

УДК 551.594

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРОВОЗОВЫМИ РАЗРЯДАМИ НА АКТИВНЫХ ВУЛКАНАХ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

*Дружин Г.И.¹, Малкин Е.И.¹, Фирстов П.П.², Чернева Н.В.¹,
Уваров В.Н.¹, Санников Д.В.¹, Стасий И.Е.¹*

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка,
Камчатского края, drug@ikir.ru

²Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

Вулканы являются главными достопримечательностями полуострова Камчатка. Активность вулканов является одной из причин мелких подземных толчков, происходящих в непосредственной близости от вулкана или на нём самом. Во время извержения вулканов в атмосферу выбрасываются вулканический пепел, вулканический шлак и вулканические бомбы – сгустки расплавленных горных пород, а также большое количество разнообразных газов и водяной пар. В периоды извержений образуются «грязные грозы» – вулканические молнии, образованные за счет отрицательно заряженных падающих частиц золы и положительно заряженных сгущенных вулканических газов в столбе пепла, поднимающихся шлейфом в воздух во время извержения вулкана. Помимо этого, во время извержения высвобождаются значительные объёмы воды, которые могут стать источником энергии для вулканических молний. [<https://ru.wikipedia.org/wiki/>].

В Федеральном государственном учреждении науки Институте космических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКИР ДВО РАН) проводятся непрерывные долговременные наблюдения за грозовой активностью, возникающей как вблизи Камчатского полуострова (в радиусе до ~ 1000 км), так и в более удаленных районах (включая мировые очаги гроз). В настоящее время ведется подготовка к изучению природных явлений, связанных с активностью Северной группы камчатских вулканов. Для этого предлагается создать локальную сеть наблюдений за грозовыми разрядами, пункты которой будут размещены вблизи активных вулканов Камчатки. В этих пунктах будут установлены радиопеленгаторы, датчики электрического поля, система синхронизации данных измерений, вспомогательное оборудование. Это позволит проводить запись электромагнитных излучений, анализировать их волновые формы и спектрально-временные характеристики, идентифицировать вулканические молнии, определять параметры, по которым вулканические молнии отличаются от обычных. Созданную сеть можно будет использовать в дальнейшем для мониторинга грозовой и вулканической активности.

Вулканические молнии наблюдались при извержениях многих вулканов, таких как Галунггунг (Индонезия, 1982 год), Пинатубо (Филиппины 1991 год), Сакурадзима (Япония, 2015 год) и др. Но инструментальные наблюдения, включающие пеленгацию молниевых разрядов в периоды извержений, стали проводиться недавно, в основном на Аляске, в Японии и Исландии. Например, при извержении на Аляске вулкана Redoubt 23 марта и 4 апреля 2009 г. наблюдалось более 30 эксплозивных извержений различной интенсивности и продолжительности. При этом были записаны тысячи импульсных сигналов от молний. Были обнаружены 2 фазы молниевой активности: эксплозивная и шлейфовая. Эксплозивная фаза возникла при извержении вулкана, при выбросе огромного количества золы и пара; шлейфовая фаза наблюдалась после эксплозивной, когда облака над вулканом поднялись на высоту 10 км и более (до 19 км) и дрейфовали по ветру [6].

Для определения местоположения грозовых разрядов в настоящее время широко используется мировая сеть наблюдений за грозами WWLLN [<http://wwlln.com/>], пункты наблюдений которой расположены на всех континентах и которая позволяет регистрировать грозы на всей территории Земли. Пункт регистрации гроз, находящийся в п. «Паратунка», входит в эту сеть. Однако, как показали наши исследования, сеть WWLLN регистрирует на Камчатке лишь около 10 % гроз, принятых в том же районе пеленгатором ИКИР [1]. Это происходит потому, что пункты регистрации гроз, кроме п. «Паратунка», находятся на большом удалении от Камчатки и сеть WWLLN регистрирует лишь мощные грозовые разряды, пропуская средние и слабые. Точность в определении местоположения источников излучения значительно зависит от удаленности, поэтому на Камчатке,

при определении сетью WWLLN она будет значительно ниже по сравнению, например, с США, где плотность пунктов наблюдений высокая, и где она составляет 4–5 км. [7].

Следовательно, сеть WWLLN можно будет использовать для мониторинга грозовой активности вблизи камчатских вулканов, но только как вспомогательное средство, поскольку, как показали наши исследования, будут наблюдаться многочисленные пропуски в определении местоположений источников излучений и при этом точность их определения будет невысокой из-за большой удаленности «грязных гроз» от пунктов наблюдений.

Приведенные выше и дальнейшие соображения убедили нас в том, что для исследования «грязных гроз» необходимо создание собственной локальной сети наблюдений за грозовыми разрядами на активных вулканах полуострова Камчатка. Подобная региональная сеть LNA существует на Аляске, вблизи действующих вулканов. При этом все наблюдавшиеся визуально вулканические грозы были обнаружены этой сетью и эффективность их обнаружения составила 100 % [8].

В апреле-мае 2010 года происходило эксплозивное извержение вулкана Eyjafjallajökull, находящегося в Исландии [9]. В результате извержения шлейф тефры поднялся на высоту более 9 км. Наблюдения за молниевой активностью проводились европейской сетью ATDnet в ОНЧ диапазоне очень низких частот (ОНЧ), на частотах 10–14 кГц. Эффективность этой сети для разрядов облако–земля была оценена 30–100%.

Аппаратура и методы наблюдений

Для исследования мощных электромагнитных излучений от гроз в ИКИР ДВО РАН создан ОНЧ-пеленгатор [2], записывающий электрические и магнитные компоненты электромагнитного поля с целью определения направления прихода сигналов в реальном времени. С помощью ОНЧ-пеленгатора исследованы эффекты, связанные с грозовыми источниками. ОНЧ-пеленгатор состоит из антенной системы, блока аналоговой и блока цифровой обработки сигнала. Регистрирующая аппаратура установлена в здании ИКИР, п. Паратунка.

В экспедиционном пункте «Карымшина» ($\varphi=52.049\text{ N}$, $\lambda=158.007\text{ E}$) ИКИР ДВО РАН имеется ОНЧ-регистратор [3], принимающий на две взаимно-перпендикулярных рамочных антенны и одну электрическую антенну шумовые излучения в ОНЧ диапазоне. С помощью ОНЧ-регистратора исследовались эффекты, связанные с естественными электромагнитными излучениями перед камчатскими землетрясениями и циклонами [4].

Имея высокую чувствительностью, ОНЧ-регистратор принимает слабые сигналы от удаленных излучений, которые могут возникать при извержениях камчатских вулканов.

В настоящее время ведется разработка алгоритма, программного обеспечения, изготовление аппаратуры, предназначенной для регистрации «грязных гроз». Предполагается размещение вновь созданной аппаратуры в пунктах наблюдений, расположенных в поселках Ключи, Козыревск, Усть-Камчатск, на расстояниях менее 100 км от активных вулканов Ключевская Сопка, Шивелуч, Толбачик. В этих пунктах предполагается размещение датчиков электрического поля, радиопеленгаторов, аппаратуры для синхронизации и передачи данных измерений. Дополнительная информация будет получена с датчиков акустической эмиссии, данных о вулканической и сейсмической активности, метеорологических данных. Такой комплексный подход позволит провести исследования молниевой активности вблизи камчатских вулканов и сравнить полученные результаты с наблюдениями в других регионах.

Определение местоположения источников излучений будет осуществляться с применением пеленгационных наблюдений в указанных выше пунктах. Пеленгаторы будут принимать электромагнитные излучения в ОНЧ диапазоне с помощью двух расположенных взаимно-перпендикулярно рамочных антенн, ориентированных по сторонам света, и одной электрической антенны. Этот способ определения местоположения излучений наиболее простой в его осуществлении. В дальнейшем можно будет использовать гиперболическую систему наблюдений, с применением, например, только электрических антенн. Но при этом будет необходимо изготавливать аппаратуру, обладающую высокой точностью своих параметров.

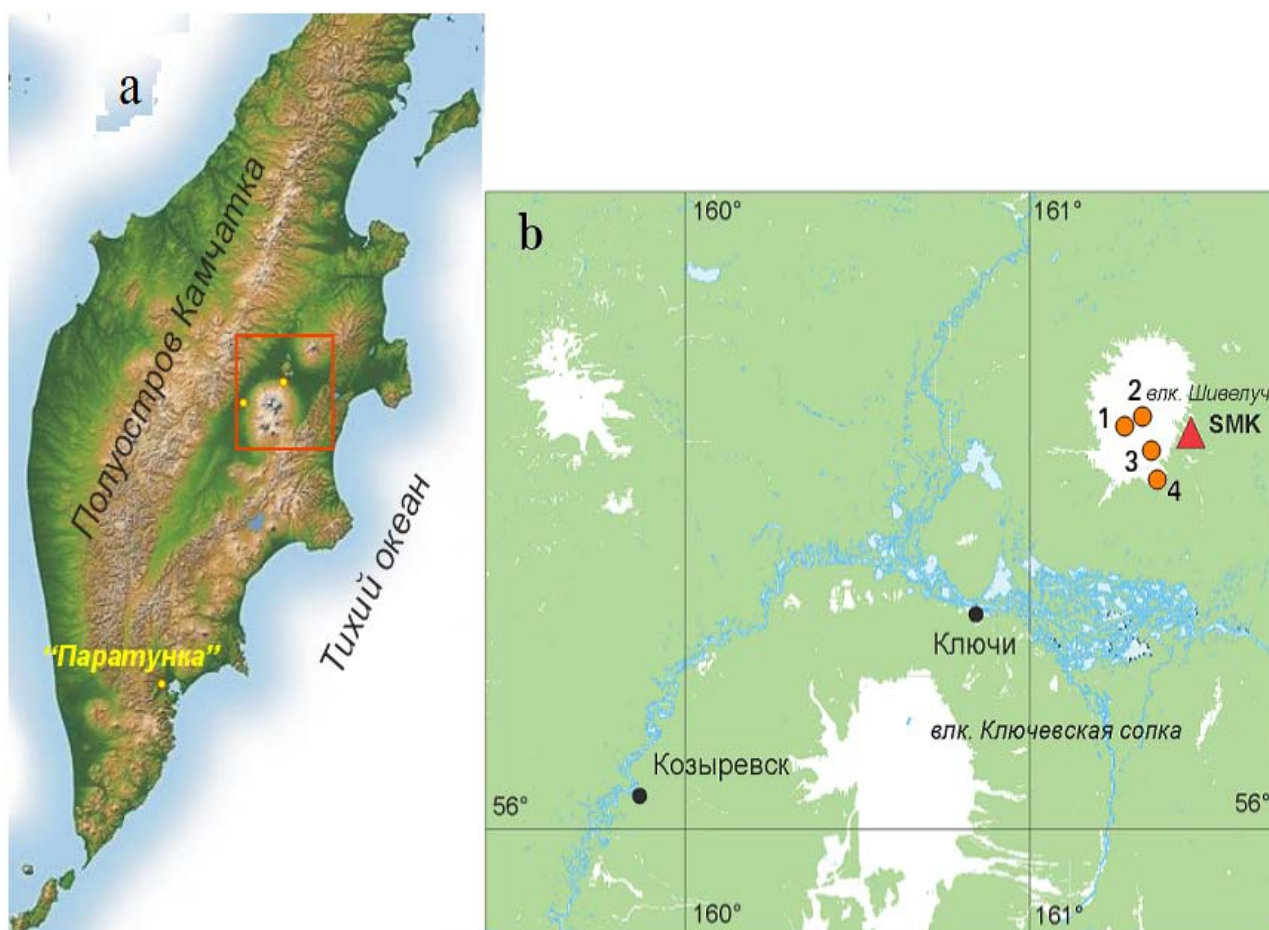


Рис. 1. а – местоположение на полуострове Камчатка вулканов Шивелуч и Ключевская сопка, пункта наблюдения за грозами «Паратунка» (ИКИР ДВО РАН); б – пункты наблюдений за вулканами Козыревск, Ключи, сейсмическая станция SMK (КФ ФИЦ ЕГС РАН) и грозовые разряды, зарегистрированные мировой сетью WWLLN 18 июня 2017 г. в окрестности вулкана Шивелуч: 1 – 16:29:49, 2 – 16:29:49, 3 – 16:43:08, 4 – 16:51:46.

Предварительные результаты

Исследование электрических процессов на Камчатке при извержениях вулканов проводилось и при отсутствии локальной сети наблюдений за грозовыми разрядами. Впервые было зарегистрировано эксплозивное извержение вулкана Шивелуч 27 октября 2010 года в реальном времени по данным мировой сети наблюдений за грозами WWLLN (<http://wwlln.net/volcanoMonitor.html>). В работе [5] приводится детальное описание развития эруптивного шлейфа от извергавшегося вулкана Шивелуч в ноябре 2014 г. Было показано расслоение и дальнейшее распространение этого шлейфа на двух высотах. Однако долговременные систематические наблюдения геофизических параметров, связанные с возникновением и развитием грозовой активности при извержениях камчатских вулканов, не проводились из-за отсутствия сети наблюдений.

В мае – июле 2017 г. происходили извержения вулкана Шивелуч. Отдельные молниевые разряды вблизи вулкана наблюдались сетью WWLLN (рис. 1), но более подробная информация о развитии грозовых разрядов вблизи вулкана была получена по данным ОНЧ-регистратора, расположенного в п. «Карымшина» (рис. 2). Электромагнитные импульсы регистрировались с азимутальных направлений $25.6^\circ \pm 10^\circ$, совпадающих с направлением на вулкан Шивелуч. Из рис. 2, а видно, что непосредственно после начала вулканического извержения наблюдалась первая фаза вулканической грозы, которая характеризовалась резким ростом количества электромагнитных импульсов с последующим их резким спадом. Длительность первой фазы составила 2 – 5 мин, затем, после относительного затишья 1 – 3 мин, возникла вторая, более продолжительная фаза, сопровождающаяся увеличением скорости счета импульсов. Длительность второй фазы составила примерно полчаса. Подобные фазы наблюдались ранее при извержениях вулканов на Аляске (Augustine, в 2006 г. и Redoubt в 2009 г.) [10], которые показали, что первая фаза вулканической

грозы связана с началом извержения вулкана и формированием термика за счет выброса горячей пепло-газовой смеси в атмосферу, а вторая – с формированием эруптивных облаков на высоте тропопаузы и их ветровым переносом.

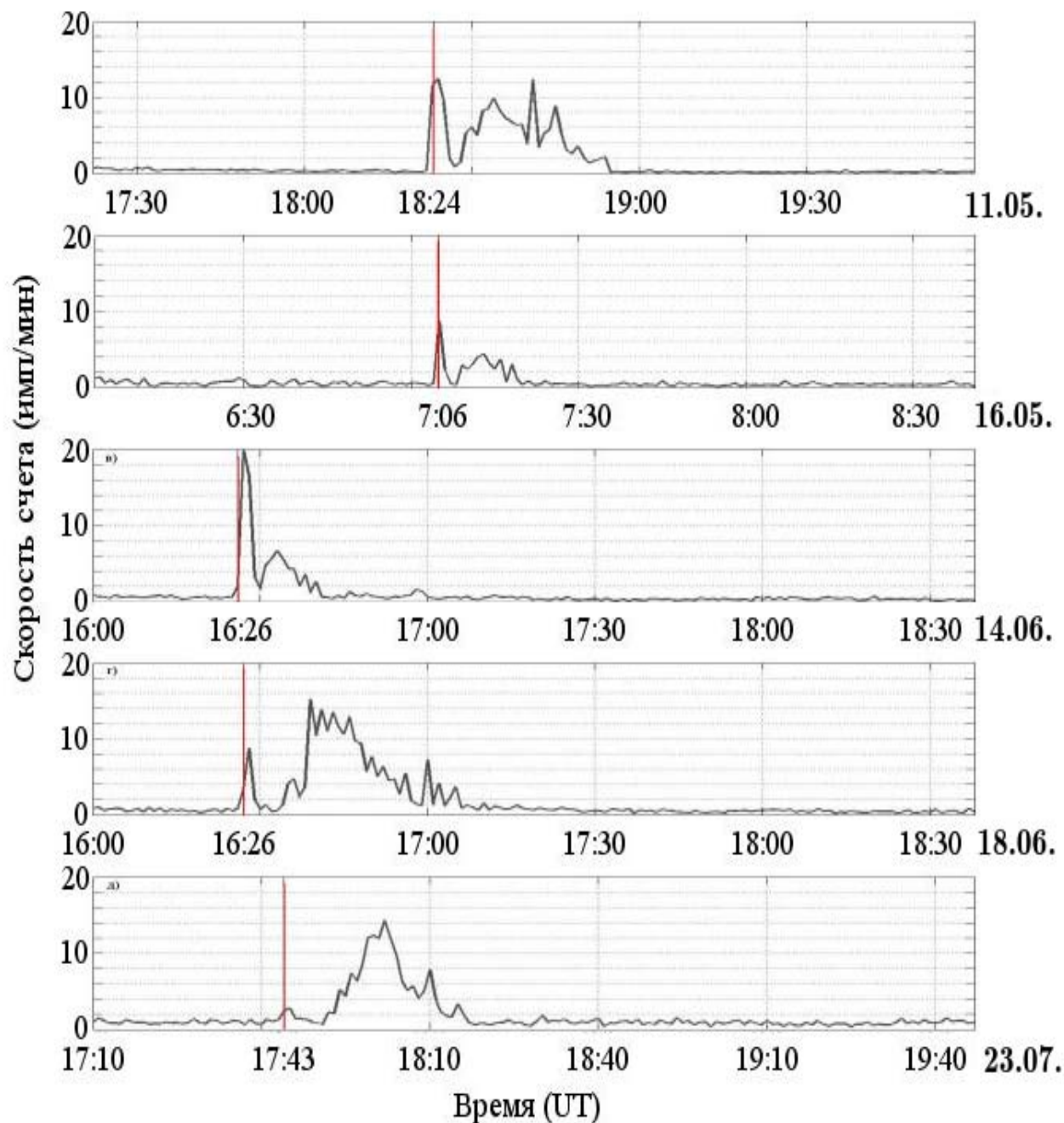


Рис. 2. Зависимость скорости счета электромагнитных импульсов, зарегистрированных в мае – июле 2017 г. в п. «Карымшина» с азимутальных направлений, близких к направлению на вулкан Шивелуч. Вертикальными красными стрелками показано начало извержений вулкана.

Закключение

Таким образом, с целью исследования очагов грозовой вулканической активности создается локальная сеть наблюдений за грозовыми разрядами вблизи Северной группы активных вулканов на полуострове Камчатка. Создание локальной сети позволит: детально исследовать электромагнитные процессы, связанные с вулканической активностью; разработать дистанционные методы зондирования окружающей среды; проводить мониторинг состояния погодных систем в нижних и верхних слоях атмосферы; исследовать вероятности повышения грозовой активности в периоды эксплозивных извержений вулканов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00543 «Механизмы грозообразования в условиях активной вулканической деятельности на полуострове Камчатка».

Список литературы

- 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 Дружин Г.И., Пухов В.М., Санников Д.В., Малкин Е.И. ОНЧ-пеленгатор грозовых разрядов // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2019. Т. 27. № 2. С. 95–104.
- 3 Дружин Г.И., Пухов В.М., Санников Д.В., Малкин Е.И., Стасий И.Е. ОНЧ-регистратор для исследования естественных радиоизлучений // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2019. Т. 27. № 2. С. 105–16.
- 4 Дружин Г.И. Геофизические процессы в ОНЧ-излучениях // История науки и техники. 2017. №8. С. 59–66.
- 5 Фирстов П.П., Акбашев Р.Р., Холзворт Р., Чернева Н.В., Шевцов Б.М. Атмосферно-электрические эффекты во время эксплозии вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. №. 1. С. 29–37.
- 6 Behnke, S.A. et al. Observations of volcanic lightning during the 2009 eruption of Redoubt Volcano // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2011. V. 259. P. 214–234. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2011.12.010.
- 7 Behnke S.A., McNutt S.R. Using lightning observations as a volcanic eruption monitoring tool // Bull Volcanol. 2014. V. 847. No. 76. P. 2–12. doi 10.1007/s00445-014-0847-1.
- 8 Sonja A. Behnke & Stephen R. McNutt. Using lightning observations as a volcanic eruption monitoring tool // Bulletin of Volcanology. August 2014.
- 9 Bennett A.J., Odams P., Edwards D., Arason P. Monitoring of lightning from the April–May 2010 Eyjafjallajökull volcanic eruption using a very low frequency lightning location network, 2010. Environ. Res. Lett. 5044013.
- 10 Behnke S.A., Thomas R.J., Krehbiel P.R., McNutt S.R. Spectacular Lightning Revealed in 2009 Mount Redoubt Eruption. //Eos. 15 May 2012. Vol. 93. No. 20.