

## ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГРОЗОВЫХ РАДИОСИГНАЛОВ, ПРОХОДЯЩИХ НАД СЕЙСМОАКТИВНЫМИ ОБЛАСТЯМИ

В.А. Муллаяров, В.В. Аргунов

### VARIATIONS OF PARAMETERS OF STORM RADIO SIGNALS PASSING OVER SEISMICALLY ACTIVE AREAS

V.A. Mullayarov, V.V. Argunov

Рассматриваются вариации амплитуды импульсных грозовых ОНЧ-радиосигналов, проходящих над эпицентрами землетрясений и извержений вулканов. Установлено, что различные вариации амплитуды грозовых радиосигналов могут быть связаны с влиянием литосферных процессов на параметры нижней ионосферы.

Рассмотрены крупные землетрясения в Японии и на оз. Байкал. Подтверждена методика выявления эффектов землетрясений и их предвестников. Начата работа по мониторингу сейсмоактивных регионов в режиме реального времени.

We study the variation of the amplitude of the pulse storm VLF radio signals passing over the epicenters of earthquakes and volcanic eruptions. It was found that different variations of the amplitude of thunderstorm radio signals might be associated with the influence of lithospheric processes on lower ionosphere parameters.

We have studied large earthquakes in Japan and at Lake Baikal. The method of detecting the effects of earthquakes and their precursors have been confirmed. Work has begun on real time monitoring of seismically active regions.

Катастрофические сейсмические процессы – землетрясения – приводят к значительным человеческим потерям и сильным разрушениям. Поэтому большое внимание уделяется вопросу поиска предвестников землетрясений, в том числе и в электромагнитных сигналах. В соответствии с результатами исследований перед землетрясениями над будущим эпицентром могут наблюдаться возмущения в параметрах нижней ионосферы [Silina et al., 2001].

Существуют различные методы исследования нижней ионосферы. В последние годы все чаще используют спутниковые данные изменения профиля электронной концентрации ионосферы. В наших работах мы рассматриваем изменения параметров нижней ионосферы (D-слой). Как известно, для наземного мониторинга параметров нижней ионосферы применяют сигналы СДВ-радиостанций. Преимущество использования данных сигналов заключается в том, что сигналы СДВ-радиостанций контролируются, что позволяет рассчитывать амплитудно-фазовые вариации и по ним восстанавливать параметры возмущений в нижней ионосфере. Однако не всегда удается подобрать нужную радиотрассу распространения сигналов. Поэтому в наших работах мы используем данные естественных электромагнитных сигналов. Более подходящими естественными электромагнитными излучениями являются импульсные сигналы грозовых разрядов – атмосферерики.

Прием сигналов атмосферерики осуществляется в Якутске ( $\varphi=62^{\circ}.02$  N,  $\lambda=129^{\circ}.71$  E) с помощью одно-пунктового грозопеленгатора-дальномера, характеристики которого корректируются применительно к регистрации дальних атмосферерики. Прием осуществляется на три антенны: электрическую (штырь) и две ортогональные магнитные антенны (рамки с эффективной площадью  $180$  м<sup>2</sup>). В зимнее время максимальная дальность до источников принимаемых сигналов, определяемая возможностью выделения из помеховых сигналов, составляет около  $12000$  км. Однако дальность до эпицентра литосферных возмущений, уверенно выявляемых через возму-

щения нижней ионосферы на трассе распространения атмосферерики, как ранее показали наши исследования [Mullayarov et al., 2007], ограничена значениями  $3500$ – $4000$  км. На расстояниях свыше  $4000$  км число вариаций в амплитуде атмосферерики увеличивается.

Анализ проявлений землетрясений в сигналах атмосферерики обычно проводится для ночных условий, когда затухание в волноводе земля–ионосфера наименьшее. В то же время, учитывая интерференцию мод сигналов в ночные часы, которая усложняет характер вариаций амплитуды, дополнительно рассматриваются и дневные вариации амплитуды, определяемой в дневные часы. Однако в дневное время поток атмосферерики значительно сокращается по сравнению с ночными условиями, и соответственно возрастают ошибки определения средних значений амплитуды.

Основной анализируемый параметр – средняя за час амплитуда атмосферерики, принимаемых в Якутске с определенных направлений. Методика определения средней амплитуды заключалась в следующем. Как известно, изменений в амплитуде сигналов следует ожидать, если область возмущений на трассе их распространения будет располагаться в эллипсоидах первых зон Френеля. Поэтому для анализа отбираются те атмосферерики, трассы которых находятся в пределах указанных зон, центрированных по азимуту на эпицентр землетрясения. Рассчитывается средняя амплитуда для атмосферерики, чьи источники сигналов – грозовые разряды располагаются за эпицентром. При этом источники приводятся к одному расстоянию (расстояние до эпицентра), и в первом приближении принимается обратно-пропорциональная зависимость амплитуды от расстояния.

Рассмотрено землетрясение на Байкале ( $51^{\circ}.727$  N,  $104^{\circ}.246$  E) 27 августа 2008 г. Магнитуда составляла  $6.3$ , глубина очага  $10$  км, дальность до регистрирующей аппаратуры около  $1900$  км.

На рис. 1 показаны вариации средней амплитуды импульсного ОНЧ-сигнала от грозовых разрядов в период с 1 по 30 августа в направлении на эпицентр землетрясения. Видны два максимума, выделяющие-

ся на общем уровне средней амплитуды сигнала грозовых разрядов. Повышение амплитуды 19 августа мы рассматриваем в качестве предвестника землетрясения, а вариация амплитуды 27 августа является его эффектом.

Следующее рассмотренное землетрясение произошло в Японии, которая находится в очень сейсмоактивной зоне. Она расположена в Японском желобе – глубоководной океанической впадине, где сталкиваются Тихоокеанская и Охотская литосферные плиты. Более тяжелая в этом месте океаническая Тихоокеанская плита погружается под материковую Охотскую плиту, над которой располагается часть Евразийского континента и некоторые Японские острова. Постоянное движение тектонических плит приводит к землетрясениям различных магнитуд.

На рис. 2 представлен ход амплитуды импульсного электромагнитного ОНЧ-излучения в период с 8 февраля по 23 марта 2011 г. в направлении на эпицентр очагов землетрясений в Японии. Как видно из графика, наиболее крупные землетрясения с магнитудами 7.2 (9 марта) и 9 (11 марта), проявились в виде повышения амплитуды сигналов 10 и 13 марта, а вариации амплитуды 25 и 28 февраля можно рассматривать как предвестники землетрясений. В период возмущений геомагнитная обстановка была спокойной, что может говорить о связи вариаций амплитуды с землетрясениями. Данный случай интересен тем, что два крупных землетрясения произошли с разницей в два дня. Было установлено, что имеется вероятность регистрации каждого предвестника и самого эффекта в последовательности землетрясений. В качестве предвестников рассматриваются усиление амплитуды и изменение соотношения амплитуд электрической и магнитных компонент сигналов, происходящие за несколько дней до событий.

Было рассмотрено также влияние вулканической активности на распространение сигналов грозовых разрядов. На рис. 3 показаны вариации амплитуды и количества грозовых разрядов атмосфериков в направлении на извержение вулкана на Филиппинах 21 февраля 2011 г.

Повышение с направления на извержение вулканов числа грозовых разрядов, не влияющих на среднюю амплитуду, связано с низкой амплитудой разрядов (рис. 3). Данные разряды вызваны постоянным трением облака пепла о самого себя, из-за чего происходит постоянное перераспределение потенциалов между полюсами облака. Увеличение разности потенциалов приводит к разряду молнии небольшой амплитуды, соизмеримой с разрядом молнии облако–облако.

На сегодняшний день рассматривается несколько возможных механизмов передачи энергии литосферных процессов в ионосферу. Большинство экспериментальных фактов свидетельствует о том, что наиболее вероятным механизмом является воздействие на ионосферу с помощью атмосферных гравитационных волн (АГВ) [Molchanov et al., 2004]. В частности, в нашем случае медленная вертикальная скорость распространения АГВ может объяснить запаздывание эффектов землетрясений на 1–2 дня

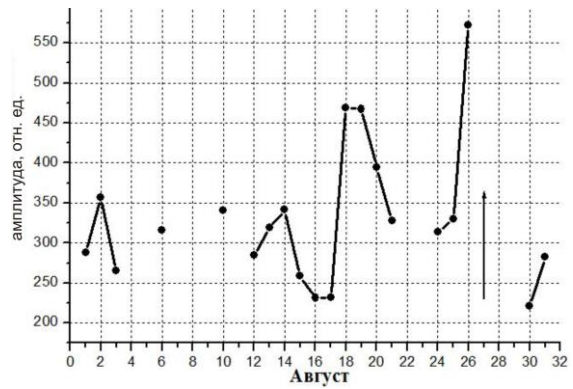


Рис. 1. Амплитуда грозовых сигналов, проходящих над эпицентром землетрясения на оз. Байкале 27.08.2008.

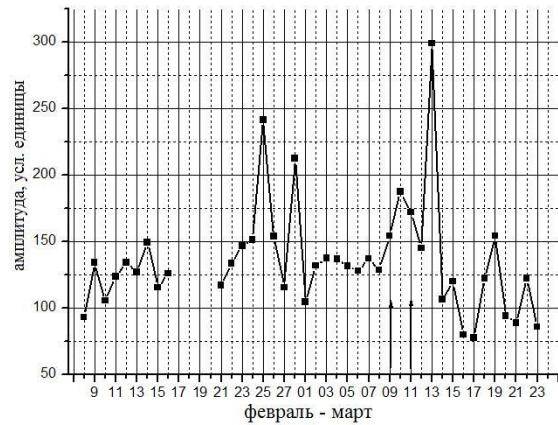


Рис. 2. Вариации средней амплитуды атмосфериков с направления на эпицентр землетрясений в Японии 9 и 11 марта 2011 г.

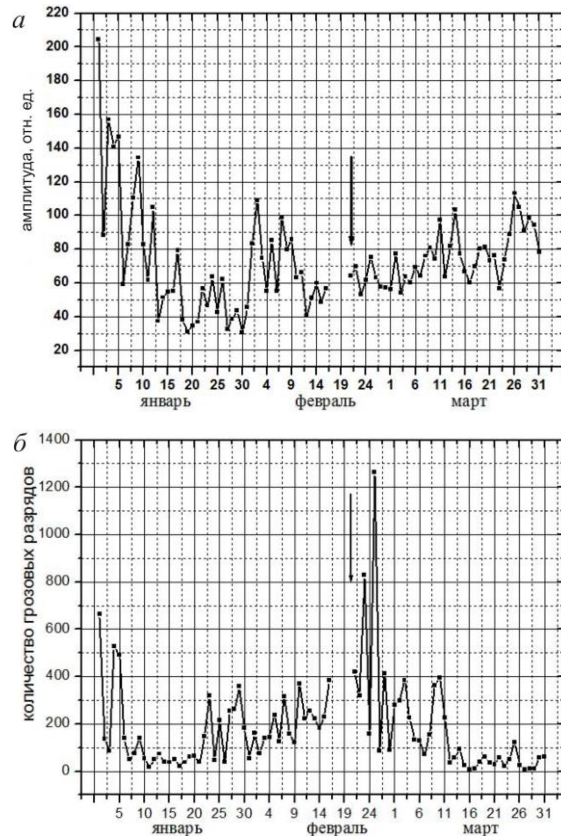


Рис. 3. Вариации амплитуды (а) и количества (б) грозовых разрядов в направлении на извержение вулкана на Филиппинах.

относительно самих событий. Можно ожидать проявления АГВ в нижней ионосфере [Rozhnoi et al., 2010] и соответственно в вариациях амплитуды атмосфериков.

Установлено, что возмущения в нижней ионосфере, обусловленные литосферными процессами, могут проявляться в вариациях амплитуды грозových сигналов, распространяющихся над эпицентрами землетрясений. Усиление амплитуды сигналов, происходящее за несколько дней до событий, может рассматриваться в качестве предвестника. Это позволяет привлечь наблюдения импульсных электромагнитных грозových сигналов в качестве одного из возможных средств дистанционного мониторинга сильных землетрясений.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

Silina A.S., Liperovskaya E.V., Liperovsky V.A., Meister C.-V. Ionospheric phenomena before strong earthquakes // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2001. N 1. P. 113–118.

Mullayarov V.A., Karimov R.R., Kozlov V.I. Variations in thunderstorm VLF emissions propagating over the epicenters of earthquakes // *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 2007. V. 69/13. P. 1513–1523. DOI: 10.1016/j.jastp.2007.06.001.

Molchanov O.A., Akentieva O.S., Afonin V.V., et al. Plasma density-electric field turbulence in the low-latitude ionosphere from the observation on satellites; possible connection with seismicity // *Phys. Chem. Earth.* 2004. V. 29. P. 569–577.

Rozhnoi A., Solovieva M., Molchanov O., et al. Variations of VLF/LF signals observed on the ground and satellite during a seismic activity in Japan region in May–June 2008 // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2010. N 10. P. 529–534.

*Институт космофизических исследований и аэронауки  
им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия*