

## О возможности краткосрочного прогноза разрушительных землетрясений по сигнальной информации сверхдлинноволновых передатчиков

© А. П. Сливинский \*\*, Ф. И. Бушуев \*, Н. А. Калюжный \*\*,  
Ю. М. Образцов \*, А. В. Шульга \*, 2006

\* Научно-исследовательский институт  
"Николаевская Астрономическая Обсерватория" (НИИ НАО),  
Николаев, Украина

\*\* Украинский радиотехнический институт, Николаев, Украина

Поступила 10 мая 2005 г.

*Представлено членом редколлегии Б. Г. Пустовитенко*

У НДІ МАО проводиться безперервний цілодобовий цифровий запис з темпом одна с амплітуди сигналів точного часу і частоти двох наддовгохвильових (НДХ) радіостанцій: DCF-77 (Майнфлінген, Німеччина) і РБУ-66 (Москва, Росія). Сигнали радіостанції DCF-77 реєструються з квітня 2002 р., а радіостанції РБУ-66 — з 16 жовтня 2004 р. Поточний тридобовий графік змінення амплітуди сигналу радіостанції DCF-77, що обновлюється з темпом 5 хв та архів за весь період спостережень розміщені на сайті <http://www.mao.nikolaev.ua>. У результаті аналізу накопичених у часі послідовностей амплітуди сигналів НДХ в обох каналах реєстрації виявлено характерне для іоносферного провідника зменшення амплітуди за дві доби до землетрусу з магнітудою 5,9 балів, що відбувся 27.10.2004 в Румунії. При цьому на меридіональній трасі НАО—РБУ-66 збурення амплітуди сигналу НДХ виявилось значно сильнішим, ніж на радіотрасі НАО—DCF-77, орієнтованій уздовж паралелі, що може бути проявом анізотропії у просторі іоносферного збурення: витягнутості збурення уздовж меридіонального напрямку. Аналіз сейсмічних даних за період спостережень з квітня 2002 р. по жовтень 2004 р. показав, що тільки для згаданого землетрусу в Румунії оцінка масштабу іоносферного збурення більша та майже дорівнює відстані до радіотрас. Сонячна і геомагнітна обстановка в інтервалі часу з 24 по 27 жовтня 2004 р. була спокійною.

Continuous round-the-clock digital record of amplitude of signals and exact times and frequencies of two SLW radio stations (DCF-77 (Mainflingen, Germany) and RBU-66 (Moscow, Russia) is carried out per each second in scientific research institute NAO. Signals of radio station DCF-77 have been registered since April 2002, and radio station RBU-66 — since October, 16, 2004. The current three-day plotting of change of a signal's amplitude of radio station DCF-77 that is updated with 5 minutes' tempo and archive of these plots for all the period of observation are placed on a site <http://www.mao.nikolaev.ua>. The accumulated time sequences of SLW signals' amplitude has been analysed and on both channels of registration an amplitude decrease has been revealed that is characteristic for an ionosphere prediction happened two days prior to the earthquake of magnitude 5,9 which occurred on 27.10.2004 in Romania. At the same time the SLW signal's amplitude perturbation on meridian radio line NAO—RBU-66 was shown to be much more strong, than on radio line NAO—DCF-77 directed along the parallel that can be a result of space anisotropy of ionosphere disturbance: its elongation in meridian direction. The analysis of seismic observations for the period since April, 2002 till October, 2004 has shown that only for the specified earthquake in Romania the estimation of ionosphere disturbance's scale is more and is approximately equal to the distance to radio lines. Within time interval from October, 24 till October, 27, 2004 solar and geomagnetic situation was quiet.

**Введение.** Ионосфера является объектом весьма чувствительным к изменениям солнечной активности, космическим излучениям, геотектоническим процессам, антропогенным воз-

действиям и к ряду других возмущающих факторов. Практическая реализация инструмента непрерывного цифрового мониторинга амплитуды сигналов сверхдлинноволновых (СДВ)

радиостанций служб точного времени и частоты и полученные в научно-исследовательском институте "Николаевская астрономическая обсерватория" (НИИ НАО) экспериментальные данные дают некоторые основания к опытному подтверждению возможного использования ионосферных данных в целях краткосрочного сейсмо-прогнозирования по ионосферным предвестникам.

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям возмущений ионосферы, основанным на результатах обработки сигнальной информации станций вертикального радиозондирования ионосферы [1 — 3], над очагами подготовки землетрясений на высотах  $F$ -слоя ионосферы (200—400 км) отмечалось увеличение концентрации плазмы ночной ионосферы (до 40 %) за несколько суток до сильных землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$ . Подобные явления отмечались и для нижней ионосферы на высотах  $D$ -слоя ионосферы (50—80 км) [4] и были обнаружены в результате обработки амплитуды и фазы сигналов, излучаемых фазово-радионавигационными станциями (ФРНС) системы "Омега" на частотах 10—15 кГц. При этом за несколько суток перед землетрясениями наблюдались заметные "бухтообразные" уменьшения фаз и амплитуд сигналов ФРНС "Омега" от нескольких часов до нескольких суток. Было установлено, что искажения сигнальной информации, обусловленные предстоящими землетрясениями, отмечаются на радиотрассах, проходящих в окрестности не более трех зон Френеля (что для вышеуказанного диапазона сверхдлинных радиоволн составляет порядка 1000 км) от очагов подготовки землетрясений. Это обстоятельство указывает на возможную локализацию возмущений нижней ионосферы над очагами подготовки землетрясений.

В период с 1992 по 1996 гг. вблизи г. Магадан проводилась регулярная круглосуточная регистрация сигналов ФРНС "Омега" по трем радиотрассам: Магадан — Гавайи, Магадан — Цусима и Магадан — Австралия. На этот временной интервал пришлось единственное сильное разрушительное землетрясение 27.05.95 [5], произошедшее на о-ве Сахалин ( $M = 7,8$ , глубина очага  $H = 20$  км). На момент этого события наблюдалась яркая аномалия поведения амплитуды сигнала для всех трех радиотрасс, проявившаяся в существенном (в несколько раз) уменьшении ночных величин амплитуды сигнала и начавшаяся за три недели до события. Подобные аномалии характеристик сигналов

СДВ радиостанций отмечались и ранее. За несколько суток перед разрушительными калифорнийским (18.10.1989,  $M = 7,0$ ,  $H = 18$  км) и румынским (30.05.1990,  $M = 7,1$ ,  $H = 89$  км) землетрясениями происходило существенное длительное уменьшение уровней сигналов СДВ радиостанций (вплоть до полного отсутствия сигналов) в пунктах регистрации, расположенных вблизи очагов подготовки указанных землетрясений.

В связи с этим была предпринята попытка обнаружить подобные явления по анализу амплитуд сигналов точного времени, регистрируемых в круглосуточном режиме на аппаратурном комплексе службы точного времени НИИ НАО в период с апреля 2002 г. по октябрь 2004 г.

**Методика проведения экспериментальных работ и состав аппаратуры.** Методика наклонного зондирования ионосферы основана на регистрации и анализе как регулярных сезонно-суточных, так и кратковременных возмущений характеристик радиосигналов СДВ радиостанций служб точного времени и частоты при их распространении в сферическом волноводе земля — ионосфера. Регистрируемые аномалии в основном обусловлены нерегулярными процессами на Солнце и в околоземном пространстве, а также другими причинами локального геофизического характера (сейсмоактивность, погодные катаклизмы, антропогенные воздействия и др.). Достоинства методики — простота технической реализации и экономичность, обусловленная побочным использованием сигналов служебных и радиовещательных передатчиков в качестве мощных источников излучения радиоволн.

Комплекс аппаратуры, позволяющий реализовать методику наклонного зондирования, представлен блок-схемой на рис. 1.

Комплекс включает в себя следующее основное оборудование:

1) приемное устройство европейской радионавигационной системы (РНСЕ). Предназначено для привязки шкалы времени обсерватории к государственному эталону;

2) приемное устройство СДВ диапазона радиоволн (приемник Ч7-38) обеспечивает прием сигналов выбранной радиостанции и передачу данных об амплитуде принимаемого сигнала в аналого-цифровой преобразователь компьютера. Регистрация фазы сигнала по причине фазовых неопределенностей, возникающих в моменты прохождения терминатора, в данном эксперименте не проводилась. Принимались и регистрировались сигналы стан-

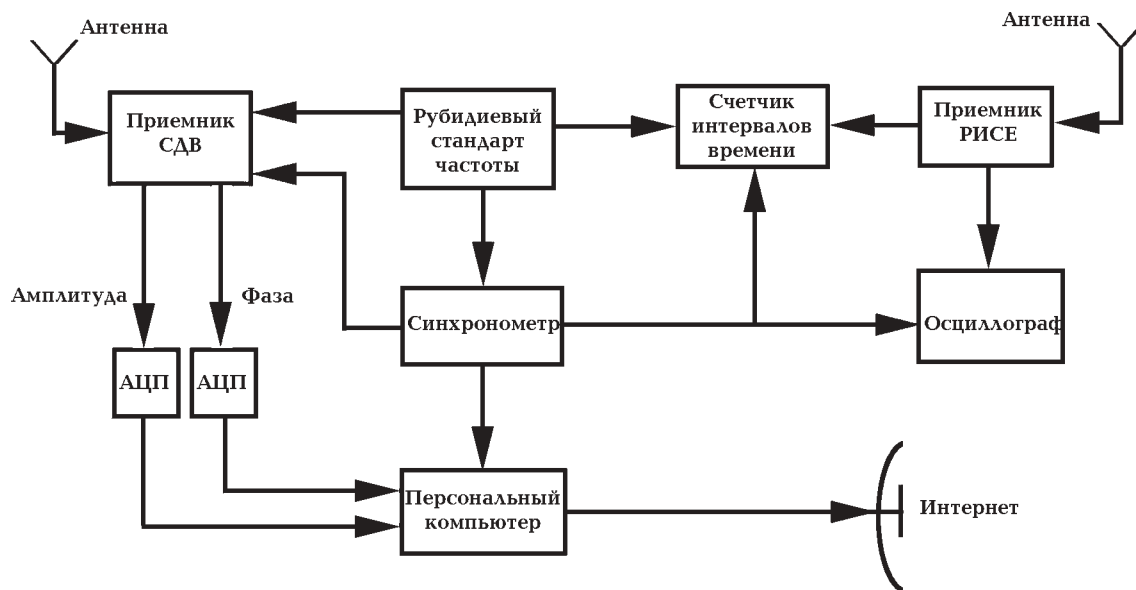


Рис. 1. Блок-схема аппаратного комплекса цифровой регистрации радиосигналов СДВ передатчиков.

ции DCF-77, расположенной в западной части Германии в районе Франкфурта на Майне (населенный пункт Майнфлинген). Выбор данной станции был обусловлен высокой стабильностью частоты передатчика (относительная погрешность не хуже  $\pm 10^{-12}$ ), непрерывным режимом излучения и хорошим отношением сигнала к шуму (10—20 дБ). Частота радиоволн, излучаемых передатчиком станции, составляла 77,5 кГц. С середины октября 2004 г. был задействован дополнительный радиоканал Николаев — Москва по приему сигналов передатчика службы точного времени РБУ-66, излучающего на частоте 66.(6) кГц. На рис. 2 показаны трассы распространения сигналов этих радиостанций по отношению к пункту приема в НИИ НАО. Трасса на передатчик DCF-77 имеет преимущественно широтное направление, в то время как трасса на радиостанцию РБУ-66 проходит по меридиану. В качестве антенн использовались Г-образные проволочные антенны длиной 100 м;

3) рубидиевый стандарт частоты типа Ч1-74 предназначен для передачи в приемник опорного сигнала с частотой 5 МГц и относительной погрешностью частоты не хуже  $\pm 10^{-12}$ ;

4) синхронизатор типа Ч7-38 — синхронизируется рубидиевым стандартом частоты и формирует эталонные сигналы времени: 1 Гц, 1 кГц, 1 МГц;

5) компьютер каждую секунду регистрирует и с периодом 5 мин выводит на WEB-сайт НИИ НАО <http://www.mao.nikolaev.ua>

мониторинговую информацию: трехсуточные временные последовательности текущих данных ионосферного зондирования. Выводимый в Интернет файл представлен на рис. 3. На верхнем графике приведена амплитуда принимаемого сигнала, а на нижнем — диаграмма значений параметра типа *K*-индекса, который характеризует степень возмущенности ионосферы и равен разности соседних по времени значений амплитуды. На избранном временном интервале наглядно выделяются две рентгеновские вспышки класса *M* и *X*, произошедшие 20.05.2002 г. в 10 час 21 мин и 15 час 37 мин соответственно.

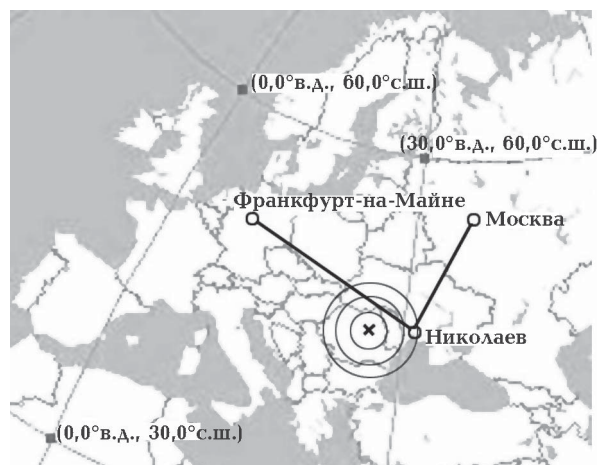


Рис. 2. Карта радиотрасс НАО—DCF-77 и НАО—РБУ-66 (исходная карта взята с сайта <http://sopac.ucsd.edu>).

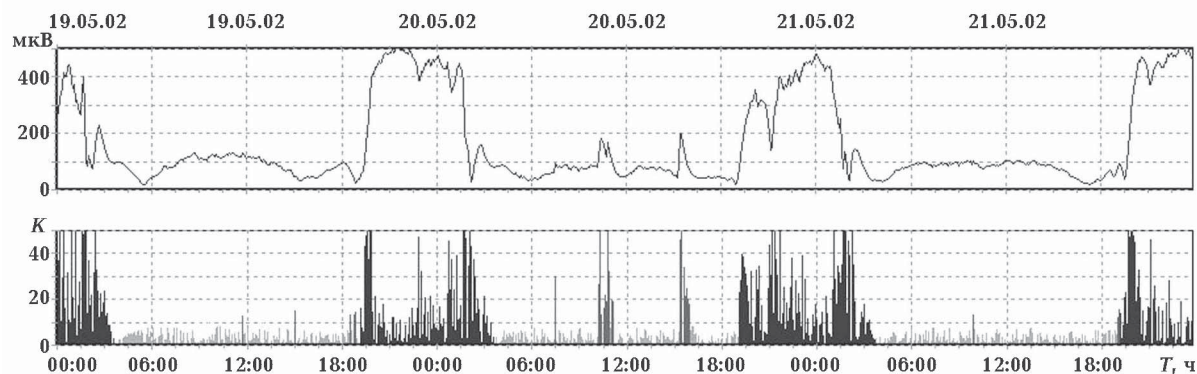


Рис. 3. Текущие данные наклонного зондирования ионосферы, выводимые на сайт НИИ НАО <http://www.mao.nikolaev.ua>: радиотрасса НАО — DCF-77, период наблюдений с 19.05.2002 г. по 21.05.2002 г.

**Результаты анализа.** Природа сейсмоионосферных явлений недостаточно ясна. Одна из причин такого рода явлений — возбуждение в период подготовки землетрясений электрических полей в ионосфере, источником которых у поверхности Земли согласно гипотезе, выдвинутой в работах [6, 7], могут быть крупномасштабные токовые системы, составленные из ориентированных механоэлектрических преобразователей в области подготовки землетрясения. Помимо этих взглядов на природу образования предвестников землетрясений в качестве возможного физического механизма их образования можно предложить гипотезу, представленную, например, в работах [8, 9]. Проводимость атмосферы должна увеличиваться в окрестности подобных зон и соответственно должно возрастать поглощение радиоволн СДВ диапазона в канале земля — ионосфера.

В связи с вышеизложенным была предпринята попытка обнаружить подобные аномалии поведения ночных величин амплитуд сигналов точного времени, регистрируемых в круглосуточном режиме. Поскольку наибольшим возмущениям за счет предвестников сильных землетрясений подвержены ночные амплитуды сигналов, то при анализе основное внимание уделялось ночным величинам амплитуд. Однако возмущения амплитуды сигнала могут быть обусловлены возмущениями солнечной активности, что необходимо учитывать при совместном с сейсмическими данными анализе. На рис. 4 приведен пример такого воздействия на характер поведения амплитуды сигнала передатчика DCF-77 для интервала октябрь — ноябрь 2003 г., когда наблюдалась особенно высокая солнечная активность. Здесь сверху вниз представлены

графики временной зависимости мощности потока рентгеновского излучения Солнца ( $P$ ), потоков солнечных протонов ( $\Pi_p$ ) и электронов ( $\Pi_e$ ), геомагнитного поля Земли ( $H_p$ ), планетарного  $K_p$ -индекса (по данным спутника GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites), архив которых постоянно обновляется на сайте <http://sec.noaa.gov/today.html>) и амплитуды сигнала СДВ-передатчика ( $U_{DCF}$ ). Из приведенных данных следует, что практически на всем интервале времени с 14.10 по 20.11.2003 г., охваченном сильными возмущениями солнечной активности, наблюдалось аномальное поведение амплитуды СДВ-сигнала. Так в дневное время суток по мере прохождения рентгеновских вспышек не ниже С-класса амплитуда сигнала СДВ синхронно увеличивалась, а затем уменьшалась до начального невозмущенного уровня. Во время резкого увеличения  $K_p$ -индекса, т. е. во время сильных магнитных бурь, возникавших в периоды выбросов солнечных протонов или электронов, амплитуда СДВ-сигнала принимала как аномально низкие, так и высокие значения независимо от условий (ночные или дневные) на трассе распространения радиоволн. Таким образом, при анализе сигнальной информации необходимо учитывать подобные возмущения, которые могут маскировать аномалии амплитуды, вызванные прохождением сигнала над очагами подготовки землетрясений.

Масштаб ионосферного возмущения  $R_{\text{ион}}$ , согласно работе [4], соответствовал масштабу  $R_{\text{очаг}}$  деформационной зоны очага землетрясения и оценивался с помощью известного эмпирического выражения [10]:

$$R_{\text{ион}} \approx R_{\text{очаг}} \approx \exp(M) \text{ [км]}, \quad (1)$$

где  $M$  — магнитуда землетрясения.

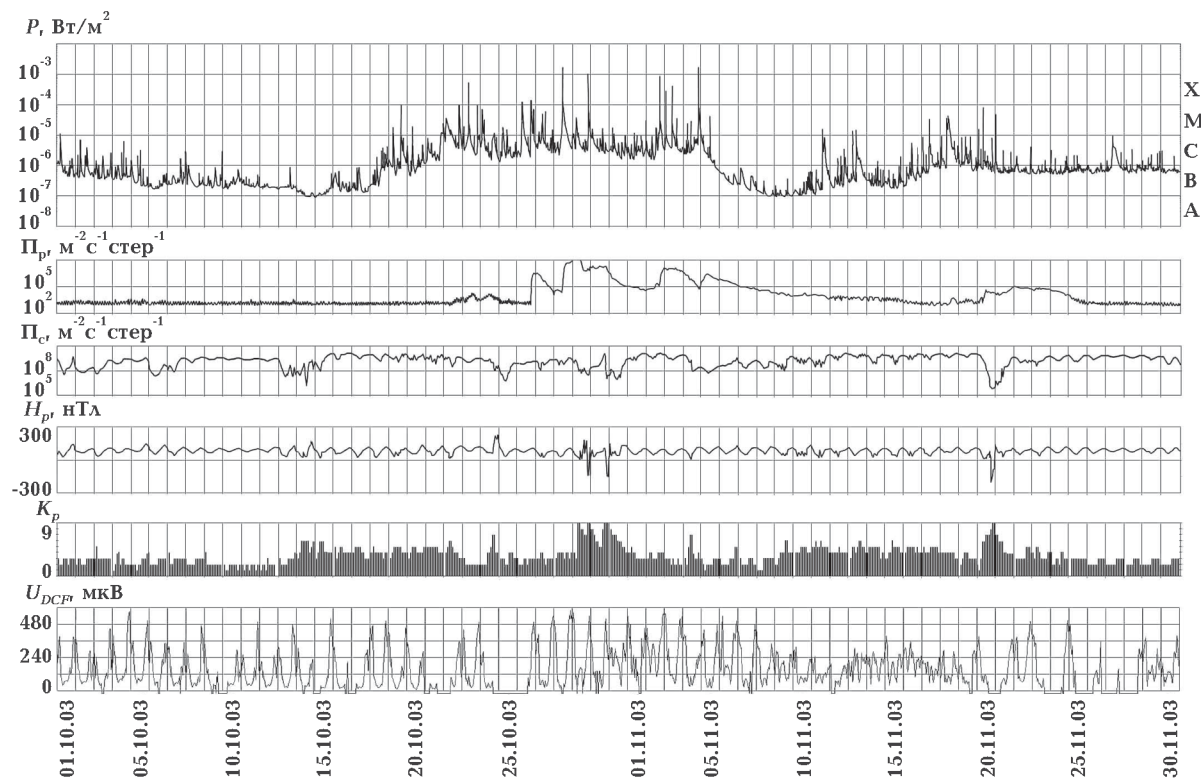


Рис. 4. Временные вариации мощности потока рентгеновского излучения ( $P$ ), потоков протонов ( $\Pi_p$ ) и электронов ( $\Pi_e$ ), геомагнитного поля Земли ( $H_p$ ), планетарного  $K_p$ -индекса (по данным сайта <http://sec.poa.a.gov/today.html>) и амплитуды сигнала СДВ передатчика ( $U_{DCF}$ ) за период с 01.10.2003 г. по 30.11.2003 г.

В табл. 1 в зависимости от величины магнитуды представлены параметры землетрясений, произошедших на анализируемом интервале времени (с апреля 2002 г. по октябрь 2004 г.) и на расстояниях до нескольких тысяч км от радиотрасс НАО—DCF-77 и НАО—РБУ-66 (данные взяты с сайта <http://neic.usgs.gov>). Географические координаты (северная широта, восточная долгота) и глубина очага землетрясения обозначены символами  $\theta$ ,  $\varphi$  и  $H$  соответственно. Для каждого землетрясения приводятся оценки минимального расстояния от эпицентра землетрясения до рассматриваемых радиотрасс ( $D$ ) и масштаба ионосферного возмущения ( $R_{\text{ион}}$ ). Для землетрясений, произошедших после 15.10.2004 г., приводятся два значения  $D$ : в числителе — для радиотрассы НАО—DCF-77, а в знаменателе — для радиотрассы НАО—РБУ-66. Из сравнения значений параметров  $D$  и  $R_{\text{ион}}$  следует, что наиболее вероятными событиями, для которых возможно выделение предвестников, являются три землетрясения: два в Румынии (27.09.2004 г.,  $M=4,7$  и 27.10.2004 г.,  $M=5,9$ ) и одно на границе Украины и Румынии (03.10.2004 г.,  $M=5,1$ ). В табл. 1 эти землетрясения выделе-

ны жирным шрифтом. Из них только для одного землетрясения (27.10.2004 г.), оценка  $R_{\text{ион}} = 365$  км превышает  $D = 270$  км для одной радиотрассы (НАО—DCF-77) и практически совпадает с  $D = 440$  км для другой (НАО—РБУ-66). На рис. 2 положение очага этого землетрясения в сейсмоактивной зоне Вранча помечено концентрическими окружностями.

С целью повышения достоверности отборки искажений сигнальной информации за счет возмущений геомагнитного поля к анализу привлекались измерения магнитного поля Земли, производимые на магнитометре ИЗМИРАН в г. Троицк (Московской обл.) и помещаемые на сайт <http://www.izmiran.troitsk.ru>. Предпочтительность выбора именно этого, как наиболее близкого пункта измерений, состоит в том, что он лежит практически на том же магнитном меридиане (вдоль которого авроральные возмущения ионосферы стекают к экватору), что и пункт регистрации амплитуд сигналов СДВ радиостанции.

На рис. 5 (сверху вниз) представлены графики трех компонент геомагнитного поля Земли ( $H$ ,  $E$  и  $Z$ ), регистрируемого в пункте наблюдения ИЗМИРАН и графики ионосфер-

**Т а б л и ц а 1 .** Список землетрясений, произошедших на интервале времени с апреля 2002 г. по октябрь 2004 г., на расстояниях, не превышающих несколько тысяч км от радиотрасс НАО—DCF-77 и НАО—РБУ-66

Дата	Время	Координаты, град		H, км	M	Район	D, км	R <sub>ионг</sub> , км
		θ	φ					
24.04.02	10:51:50	42,436	21,466	10	5,7	Сербия	850	300
10.04.03	00:40:15	38,221	26,958	10	5,8	Западная Турция	1100	330
11.04.03	09:26:58	44,792	8,892	4	5,0	Северная Италия	600	150
01.05.03	00:27:04	39,007	40,464	10	6,4	Восточная Турция	1100	600
26.07.03	01:00:57	38,111	28,887	10	4,5	Западная Турция	1000	90
26.07.03	08:36:49	38,019	28,927	10	5	Западная Турция	1000	150
14.08.03	05:14:54	39,160	20,605	10	6,3	Греция	1200	550
14.09.03	21:42:51	44,329	11,450	10	5,3	Северная Италия	700	200
26.12.03	01:56:52	58,311	28,995	10	6,6	Юго-восточный Иран	2900	740
13.04.04	21:47:23	40,729	31,629	5	4,1	Западная Турция	800	60
28.05.04	12:38:44	36,249	51,622	17	6,3	Северная Италия	1700	550
01.07.04	22:30:09	39,766	43,979	5	5,4	Восточная Турция	1300	220
12.07.04	13:04:07	46,296	13,641	8	5,0	Словения	500	150
30.07.04	07:14:07	39,634	43,966	5	4,8	Восточная Турция	1300	120
04.08.04	03:01:07	36,833	27,815	10	5,5	Греция	1300	250
11.08.04	15:48:02	38,377	39,261	7	5,7	Восточная Турция	1000	300
11.09.04	00:38:20	51,61	16,07	5	3,6	Польша	250	36
12.09.04	04:26:09	45,46	26,37	139	3,9	Румыния	250	50
22.09.04	11:05:04	54,83	19,93	16	4,8	Польша	1000	120
23.09.04	14:55:48	46,16	14,81	3	4,1	Словения	260	60
23.09.04	05:32:13	48,24	18,85	11	3,5	Словакия	200	33
26.09.04	02:11:54	51,57	16,18	5	3,5	Польша	200	33
<b>27.09.04</b>	<b>09:16:23</b>	<b>45,69</b>	<b>26,47</b>	<b>146</b>	<b>4,7</b>	<b>Румыния</b>	<b>265</b>	<b>110</b>
01.10.04	10:01:43	47,35	15,23	10	4,3	Австрия	300	75
<b>03.10.04</b>	<b>09:02:03</b>	<b>45,21</b>	<b>29,02</b>	<b>5</b>	<b>5,1</b>	<b>Украина — Румыния</b>	<b>260</b>	<b>170</b>
20.10.04	06:59:15	52,95	9,54	10	4,6	Германия	300/1730	100
<b>27.10.04</b>	<b>20:34:36</b>	<b>45,7</b>	<b>26,578</b>	<b>95</b>	<b>5,9</b>	<b>Румыния</b>	<b>270/440</b>	<b>365</b>

ных данных (амплитуд сигналов СДВ двух радиостанций: DCF-77 ( $U_{DCF}$ ) и РБУ-66 ( $U_{РБУ}$ )) за период с 01.09.2004 г. по 31.10.2004 г.

События, выделенные в табл. 1 жирным шрифтом, показаны на рис. 5 стрелками, рядом с которыми приводятся значения магнитуд землетрясений.

Из данных, представленных на рис. 5, следует, что в спокойной геомагнитной обстановке

24—26 сентября наблюдались аномально низкие ночные значения амплитуды сигнала передатчика DCF-77. В то же время степень возмущенности геомагнитного поля Земли с 14 по 17 сентября слабо повлияла на величину амплитуды. С 13 октября вновь произошло существенное уменьшение ночных значений амплитуды на фоне спокойной геомагнитной обстановки. Еще более яркие возму-

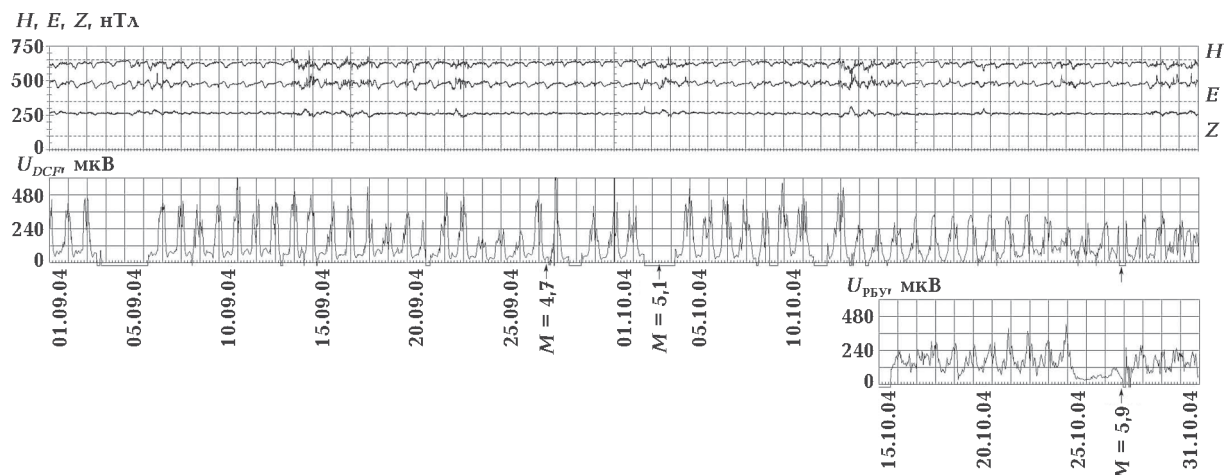


Рис. 5. Временные вариации компонент геомагнитного поля Земли ( $H$ ,  $E$  и  $Z$ ) по данным сайта <http://www.izmiran.troitsk.ru> и амплитуды сигналов СДВ радиостанций DCF-77 ( $U_{DCF}$ ) и РБУ-66 ( $U_{РБУ}$ ) за период с 01.09.2004 г. по 31.10.2004 г.

щения амплитуды наблюдались по сигнальной информации передатчика РБУ-66, когда с 25 по 27 октября величина амплитуды сигнала практически не превосходила уровня помех. На рис. 6 представлена более детальная сигнальная информация (в верхней части графика — амплитуда DCF-77 ( $U_{DCF}$ ), а в нижней — РБУ-66 ( $U_{РБУ}$ )). Из приведенных данных следует, что достаточно резкое, синхронное падение амплитуд сигналов по обоим каналам приема произошло приблизительно с 10:00:00 УТ 25.10.04, т. е. в дневных условиях на радиотрассах. Наряду с этим при наблюдении сигналов РБУ-66 в г. Харьков не были отмечены аномальные отклонения в условиях приема фазы сигналов передатчика РБУ, что под-

тверждает документальная информация, взятая из сайта <http://www.metrology.kharkov.ua> Национального научного центра "Институт Метрологии" и приведенная в табл. 2, колонка 7. В этой колонке даны (в мкс) среднесуточные значения разности национальной шкалы времени UTC (UA) и фазы несущей частоты 66,(6) кГц радиостанции РБУ за период с 23 по 29 октября. Все измерения присутствуют, т. е. сигнал станции РБУ-66 в г. Харьков принимался устойчиво, включая период с 25 по 27 октября аномально низкого уровня этого сигнала в г. Николаев.

Подобное поведение сигналов указывает на локальный характер возмущений ионосферы, которые могут быть обусловлены бли-

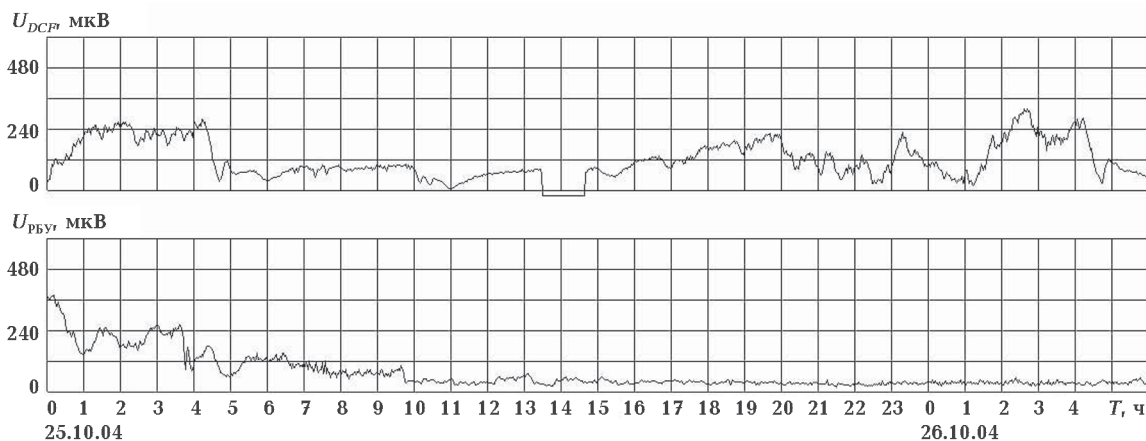


Рис. 6. Подробные (время накопления 100 с) графики изменения амплитуд сигналов СДВ радиостанций DCF-77 ( $U_{DCF}$ ) и РБУ-66 ( $U_{РБУ}$ ) в период резкого уменьшения амплитуд за двое суток до землетрясения в Румынии 27.10.2004 г.,  $M = 5,9$ .

**Т а б л и ц а 2 . Бюллетень № 43/2004 (23 — 29 октября)  
Украинского метеорологического центра Государственной службы  
единого времени и эталонных частот**

Дата	MJD <sup>1</sup>	UTC(UA)— GPS + 13 с <sup>2</sup>	UTC(UA)— UTC <sup>3</sup>	UTC(UA)— UTC(SU) <sup>4</sup>	UTC(UA)— PHC— E (A) <sup>5</sup>	UTC(UA)— РБУ <sup>6</sup>
23.10.04	53301	−0,354	−0,362	−0,240	14,15	0,6
24.10.04	53302	−0,357	−0,367	−0,239	—	0,1
25.10.04	53303	−0,364	−0,375	−0,241	—	0,3
26.10.04	53304	−0,364	−0,377	−0,239	—	0,4
27.10.04	53305	−0,367	−0,380	−0,240	12,38	0,3
28.10.04	53306	−0,365	−0,381	−0,238	—	0,4
29.10.04	53307	−0,353	−0,378	−0,226	17,42	0,0

*Примечания:* 1 — модифицированная юлианская дата; 2 — среднесуточное значение разности шкалы времени UTC(UA) и шкалы времени системы GPS; 3 — среднесуточное значение разности национальной шкалы координированного времени Украины UTC(UA) и Международной шкалы координированного времени UTC по данным приемов сигналов GPS; 4 — Среднесуточное значение разности национальных шкал координированного времени Украины и Российской Федерации по данным приемов сигналов GPS; 5 — среднее значение для трех сеансов измерений (07:45, 08:45 и 09:45 UTC) разности шкалы времени UTC(UA) и характерной точки сигналов несущей частоты 100 кГц радионавигационной станции PHC—E(A); 6 — среднесуточное значение разности национальной шкалы времени UTC(UA) и фазы несущей частоты 66,6(6) кГц радиостанции РБУ.

зостью к очагу подготовки землетрясения, произошедшего 27 октября в сейсмоактивной зоне Вранча. К моменту землетрясения вновь появился сигнал передатчика РБУ-66. Указанные особенности поведения сигнальной информации могут быть связаны с достаточно сильной пространственной анизотропией возмущения ионосферы. Радиотрасса Николаев — Москва, как это видно из рис. 2, простирается практически вдоль меридиана, тогда как радиотрасса Николаев — Майнфлинген — приблизительно вдоль параллели. Если ионосферное возмущение вытянуто преимущественно вдоль геомагнитного поля Земли, то сигналы на радиотрассе Николаев — Москва будут наиболее сильно искажены, что, по-видимому, и проявилось в экспериментальных условиях. Из эмпирического выражения для времени появления предвестника  $T$  [11], по крайней мере для  $M \leq 7$ ,  $\lg T = 0,1M - 2,72 \pm 0,35$  [T, г.] следует, что для события 27.10.04,  $M = 5,9$  это время может составить от 1 до 6 суток до землетрясения. Для землетрясений 27.09.04 ( $M = 4,7$ ) и 03.10.04 ( $M = 5,1$ ), произошедших в том же сейсмоактивном районе время появления предвестника составляет от 1 до 5 суток. Принимая во внимание то обстоятельство, что предэкспоненциальный множитель

в выражении (1) для  $R_{\text{ион}}$  несколько превышает единицу, аномалии, проявившиеся в амплитуде сигнала СДВ 24, 25 и 26 сентября, можно отнести к землетрясению 27.09.04 г.

**Заключение.** За 2,5 года проведен анализ сейсмических данных в географической близости к радиотрассе Николаев — Майнфлинген и к пункту регистрации. Выделено наиболее вероятное сейсмическое событие, способное вызвать существенную ионосферную аномалию в районе проведения эксперимента. Анализ в цифровом виде временных последовательностей величин амплитуд сигналов СДВ передатчиков служб времени и частоты позволил выделить "портрет" искажений сигнальной информации за несколько дней, предшествующих сильному землетрясению в сейсмоактивном районе Вранча (Румыния). Обработка сигнальной информации на дополнительном радиоканале (Николаев — Москва), ориентированном в меридиональном направлении, показала, что искажения амплитуд, предшествующих сильному землетрясению, на этой радиотрассе намного больше, чем для радиотрассы "вдоль" параллели. Этот факт может указывать на существенную анизотропию по пространству ионосферного возмущения (вытянутого в меридиональном на-

правлении). Комплексы аппаратуры национальных служб времени, как правило имеющие в своем составе приемники СДВ и используемые для обеспечения контроля шкалы времени, могут быть успешно применены для регистрации ионосферных возмущений вблизи очагов подготовки землетрясений. Бо-

лее точная локализация очагов готовящихся землетрясений может быть реализована созданием сети малогабаритных мобильных приемных устройств интегрируемых в персональные компьютеры с возможностью трансляции данных в пункт централизованного анализа текущих данных наблюдений.

### Список литературы

1. *Электромагнитные предвестники землетрясений* / Под ред. М.А. Садовского. — М.: Наука, 1982. — 89 с.
2. *Гохберг М.Б., Липеровская Р.Х., Липеровский В.А., Харин Е.П.* Ионосферные эффекты процессов подготовки сильных землетрясений. — М. — 26 с. — (Препр. / ИФЗ АН СССР, 1985).
3. *Сливинский А.П., Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А.* Обнаружение предвестников сильных землетрясений по возмущениям характеристик сигналов КВ и СДВ диапазонов радиоволн / Использование ПЗС методов исследования тел солнечной системы. — Николаев: Атол, 2000. — 77 с.
4. *Гуфельд И.Л., Маренко В.Ф., Пономарев Е.А., Ямпольский В.С.* Исследование D-области ионосферы методом наклонного зондирования на сверхдлинных волнах / Поиск электромагнитных предвестников землетрясений. — Москва: ИФЗ, 1988. — 243 с.
5. *Сливинский А.П., Калюжный Н.А., Ураев В.П.* Предшествующие и следующие за сильным сахалинским землетрясением возмущения характеристик сигналов сверхдлинноволновых навигационных радиостанций / Использование ПЗС методов исследования тел солнечной системы. — Николаев: Атол, 2000. — 89 с.
6. *Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Булошников В.М., Липеровский В.А., Кустов А.В., Пилипенко В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л.* Возбуждение электростатической волновой турбулентности в ионосфере как один из эффектов сейсмической активности. — М. — 46 с. — (Препр., ИФЗ АН СССР, 1983).
7. *Гохберг М.Б., Гершензон Н.И., Гуфельд И.Л., Кустов А.В., Липеровский В.А., Хусамегдинов С.С.* О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу // Геомагнетизм и аэрномия. — 1984. — 24. — С. 217—222.
8. *Кузнецов Д.А.* О возможности прогноза землетрясений: сейсмоионосферное сверхзвуковое взаимодействие в рамках нелокальной теории Власова. — Петропавловск-Камчатский, 1989. — 18 с. — Деп. в ВИНТИ 24.07.89. № 4952-В89.
9. *Кузнецов Д.А.* Проблемы прогноза землетрясений и активности системы Солнца в токовой модели планетогелиогактофона: обмен зарядами между магнитосферой и ядром сквозь атмо-сферные квазимолниевые структуры Власова. — Петропавловск-Камчатский, 1990. — 124 с. — Деп. в ВИНТИ 09.07.90. № 3788-В90.
10. *Добровольский И.П.* Механика подготовки тектонического землетрясения. — М.: Наука, 1984. — 188 с.
11. *Зубков С.И.* Времена предвестников землетрясения // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1987. — № 5. — С. 87—91.