

УДК 550.344.385550.385.37

О ГЛОБАЛЬНЫХ УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛАХ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

© 2015 г. Н.А. Костерин, В.А. Пилипенко, Э.М. Дмитриев

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Подробно рассмотрены некоторые из глобальных электромагнитных ультранизкочастотных (УНЧ) сигналов, предположительно возникающих перед землетрясениями, о регистрации которых на Северокавказской обсерватории сообщалось в многочисленных публикациях и докладах. Сопоставление этих “предвестниковых” сигналов с данными других среднеширотных магнитных станций показало, что вся совокупность их морфологических свойств – характерные частоты, волновые формы, локальное время появления, широтная зависимость амплитуды и т.п. – свидетельствует, что они являются характерными магнитосферными пульсациями типов P12 и P3–4. Таким образом, достаточно убедительных доказательств появления квазигармонических сигналов, предвещающих землетрясения, нет.

Ключевые слова: электромагнитные предвестники землетрясений, аномальные ультранизкочастотные (УНЧ) сигналы, геомагнитные пульсации.

Введение.

Электромагнитные УНЧ предвестники землетрясений

Активно ведущиеся в настоящее время поиски электромагнитных предвестников землетрясений показали возможность существования перед сейсмическими событиями нескольких типов аномалий в УНЧ диапазоне (от мГц до Гц) [Surkov, Pilipenko, 1999]. Так, известно появление за несколько часов–дней до землетрясения электромагнитных шумов с центральной частотой около 0.01 Гц [Fraser-Smith et al., 1990; Kopytenko et al., 2012]; прослежены изменения спектрального состава [Hayakawa, Itoh, Smirnova, 1999] и поляризационной структуры [Schekotov et al., 2006] УНЧ колебаний. Эти эффекты наблюдались только для сильных землетрясений в непосредственной близости (до нескольких сотен километров) от их эпицентров [Hattori, 2004]. Кроме того, резкое смещение масс земной коры в момент сейсмического толчка может приводить к генерации электромагнитного импульса, который на удаленных станциях будет зарегистрирован на несколько секунд раньше фронта сейсмической волны [Белов, Мигунов, Соболев, 1974; Гульельми, Левшенко, 1994]. Однако накопленные к настоящему времени результаты разрозненных наблюдений нельзя считать строго обоснованными, и некоторые из них оспариваются (см., например, [Thomas, Love, Johnston, 2009; Thomas et al., 2009]).

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос о возможности появления перед землетрясениями спорадических квазимонохроматических УНЧ сигналов. Хотя принципиальная физическая возможность генерации “предвестниковых” сигналов в процессе подготовки землетрясения пока неясна, имеются сообщения об обнаружении сигналов такого типа.

В Грузии на обсерватории Душети Я.М. Гогатишвили [1983] наблюдал появление специфических пульсаций перед несколькими (включая Аляскинское землетрясение 28.03.1964 г.) сильными ($M > 6$) событиями, произошедшими в разные годы в разных регионах земного шара. Сигналы регистрировались за несколько десятков минут или

несколько часов до землетрясений; их длительность составляла от нескольких минут до нескольких часов, амплитуда – $\sim 10\text{--}15$ нТ. Периоды этих колебаний, составляющие 1–20 с, соответствуют периодам геомагнитных пульсаций диапазона Pc1–2.

Перед сильнейшим землетрясением у побережья Антарктиды 25.03.1998 г. ($H=10$ км, $M=8.8$) на станции “Вернадский” в вариациях геомагнитного поля была зарегистрирована серия интенсивных пульсаций с длительностью 25 мин и периодами около нескольких десятков секунд (диапазон Pc3–4) [Бахмутов, Седова, Мозговая, 2003]. В близлежащем районе аналогичные пульсации предшествовали и афтершокам этого землетрясения.

Наиболее активные поиски “предвестниковых” сигналов такого рода с 2004 г. проводятся на Северокавказской геофизической обсерватории (СКО), находящейся в Баксанской нейтринной лаборатории на глубине 3.5 км [Собисевич, Гусев, 2010]. Низкий уровень помех и стабильный температурный режим позволяют регистрировать на СКО даже слабые возмущения. С использованием магнитометра Боброва проводится регулярная трехкомпонентная регистрация вариаций геомагнитного поля при односекундном разрешении; одновременно наклономером Певнева фиксируются изменения наклонов земной коры.

Известны публикации (см., например, [Собисевич, Канониди, Собисевич, 2009, 2010; Собисевич и др., 2009; Собисевич, Собисевич, Канониди, 2012; Собисевич и др., 2013; Sobisevich, Kanonidi, Sobisevich, 2010; Собисевич, Собисевич, Канониди, 2013]), в которых сообщается об обнаружении на СКО за несколько часов до основного толчка землетрясений с $M>5.5$ глобальных квазипериодических сигналах с периодами 50–150 с и длительностью до десятка периодов. Приводимый в работах список землетрясений, перед которыми были зарегистрированы такие сигналы, включает более двадцати событий. Однако в названных работах не рассматривается другая возможная природа этих сигналов: в анализируемом диапазоне периодов 10–150 с возможно существование двух типов магнитосферных УНЧ волн – геомагнитных пульсаций диапазонов Pi2 и Pc3–4.

Пульсации диапазона Pi2 – это короткий цуг колебаний, служащий индикатором начала суббури или активизации авроральной активности. Эти пульсации наблюдаются синхронно практически во всей ночной полусфере и даже просачиваются в дневную на приэкваториальных широтах [Sutcliffe, Yumoto, 1989]. Их всплеск не обязательно связан с началом суббури, он может отражать динамические явления в ночной магнитосфере [Kim et al., 2005]. Ориентация эллипса поляризации таких колебаний определяется положением точки наблюдения относительно области авроральной активизации, точнее, относительно двигающегося к западу изгиба полярных сияний, в связи с чем соотношение между горизонтальными магнитными компонентами H и D зависит от точки наблюдения [Lester, Hughes, Singer, 1983].

Пульсации диапазона Pc3–4 представляют собой длительные серии волновых пакетов колебаний, наблюдаемые почти каждый день в дневные часы. Широтное распределение их амплитуды на средних широтах резко неоднородно благодаря локальному усилению на резонансных магнитных оболочках. В этих колебаниях преобладает северо-южная магнитная компонента.

В данной работе анализируются “предвестниковые” сигналы, зарегистрированные на СКО в 2007 г. Для выяснения природы этих сигналов их записи сопоставлялись с данными трех других среднеширотных магнитных станций, одна из которых – российская станция Борок (BOR) – находится в том же долготном секторе, что и СКО, но на более высокой широте; еще две станции – японская Мошири (MSR) и канадская Пинава (PIN) – расположены примерно на одной широте с СКО (рис. 1). Точные координаты названных станций приведены в табл. 1.

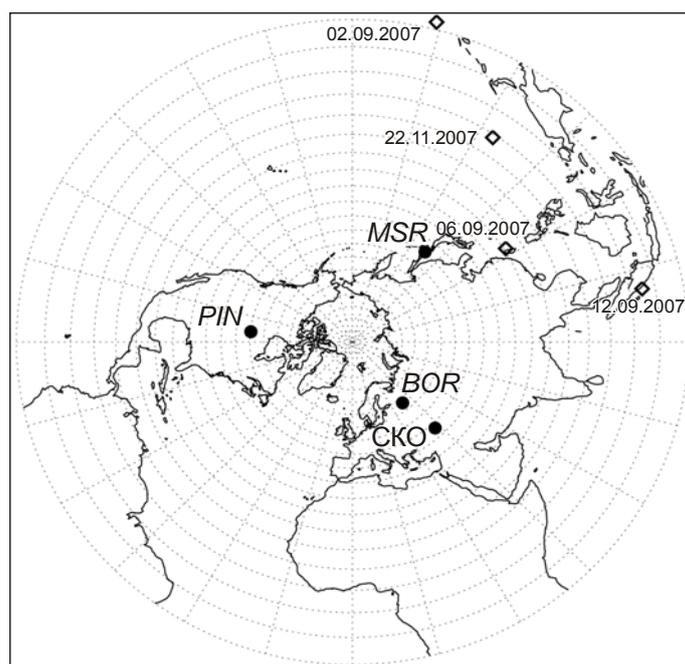


Рис. 1. Схема расположения магнитных станций (черные кружки), данные которых использованы в работе, и эпицентров рассматриваемых землетрясений (ромбы). SKO – код Северокавказской обсерватории. Англоязычные коды: PIN – станция Пинава, Канада; MSR – Мошири, Япония; BOR – Борок, Россия. Цифры – даты землетрясений 2007 г.

Таблица 1. Сведения о магнитных станциях, данные которых использованы в работе

Станция	Код	Географические координаты		$\Delta t = LT - UT$
		Ф, °с.ш.	Л, °в.д.	
Северокавказская обсерватория	SKO	43.27	42.69	02:50
Борок	BOR	58.03	38.33	02:40
Мошири	MSR	44.37	142.27	09:30
Пинава	PIN	50.20	263.96	17:40

Использованные данные

Помимо магнитограмм, зарегистрированных на SKO и трех выбранных для анализа магнитных станциях, рассматривались геофизические индексы с одномоментным разрешением, характеризующие космическую погоду: AE-индекс, пропорциональный интенсивности ионосферной токовой струи на авроральных широтах; Wp-индекс, который характеризует глобальный волновой отклик на авроральную активность в диапазоне периодов Pi2-пульсаций (40–150 с) [Nose *et al.*, 2012]. Локальное местное время оценивается по соотношению $LT = UT + \Lambda / 15^\circ$, где Λ – географическая долгота.

Нами были рассмотрены четыре события 2007 г. (табл. 2), для которых, по мнению ряда исследователей (см. [Собисевич, Канониди, Собисевич, 2009, 2010; Собисевич и др., 2009; Собисевич, Собисевич, Канониди, 2012; Собисевич и др., 2013]), обнаружены “предвестниковые” УНЧ сигналы, наиболее часто приводимые в качестве типичных сигналов сейсмического происхождения.

Таблица 2. Землетрясения 2007 г., выбранные для анализа в данной работе

Местоположение	Дата события	Время события, <i>UT</i>	Координаты эпицентра		Магнитуда, <i>M</i>	Глубина очага, <i>H</i> , км
			Ф, °с.ш.	Л, °в.д.		
о. Санта-Круз (<i>Santa-Cruz</i>)	02.09.2007 г.	01:05:17	-11.25	165.84	5.3	33
о. Тайвань (<i>Taiwan</i>)	06.09.2007 г.	17:51:25	24.45	122.45	6.0	60
о. Суматра (<i>Sumatra</i>)	12.09.2007 г.	23:49:01	-02.54	100.85	7.3	33
о. Новая Гвинея (<i>New Guinea</i>)	22.11.2007 г.	08:48:32	5.74	146.64	5.7	100

Ниже на рис. 2 для каждого из четырех анализируемых событий в едином формате сверху вниз представлены магнитограммы, зарегистрированные на СКО и станциях *BOR*, *MSR*, *PIN*, в сопоставлении с графиками геомагнитных АЕ- и *Pi2*-индексов.

Землетрясение на о. Тайвань, 06.09.2007 г. (рис. 2, а). Перед этим умеренным ($M=6.0$) землетрясением в 16:52 *UT* (~19:40 *LT*) на СКО был зарегистрирован короткий всплеск колебаний с амплитудой около 4 нТ на компоненте *H* и 3 нТ на компоненте *D*. Эпицентр землетрясения удален от обсерватории на расстояние ~7380 км по длине большого круга.

В этом же секторе, но на более высоких широтах, на станции *BOR* наблюдался явно тот же сигнал. Хотя станция *BOR* удалена от эпицентра землетрясения примерно на такое же расстояние, как СКО ($R \approx 7340$ км), амплитуда сигнала на ее записи была заметно выше и составляла на компоненте *H* около 10 нТ, на *D* – примерно 12 нТ.

Тот же сигнал можно различить на магнитограммах низкоширотной станции *MSR*, которая в момент землетрясения находилась в ночном секторе (~02:20 *LT*). Эта станция расположена значительно ближе к эпицентру рассматриваемого землетрясения ($R \approx 2800$ км), но амплитуда наблюдаемого сигнала была меньше – около 2 нТ на компоненте *H*. На среднеширотной станции *PIN*, пребывающей в дневном секторе (~10:30 *LT*), сигнал на фоне магнитных вариаций неразличим.

Для решения вопроса о возможном магнитосферном происхождении рассматриваемого сигнала он сопоставлялся с глобальным *Pi2*-индексом, значение которого резко возрастает, достигая максимума в 16:52 *UT*, как раз в момент появления “предвестникового” сигнала. Кроме того, в этот же момент начинается рост АЕ-индекса, что свидетельствует об активизации авроральной активности.

Землетрясение на о. Санта-Круз, 02.09.2007 г. (рис. 2, б). Расстояние от эпицентра землетрясения на о. Санта-Круз 02.09.2007 г. до СКО составляет ~13550 км. Ночью 01.09.2007 г. в 23:15 *UT* (~02:00 *LT*), т.е. примерно за час до умеренного ($M=5.3$) землетрясения, на СКО был зарегистрирован затухающий цуг колебаний с амплитудой ~2 нТ.

В это же время на более высокоширотной станции *BOR* был зарегистрирован сигнал с несколько бóльшей амплитудой около 3 нТ (рис. 2, б, *BOR*). Аналогичный цуг отмечался во всей ночной полусфере – в утреннем секторе (~08:45 *LT*) на станции *MSR* с амплитудой ~1.5 нТ и в вечернем секторе (~16:55 *LT*) на станции *PIN*.

Глобальный *Pi2*-индекс имеет локальный максимум в 23:15 *UT*, что указывает на возбуждение геомагнитных *Pi2*-пульсаций, хотя АЕ-индекс резких изменений в этот момент не претерпевает.

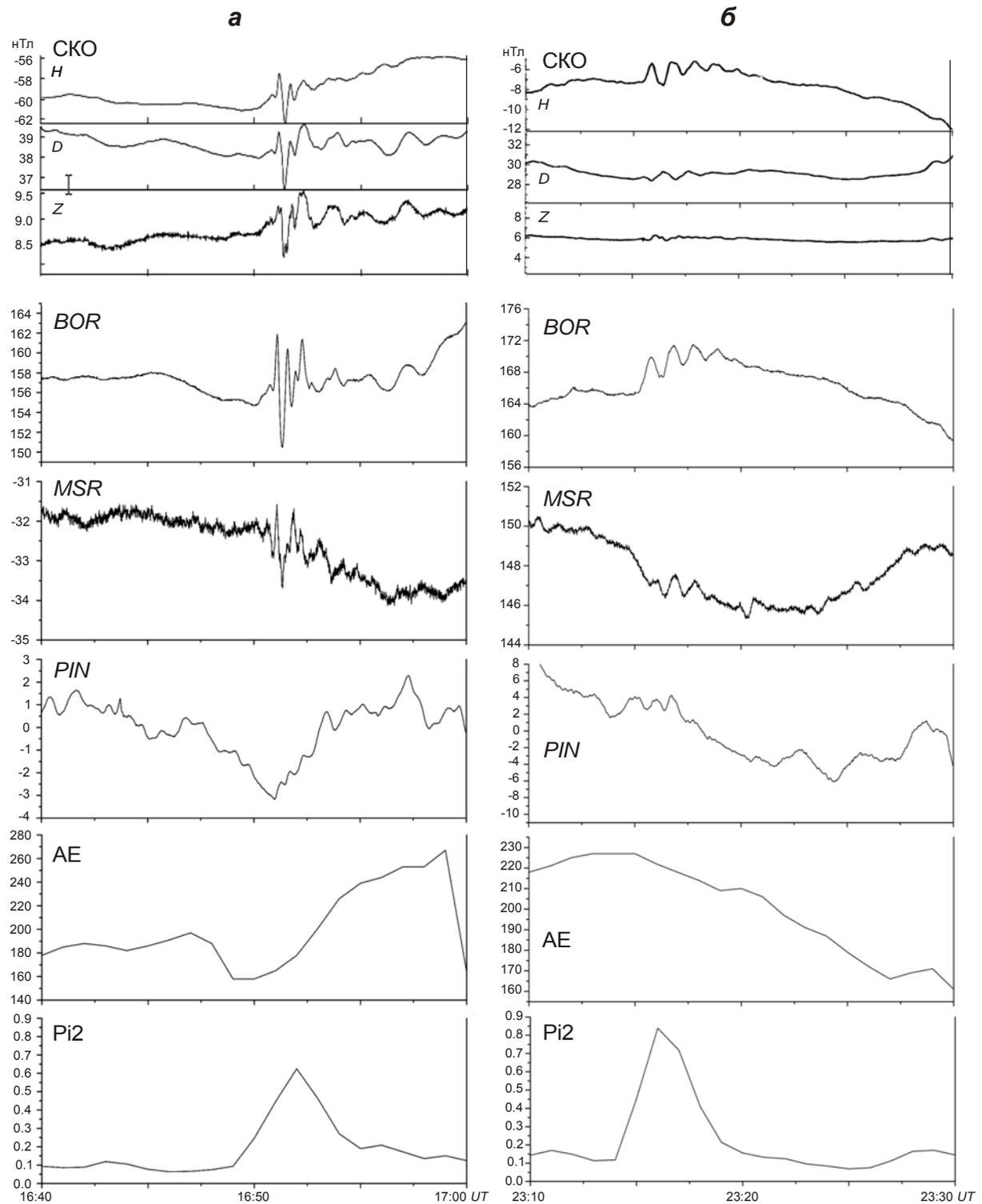
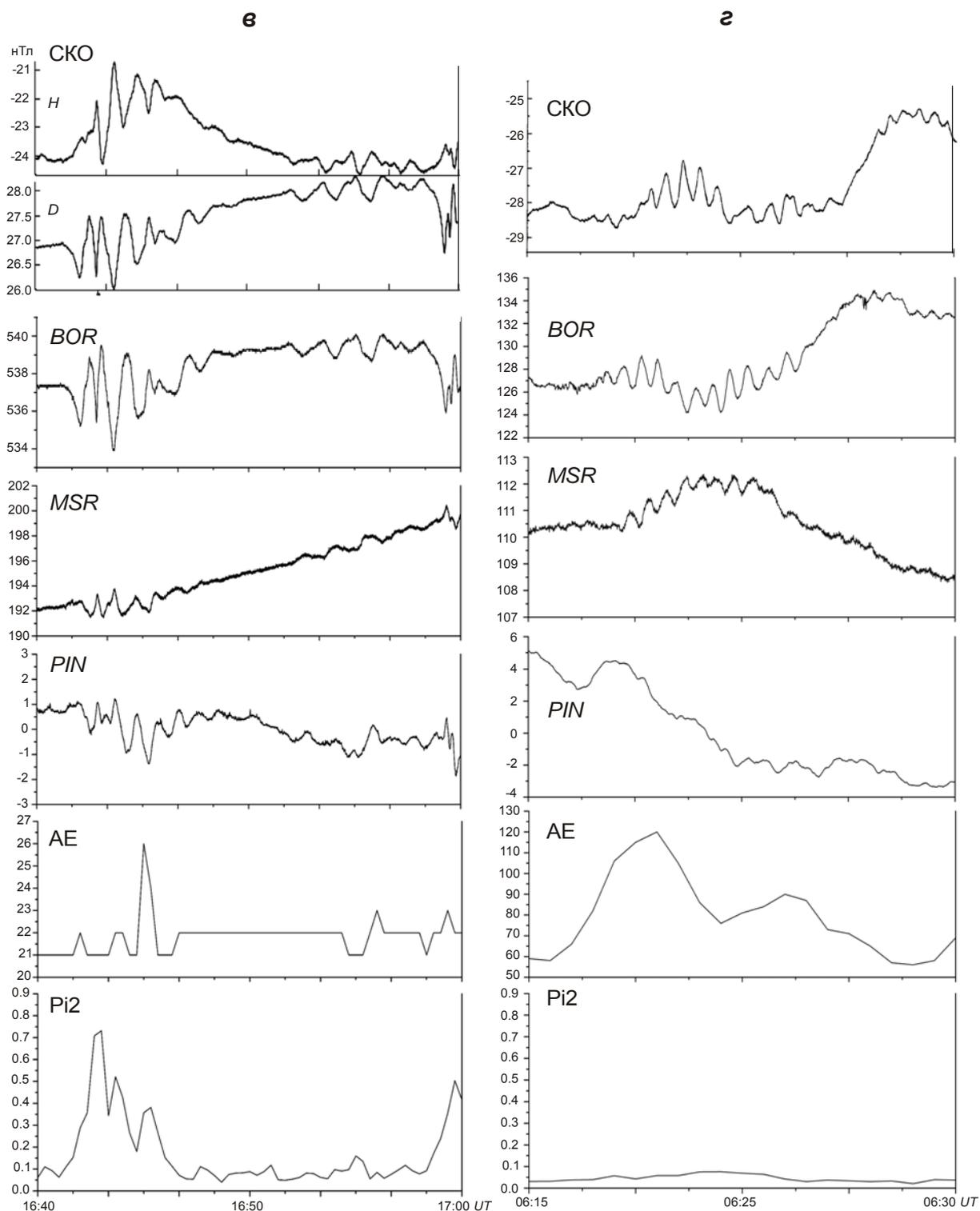


Рис 2. Магнитограммы СКО (H -, D -, Z -компоненты), станций BOR (H -компонента), MSR (X -компонента), PIN (X -компонента) и графики геомагнитных индексов AE и $Pi2$ для четырех землетрясений 2007 г.

a – на о. Тайвань 06.07.2007 г.; $б$ – на о. Санта-Круз 02.09.2007 г.; $в$ – на о. Суматра 12.09.2007 г.; $г$ – на о. Новая Гвинея 22.11.2007 г.



Землетрясение на о. Суматра, 12.09.2007 г. (рис. 2, в). Перед этим сильным ($M=7.3$) землетрясением около полуночи в 21:05 UT ($\sim 23:50$ LT) на SKO был зарегистрирован сигнал с амплитудой ~ 2 нТ на H -компоненте и ~ 1.5 нТ на D . Эпицентр землетрясения находился на расстоянии около 7700 км от обсерватории.

На более высокой широте в Борке ($R \sim 8700$ км) тот же сигнал наблюдался с несколько большей амплитудой – примерно 5 нТ на D -компоненте. Этот же глобальный сигнал с амплитудой ~ 2 нТ обнаруживается в ранние утренние часы ($\sim 06:30$ LT) на магнитограммах MSR и в послеполуденные часы ($\sim 14:40$ LT) на магнитограммах $PIN \sim 2$ нТ. Хотя эти станции находятся на существенно разных расстояниях от эпицентра – ~ 6600 км (MSR) и ~ 14500 км (PIN), – амплитуды сигналов на их магнитограммах были примерно одинаковы.

В момент регистрации на СКО “предвестникового” сигнала $Pi2$ -индекс резко возрос при том, что AE -индекс оставался на очень низком уровне.

Землетрясение в Новой Гвинее, 22.11.2007 г. (рис. 2, з). Сигнал перед умеренным ($M=5.7$) глубокофокусным ($H=100$ км) землетрясением был зарегистрирован на СКО в утренние часы $\sim 06:20$ UT ($\sim 09:10$ LT). Эпицентр землетрясения находился на расстоянии ~ 10715 км от обсерватории. Сигнал представлял собой не короткий волновой всплеск, как в случае вышеописанных событий, а имел вид длительного цуга гармонических колебаний с периодом ~ 40 с и амплитудой около 1 нТ.

Явно тот же сигнал, но с большей (~ 2 нТ) амплитудой на H -компоненте зафиксирован на станции BOR . Следы этого сигнала видны на магнитограммах станции MSR , находившейся в послеполуденном секторе ($\sim 15:50$ LT); амплитуда сигнала ~ 0.5 нТ по X -компоненте. Однако на станции PIN , находившейся вблизи полуночного меридиана ($\sim 00:00$ LT), этот сигнал зафиксирован не был.

В момент регистрации рассматриваемого сигнала отмечалось лишь небольшое усиление AE -индекса. $Pi2$ -индекс оставался на очень низком уровне (< 0.1), что свидетельствует об отсутствии глобальных пульсаций этого диапазона.

Обсуждение

Совокупность морфологических свойств наблюдаемых глобальных “предвестниковых” сигналов, включающая импульсную волновую форму, характерные частоты, убывание амплитуды с уменьшением широты точки наблюдения, приуроченность к ночному сектору, хорошо соответствует характерным особенностям магнитосферных $Pi2$ -пульсаций. Амплитуда сигналов на разных станциях определяется не удалением точки наблюдения от эпицентра землетрясения, а широтой и приуроченностью к ночному сектору. Таким образом, для трех рассмотренных сентябрьских событий 2007 г. можно практически наверняка утверждать, что зарегистрированные на СКО сигналы являются магнитосферными $Pi2$ -пульсациями и не имеют отношения к сейсмической активности.

В событии 22.11.2007 г. “предвестниковый” сигнал наблюдался только в дневные часы. Совокупность его морфологических свойств – появление в дневное время, длительная квазимонохроматическая волновая форма, характерный период и др. – делают наблюдаемый сигнал подобным типичным $Pc3-4$ -пульсациям и свидетельствуют о его магнитосферном происхождении.

Хотя в данной работе нами рассмотрены лишь некоторые из событий, представленных в работах [Собисевич, Канониди, Собисевич, 2009, 2010; Собисевич и др., 2013], мы уверены, что и остальные “предвестниковые” сигналы на самом деле имеют магнитосферное происхождение.

Существуют ли в принципе какие-либо физические основания для ожидания появления гармонических УНЧ сигналов перед землетрясениями? Каким образом они могли бы распространяться по всей земной поверхности? – Такие гипотетические

сигналы, вызванные процессами подготовки землетрясения, должны иметь максимальную интенсивность вблизи очага, а их амплитуда должна спадать по мере распространения независимо от локального времени. Возможны следующие каналы распространения электромагнитных УНЧ сигналов вдоль земной поверхности.

Во-первых, они могут быть индукционным откликом на сейсмическую волну [Surkov, Pilipenko, 1997], однако синхронные электромагнитные и наклономерные измерения на СКО исключают эту возможность. Во-вторых, могут рассматриваться как результат возбуждения в ионосфере над эпицентром магнитогидродинамических (МГД) возмущений акустическими волнами, порожденными осцилляциями земной поверхности. Такой эффект действительно наблюдался после землетрясения на Суматре [Iyemori et al., 2005], но дальнейшее распространение подобного возмущения вдоль ионосферы на громадные расстояния вряд ли возможно. В принципе, МГД-волновод в верхней ионосфере способен обеспечить распространение УНЧ волн с альвеновской скоростью (~500 км/с) на расстояния до нескольких тысяч километров. Однако критическая частота такого ионосферного волновода составляет ~0.5 Гц, что значительно превышает рассматриваемый диапазон. И, наконец, может иметь место распространение электромагнитной волны в волноводе земля–ионосфера. В таком волноводе электрическая TH_0 мода не имеет частоты отсечки и распространяется с малым затуханием практически мгновенно (со скоростью света) вдоль земной поверхности [Kikuchi, Araki, 1979]. Однако такая мода эффективно возбуждается только электрическим диполем в атмосфере (например, молнией), что трудно представить для литосферного источника. Хотя имелось сообщение о возмущении электростатического поля в Италии в момент землетрясения 26.12.2004 г. на Суматре [Roder et al., 2005], этот эффект пока остается единичным и неподтвержденным.

Постоянно существующие в верхней атмосфере акустико-гравитационные волны могут достигать проводящего E -слоя и индуцировать периодические токи, создавая магнитные возмущения [Куницын, Шалимов, 2011]. Заметные наземные возмущения геомагнитного поля создаются волнами с периодами в низкочастотной части УНЧ диапазона ($T > 5$ мин), имеющими горизонтальные масштабы, превышающие большие высоты токонесущего слоя ионосферы (~120 км). Распространение акустико-гравитационных волн вдоль земной поверхности происходит с малыми скоростями ~100 м/с.

Высказывались предположения, что магнитные бури и суббури могут быть триггером региональной сейсмической активности [Соболев, Закржевская, Харин, 2001]. В этом случае пульсации диапазона $Pi2$, сопровождающие начало суббури, и будут наблюдаться как “предвестники” землетрясений. Однако, реальность космических триггеров землетрясений не подтверждается статистическим анализом глобальной сейсмической активности [Love, Thomas, 2013].

Заключение

Все известные эффекты генерации импульсных [Moore, 1964] или квазипериодических [Гогатишвили, 1983; Бахмутов, Седова, Мозговая, 2003] сигналов перед землетрясениями на громадных удалениях от эпицентра были зарегистрированы по данным только одной станции. Поэтому имеющиеся на сегодняшний день сообщения о глобальных “предвестниковых” УНЧ сигналах представляются неубедительными, так как нельзя отрицать возможность их магнитосферного происхождения, что и было показано в данной работе для нескольких событий, описанных ранее в [Собисевич, Канониди, Собисевич, 2009; 2010, Собисевич и др., 2013].

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 13-05-12091).

Литература

- Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в период подготовки сильнейшего землетрясения 25 марта 1998 г. в Антарктиде // Украинський антарктичний журнал. 2003. № 1. С.54–60.
- Белов С.В., Мигунов Н.И., Соболев Г.А. Магнитный эффект сильных землетрясений на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. 14, № 3. С.380–382.
- Гогатишвили Я.М. Геомагнитные предвестники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций с частотами 1–0.02 Гц // Геомагнетизм и аэрономия. 1983. Т. 23. С.697–700.
- Гульельми А.В., Левшенко В.Т. Электромагнитные сигналы от землетрясений // Физика Земли. 1994. № 5. С.65–70.
- Куницын В.Е., Шалимов С.Л. Ультранизкочастотные вариации магнитного поля при распространении в ионосфере акустико-гравитационных волн // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2011. № 5. С.75–78.
- Собисевич А.Л., Гусев В.А. Низкочастотные волновые процессы в геосферах, предшествующие сильным сейсмическим событиям // Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1. Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений. М.: ИФЗ РАН, 2010. С.65–80.
- Собисевич А.Л., Канониди К.Х., Собисевич Л.Е., Гриднев Д.Г. Об одном классе электромагнитных возмущений, возникающих перед сильными землетрясениями // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 3. С.48–55.
- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // Докл. РАН. 2009. Т. 429, № 5. С.668–672.
- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. РАН. 2010. Т. 435, № 4. С.548–553.
- Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. Аномальные геомагнитные возмущения, наведенные катастрофическими цунамигенными землетрясениями в районе Индонезии // Геофизический журнал. 2012. Т. 34, № 5. С.22–37.
- Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. Результаты анализа инструментальных наблюдений аномальных геомагнитных возмущений, наведенных землетрясениями в геосферах // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы второго Всероссийского семинара-совещания / Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2013. С.329.
- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л., Мисеюк О.И. Геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля земли на этапах подготовки и развития Турецкого (08.03.2010 г.) и Северокавказского (19.01.2011 г.) землетрясений // Докл. РАН. 2013. Т. 449, № 1. С.93.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С.62–72.
- Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Bowen M.M., Ladd M.E., Helliwell R.A., Villard O.G. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms7.1 Loma Prieta earthquake // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. P.1465.
- Hayakawa M., Itoh T., Smirnova N. Fractal analysis of ULF geomagnetic data associated with the Guam on August 8, 1993 // Geophys. Res. Lett. 1999. V. 26. P.2797–2800.
- Hattori K. ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes // ТАО. 2004. V. 15. P.329–360.

- Iyemori T., Nose M., Han D.-S., Gao Y.-F., Hashizume M., Choosakul N., Shinagawa H., Tanaka Y., Utsugi M., Saito A., McCreadie H., Odagi Y., Yang F.-X. Geomagnetic pulsations caused by the Sumatra earthquake on December 26, 2004 // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. L20807.
- Kikuchi T., Araki T. Horizontal transmission of the polar electric field to the equator // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1979. V. 41. P.927–936.
- Kim K.-H., Takahashi K., Lee D.-H., Sutcliffe P.R., Yumoto K. Pi2 pulsations associated with poleward boundary intensifications during the absence of substorms // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. A01217.
- Kopytenko Y.A., Ismaguilov V.S., Hattori K., Hayakawa M. Anomaly disturbances of the magnetic fields before the strong earthquake in Japan on March 11, 2011 // *Ann. Geophys.* 2012. V. 55, P.101–107.
- Lester M., Hughes W.J., Singer H.J. Polarization patterns of Pi2 magnetic pulsations and the substorm current wedge // *J. Geophys. Res.* 1983. V. 88. P.7958.
- Love J.J., Thomas J.N. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes // *Geophys. Res. Lett.* 2013. V. 40. P.1165–1170.
- Moore G.M. Magnetic disturbances preceding the 1964 Alaska earthquake // *Nature.* 1964. V. 203. N4944. P.508–509.
- Nose M., Iyemori T., Wang L., Hitchman A., Matzka J., Feller M., Egdorf S., Gilder S., Kumasaka N., Koga K., Matsumoto H., Koshiishi H., Cifuentes-Nava G., Curto J.J., Segarra A., Çelik C. Wp index: A new substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude. *Space Weather*, 2012. V. 10, S08002.
- Roder H., Braun T., Shiuhmann W., Boschi E., Buttner R., Zimanowski B. Great Sumatra earthquake registers on electrostatic sensor // *EOS.* 2005. V. 86, N 45. P.445.
- Schekotov A., Molchanov O., Yagova N., Fedorov E., Chebrov V., Sinitsin V., Gordeev E., Belyaev G., Hayakawa M., Seismic activity in Kamchatka and the parameters of natural ULF/ELF emissions // *Proc. XXIX Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”*, Apatity, 2006. P.161–164.
- Sobisevich L., Kanonidi K., Sobisevich A. Ultra low-frequency electromagnetic variation observed prior to development of an earthquake followed by tsunami // *Геофизический журнал.* 2010. Т. 32, № 4. С.152–157.
- Surkov V.V., Pilipenko V.A. Magnetic effects due to earthquakes and underground explosions: a review // *Annali di Geofisica.* 1997. XL, N 2. P.1–13.
- Surkov V., Pilipenko V. The physics of pre-seismic electromagnetic ULF signals // *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes* / Ed. M. Hayakawa, Tokyo: TERRAPUB, 1999. P.357–370.
- Sutcliffe P.R., Yumoto K. Dayside Pi 2 pulsations at low latitudes // *Geophys. Res. Lett.* 1989. V. 16. P.887–890.
- Thomas J.N., Love J.J., Johnston M.J.S. On the reported magnetic precursor of the 1989 Loma Prieta earthquake // *Phys. Earth Planet. Inter.* 2009. V. 173. P.207–215.
- Thomas J.N., Love J.J., Johnston M.J.S., Yumoto K. On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. L16301, doi:10.1029/2009GL039020.

Сведения об авторах

ДМИТРИЕВ Эльдар Михайлович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, обсерватория Борок Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 142. Тел./факс: 8(48547) 24-024. E-mail: eldar@borok.yar.ru

КОСТЕРИН Никита Андреевич – аспирант, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-88-05. E-mail: nikita.kosterin@gmail.com

ПИЛИПЕНКО Вячеслав Анатольевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(903) 618-46-66. E-mail: pilipenko_va@mail.ru

ON GLOBAL ULTRALOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC SIGNALS PRIOR TO EARTHQUAKES

N.A. Kosterin, V.A. Pilipenko, E.M. Dmitriev

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. We analyzed in detail some of global electromagnetic ULF signals supposedly occurring before earthquakes, as was reported in numerous publications and reports from the Northern Caucasus Observatory. However, the comparison of these “precursory” signals with data from other mid-latitude magnetic stations showed that an entire set of morphological properties of these signals: typical frequencies and waveforms, occurrence local time, latitudinal dependence of amplitude, etc., indicate that they belong to typical magnetospheric Pi2 and Pc3-4 pulsations. Thus, there is no convincing evidence of the quasi-monochromatic ULF signal occurrence preceding earthquakes.

Keywords: electromagnetic precursors of earthquakes, anomalous ULF signals, geomagnetic pulsations.