поле) и составляющего ~98 % всего поля. Поля же земного магнетизма, обуславливающиеся магнитными свойствами горных пород, составляют ~2 % всего поля. При этом поле земной коры убывает с высотой значительно быстрее, чем главное поле, и начиная с высоты ~100 км им практически пренебрегают.

Представим модель главного поля рядами сферических гармоник, в зависимости от географических координат. В таком случае скалярный потенциал индукции геомагнитного

диполя внутриземных источников  $U$  [нТл·км] в точке пространства со сферическими координатами  $r, \theta, \lambda$  определится согласно выражению:

$$U = R_3 \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left( g_n^m \cos(m\lambda) + h_n^m \sin(m\lambda) \right) \left( \frac{R_3}{r} \right)^{n+1} P_n^m \cos(\theta), \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от центра Земли до точки наблюдения (геоцентрическое расстояние), [км];  $\lambda$  – долгота от Гринвичского меридиана, [градусы];  $\theta$  – полярный угол (дополнение до широты,  $\theta = (\pi/2) - \varphi'$ , [градусы], где  $\varphi'$  – широта в сферических координатах, [градусы]);  $R_3 = 6371.03$  – средний радиус Земли, [км];  $g_n^m(t), h_n^m(t)$  – сферические гармонические коэффициенты [нТл], зависящие от времени;  $P_{nm}$  – нормированные по Шмидту присоединенные функции Лежандра степени  $n$ , порядка  $m$  [4, 9, 13].

Выражение (1) широко известно как ряд Гаусса и общепризнанно в качестве международного эталона невозмущенного состояния магнитосферы Земли. Допустимо предположить, что  $B_0 \approx B_1$ , где  $B_0$  – индукция невозмущенного ГМП в локальной точке земной поверхности. Из-за временных вариаций главного поля коэффициенты гармонических рядов (сферические гармонические коэффициенты) периодически пересчитывают с учетом новых данных, устанавливаемых экспериментально. Изменения главного поля за один год (вековой ход) также представляются рядами сферических гармоник. Результаты их расчета публикуются в том числе Национальным управлением океанических и атмосферных исследований.

Нормированные по Шмидту присоединенные функции Лежандра  $P_n^m$ , заявленные в выражении (1), представляют собой в общем случае ортогональный многочлен:

$$P_n^m(\cos\theta) = 1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1) \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_m}{(n+m)!(n-m)!}} \times \\ \times \sin^m \theta \left[ \cos^{n-m} \theta - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \cos^{n-m-2} \theta + \right. \\ \left. + \frac{(n-m)(n-m-1)(n-m-2)(n-m-3)}{2 \cdot 4(2n-1)(2n-3)} \cos^{n-m-4} \theta - \dots \right],$$

где  $\varepsilon_m$  – нормировочный множитель ( $\varepsilon_m = 2$  для  $m \geq 1$  и  $\varepsilon_m = 1$  для  $m = 0$ );  $n$  и  $m$  степень и порядок сферических гармоник соответственно.

### Постановка эксперимента и анализ экспериментальных данных

В качестве примера рассмотрим самолет Boeing 767-300 авиакомпании American Airlines, выполняющий рейс AA937: Нью-Йорк (JFK) – Рио-де-Жанейро (RIO). Приближенная траектория движения самолета в этом случае представлена на рис. 2.

На рис. 3 приведены графическое отображение экспериментальных данных, отражающих динамику развития ГМПБ (рис. 3, а) и результаты частотного анализа (рис. 3, б). Обозначен ряд замечательных точек:  $t1-t2$  – время набора высоты;  $t2-t4$  – время полета на крей-

серской скорости;  $t_4-t_5$  – время посадки;  $t_3$  – момент перехода через экватор. Данные получены с помощью разработанного авторами программно-инструментального комплекса [9–10] регистрируются на протяжении всего полета через каждые 9 минут (540 с).

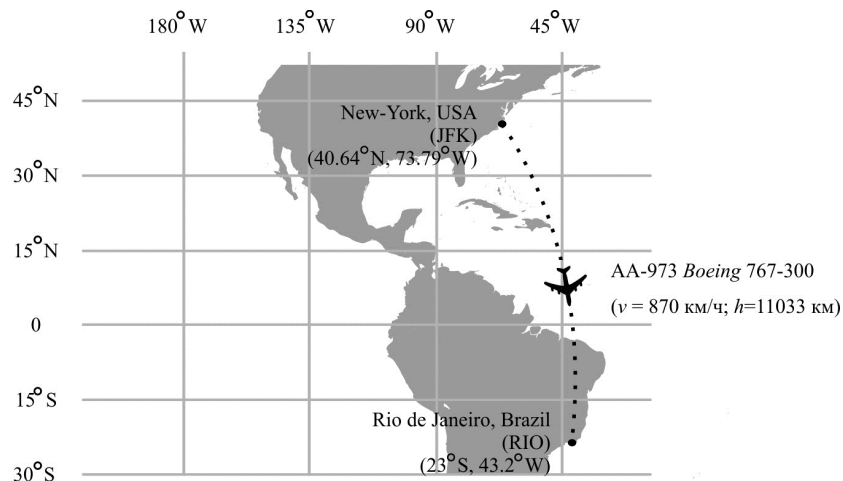


Рис. 2. Траектория полета Boeing 767-300, выполняющего рейс AA973

Анализ рис. 3, а также сопоставление амплитудно-частотных характеристик наблюдаемой ГМПБ с аналогичными параметрами традиционных ГМВ [11] позволил сделать вывод, что эффект ГМПБ превосходит ГМВ по амплитуде и частоте в среднем на 2 порядка.

Очевидно, что параметры ГМПБ непосредственно зависят как от региона полета воздушного судна, так и от его летно-технических характеристик.

Было установлено, что амплитудно-частотный диапазон ГМПБ ограничивается значениями 0–70000 нТл по амплитуде и 0–3 мГц по частоте, что как минимум на 3 порядка превосходит традиционные ГМВ. Рассматривая металлический (дюралюминиевый) фюзеляж летательного аппарата как проводник в переменном магнитном поле, согласно известным положениям Максвелла [8], на борту воздушного судна будет иметь место электромагнитное поле определенной частоты и амплитуды, возбужденное эффектом ГМПБ.

Принимая во внимание ранжировку электромагнитных волн, принятую Международным союзом электросвязи (International Telecommunication Union, ITU), нижний диапазон частот которой ограничен 3 Гц и обозначен как «крайне низкий диапазон частот» (ELF), имеет смысл его расширение областью 0 – 3Гц, называемой «субкрайне низкий диапазон частот» (SELF).

### Заключение и выводы

Таким образом, на основании результатов исследований, представленных в настоящей статье, справедливо сделать заключение о том, что ГМПБ не только имеют место в процессе авиаперелетов воздушных судов различного целевого назначения, но и обладают значениями амплитуды и частоты, на несколько порядков превосходящими амплитудно-частотные параметры ГМВ естественной природы происхождения.

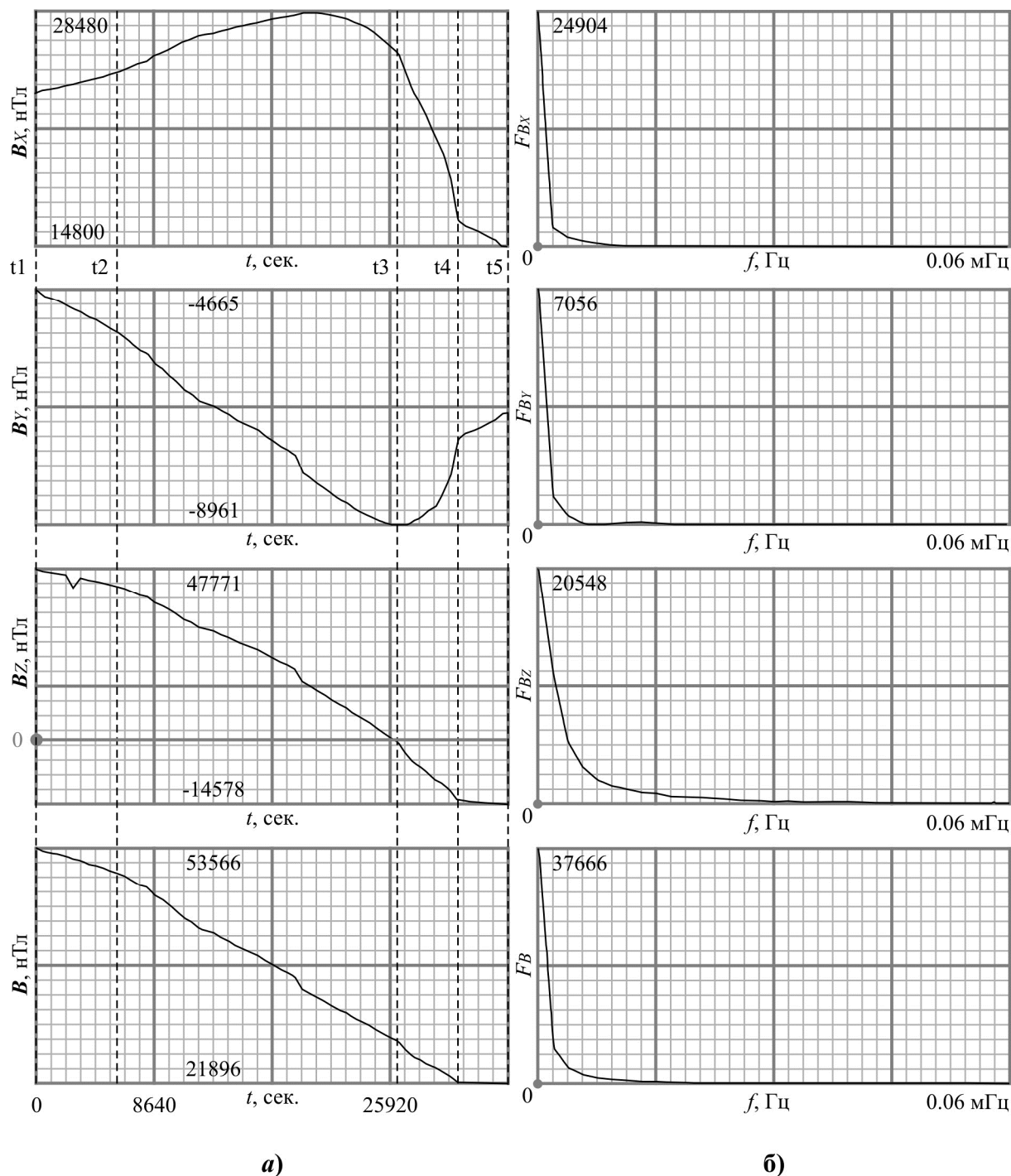


Рис. 3. Результат амплитудно-частотного анализа эффекта геомагнитной псевдобури

Такое положение дел представляет целесообразным расширение традиционной ранжировки электромагнитных волн, принятой Международным союзом электросвязи (International Telecommunication Union, ITU), диапазоном 0 – 3Гц, который предлагается именовать как «субкрайненизкий диапазон частот» (SELF). Проблема нейтрализации (экранирования) преимущественно негативного воздействия ГМПБ на биологические и технические объекты и системы, находящиеся на борту воздушных судов, на сегодняшний день является нерешенной и весьма малоизученной, что ставит перед современной промышленностью ряд новых сложных научно-технических задач.

### Список литературы

1. Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // УФН. – 2003. – Т. 173, №3. – С. 265–269.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Айрис Пресс 2004. – С. 32–42.
3. Воробьев А.В. Вопросы проектирования цифровых геомагнитных обсерваторий. – LAP Lambert Academic Publishing G mbh & Co. KG, Berlin, 2012. – С. 10–20.
4. Воробьев А.В. Моделирование и исследование эффекта геомагнитной псевдобури // Геоинформатика. – 2013. - № 1. – С. 29–36.
5. Воробьев А.В. Способ определения параметров невозмущенного геомагнитного поля в полевых условиях // Нефтегазовое дело. – 2013. - № 1. – С. 71–80.
6. Воробьев А.В. Программа GEOMagnetic\_v1.0: Св-во об офиц. программы для ЭВМ № 2013610905. – М.: РосАПО, 2013.
7. Воробьев А.В. О возможности применения анизотропных магниторезистивных сенсоров в геоинформационных магнитометрических системах // Приборы. – 2012. -№ 1 (139). – С. 10–16.
8. Воробьев А.В. Магнитные материалы и элементы электронных устройств. – Уфа: УГАТУ, 2012. – 154 с.
9. Воробьев А.В., Шакирова Г.Р. Автоматизированный анализ невозмущенного геомагнитного поля на основе технологий картографических веб-сервисов // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, № 5(58). – С. 177–187.
10. Влияние геомагнитных возмущения на капиллярный кровоток у больных ишемической болезнью сердца / Гурфинкель Ю.И. [и др.] // Биофизика. – 1995. – Т. 40, вып. 4. – С. 793–799.
11. Понаморенко Г.Н. Электромагнитотерапия и светолечение. – СПб.: Мир и семья 1995. – С. 150–153.
12. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976. – С. 5–15.
13. Миловзоров Г.В., Воробьев А.В., Миловзоров Д.Г. Методика описания параметров геомагнитной псевдобури // Вестник ИжГТУ. – 2013. - № 1. – С. 103–107.

### Рецензенты:

Веревкин А.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой АТПП ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа.

Даринцев О.В., д.т.н., в.н.с., зав. лабораторией «Робототехника и управление в технических системах» ФГБУН Институт механики им. Р.Р. Мавлютова, г.Уфа.