

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИИ МОЛНИЙ В ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ
СТАНЦИЙ ПО ВРЕМЕНИ ПРИХОДА ВОЛНОВОГО ПАКЕТА В ОНЧ-
ДИАПАЗОНЕ (TOGA) В ПРИЕМНОМ ПУНКТЕ ИЗМИРАН**

**REALIZATION OF LIGHTNING METHOD LOCATION AT MULTIPLE SITES BY
TIME OF VLF GROUP ARRIVAL (TOGA) AT IZMIRAN SITE**

Г.А. Михайлова, Ю.М. Михайлов, А.И. Осин, О.В. Капустина

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН*

Lightning is located by using the Time of Group Arrival (TOGA) of the VLF (3-30 kHz) radiation from a lightning stroke. The dispersed waveform (“sferic”) of the lightning impulse is processed at each receiving site. The TOGA is determined relative to GPS at each site from the progression of phase versus frequency using the whole wave train. Unlike current VLF methods which require transmission of the whole wave train from each site to a central processing site, the TOGA method requires transmission of a single number (the TOGA) for lightning location calculation. The stable propagation and low attenuation of VLF waves in the Earth-Ionosphere WaveGuide (EIWG) allows a wide spacing of receiver sites of several thousand km so that a truly global location service could be provided using only ~10 receiver sites, even with adequate redundancy for site outages.

Мировая сеть локализации молний (World Wide Lightning Location Network, WWLLN), организованная по инициативе проф. Ричарда Даудена (LF*EM Research Ltd. Dunedin, New Zealand) [1], включает в себя более 25 приемных пунктов регистрации сигналов молниевых разрядов – атмосфериков (рисунок). Метод основан на измерении времени группового прихода волновых пакетов в ОНЧ-диапазоне частот: 3- 30 кГц. Отсюда название метода – TOGA – Time of Group Arrival). Один из приемных пунктов этой сети расположен в ИЗМИРАН. Это пока единственный пункт в Восточно-европейском и Северо-азиатском регионах.

Кратко идея метода и его реализация состоят в следующем. На расстоянии r от молниевых разряда в момент t электрическая компонента волнового поля может быть выражена как $E(r, t, \omega) = \Sigma A(\omega) \cos \Phi(\omega)$. Для любой компоненты на частоте ω фаза равна $\Phi = \omega t - rk(\omega) + \Phi_0$. Дифференцируя по частоте, получим

$d\Phi(\omega)/d\omega = t - r dk/d\omega = t - r/V_g(\omega) = t - t_g(\omega)$. Здесь t_g есть время распространения волнового пакета от источника к приемнику на расстоянии r . Отсюда следует, что если измерить производную по частоте в известный момент времени t_0 , то время $t_g(\omega) = t_0 - d\Phi/d\omega$. Здесь t_0 – это время, определенное по PPS импульсу системы GPS в пункте приема, а $d\Phi/d\omega$ – это изменение фазы по частоте в спектре волнового пакета, принятого в момент времени t_0 .

Для реализации метода в каждом приемном пункте глобальной сети размещена следующая аппаратура. В качестве приемной антенны атмосферика используется короткий вертикальный штырь длиной 1,5 м с ОНЧ - широкополосным предварительным усилителем, расположенным на крыше здания. Выходные аналоговые сигналы через кабели непрерывно поступают на один из стереоканалов звуковой карты ПК. Так как в системе WWLL локализация молний зависит от точности определения времени прихода атмосферика в приемный пункт и от точности местоположения самого приемного пункта, то для этих целей используются сигналы GPS. Один из них в коде NMEA передает в ПК универсальное время с точностью до ближайшей секунды, а также год, месяц, день, час, минута, секунда, географические широта и долгота места. Другой сигнал - PPS – импульс длительностью 10 мкс с передним фронтом 1 мкс и с частотой следования 1 Гц поступает на второй стереоканал звуковой карты. Чтобы иметь эти два сигнала в ПК, используется GPS-антенна со специальным блоком, в котором имеется генератор, формирующий PPS – сигналы. В звуковой карте оба сигнала (и атмосферик, и PPS-сигнал) оцифровываются с частотой 48 кГц, т.е. с шагом по времени 20 мкс, и далее обрабатываются в ПК в каждом

приемном пункте по одинаковым алгоритмам для определения группового времени прихода атмосферика относительно импульса PPS.

На первом этапе этой обработки во временном «окне» длительностью одна секунда при заданном пороговом уровне интенсивности атмосфериков определяется разность значений в 48003 точках отсчета $\Delta E = E(i) - E(i-1)$, берется модуль этих разностей и по ним определяется среднее значение $\langle |\Delta E| \rangle$. Если какое-либо значение модуля $|\Delta E|$ превысит это среднее значение, то начинается выделение этого сигнала в момент отсчета I_g . Длительность выделенного сигнала определяется в 1,3 мс, т.е. 64 отсчета, которая практически включает в себя всю энергию сигнала в полосе частот 6-23 кГц. Чтобы для каждого выделенного атмосферика точно определить момент времени t_0 , используется сигнал PPS. Далее для определения времени прихода атмосферика t_g рассчитывается амплитудный и фазовый спектры атмосферика и определяется производная фазы по частоте вблизи амплитудного максимума. Поскольку кроме импульса PPS в компьютер заведено время в NMEA коде для выделенного атмосферика получается своего рода паспорт, в котором время выделения указано с точностью в 1 мкс. Эти данные перед началом каждого часа в течение 10 мин поступают в центр обработки - Вашингтонский Университет. Для определения расстояния до источника по известному времени прихода атмосферика необходимо иметь значение групповой скорости на частоте вблизи максимума в спектре атмосферика. Из теории распространения ТМ – мода в волноводе Земля-ионосфера для первоначальной оценки расстояния принята величина $V_g = 0,9922 c$, где c – скорость света. Затем уточняется трасса распространения для выделенных атмосфериков на каждом из приемных пунктов и вносится поправка в групповую скорость с учетом особенностей трассы. Для такой коррекции в настоящее время используются более современные модели ОНЧ – распространения с учетом проводимостей Земли и ионосферы, а также ее высоты. Погрешность метода TOGA и определяется неточностью задания значения групповой скорости. В нормальных геофизических условиях погрешность в определении величины TOGA составляет 1 мкс, что дает ошибку в расстоянии в 3 км. При коррекции групповой скорости эта ошибка может быть уменьшена до 1-2 км. При солнечных вспышках ошибка – 7-8 км. Эти точности совпадают с точностями бывшей системы Omega, но в три раза ниже точности системы LPATS (Lightning Position and Tracking System), которая использует время прихода переднего фронта импульса (атмосферика) в полосе частот 0,3-3 МГц. Но при этом метод TOGA имеет преимущество в том, что он в 100-1000 раз требует меньшую пространственную плотность размещения приемных пунктов.

Список литературы

1. Dowden R.L., Brundell J.B., Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J.Atmos.Solar-Terr.Phys. 2002. V.64, N7. P.817-879.