УДК 550.385.37

ПЕРСПЕКТИВЫ В РАЗВИТИИ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ. 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИРРЕГУЛЯРНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ТИПА PI2

Стерликова И.В.

Муромский институт, филиал ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, e-mail: Oid@mivlgu.ru

Цель работы – проверка концепции однородной вертикально падающей волны, положенной в основу метода магнитотеллурического зондирования глубоких слоёв Земли. Модель базируется на уравнениях Максвелла. Для проверки концепции использованы иррегулярные геомагнитные пульсации типа Pi2 (диапазон периодов 40–150 с). Специфическая форма сигнала в магнитоспокойных условиях – в виде изолированного волнового пакета – облегчает автоматизацию их математической обработки. Используя метод спектрально-временного анализа, нашедшего первоначальное применение в сейсмологии, построены амплитудный и фазовый спектры геомагнитных пульсаций. Обработка фазовых спектров по принципу стационарной фазы позволила достаточно точно выделить период спектральной компоненты, соответствующей максимальной интенсивности волнового пакета. Последнее важно в определении дисперсии волн. Рассчитанные величины (десятки км/с) групповых скоростей волнового пакета Pi2 на наземных станциях вдоль геомагнитного меридиана доказывают горизонтальное распространение Pi2 относительно земной поверхности, что ставит под сомнение гипотезу о вертикальном падении волны, используемую в магнитной теллурике.

Ключевые слова: геомагнитные пульсации, магнитотеллурическая разведка, магнитосфера, ионосфера, магнитосферные суббури

PROSPECTS IN DEVELOPMENT OF THE DIRECTION OF RESEARCH OF PROPERTIES AND OF STRUCTURE OF FIELD OF GEOMAGNETIC PULSATIONS. 1. RESEARCH OF PROBLEM OF HORIZONTAL MOVEMENT OF IRREGULAR GEOMAGNETIC PULSATIONS OF TYPE PI2

Sterlikova I.V.

Murom Institute, branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovs», Murom, e-mail: oid@mivlgu.ru

The work purpose – check of the concept of the homogeneous vertically falling wave, taken as a principle a method of magnetotellurique sounding of deep layers of the Earth. The model is based on the equations of Maksvell. For concept check are used the irregular geomagnetic pulsations of type Pi2 (a range of the periods 40–150 s). The specific form of a signal in magnetic quiet conditions – in the form of the isolated wave package – facilitates the automation of their mathematical processinThe amplitude spectra and phase spectra of the geomagnetic pulsations are constructed, using a method of analysis of spektra during the time,that found initial application in seismology. Processing of phase spectra by a principle of a stationary phase has allowed to allocate precisely enough the period spectral the components, corresponding to the maximum intensity of a wave package. The last is important in definition of a dispersion of waves. The calculated sizes (tens km/c) of the group speeds of a waves package Pi2 on the land stations lengthways of the geomagnetic meridian prove Pi2 horizontal distribution concerning a terrestrial surface that calls into question a hypothesis about vertical falling of the wave, used in magnetic tellurique.

Keywords: geomagnetic pulsations, magnetotellurique prospect, magnetosphere, ionosphere, magnetospheric storms

Геомагнитные пульсации – естественные короткопериодные квазипериодические колебания магнитного поля Земли – впервые зарегистрированы наземной магнитной обсерваторией Кью близ Лондона более 150 лет назад. Исследования их свойств актуальны и по сей день для развития космонавтики и жизнеобеспечения полетов к другим планетам. Диапазон частот геомагнитных пульсаций простирается от миллигерц до 3–5 Гц. Верхняя частота пульсаций определяется гирочастотой протонов в магнитосфере. По своей физической природе геомагнитные пульсации представляют гидромагнитные волны, зарождающиеся в магнитосфере и солнечном ветре, которые трансформируются в электромагнитные волны при подходе к Земле. Геомагнитные пульсации условно разделены на два больших класса по характеру колебаний – непрерывные Pc продолжительностью в несколько часов в устойчивом режиме колебаний и иррегулярные Pi – импульсные пульсации, имеющие вид отдельных всплесков с нестационарным спектром. Как правило, непрерывные Pc характерны для дневного времени суток, а импульсные Pi – для ночного. Возбуждение Pi волн происходит в достаточно локализованных областях магнитосферы, тогда как генерация устой-

чивых пульсаций Pc характеризует изменения структуры магнитосферы в крупных масштабах.

Все виды иррегулярных пульсаций являются элементами развития магнитосферной суббури, ее своеобразным почерком и возбуждаются в определенной последовательности в соответствии с фазами развития суббури, уже поэтому заслуживая внимания. Среди иррегулярных пульсаций типов Pi1 (период 1–40 с), Pi2 (период 40–150 с), Pi3 (период свыше 150 с) внимание исследователей обращено к Pi2, так как они имеют вид изолированного волнового пакета, что облегчает их математическую обработку, и кроме того, Pi2 являются сигналом о начале главной – взрывной фазы магнитосферной суббури. Систематическое изучение геомагнитных пульсаций в нашей стране начато в 50-х годах прошлого столетия и связано с именами всемирно известных ученых: академика А.Н. Тихонова и профессора В.А. Троицкой.

А.Н. Тихонов и В.А. Троицкая явились инициаторами развития двух научных направлений и соответственно родоначальниками двух научных школ по изучению физических процессов внутри планеты (магнитотеллурическое зондирование глубоких слоев земной коры) [6] и снаружи планеты (диагностика космического пространства по наземным наблюдениям геомагнитных пульсаций) [2]. В настоящее время диагностика космоса по данным наземной регистрации короткопериодных вариаций магнитного поля Земли получила мировое признание, что обеспечивает перспективы дальнейшего развития направления исследования свойств и наземной структуры поля геомагнитных пульсаций.

Так, например, наземные пульсации Pi2 позволяют диагносцировать:

1) параметры межпланетного магнитного поля: величину и направление вертикальной составляющей Bz;

2) структуру и параметры магнитосферы: толщину плазменного слоя в хвосте магнитосферы, местонахождение плазмопаузы – границы областей магнитосферы с высокой и низкой концентрацией холодной плазмы, инжекцию электронов в полярную верхнюю атмосферу и косвенно – концентрацию слоя озона, защищающего Землю от ультрафиолетовых излучений, молекулярный (атомарный) состав верхней ионосферы, соответствующий определенным длинам электромагнитных волн оптического диапазона, излучаемых авроральными сияниями, местонахождение южной границы овала сияний, местонахождение различных зон риометрического поглощения, ответственных за состояние ионосферы, от которого зависит распространение радиоволн и обеспечение радиосвязи, радионавигации, радиолокации;

3) не исключена возможность использования иррегулярных геомагнитных пульсаций Pi2 и Pi1 в магнитной теллурике в качестве предвестников землетрясений, поскольку по данным измерений совместно с японскими исследователями на Камчатке в диапазоне 0,01–0,1 Гц (диапазон Pi2) обнаружен эффект падения интенсивности горизонтальной компоненты УНЧ пульсаций за 2–6 суток перед землетрясением;

4) учитывая общепризнанный факт, что магнитосфера – неотъемлемая часть планеты, ее окружающая среда, открываются перспективы использования геомагнитных пульсаций для исследования проблемы их влияния на биосферу, в том числе на человека, спектр основных биоритмов которого перекрывается со спектром геомагнитных пульсаций.

В статье я остановлюсь на одном из аспектов использования геомагнитных пульсаций – в магнитной теллурике.

А.Н. Тихонов впервые в нашей стране предложил использовать геомагнитные пульсации в одном из способов геофизической разведки – магнитотеллурическом зондировании (МТЗ), запантентованном французским инженером-исследователем Каньяром в 1952 г. [8, 9].

В основу этого способа разведки полезных ископаемых была положена математическая модель одномерной вертикально падающей волны. Согласно этой модели, исходя из уравнений Максвелла, вертикальные компоненты электрического и магнитного полей в земных скважинах должны равняться нулю. Отклонение их от нуля означало бы обнаружение месторождения. К сожалению, эксперименты не оправдали надежд. Отклонения от нуля E_z и H_z в скважинах обнаруживалось часто, а месторождение – не всегда (примерно в 50 процентах случаев). В связи с этим напрашивается вопрос о правомерности использования модели вертикально падающей волны в МТЗ.

Цель работы – проверка концепции однородной вертикально падающей волны, положенной в основу метода магнитотеллурического зондирования глубоких слоёв Земли на примере геомагнитных пульсаций Pi2.

Материалы и методы исследования

Записи геомагнитных пульсаций на 4-х станциях приблизительно одного геомагнитного меридиана: о. Хейса (геомагнитная широта 74 град), Суккозеро (геомагнитная широта 59 град.), Суйсарь (геомагнитная широта 57,5 град), Белое озеро (геомагнитная

широта 55 град.) в диапазоне частот 0,01–0,1 Гц, сведения о геомагнитной активности (Кр и Q- индексы), записи медленных геомагнитных вариаций. Регистрация пульсаций выполнена в ходе глобального международного эксперимента 1974 г (советско-германский эксперимент) по синхронной регистрации пульсаций на двух профилях станций – меридиональном (геомагнитная долгота 111 град.) и широтном (геомагнитная широта 52 град.), охватывая по протяженности станций почти 1/4 северного плушария. Эксперимент выполнен по инициативе проф. В.А. Троицкой и немецкого проф. М. Зиберта, описан в [5] и за последние 40 лет не имеет мировых аналогов

Методика обработки материалов исследований

В качестве метода обработки короткопериодных колебаний (КПК) с периодом 1–150 с предлагается СВАН, ранее используемый в сейсмологии [1]. СВАН – метод математической обработки записей геомагнитных пульсаций с помощью двойного преобразования Фурье – по времени и частоте

$$Y(t,\omega)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\left[\int_0^{\tau} e^{-i\lambda t}u(t)dt\right]G(i\lambda)\exp\left[-\alpha\frac{(\lambda-\omega)^2}{\omega^2}\right]e^{i\lambda t}d\lambda,$$

где $Y(t, \omega)$ – функция времени и частоты; t – время, $t = 0 - \tau$ – временной интервал; ω – центральная частота фильтра; λ – частота колебаний; $u(t)$ – компонента пульсаций; $G(i, \lambda)$ – комплексная частотная характеристика регистрирующей аппаратуры; α – параметр, характеризующий полосу пропускания фильтра, выбран $\alpha = 5 = 5$, число фильтров $N = 30$, исходя из модельных расчетов.

СВАН заключается в линейной фильтрации входного сигнала набором узкополосных частотных фильтров и представлении амплитуды $|Y(t,\omega)|$ и фазы $\arg|Y(t,\omega)|$ сигнала в виде функции двух переменных – времени и центральной частоты фильтра. Полученные таким образом амплитудный и фазовый спектры являются динамическими спектрами, преимущество которых перед интегральными спектрами – в возможности слежения за развитием во времени отдельных спектральных составляющих сигнала.

На рис. 1.1–4.1 (слева) приведены фрагменты СВАН азимутальной компоненты (Ну) геомагнитных пульсаций, зарегистрированных на станциях о. Хейса, Суккозеро, Суйсарь и Белое озеро 21.10.74 г. По горизонтальной оси размечены центральные периоды фильтров с шагом 2 с. По вертикали оси – время регистрации сигнала с шагом 6,4 с. СВАН дает трехмерное представление информации. На амплитудном спектре в качестве третьего измерения представлены амплитуды спектральных составляющих геомагнитных пульсаций типа Pi2 в условных единицах. Цифре 1000 соответствует максимальная амплитуда, её можно перевести в единицы измерения напряженности магнитного поля Земли. На уровне 0,6 от максимума проведены границы волнового пакета Pi2. Амплитудный СВАН позволяет установить время регистрации и период, соответствующие максимуму интенсивности волнового пакета Pi2. Эта информация может быть уточнена с помощью фазового спектра. Фазовый СВАН представлен также в трехмерном измерении: два измерения аналогичны амплитудному СВАН (периоды и время), третье измерение представлено в виде цифр, соответствующих значению фазы сигнала в градусах. Фазы СВАН выдаются на печать в интервале 0–360°.

Как известно, фаза φ колебаний циклической частоты ω с течением времени t линейно нарастает по закону

$$\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T}t.$$

Поэтому в каждом фильтре с центральным периодом T за время Δt, равное шагу СВАН 6,4 с, должно наблюдаться так называемое номинальное приращение фазы

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \frac{2\pi}{T}\Delta t = \frac{360°}{T}\Delta t \text{ [град.]}.$$

На рис. 1.2–4.2 (справа) приведены результаты обработки фазового спектра. Реальные приращения фаз в фильтрах, полученные при обработке по программе СВАН, могут отличаться от номинальных из-за сравнительно широких гауссовых фильтров ($\alpha = 5$), выбранных для получения гладких тел волновых пакетов на амплитудных спектрах. На рис. 1.2–4.2 (справа) представлены результаты сравнения номинальных фаз (рассчитанных по указанной выше формуле) с реальными фазами сигнала, определенными с помощью СВАН. Если приращения совпадают, то их разность равна нулю.

Нулевое отклонение реального приращения фазы с течением времени от номинального является основным признаком, позволяющим уточнить период спектральной компоненты для максимума интенсивности волнового пакета [3, 4, 7]. Это весьма важно при исследовании вопроса о дисперсии волнового пакета.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты комплексной обработки амплитудного и фазового спектров сведены в таблицу, в которой отмечены время и соответствующий период волнового пакета, установленные тремя различными способами:

1) из анализа амплитудного спектра – время и период, соответствующие максимальной амплитуде на данной станции,

2) из анализа фазового спектра – момент времени, для которого наблюдается стационарная фаза в нескольких соседних фильтрах, что позволяет уточнить время наблюдения максимума интенсивности волнового пакета,

3) нулевое отклонение реальной разности фаз от номинала, позволяющее уточнить период спектральной компоненты максимальной интенсивности.

Поясним на примере о. Хейса. По амплитудному спектру максимальная амплитуда Pi2 отмечается в 22: 52:39 UT, период 49 с. По данным фазового спектра указанному моменту времени соответствует стационарная фаза 55°. На 6 с раньше также отмечается стационарная фаза порядка 9–10° и на 6 с позже фаза в нескольких фильтрах также близка к стационарной порядка 100°. Нулевое отклонение разности фаз от номинала отмечается в тех же трех временных промежутках: 22:52:33UT , 22:52:39 UT,

22:52:45 UT. Нулевые отклонения наблюдаются в сравнительно широкой полосе фильтров: 49, 51, 54, 56, 58, 61, 66 с.

Аналогично полученные данные по другим станциям представлены в таблице.

Результаты обработки амплитудного и фазового спектра геомагнитных колебаний Pi2

Дата регистрации: 21.10.74 г. Ну – компонента; геомагнитная активность: Кр = 3_, Q = 4.								
Станция (геомагнитные координаты)	Максимальная амплитуда		Стационарная фаза	Нулевое отклонение приращений фаз от номинала				
	Время UT	Период фильтра, с	Время UT	Период фильтра, с				
О. Хейса Ф′~74° λ′~144°	22:52:39	49	φ = 9–10° 22:52:33		61	58	56;54	51
			φ = 55° 22:52:39	66	61	58	56,54	
			= 100° 22:52:45	66		58	56,54	51,49
Суккозеро Ф′~59° λ′~~111°	22:53:18	56	φ = 6° (366°) 22:53:18		63;61	58	56	
Суйсарь Ф′~57,5° λ′~~112,5°	22:53:18	56	φ = 179° 22:53:18		61	58	56	
Белое озеро Ф′~55° λ′~113°	22:53:12	56	φ = 175° 22:53:12		61	58	56	

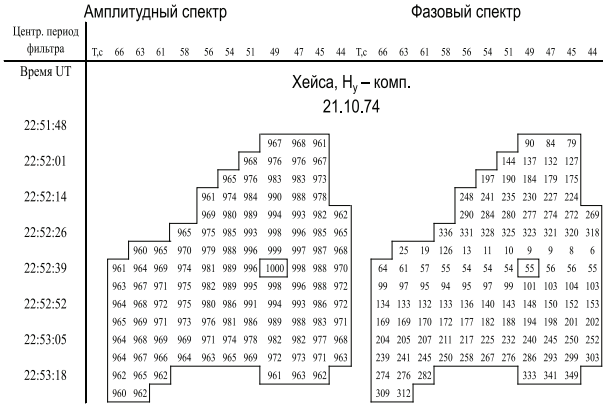

Рис. 1.1. Фрагмент СВАН колебаний

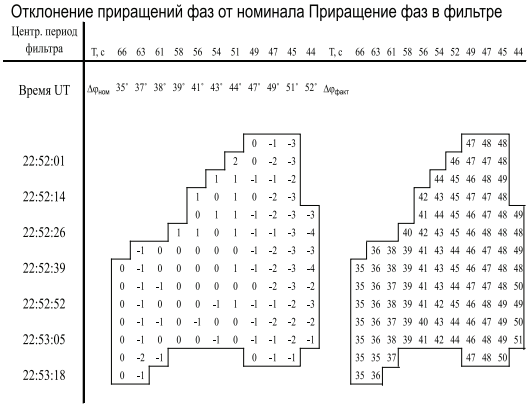

Рис. 1.2. Результат обработки фазового спектра

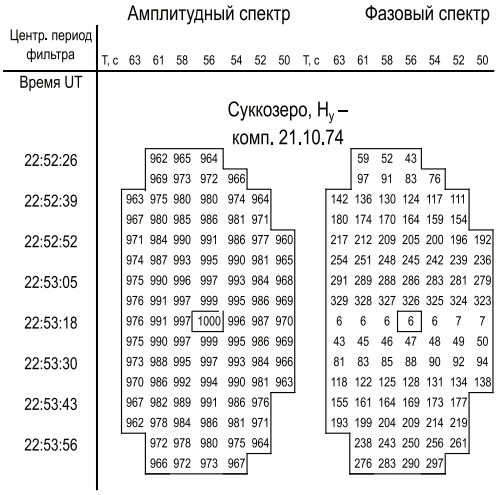

Рис. 2.1. Фрагмент СВАН колебаний

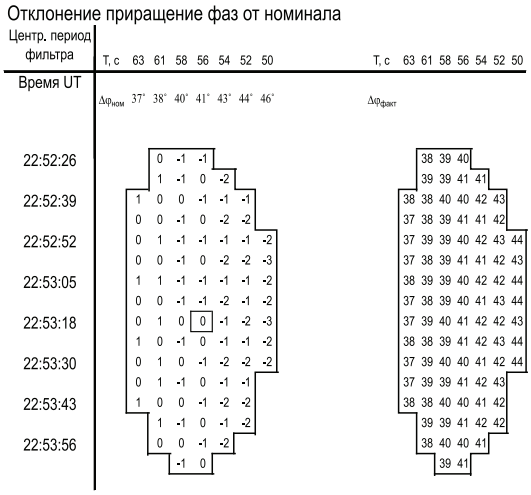

Рис. 2.2. Результат обработки фазового спектра

Центр. период	Амплитудный спектр Т, с	66	63	61	58	56	54	51	49	Фазовый спектр Т, с	66	63	61	58	56	54	51	49
Время UT	Суйсарь, H_y – комп. 21.10.74																	
22:52:26				961	963	960							233	225	215			
22:52:39			960	969	971	970	964					279	271	264	256	247		
			965	975	978	978	972	963				316	309	303	296	289	282	
			970	980	984	984	980	971				353	347	342	336	330	325	
22:52:52			973	984	989	990	986	977	962			30	25	21	17	12	7	2
22:53:05	960	975	988	993	994	990	982	967		69	67	64	61	57	54	50	46	
	961	977	990	995	997	994	986	971		105	104	102	100	98	95	93	90	
	961	977	991	997	999	996	988	973		141	141	140	139	138	137	136	134	
22:53:18	960	977	991	997	1000	997	989	974		177	178	179	179	179	178	178	178	
22:53:30	975	990	996	999	996	988	973			215	217	218	219	220	221	222		
	973	988	995	997	994	987	971			252	256	258	260	262	264	266		
	970	985	992	995	992	983	968			290	294	297	300	303	306	310		
22:53:43	966	981	988	991	988	979	963			327	333	337	341	345	349	354		
	960	976	983	986	982	974				5	11	16	22	27	32			
22:53:56		970	977	980	976	967					50	56	62	68	74			
		963	970	972	968						89	95	103	110				

Рис. 3.1. Фрагмент СВАН колебаний

Центр. период	Отклонение приращений фаз от номинала Т, с	66	63	61	58	56	54	51	49	Приращение фаз в фильтре Т, с	66	63	61	58	56	54	51	49
Время UT	$\Delta\varphi_{ном}$	35°	36°	38°	40°	41°	43°	45°	47°									
22:52:26				0	-1	0							38	39	41			
22:52:39			1	0	-1	-1	-1					37	38	39	40	42		
			1	0	-1	-1	-2	-2				37	38	39	40	41	43	
			1	0	-1	0	-1	-3				37	38	39	41	42	42	
22:52:52			1	1	0	-1	-1	-2	-3			37	39	40	40	42	43	44
22:53:05		1	1	0	-1	0	-2	-2	-3		36	37	38	39	41	41	43	44
		1	1	0	-1	-1	-1	-2	-3		36	37	38	39	40	42	43	44
		1	1	1	0	0	-2	-3	-3		36	37	39	40	41	41	42	44
22:53:18			1	0	-1	-1	-1	-2	-3			37	38	39	40	42	43	44
22:53:30			1	1	0	0	-2	-2	-3			37	39	40	41	41	43	44
			2	0	-1	-1	-1	-3	-3			38	38	39	40	42	42	44
			1	1	0	0	-2	-2	-3			37	39	40	41	41	43	44
22:53:43			2	0	-1	0	-1	-2				38	38	39	41	42	43	
				1	0	-1	-2	-3					39	40	40	41	42	
22:53:56				1	-1	0	-1						39	39	41	42		
					0	0	-1							40	41	42		

Рис. 3.2. Результат обработки фазового спектра

Центр. период фильтра	Амплитудный спектр Т, с	63	61	58	56	54	51	49	47	Фазовый спектр Т,с	66	63	61	58	56	54	51	49	47
Время UT	Белое озеро, H_y – комп. 21.10.74																		
22:52:39		968	978	982	984	981	975	963											
		972	982	987	989	987	981	970											
22:52:52		974	986	991	996	992	987	976	963		66	63	60	57	53	50	46	42	39
		976	988	994	997	996	991	980	967		101	100	38	97	94	91	89	86	84
22:53:05		976	989	995	999	998	993	982	969		137	137	137	136	135	133	132	131	130
22:53:12		976	989	996	1000	999	994	983	970		173	174	175	175	175	175	175	175	176
22:53:18		974	988	995	999	998	993	982	968		209	211	213	215	216	217	218	219	221
		972	986	993	997	996	991	976	966		245	248	252	254	257	259	261	264	266
22:53:30		968	982	989	994	993	988	970	961		281	286	290	294	298	301	304	308	311
		964	978	985	989	988	983	964											
22:53:43			972	979	984	983	977												
			965	973	977	976	969												
22:53:56				965	969	967	960												

Рис. 4.1. Фрагмент СВАН колебаний

Центр. период фильтра	Отклонение приращений фаз от номинала Т, с	61	58	56	54	51	49	47	Приращение фаз в фильтре Т, с	63	61	58	56	54	51	49	47
Время UT	$\Delta\varphi_{ном}$	38°	40°	41°	43°	45°	47°	49°									
22:52:52																	
22:52:58		0	0	0	-2	-2	-3	-4		37	38	40	41	41	43	44	45
22:53:05		1	-1	0	-1	-2	-2	-3		37	39	39	41	42	43	45	46
22:53:12		0	-1	-1	-1	-2	-3	-4		37	38	39	40	42	43	44	45
22:53:18		0	0	0	-1	-2	-3	-3		37	38	40	41	42	43	44	46
22:53:24		1	-1	0	-1	-2	-2	-4		37	39	39	41	42	43	45	45
22:54:30		0	0	0	-1	-2	-3	-4		38	38	40	41	42	43	44	45

Рис. 4.2. Результат обработки фазового спектра

Из таблицы видно, что на всех станциях меридионального профиля прослеживается практически одинаковый спектральный состав короткопериодных колебаний с периодами 56,58 и 61 с, что согласуется с умеренными геомагнитным условиями генерации Pi2 в рассмотренный интервал времени. По мере движения к северу от субавроральных широт появляются спектральные компоненты с более длинными периодами: 63 с – на станции Суккозеро и 66 с – на о. Хейса.

Полученный экспериментальный результат по спектрально-временной обработке данного случая геомагнитных пульсаций позволяет сделать вывод о его физической природе. Геомагнитные пульсации Pi2 рассмотренного диапазона периодов не связаны с электроструёй, находящейся на геомагнитной широте 65,8° в момент начала развития суббури. Учитывая, что колебания, обусловленные электроструёй имеют сильное затухание, они не наблюдались бы к югу от геомагнитной широты 65,8°. В направлении к северу от этой широты они бы имели существенной запаздывание во времени, так как скорость движения электроструи 1 км/с. Следовательно, этот случай Pi2 вызван собственными колебаниями магнитного поля Земли.

На основании данных выполнены расчеты кажущихся групповых скоростей распространения короткопериодных колебаний Pi2 с периодами 56–66 с, которые показали, что их значения в направлении от Хейса к Суккозеру и от Белого озера к Суйсари примерно одинаковые – 43–46 км/с. Располагая данными о меридиональном распределении интенсивности данного Pi2 [5], свидетельствующими о наличии двух максимумов интенсивности – на геомагнитной широте 64,7 и 53–55°, можно сделать вывод, что азимутальная компонента данного Pi2 распространяется в обе стороны от двух максимумов с одинаковой скоростью. Последовательно нарастающая фаза спектральной компоненты максимальной интенсивности от 175 град. в Белом озере до 179 град. в Суйсари и 6 град. (366 град.) в Суккозеро также свидетельствует об указанном направлении распространения – к северу от среднеширотного максимума. Значения фазы 55 град. на о. Хейса и 6 град. в Суккозеро следует отнести к цугам волн, сдвинутых по фазе на $\pm 2\pi n$ радиан, учитывая большое расстояние между станциями $\Delta\Phi \cong 33$ град. Подтверждение этому – регистрация Pi2 вначале на о. Хейса в 22:52:39UT, а затем в Суккозеро в 22:53:18 UT. Поэтому групповую скорость распространения Pi2 от Хейса до Суккозеро следует считать кажущейся и соответствующей направлению к югу от основного высокоширотного максимума интенсивности Pi2. Представленный экспериментальный результат можно интерпретировать, например, как удар по замкнутым магнитным

силовым линиям облака плазмы, движущегося из хвоста магнитосферы к Земле и обратно (магнитосфера и ионосфера обмениваются частицами), то есть рассматривать колебания Pi2 как связанные альвеновские и магнитозвуковые моды.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о горизонтальном распространении колебаний естественных электромагнитных полей Pi2, что согласуется с [7] и ставит под сомнение представления о первичном магнитотеллурическом поле как об однородной вертикально падающей волне.

Список литературы

1. Грудева Н.П., Левшин А.Л., Писаренко В.Ф., Пручкина Ф.М. Спектрально-временной анализ сейсмических волн // Теоретическая и вычмслительная геофизика. – М.: Междуведомственный геофизический комитет, 1974. – № 1.

2. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. – М.: Наука, 1973. – 208 с.

3. Стерликова И.В. Методика обработки фазовых спектров КПК по принципу стационарной фазы // Радиотехника, телевидение и связь: Межвуз. Сб. науч. тр., посвященный 110-летию В.К. Зворыкина. – Муром: Муромский институт (филиал ВлГУ), 1999. – С. 140–145.

4. Стерликова И.В. СВАН как метод обработки записей КПК магнитного поля Земли // Радиотехника, телевидение и связь: межвуз. сб. науч. тр., посвященный 110-летию В.К. Зворыкина. – Муром: Муромский институт (филиал ВлГУ), 1999. – С. 137–140.

5. Стерликова И.В., Иванов А.П. Магнитосферные суббури в геомагнитных пульсациях. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 108 с.

6. Тихонов А.Н. Об определении электрических характеристик глубоких слоев земной коры // ДАН СССР. – 1959. – № 2. – С. 295–297.

7. Четаев Д.Н. Дирекционный анализ магнитотеллурических наблюдений. – М.: Наука, 1985. – 228.

8. Cagniard L. Procede de prospection geophysicue. Brevet d'invention francais. – № 1025683, dem. 6 oct. 1950, del.28 jan. 1953.

9. Cagniard L. Theorie et practicue de la prospection magnetotellurique // Petrole Informations. –1967. – № 435. – P. 121–129.

Referenses

1. Grudeva N.P., Levshin A.L.,Pisarenko V.F., Pruchkina F.M. Spektralno-vremennoy analis seysmicheskikh voln // Kn. Teoreticheskaja I vychislitelnaya geofizika. M.: Mezhduvedomstvenny geofizicheskiy komitet, 1974. no. 1.

2. Gul'elmi A.V., Troitskaya V.A. Geomagnitnye pulsatsii i diagnostica magnitosphery.M.: Nauka. 1973. 208 p.

3. Sterlikova I.V. Metodika obrabotki fazovykh spektrov KPK po prinzipu stazionarnoy fazy // Radiotekhnika, televidenie, svyaz. Mezhvus. Sb. Nauch. Tr., posvyaschennyy 110-letiyu V.K. Zvorykin. Murom: Muromskiy institut (filial VlGU), 1999. pp. 140–145.

4. Sterlikova I.V. SVAN kak metod obrabotki zapisey KPK magnitnogo polya Zemly // Radiotekhnika, televidenie, svyaz. Mezhvus. Sb. Nauch. Tr., posvyaschennyy 110-letiyu V.K. Zvorykin. Murom: Muromskiy institut (filial VlGU), 1999. pp. 137–140.

5. Sterlikova I.V., Ivanov A.P. Magnitosfernye subburi v geomagnitnykh pulsatsiyakh. M.: OIFZ RAN, 1997. 108 p.

6. Tikhonov A.N. Ob opredelenii electricheskikh kharakteristik glubokikh sloev zemnoy kory // DAN USSR. 1959. no. 2. pp. 295–297.

7. Chetaev D.N. Directsionny analis magnitotellurichekikh nablyudeniy. M.: Nauka, 1985. 228.

8. Cagniard L. Procede de prospection geophysicue. Brevet d'invention francais. no. 1025683, dem. 6 oct.1950, del. 28 jan. 1953.

9. Cagniard L. Theorie et practicue de la prospection magnetotellurique . Petrole Informations. 1967. no. 435. pp. 121–129.

Рецензенты:

Жизняков А.Л., д.т.н., профессор, первый заместитель директора, заместитель директора по научной работе Муромского института, филиала ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир;

Орлов А.А., д.т.н., профессор, заместитель директора по развитию электронного обучения и информационных образовательных технологий (РЭО и ИОТ), заведующий кафедрой «Физики и прикладной математики» Муромского института, филиала ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 16.05.2013.