

ПЕЛЕНГАЦИЯ МОЛНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРАТОРОВ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, РАЗМЕЩЕННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ

И.А. Ряховский, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, Ю.В. Поклад

В ГФО «Михнево» опробована и внедрена методика определения положения молниевых разрядов с использованием регистраторов КНЧ/ОНЧ излучения, размещенных в пространственно-разнесенных измерительных пунктах. Это позволило повысить точность лоцирования молний по сравнению с методом моноимпульсной пеленгации. Внедрение нового метода открывает возможность исследования корреляции электромагнитного излучения молний с вариациями сейсмических и акустических полей.

Введение

При исследовании проблем, связанных с изучением глобальной электрической цепи, важное место занимает исследование молниевых разрядов, в том числе получение данных о параметрах излучения и положении молнии. Чаще всего для лоцирования молний используется регистрация электромагнитных сигналов в КНЧ (3 Гц–3 кГц) и ОНЧ (3–30 кГц) диапазонах. Это связано не только с тем, что в этой области спектра сосредоточена основная энергия излучения молнии [Said, 2010], но и тем, что электромагнитное излучение в этом диапазоне частот распространяется в волноводе Земля – ионосфера на большие расстояния с малым затуханием (несколько дБ на тысячу км [Summer, 1997; Козлов, 2015]). При волноводном распространении сигналов КНЧ/ОНЧ диапазонов основное влияние на амплитудно-частотные характеристики КНЧ/ОНЧ сигналов оказывает верхняя стенка волновода на высоте D-слоя ионосферы.

Существует ряд методов лоцирования молниевых разрядов [Rafalsky, 1995, Dowden, 2002]. Основными являются определение положения молний с помощью моноимпульсной пеленгации и использование пространственно-разнесенных изме-

рительных пунктов. Первый метод удобен, так как может применяться при измерениях в одном пункте [Mackay and Fraser-Smith, 2011]. Однако он обладает недостаточно высокой точностью. В связи с этим, для исследования молниевых разрядов и их роли в системе взаимодействующих геосфер в геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» (ГФО «Михнево») внедрен метод лоцирования молний с использованием радиофизического комплекса обсерватории и выносных измерительных пунктов. Статья посвящена апробации метода и исследованию его возможностей.

Постановка эксперимента

Эксперимент проходил в феврале 2013 г. Однотипная приемная аппаратура была установлена в ГФО «Михнево» и в районе пунктов Дубна и Александровка (рис. 1). Использовались, разработанные в ИДГ РАН, магнитометрические комплексы «Плутон», включающие активные рамочные антенны с чувствительностью $0,4\text{--}0,5 \text{ фТл}/\sqrt{\text{Гц}}$ в диапазоне частот от 0,5 до 30 кГц и магнитометры MFS-07 с чувствительностью $0,8 \text{ фТл}/\sqrt{\text{Гц}}$ в диапазоне частот от 0,001 до 60 кГц. Сигнал с антенн оцифровывался с помощью десятиканального двадцатичетырех разрядного регистратора ADU-07 (Metronix). Точность временных привязок обеспечивалась GPS приемниками и составляла 30 нс. Во всех измерительных пунктах оси антенн ориентировались в направлении магнитный север (канал Hx), магнитный восток (канал Hy).

Для пеленгации источника излучения использовалась следующая методика:

Из полученных в процессе регистрации молний записей сигналов в заданном промежутке времени, который определяется расстоянием между измерительными пунктами, выбирается характерный сигнал. Его идентификация, как принадлежащего одному источнику, проводится методом кросскорреляции. На рис. 2 показан пример регистрации и выделения сигнала от одного источника 16.02.2013 в 11:06:25 UT с использованием регистраторов КНЧ/ОНЧ излучения, размещенных в пространственно-разнесенных измерительных пунктах.

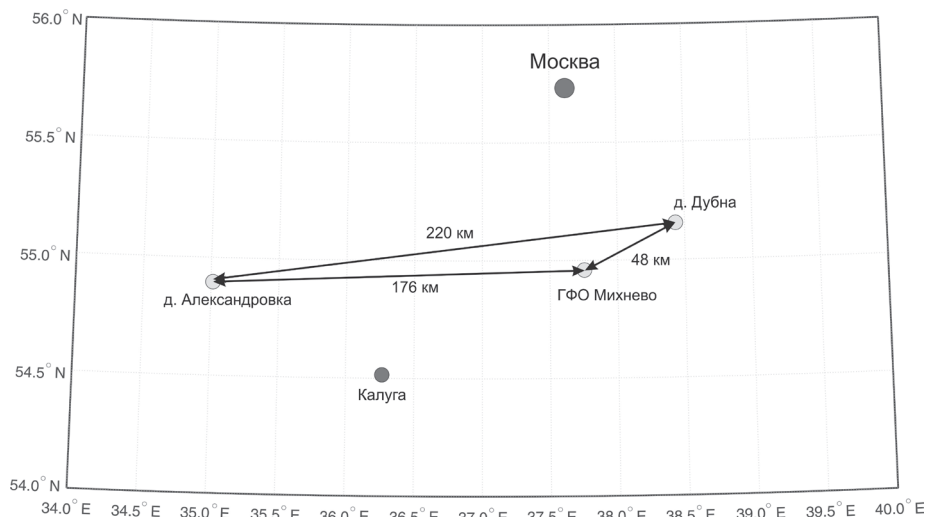


Рис. 1. Схема расположения измерительных пунктов

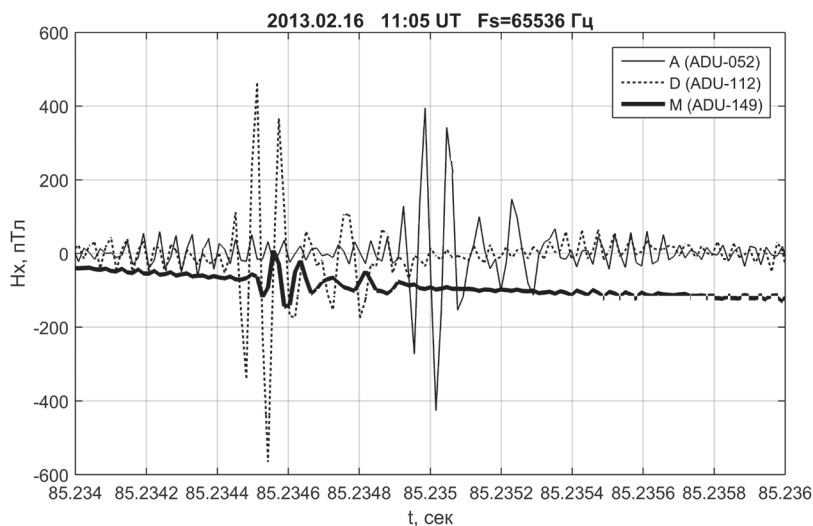


Рис. 2. Пример синхронной регистрации сигнала от одного источника 16.02.2013. По оси абсцисс отложено время в секундах от момента времени 11:05 UT. Кривыми показаны вариации магнитного поля в пунктах Александровка (А), Дубна (D) и ГФО «Михнево» (М) соответственно

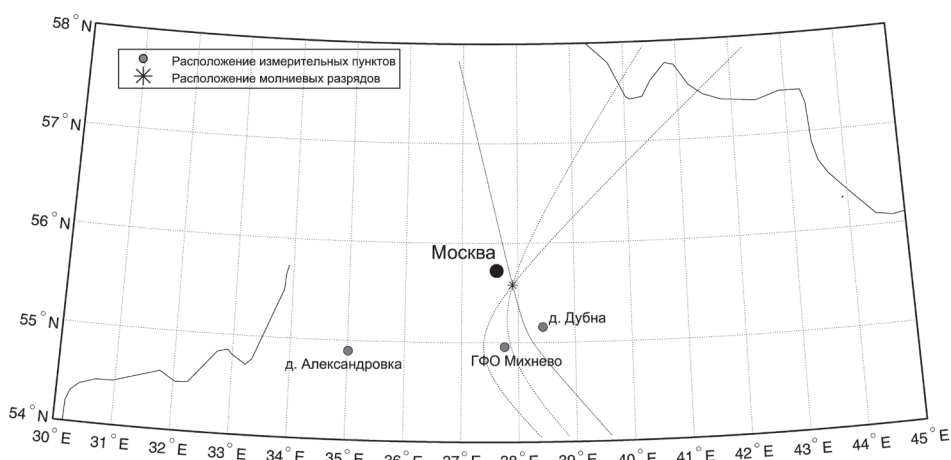


Рис. 3. Область локализации молнии.

Гиперболы отображают неопределенность положения молнии для каждой пары станций. Область пересечения гипербол указывает на положение источника

Методом кросскорреляции также определяется задержка прихода сигнала на измерительные пункты. В данном случае задержка сигнала относительно д. Дубна составила в ГФО «Михнево» 40 мкс, а в д. Александровка – 470 мкс. Задержка сигнала в д. Александровка относительно д. Дубна составило 430 мкс.

Для каждой пары пунктов регистрации по времени прихода сигнала рассчитывается разность расстояний до источника сигнала и строится кривая, на которой мог располагаться источник. Эта кривая представляет собой гиперболу. Пересечение трех гипербол дает положение источника излучения (рис. 3).

Результаты измерений

На рис. 4 показаны результаты локации сигналов от молниевых разрядов, записанных 16.02.2013 с 11:05 до 11:09 UT. Область пересечения гипербол указывает на положение источника. Оценки показали, что источник лоцируется с точностью порядка нескольких угловых секунд. Анализ результатов пеленгации показал, что для увеличения точности лоцирования импульсного источника сигнала измерительные пункты должны располагаться в вершинах равностороннего треугольника. За время проведения эксперимента удалось зарегистрировать молнии на расстояниях от 50 до 600 километров от ГФО «Михнево».

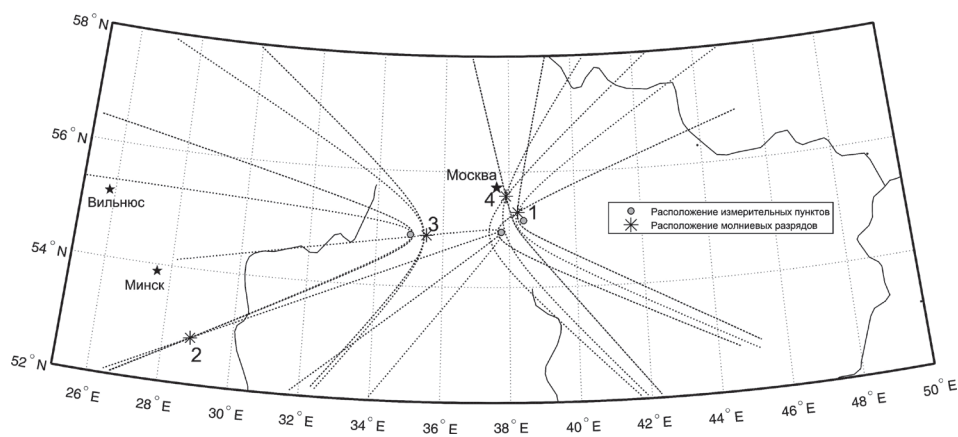


Рис. 4. Результат пеленгации молнии 16.02.2013 с 11:05 до 11:09 UT.

1 – положение молнии в 11:06:31.03 UT (55°25'17.68»С, 38°13'10.55»В), 2 – положение молнии в 11:06:45.37 (52°48'13.33»С, 28°47'40.51»В), 3 – положение молнии в 11:07:53.59 UT (54°53'11.24»С, 35°25'3.64»В), 4 – положение молнии в 11:08:07.53 UT (55°34'45.43»С, 37°54'10.07»В)

Выводы

В результате проведенных экспериментов получены следующие результаты:

За время измерений удалось надежно определить положение молний с частотой появления до 2–3 в секунду на расстояниях до 600 км. Подтверждена эффективность метода определения координат молнии, основанного на измерении электромагнитного излучения в пространственно-разнесенных измерительных пунктах.

Анализ результатов измерений КНЧ/ОНЧ излучения от молниевых разрядов в пространственно-разнесенных измерительных пунктах показал, что для увеличения точности лоцирования источника сигнала измерительные пункты должны располагаться в вершинах равностороннего треугольника.

Разработана практическая методика пеленгации импульсных источников КНЧ/ОНЧ излучения по времени прихода сигнала аппаратурой, размещенной в ГФО «Михнево» и выносных измерительных пунктах.

Разработанная методика в дальнейшем может быть использована для исследования состояния D-слоя ионосферы.

Литература

Козлов В.И., Корсаков А.А., Муллаяров В.А., Тарабукина Л.Д., Мельчино В.П. Вариации импульсной составляющей грозовых радишумов и сигналов ОНЧ радиостанций по наблюдениям в Якутске в течение цикла солнечной активности 2001–2013 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. No 1. С. 51–59.

Said R.K., U.S. Inan and K.L. Cummins, Long-range lightning geolocation using a VLF radio atmospheric waveform bank, Journal of geophysical research, vol. 115, d23108, doi:10.1029/2010jd013863, 2010.

Cummer A. Lightning and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospherics, dissertation, 1997.

Rafalsky V.A., A.P. Nickolaenko, and Shvets A.V. Location of lightning discharges from a single station // Journal of geophysical research, vol. 100, no. d10, pages 20,829-20,838, October 20, 1995.

Dowden R., J. Brundell, Rodger C. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 64 (2002) 817–830.

Mackay C. and Fraser-Smith A.C. World coverage for single station lightning detection // Radio science. Vol. 46, RS0M01, doi:10.1029/2010RS004600, 2011.