

Идентификация молний с облаками пепла эксплозивных извержений Камчатки

Чернева Н.В.¹, Мельников А.Н.¹, Holzworth R.H.², Иванов А.В.¹, Дружин Г.И.¹,
Фирстов П.П.¹

¹ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Россия*

² *Университет Вашингтона, США*

mukamol@yandex.ru

Методика регистрации гроз

В ИКИР ДВО РАН на обсерваторском пункте “Паратунка” ($\varphi=52,9^{\circ}$ N, $\lambda=158,25^{\circ}$ E) разработан ОНЧ-пеленгатор (пеленгатор ИКИР), позволяющий непрерывно регистрировать грозовые разряды. Аппаратура работает в диапазоне частот от 3 до 60 кГц. Сигналы от грозовых источников принимаются антенной системой, состоящей из двух взаимно перпендикулярных рамок и штыревой антенны. Рамочные антенны, предназначенные для приема магнитной составляющей электромагнитного поля, расположены вертикально, плоскостью в направлении север-юг и восток-запад. Штыревая антенна служит для приема электрической составляющей электромагнитного поля и состоит из мачты высотой 30 м, на вершине которой установлена емкостная насадка. Сигналы обрабатываются в реальном масштабе времени и записываются на цифровой носитель информации. В результате обработки сигнала создаются два суточных файла, в один из которых записываются реализации сигнала (Е и Н компоненты электромагнитного поля), в другой — только определенные параметры реализации (дата, время, средние значения Е и Н компонент поля, длина реализации, азимутальные углы). В дальнейшем файлы обрабатываются с помощью специально разработанного программного обеспечения, с помощью которого возможен визуальный удаленный просмотр данных.

С помощью приемной станции, расположенной в обсерваторском пункте “Паратунка” и входящей во Всемирную сеть по определению месторасположения грозовых разрядов (World Wide Lightning Location Network – WWLLN), пеленгатором ИКИР можно регистрировать частоту молниевых разрядов в реальном времени. Сеть WWLLN включает в себя более восьмидесяти приёмных станций, определяющих местонахождение гроз по всему миру, находящихся на парных расстояниях от нескольких метров до 10 тысяч км. Размещение станций WWLLN показано на сайте <http://webflash.ess.washington.edu/>. Приёмные станции регистрируют излучения, приходящие по волноводу Земля-ионосфера, в полосе частот, максимум интенсивности которых приходится на частоту 10 кГц (длина волны 30 км). Для локализации грозы достаточно трех приёмных станций, окружающих грозу. Каждая из этих станций посылает в центральный обрабатывающий компьютер (ЦОК), расположенном в Сиетле (США), с точностью до нескольких микросекунд время прибытия радиоимпульса грозового разряда (атмосферика) и уже через 10 минут спектрограммы с этих станций обновляются на <http://webflash.ess.washington.edu/spectra.html>. Интенсивности грозовой активности, зарегистрированные по всему миру, суммируются за последние 30-40 минут <http://webflash.ess.washington.edu/>.

Обсуждение результатов

По данным, полученным с применением пеленгатора ИКИР, было проведено сравнение азимутального распределения и почасовой зависимости количества грозовых разрядов за

период прохождения грозы мимо пункта наблюдения с данными WWLLN [1, 4]. В результате было обнаружено, что азимутальное распределение гроз, полученное с применением пеленгатора ИКИР, достаточно хорошо совпадает с азимутальным распределением, вычисленным на основе данных мировой сети станций WWLLN. Характер зависимости количества грозовых разрядов от времени также совпадает. Но количество разрядов, принятых пеленгатором ИКИР, примерно на порядок превышает количество разрядов, зарегистрированных сетью WWLLN. Это, скорее всего обусловлено тем, что станции WWLLN находятся на большом расстоянии от источников излучения и принимают не все разряды, находящиеся в окрестности полуострова Камчатка. Чтобы сеть станций WWLLN регистрировала большее количество грозовых разрядов, необходимо включение в эту сеть еще станций, расположенных в Дальневосточном регионе, поскольку для локализации грозы необходимо не менее трех приёмных станций, окружающих грозу. В настоящее время имеются только две станции — в Якутске и на Камчатке.

Известно, что генерация молний, помимо грозовых областей, может происходить в снежных, песчаных бурях, а также в облаках над извергающимися вулканами [2, 3]. Группой ученых американского университета Вашингтона John Ewert, James Brundell and Robert Holzworth была проведена на базе существующей сети WWLLN: Global Volcanic Lightning Monitor (<http://wwlln.net/volcanoMonitor.html>) научно-исследовательская работа с целью идентификации молний, связанных с облаками пепла, вызванных активными вулканическими извержениями. Данные мониторинга облаков пепла (обновляемые через каждую минуту) всех вулканов мира, сравнивались с данными координат молний и в случае совпадения с координатами вулкана формировался сигнал тревоги [5].

Поскольку на Камчатке расположено 29 действующих вулканов, нами была проведена аналогичная работа. Архивные данные, полученные с помощью пеленгатора ИКИР, сравнивались с данными WWLLN и было идентифицировано 26 случаев регистраций молний, связанных с пепловыми облаками, вызванными эксплозивными извержениями вулканов. Так, при извержении вулкана Безымянный 13 апреля 2011 года (отмеченное красным цветом в соответствии с четырехцветной шкалой состояния вулканов на сайте Камчатского филиала Геофизической службы РАН <http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm> и сопровождавшимся газо-пепловыми выбросами высотой до 1 км), было зарегистрировано десять разрядов молний [4]. Во время извержения вулкана Кизимен 31.12.2010, сопровождавшегося пепловым шлейфом различной протяжённости, также было зарегистрировано 10 разрядов молний [3].

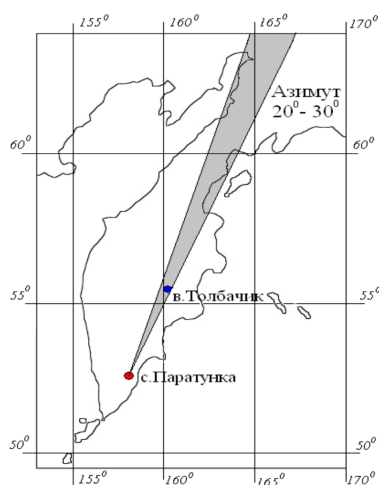


Рис. 1. Направление на грозовые источники в районе вулканов

Был проведен анализ событий, связанных с извержениями вулкана Плоский Толбачик

27 ноября 2012 года и извержениями вулкана Безымянный. Извержения вулкана Плоский Толбачик началось в 05:15 по среднемировому времени (UT) и сопровождалось серией сейсмических событий и газо-пепловыми выбросами на высоту до 10 км над уровнем моря, а в последующие дни — на высоту 3.5 км. Эксплозивное извержение вулкана Безымянный началось в 19:16 с пепловым выбросом на высоту 12 км, шлейф от которого протянулся приблизительно на 50 км в направлении на Северо-Восток (<http://www.emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>).

Для анализа данных с пеленгатора ИКИР было выбрано для периодов с 15 ноября 2012 года по 28 февраля 2013 года и с 15 августа 2012 г. по 15 сентября 2012 года направление на грозовые источники в диапазоне в диапазоне от 20 до 30 градусов (рис. 1), поскольку азимут на вулкана Плоский Толбачик составляет 26° на вулкан Безымянный — 27° .

Из рис. 2 видно, что количество разрядов регистрируемых ОНЧ-пеленгатором 1 сентября 2012 г. увеличилось вдвое после извержения вулкана Безымянный и газо-пепловых выбросов, а с 29 ноября 2012 г. увеличилось втрое после извержения вулкана Плоский Толбачик и последующих серий сейсмических событий и газо-пепловых выбросов.

Заметна схожесть графика регистрируемых пеленгатором ИКИР разрядов с графиком активности вулкана Плоский Толбачик за период 15.11.2012 — 28.02.2013 и вулкана Безымянный за период 15.08.2012- — 15.09.2012, взятый с сайта (<http://www.emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>).

С целью исключения ложных сигналов эксплозивных извержений вулканов проведена интерпретация данных статистическими методами. В качестве примера были взяты для рассмотрения два эксплозивных извержения вулканов Камчатки — Шивелуч (27.10.10 г.) и Безымянный (13.04.11 г.). Первоначально, с сайта WWLLN были взяты данные, содержащие информацию об общем количестве гроз за данный период. После чего с помощью программы SciLab был выделен интересующий нас квадрат на полуострове Камчатка с непосредственным распределением количества количества гроз на этой территории. Затем были выделены квадраты расположения указанных выше вулканов в со стороной 10 км.

Были рассмотрены критерии тревог: n — число гроз (атмосфериков); m — число извержений. Для того, чтобы при заданном уровне значимости проверить нулевую гипотезу о равенстве вероятностей появления события в двух генеральных совокупностях (имеющих биномиальные распределения), было вычислено наблюдаемое значение критерия:

$$U_{obse} = \frac{m_1/n_1 - m_2/n_2}{\sqrt{\frac{m_1+m_2}{n_1+n_2} \left(1 - \frac{m_1+m_2}{n_1+n_2}\right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

и по таблице функции Лапласа найдена критическая точка $U_{кр}$ по равенству $\Phi(u_{кр}) = (1 - \alpha)/2$. В нашем случае она равнялась 0.4505. При этом, если $U_{набл} < U_{кр}$ — нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, а если $U_{набл} > U_{кр}$ — нулевую гипотезу отвергают. У нас получилось $U_{набл} = 0.4$. Следовательно, у нас не имеются основания отвергнуть нулевую гипотезу.

Заключение

Сравнение пеленгационных и метеорологических данных показало, что азимутальное распределение гроз, полученное с применением ОНЧ-пеленгатора, изготовленного в ИКИР ДВО РАН, достаточно хорошо совпадает с азимутальным распределением, вычисленным на основе данных мировой сети станций WWLLN, но количество грозовых разрядов, принятых с Дальневосточного региона пеленгатором ИКИР, примерно на порядок превышает количество разрядов, зарегистрированных станциями WWLLN.

Проведенный анализ архива данных, полученных с применением пеленгатора ИКИР за полугодовые периоды 2012 и 2013 гг., позволил обнаружить 26 случаев определения

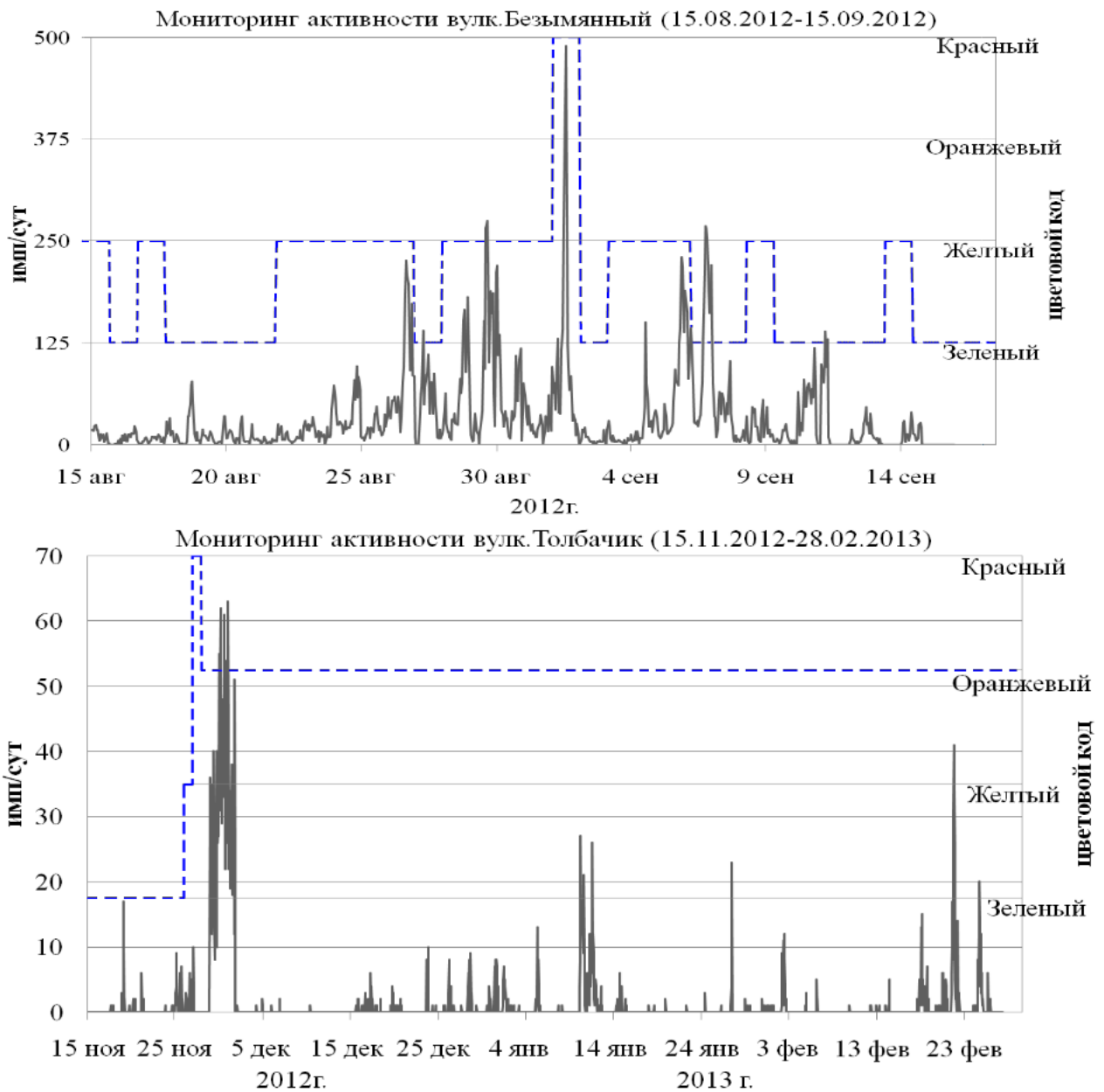


Рис. 2. - - - прерывистая линия: активность вулканов Безымянный и Плоский Толбачик (цветового код: зеленый — сейсмичность не выше фоновой, вулкан спокоен или имеется фумарольная деятельность, термальных аномалий нет; желтый — сейсмичность - выше фоновой, наличие пепла в выбросах, наличие термальных аномалий. — слабые локальные землетрясения, повышенный уровень эмиссии вулканических газов; оранжевый — высота пепловых выбросов до 8 км над уровнем моря, лавовые потоки, большое количество локальных землетрясений; красный — высота пепловых выбросов больше 8 км над уровнем моря, сильные землетрясения регистрируются на удаленных станциях). — сплошная линия: количество разрядов в сутки, регистрируемых пеленгатором ИКИР с азимутальных направлений от 20 до 30 градусов.

местоположения молний, генерируемых в моменты извержений вулканов.

На базе существующей сети WWLLN: Global Volcanic Lightning Monitor возможна достоверная идентификация молний, связанных облаками пепла и вызванными активным вулканическим извержением. Система может служить для оповещения о начале извержений вулканов на Камчатке и во всем мире, но для этого необходимо увеличение числа приемных станций.

Литература

1. Дружин Г.И., Чернева Н.В., Мельников А.Н. Гроза в районе полуострова Камчатка по данным наблюдений за ОНЧ-излучением // Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С.32-39.
2. Лихтер Я.И., Осинин В.Ф. Характеристики пурговых радиопомех // Распространение декаметровых радиоволн. М.: Наука, 1978. С.120-122.
3. Чернева Н.В., Holzworth R.H., Иванов А.В., Дружин Г.И., Мельников А.Н. Перспективы использования всемирной сети локации гроз (WWLLN) для определения пепловых извержений вулканов на Камчатке // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9-15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. - Обнинск: ГС РАН, 2011. - 486 с. С.415-419. ISBN 978-5-903258-18-5
4. Cherneva N.V., Holzworth R.H., Ivanov A.V., Druzhin G.I., Mel'nikov A.N. Comparison of volcano eruptions in Kamchatka with coordinates of atmospherics // IX Int. Conference "Problems of Geocosmos", Proc. of the 9th Intern. Conf. "Problems of Geocosmos" (St. Petersburg, Russia, 8-12 October 2012). P.71-76.
5. Rodger C. J., Werner S., Brundell J. B, Lay E. H. et al. Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): initial case study // Ann. Geophys. 2006. V. 24. P.3197-3214.

Identification of lightning with explosive eruption ash clouds of Kamchatka

Cherneva N.V.¹, Mel'nikov A.N.¹, Holzworth R.H.², Ivanov A.V.¹, Druzhin G.I.¹, Firstov P.P.¹

¹ *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

² *University of Washington, USA*

The VLF direction finder, developed and constructed in IKIR FEB RAS, carries out continuous registration of atmospherics. This complex meets the requirements of the international World Wide Lightning Location Network WWLLN for receiving stations which allowed the Institute to participate in international investigations of lightning discharges and their relations with other phenomena. One of the directions of such investigations is identification of lightning discharges associated with volcano ash eruption. Remote detection of ash clouds is very important for aviation and can be a monitor for detection of explosive eruption beginning. On the basis of the current WWLLN: Global Volcanic Lightning Monitor - GVLM (<http://wwlln.net/volcanoMonitor.html>), identification of ash cloud lightning, caused by explosive eruption, is being carried out. The GVLM volcano data of all volcanoes of the globe,

renewed every minute, form an alarm signal in the case of coincidence of lightning geographical coordinates with volcano coordinates. Comparison of direction finding and meteorological data has shown, that azimuthal distribution of lightning, obtained by VLF direction finder of IKIR FEB RAS, coincides quite well with the azimuthal distribution, calculated on the basis of WWLLN data. Application of direction finding methods gives an opportunity to detect the source more accurately applying anomalous behavior of radio radiation amplitude. Retrospective analysis of data archive of IKIR FEB RAS VLF direction finder over two-year period determined many cases of lightning location generated during Kamchatka volcano eruptions.