

## Един метод за локализиране на зони с повишена мощност на компоненти на магнитното поле с честота 8,3 Hz по данни от ИПМП на борда на „ИНТЕРКОСМОС БЪЛГАРИЯ-1300“

*Николай Банков*

*Институт за космически изследвания, БАН*

Повишение на амплитудата на компонентите на вектора на магнитното поле с честота  $f \geq 8\text{Hz}$  по данни от прибора ИПМП са описани в [1], където забелязаните случаи се интерпретират като възможни предвестници на земетресения. Основната теза на цитираната работа е: в йоносферата, на височини 800–900 km над зоната на земетресение, няколко часа до началото и по време на основния трясък, могат да се наблюдават смущения на магнитното поле на въпросните честоти, като размерите на зоната на регистриране на пулсациите е 40–100 km по траекторията на спътника, с максимум на интензивността върху L-обвивката, съответстваща на проекцията на епицентъра на височина 100 km. Пак там са посочени изследвания [2,3], в които подобни данни са интерпретирани като идентификатори на цунами, ядрени взривове, преминаване на тайфуни, торнадо. Значението на тези събития за съдбата на определени райони и тяхното население естествено повишава интереса към подобен род изследвания, независимо от това каква е вероятността на възможността за използване на наблюдаваните ефекти като средство за йоносферен мониторинг на сеизмичната активност. В този смисъл интерес представляват и опитите да се използват различни алгоритми за обработка на информацията от прибора с надежда за евентуално прецизиране на резултатите и предоставяне на по-добри възможности и основания за интерпретирането им, каквато е целта на тази работа.

Естествено е за онагледяване на предлаганите тук методи за обработка да се използва същата първична информация, т.е.  $V_x$  и  $V_y$  компонентите на

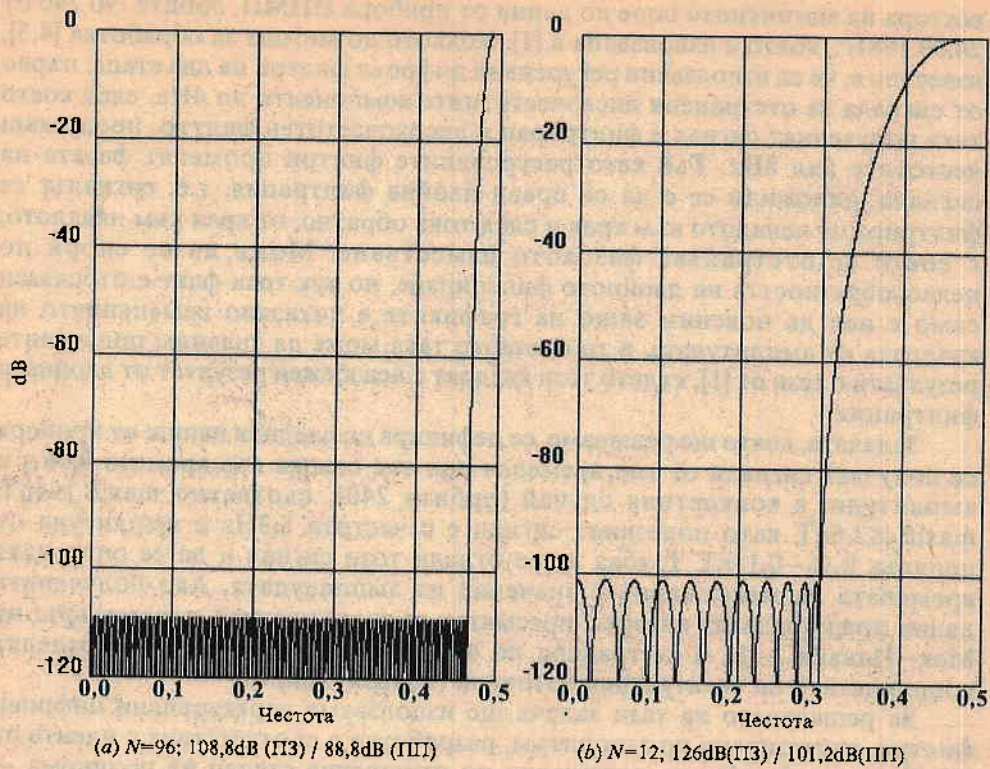
вектора на магнитното поле по данни от прибора ИПМП, орбита No 240 от 24.08.1981г., която е използвана в [1]. Колкото до метода за обработка [4,5], известно е, че са използвани рекурсивни цифрови филтри на два етапа: първо от сигнала са отстранени нискочестотните компоненти до 4Hz, след което така полученият сигнал е филтриран с високочестотен филтър, пропускащ честотите над 8Hz. Тъй като рекурсивните филтри променят фазата на сигнала, наложило се е да се прави двойна филтрация, т.е. сигналът се филтрира от началото към края и след това обратно, от края към началото, с което се отстранява фазовото изместване. Може да се спори по целесъобразността на двойното филтриране, но тук този факт е отбелязан само с цел да поясним защо на графиките е показано изменението на квадрата от амплитудата, а то е защото така може да сравним получените резултати с тези от [1], където този квадрат е неизбежен резултат от двойната филтрация.

Задачата, която ще решаваме, се дефинира по следния начин: от прибора се получават сигнали от тип временен ред със стъпка във времето 0,06 s и амплитуди, в конкретния случай (орбита 240), съответно  $\max\{B_x\} \leq 4nT$ ,  $\max\{B_y\} \leq 2.6nT$ , като полезният сигнал е с честота 8,3Hz и амплитуда от порядък 0,16—0,18nT. Трябва да се отдели този сигнал и да се определят времената на максималните значения на амплитудата. Ако получените данни представляват интерес, пресмятат се координатите, параметърът на Мак—Илвайн — L, и се трасира по силовата линия, за да се определят координатите на евентуалния източник (еписцентъра).

За решаването на тази задача ще използваме нерекурсивни цифрови филтри, синтезирани по алгоритъм, разработен в съответствие с идеите от [6]. Този тип филтри са оптимални по отношение степен на полинома — грешка от апроксимация на честотната характеристика. Освен това, процедурата за пресмятане позволява използването на теглова функция, посредством която може да се получи предварително зададено съотношение между точността в полосите на пропускане и задържане, без да се нарушава линейността (фиг.1).

Възможността да управляваме точността в отделните полоси ни позволява да компенсирате разликата в амплитудите на основния и полезния сигнал, тъй като широчината на полосата на пропускане, в която искаме по-добро приближение, е съществено по-малка от тази на полосата на задържане, в резултат на което се получават незначителни загуби на точност в последната. Например на фиг.1b е показана фазо-честотната характеристика на филтър, за който грешката от апроксимация на предавателната функция в [0,48; 0,50]-пропускане е 25 пъти по-малка от тази в [0,0; 0,3]-задържане. Ако бяхме поискали еднакви тегла в двете полоси, то в полосата на задържане щяхме да спечелим само 0,5dB. Въздействието на показаните на фиг.1 филтри върху сигнала ще бъде показано по-долу, а тук се демонстрира преди всичко абсолютната линейност на характеристиката, т.е. отсъствие на ефекта на Гибс, което е трудно постижимо при алгоритми за синтез на филтри с използване на прозорци.

Преди да продължим, да обърнем внимание на една важна особеност на данните за конкретната орбита. В резултат от работата на друг прибор,

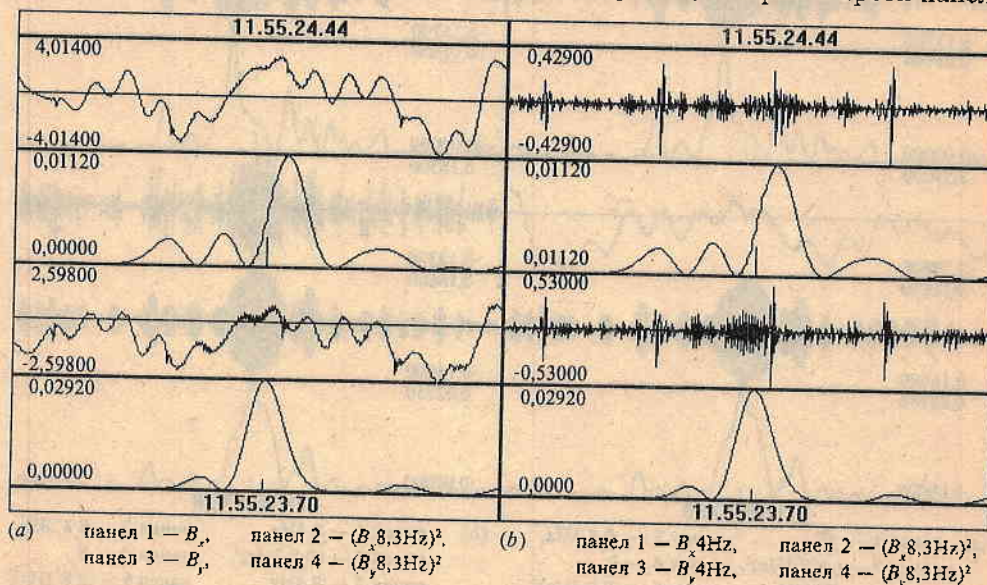


Фиг. 1

върху първичния сигнал, на интервали от  $\approx 4,50$  s, се наслагват импулси с продължителност един-два отчета и амплитуда около  $0,5nT$ , т.е. превишаващи полезния сигнал около три пъти. В [1], както лесно се установява визуално, нивото на тези смущения е намалено на  $0,25nT$ . Един неприятен резултат от наличието на такива импулси или остатъци от тях е евентуалното изместване на максимума на амплитудата или появата на фалшив максимум в полезния сигнал. В работата, която цитираме, въпросът за съществуването на разлики във времената на максимумите (които не са посочени директно) не се коментира, като отсъствието на такава разлика по-скоро се подразбира, тъй като в явен вид противното не се твърди. Но разминаването в двата максимума лесно се забелязва при едно повнимателно изучаване на графиките на  $B_x$  и  $B_y$ . Естествено е да предположим, че коментар за разминаване на въпросните максимуми няма, тъй като такова не е установено, което пък е следствие от влиянието на паразитния сигнал, недостатъчно добре почистен. Още повече, че импулс на паразитния сигнал ( $UT=11.55.24.36$ ), както ще се убедим по-долу, попада между максимумите и вероятно ги променя.

Филтри, устойчиви на смущения от описания тип, в смисъл на стабилно определяне на координатите във времето на максимумите на амплитудата на полезния сигнал, може да се синтезират по използвания алгоритъм (напр.

филтъра от фиг. 1а е такъв), но тази възможност не омаловажава въпроса за отстраняване на шума от първичния сигнал. Тук се предлага едно решение на този проблем, но преди това да отбележим, следвайки желанието за сравнение на резултатите, че паралелно с представянето на предлаганите методи за обработка на изходния сигнал ще покажем и тяхното въздействие върху сигнал, от който са отстранени честотите под 4Hz. Резултатът от такава филтрация на първичния сигнал е показан на фиг. 2b, в първи и трети панел.

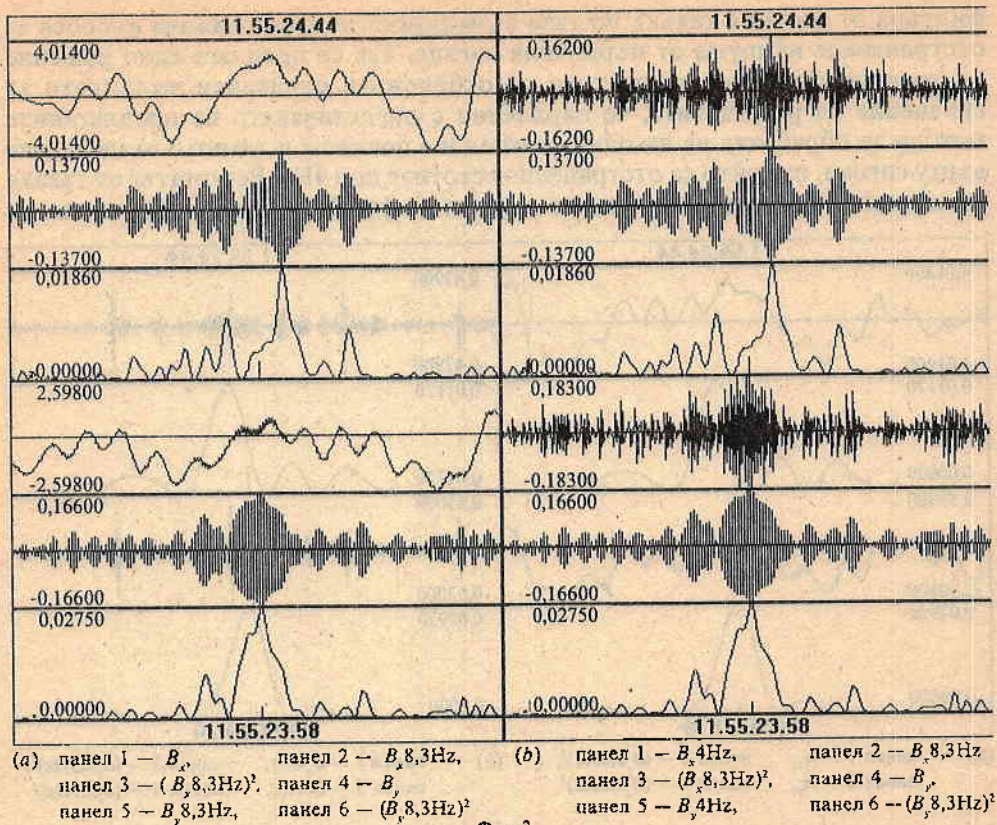


Фиг. 2

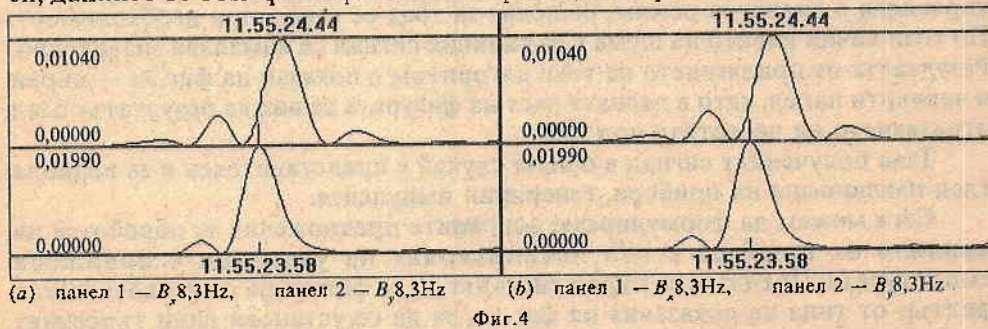
Веднага се вижда, че локализирането на екстремалните стойности на сигнала не е проблем. Знаейки позицията на импулса (точка с номер  $i_0$ ), върху основния сигнал прилагаме следната процедура: избираме няколко точки от някаква симетрична околност (с дължина  $n$ ) на въпросния импулс, в която апроксимираме сигнала с функция от вида  $f(x_i) = a + bx_i + cx_i^2 + d(-1)^i$ ,  $i = i_0 - n, i_0 + n$ ,  $i \neq i_0$ , след което зашуменото значение се заменя с изчислено по формулата. Естествено, може да се наложи да се елиминират повече от една точки, но тъй като този процес се управлява в диалогов режим, решение за това се взема при необходимост. По този начин нивото на шума в първичния сигнал се намалява значително. Резултатът от прилагането на този алгоритъм е показан на фиг. 3а — първи и четвърти панел, като в дясната част на фигурата се вижда резултатът след отрязването на честотите под 4Hz.

Така полученият сигнал в общия случай е представителен и за периода след изключване на прибора, генерирал импулсите.

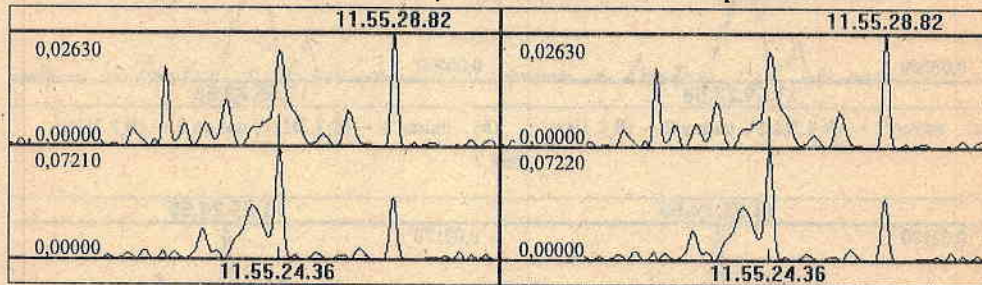
Сега можем да формулираме основните предложения за обработка на данните от прибора с цел локализиране на участъци с повишена амплитудата. Предлага се първо сигналът да се филтрира с високочестотен филтър от типа на показания на фиг. 1а, за да се установи дали търсеният



ефект съществува. Този филтър е с голяма дължина (96 елемента), така че практически покрива с излишък предполагаемата максимална дължина на зона с повишение на сигнала. Дължината предопределя едно значително изглаждане на сигнала на изхода на филтъра, но съчетано с устойчиво определяне на максимума, което е целта ни. На фиг. 4 е показан резултатът при филтриране на незашумения сигнал от фиг. 3. Лесно се вижда, сравнявайки фиг. 2 с фиг. 4, че разликите във времената на максималните значения на сигнала са незначителни. Да отбележим, че поради гладкостта си, данните от този филтър са малко пригодни за физическа интерпретация.



За получаване на данни, използвани за изследване на причините за наблюдавания ефект, е по-добре да се филтрира с филтър от типа на показвания на фиг.1b. Този филтър е с малка дължина (12 елемента), достатъчно добре възстановява реалното поведение на сигнала и, при незапумен първичен сигнал, може да се използва самостоятелно. Резултатът от филтриране на първичния сигнал е показан на фиг.3. В същото време, използването на този филтър за непочистени от шум данни (виж фиг.2), води до определяне на фалшиви максимуми, което е показано на фиг.5. Вижда се, особено в случая на  $B_x$  компонентата, че максимумът се е изместил и съвпада с позицията на импулса — шум, за който стана дума по-горе, докато при  $B_y$  компонентата този максимум се е изместил на указаните вече 4,50 s приблизително.



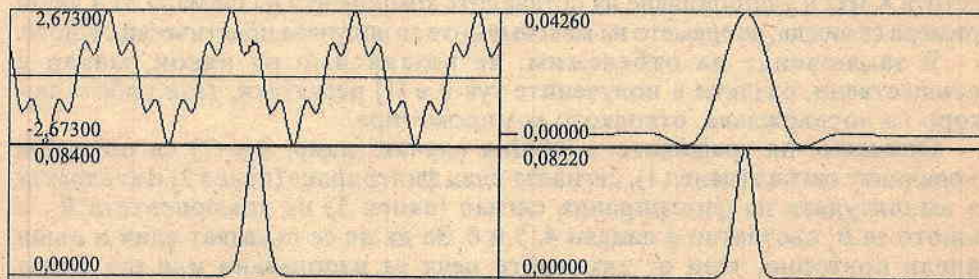
(а) панел 1 —  $(B_x, 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y, 8,3\text{Hz})^2$  (б) панел 1 —  $(B_x, 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y, 8,3\text{Hz})^2$   
Фиг.5

За контрол на качеството на възпроизвеждане на полезния сигнал е използван методът на изчислителния експеримент, т.е. генериран е временен ред с амплитуди и честоти, приблизително еднакви с тези на полезния и носещия сигнал. За целта използваме формулата

$$y_i = c_1 \cos(f_1 i) + c_2 \cos(f_2 i) + c_3 \cos(f_3 i) \left[ \exp\left(-\frac{(i-i_0)^2}{sf}\right) + 0,05 \right],$$

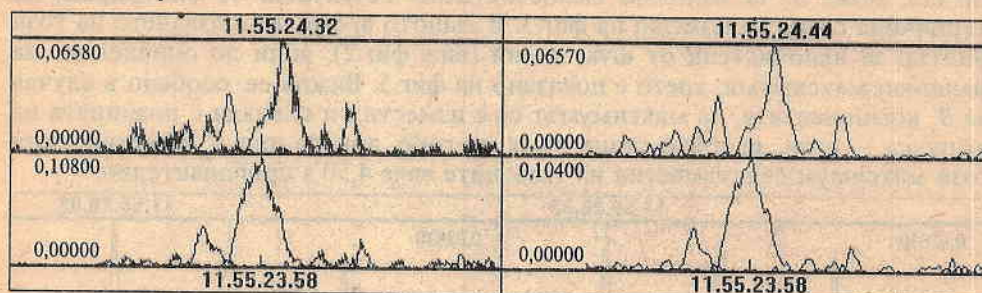
където  $c_1=2$ ,  $c_2=c_1/3$ ,  $c_3=c_1/25$ ,  $f_1=\pi/40$ ,  $f_2=\pi/8$ ,  $f_3=\pi$ ,  $i=i_0-n, \dots, i_0+n$ ,  $sf$  — управлява широчината на камбаната, в случая  $sf=45$ .

Резултатите от филтрирането на този сигнал с филтрите от фиг.1, (а и б) е показан на фиг.6 — дясно. Очевидно филтърът от (б) възпроизвежда полезния сигнал от моделния експеримент достатъчно точно (грешка около 2% в максималното значение), както се твърдеше.



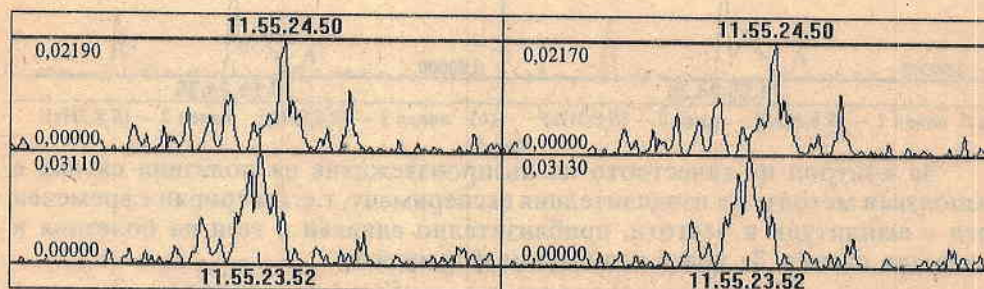
(а) панел 1 —  $y$ , панел 2 — полезен сигнал (б) панел 1 — филтър а, панел 2 — филтър б  
Фиг.6

Накрая може да сравним ефикасността на предлаганите средства с някои традиционни такива, например с алгоритъм на базата на плаващо БПФ, както и с някой по-екзотичен метод, какъвто е методът за изглаждане с квазиполиноми [7]. Резултатите от прилагането на тези методи са показани на фиг.7 и фиг.8, съответно.



(a) панел 1 —  $(B_x 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y 8,3\text{Hz})^2$  (b) панел 1 —  $(B_x 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y 8,3\text{Hz})^2$

Фиг.7



(a) панел 1 —  $(B_x 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y 8,3\text{Hz})^2$  (b) панел 1 —  $(B_x 8,3\text{Hz})^2$ , панел 2 —  $(B_y 8,3\text{Hz})^2$

Фиг.8

Тук е показан резултатът от използване на плаващо БПФ по 17 точки, като на всеки панел са показани две спектрални компоненти — на най-високата и на съседната и честота, която по амплитуда е 30—40 пъти по слаба (което би трябвало да бъде нивото на естествения фон), поради което почти не се забелязва.

На фиг.8 е показан резултатът от изглаждане на сигнала с квазиполином от вида  $l_k(t) = t^{n_k} (\cos \zeta_k t + i \sin \zeta_k t) e^{i\omega t}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , в режим на запазване на честота 8,3Hz и унищожаване на останалите компоненти на сигнала. И в двата примера се вижда, че времето на максимумите се получава практически същото.

В заключение да отбележим, че независимо от някои, макар и несъществени, разлики в получените тук и в [1] резултати, тази работа по-скоро ги потвърждава, отколкото компрометира.

Описание на графиките: в общия случай (напр. фиг.3) са показани първичният сигнал (панел 1), сигналът след филтриране (панел 2) и квадратът на амплитудата на филтрирания сигнал (панел 3) на компонентата  $B_x$ , и същото за  $B_y$  съответно в панели 4, 5 и 6. За да не се показват едни и същи панели повторно, тези от тях, които вече са използвани или ще бъдат показани на по-подходящо място, са пропуснати, като под съответната графика е посочено кои от описаните по-горе панели са показани.

## Литература

1. Бяличевко, С.В., А. Инчин, Э. Ким, О. Похотелов, П. Пущаев, Г. Станев, А. Стрельцов, В. Чмырев. УНЧ-отклик ионосферы на процессы подготовки землетрясений. — ДАН СССР, 311, 1990, №5, 1077—1081.
2. Щепетнов, Р.В., В.А. Троицкая, Б.В. Довбня. ДАН СССР, 290, 1986, №3, 582—585.
3. Jacobson, A.R., R.C. Jarlos. Preprint Los Alamos Nat. Lab., 1987, vol. LA-CP-87-89.
4. Инчин, А.С., А.В. Стрельцов. Кратковременный спектральный анализ спутниковых ОНЧ измерений над сейсмоактивными районами. Препр. №73(689), ИЗМИРР АН СССР, 1986.
5. Ларкина, В.И., В.В. Мигулин, О.А. Молчанов, В.Б. Шевцова, А.С. Инчин, И.А. Пименов, И.П. Харьков. Статистические особенности возбуждения низкочастотных излучений в верхней ионосфере над районами землетрясений. Препр. № 16(705), ИЗМИРР АН СССР, 1987.
6. Bankov, N.V. Hausdorff polynomials and digital filter design. — Comp. Rep. de l'Acad. Bul. des Sciences, 33, 1980, №3, 301—304.
7. Василенко, В.А., М.В. Зюзин. О применении осредняющих функций в задачах обработки экспериментальных данных. Препр. № 59 СО АН СССР, Новосибирск, 1979.

Поступила на 27.1.1998г.

A method to localize the zones whit  
upraised amplitude of the components of  
magnetic field at a frequency of 8.3Hz,  
measured by IPMP on board of  
"INTERCOSMOS BULGARIA 1300"

*Nikolai Bankov*

(Summary)

In this work a method for processing of the data, detected on board of the satellite "IKB-1300" by IPMP, when the amplitude of 8.3Hz's component of the signal is rising up, recognized by some authors [1] as possible evidence of earthquakes, is considered. Some special types of digital filters, optimal by means of "order of polynomial / error of the approximation" ratio, were used to separate the corresponding frequencies from the measured magnetic field components.