

## Пространственное распределение плотности грозовых разрядов на Востоке России по данным дистанционных наблюдений

В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, Р.Р. Каримов

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,  
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 31  
E-mail: v.kozlov@ikfia.ysn.ru*

Представлены данные по регистрации инструментальным методом плотности грозовых разрядов и динамике гроз на территории Северной Азии ( $60^{\circ}$ - $170^{\circ}$  в.д. и  $40^{\circ}$ - $80^{\circ}$  с.ш.) за 2009 г. Приведены карты плотности грозовых разрядов, широтные и долготные вариации этой плотности и зависимость плотности от высоты рельефа. Также приведено соотношение между количеством грозовых разрядов различного типа для центральной Якутии.

**Ключевые слова:** гроза, дистанционные наблюдения, токи, наземные отрицательные разряды, широтный и долготный ход.

### Введение

Знание распределения плотности грозовых разрядов имеет важное практическое значение, поскольку грозы – это опасное природное явление как непосредственно для человека, так и для технологической инфраструктуры, созданной человечеством. Наблюдения за грозами до недавнего времени, да и в настоящее время ведутся визуально на сети метеорологических станций.

В последнее время появилось и бурно развивается методика зондирования гроз с помощью активных и пассивных радаров (Dowden et al., 2002; Casper et al., 1992). Кроме того имеются системы спутниковых наблюдений за распределением и активностью грозовых разрядов (Christian et al., 1999). Однако нужно отметить, что над северной Азией спутниковые наблюдения велись только в прошлом и всего около пяти лет.

Распределение плотности грозовых разрядов в Северной Азии ( $60$ - $170$  град. в.д. и  $40$ - $80$  град с.ш.) за летний сезон 2009 г. проанализировано по данным Мировой сети локализации молний, в которую входит Якутский пункт.

### Методика наблюдений

Мировая сеть локализации молний (World Wide Lightning Location Network, WWLLN) включает в себя 25 приемных пунктов регистрации сигналов молниевых разрядов, расположенных по всему земному шару – атмосфериков (Dowden et al., 2002). Один из приемных пунктов этой сети расположен на станции Якутск. Этот пункт в настоящее время является единственным пунктом системы WWLLN в Североазиатском регионе на территории России. Каждая из станций посылает на центральный обрабатывающий компьютер точное время прибытия импульса грозового разряда – атмосферика. С помощью этой информации со всех станций определяется за десять минут месторасположение и количество грозовых разрядов с точностью до нескольких километров.

Метод основан на измерении группового времени прихода волновых пакетов в ОНЧ – диапазоне частот: 6-23 кГц. В каждом приемном пункте, входящем в состав глобальной системы WWLLN, установлен в качестве приемной антенны вертикальный электрический «штырь». В Якутске высота штыревой антенны составляет 1,5 метра. Для усиления сигнала атмосферика используется ОНЧ – широкополосный предварительный усилитель производства ИКФИА СО РАН. Выходные аналоговые сигналы через кабели непрерывно поступают на один из стереоканалов звуковой карты ПК.

Точность определения местонахождения грозового разряда с помощью системы WWLLN зависит от точного времени регистрации атмосферика и географического положения пункта относительно других пунктов системы. Для временных измерений используются сигналы GPS. Один из них в коде NMEA передает в ПК в универсальное время с точностью до ближайшей секунды, а также год, месяц, день, час, минуту, секунду, географическую широту и долготу 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. В Якутске в используется GPS- часы – Resolution фирмы Trimbl. В звуковой карте оба сигнала (и атмосферик, и PPS-сигнал) оцифровываются с частотой 48 кГц, то есть 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 обработки во временном «окне» длительностью одна секунда при заданном пороговом уровне интенсивности атмосфериков определяется разность значений в 48003 точках отсчета, берется модуль этих разностей и по ним определяется среднее значение разности. Если какое-либо значение модуля превысит это среднее значение, то начинается выделение сигнала. Длительность выделенного сигнала определяется в 1,3 мс, то есть 64 отсчета. Эта длительность обеспечивает практически сбор всей энергии сигнала в полосе частот 6-23 кГц. Чтобы для каждого выделенного атмосферика точно определить момент времени, используется сигнал PPS. Далее для определения времени прихода 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 1 мкс. Эти данные в течение 10 минут поступают в центр обработки. Погрешность метода группового времени прихода волновых пакетов составляет 1 мкс, что дает ошибку в расстоянии 3 км. При солнечных вспышках ошибка составляет порядка 7-8 км. Эти точности совпадают с точностями бывшей системы Omega (Jones et al., 1981), но в три раза ниже точности системы LPATS (Lighting Position and Tracking system) (Casper et al., 1992), которая использует время прихода переднего фронта импульса (атмосферика) в полосе частот 0,3-3 МГц. Но при этом метод группового времени прихода волновых пакетов имеет преимущество в том, что он требует в 100-1000 раз меньшую пространственную плотность размещения приемных пунктов.

Соотношение между количеством грозовых разрядов различного типа для центральной Якутии приведено по наблюдениям на пассивном грозопеленгаторе, обзором до 400 км, установленном в здании ИКФИА. Различные типы разрядов выделяются по их спектральным характеристикам (Козлов и др., 2003).

## Данные и анализ

В Якутске пункт Всемирной сети месторасположения гроз был запущен в начале 2009 г., причем для пункта используется аппаратура, созданная в ИКФИА. Это позволило впервые зарегистрировать и проанализировать распределение и динамику гроз на территории Северной Азии инструментальным методом. При построении карты плотности грозовых разрядов учитывалось количество разрядов, зарегистрированных на квадратном километре за период с 1 июня по 31 августа 2009 -2010 гг.

Анализ карты показал наличие двух областей с повышенной плотностью разрядов (рис. 1). Один из основных максимумов грозовой активности (в 10-100 раз выше окружающих) приходится на Западносибирскую равнину ( $45^{\circ}$ - $65^{\circ}$  с.ш. и  $60^{\circ}$ - $87^{\circ}$  в.д.).

Второй очаг такой же мощности тянется по меридиану от южных отрогов Большого и Малого Хингана до севера Станового хребта, по параллели с запада от Большого Хингана до южных отрогов Малого Хингана и Бурецкого хребта на востоке. На востоке и, особенно на северо-востоке регистрировалась существенно меньшая грозовая активность, особенно в морях.

Максимум для западного очага приходится на июль месяц. В этом месяце на Западно-Сибирской равнине грозовая активность была максимальной в Восточной части России. В июне и августе грозовая активность на Западносибирской равнине была меньше. Причем в августе восточный очаг превосходил по активности западный.

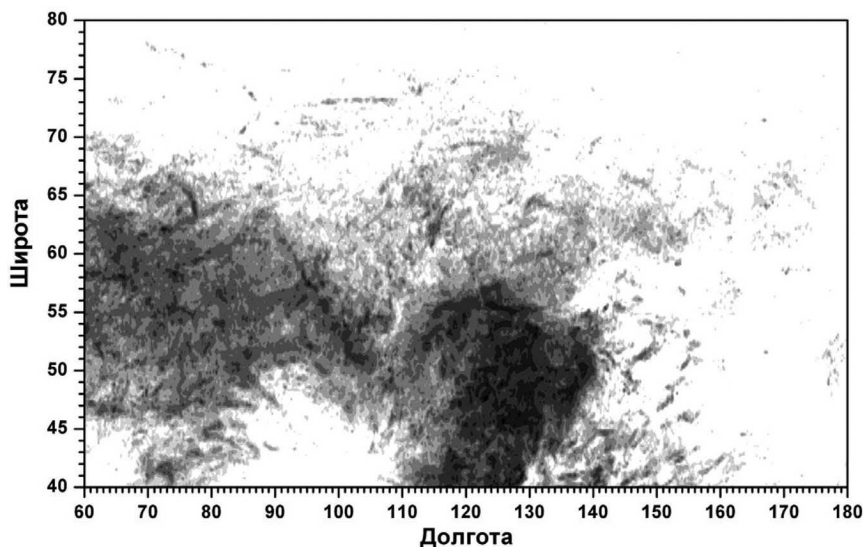


Рис. 1. Усредненная плотность грозовых разрядов за летний грозовой сезон (июнь-август) 2009-2010 гг.

Проведенный анализ также показал наличие долготного и широтного ходов. Наблюдается последовательное уменьшение грозовых разрядов от низких широт к высоким (рис. 2), исключая два основных очага. Имеется область с повышенной грозовой активностью на широтах от  $44^{\circ}$  до  $62^{\circ}$  с. ш. (Западносибирская равнина и Большой и Малый Хинган). После  $62^{\circ}$  наблюдается плавный спад. Причем в июне и августе выше  $54^{\circ}$  с. ш. наблюдается плавный спад до  $80^{\circ}$  с. ш., где грозы крайне редки и точность их локализации очень мала из-за удаленности от пунктов наблюдения. А в июле максимум гроз смещен в область более высоких широт, что связано с активностью очага на Западносибирской равнине, где максимум грозовой активности приходится на широтную зону от  $45^{\circ}$  до  $65^{\circ}$  с. ш.

В долготном ходе имеется две области с повышенной грозовой активностью от 60°-88° в.д. и 114°-140° в.д. (рис. 3). Причем в августе западный очаг исчезает, и плавный спад наблюдается до 115° в. д. Восточный очаг остается на протяжении двух месяцев. Восточнее 145° плотность грозových разрядов резко уменьшается, так как эта область приходится в основном на водное пространство.

Проанализировано распределение плотности разрядов в зависимости от высоты местности над уровнем моря (рис. 3). Выявлено, что с увеличением высоты местности от 0 м до 200 м над уровнем моря наблюдается подъем, далее наблюдается плавный спад грозовой активности с дальнейшим повышением местности до 3 км. На высотах выше 3 км наблюдается минимальная гроззовая активность.

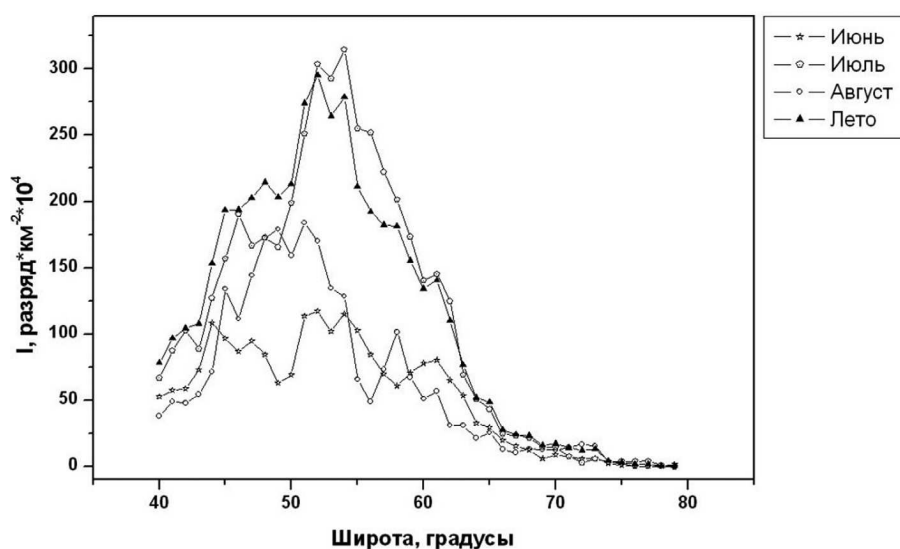


Рис. 2. Широтный ход плотности грозových разрядов за летний сезон 2009 г.

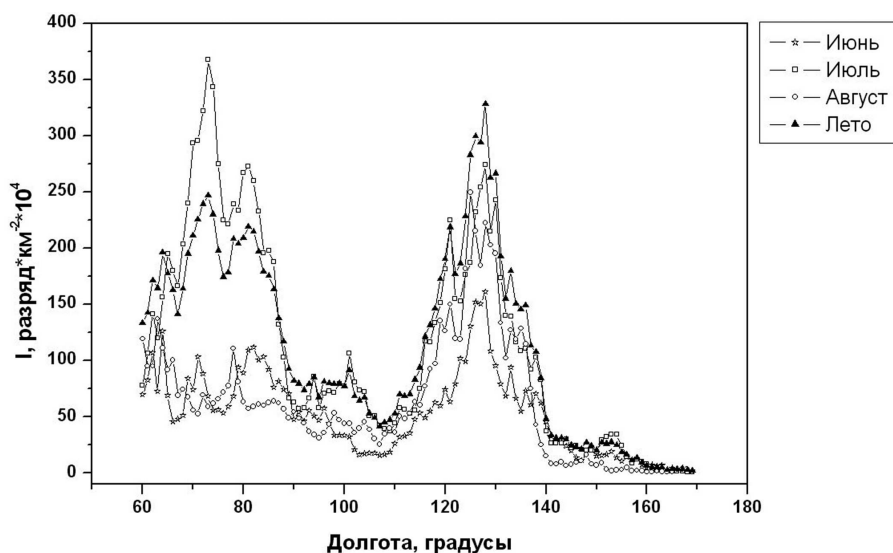


Рис. 3. Долготный ход плотности грозových разрядов за летний сезон 2009 г.

В 2010 году динамика относительного числа разрядов двух основных очагов имела максимум интенсивности в июне-июле и резкий спад к августу. В 2009 году динамика относительного числа разрядов приходится на середину июля и начало августа. Количество разрядов в 2010 году почти в два раза больше чем в 2009 году.

Всего пассивным грозопеленгатором с радиусом обзора 480 км, установленном в Якутске, зарегистрировано за летний сезон 2009 г. в центральной Якутии на площади 720 000 кв. км 66294 грозовых разрядов. Анализ показал, что грозовая активность и динамика относительного числа отрицательных разрядов имела максимум интенсивности в июле и резкий спад к августу. Наземные разряды составили в среднем за сезон 65%. Из числа наземных разрядов в среднем за сезон 90% составляют отрицательные разряды, что соответствует наблюдавшимся на территории Якутии в другие годы (Козлов и др., 2003; Козлов и др., 2008).

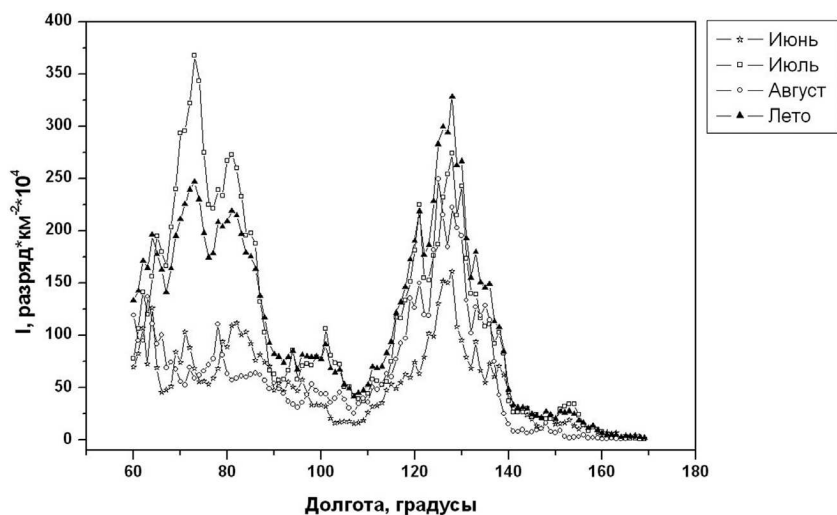


Рис. 4. Плотностью разрядов в зависимости от высоты местности над уровнем моря

Диаграмма вариаций по дням общего количества всех разрядов в Центральной Якутии (площадь охватываемая радиусом 480 км вокруг г. Якутска) в 2009 г. имеет вид, характерный для данного региона, наблюдавшийся с 1993 г. и совпадающий с диаграммами 1993 г. и 2001 г. для всей Якутии (Козлов и др., 2003). Резко выраженный максимум грозовой активности в июне приходится на вечернее время (18 ч. по местному времени), в конце июля (максимум гроз данного года для июля в Центральной Якутии пришелся на 27-30 июля) смещается на ночные часы. В августе следует отметить небольшие повышения активности в интервале от 18 до 21 ч. По динамике грозовой деятельности (смена интенсивных периодов затишьями) можно предположить, что по территории центральной Якутии летом 2009 г. проходили четыре – пять циклонических волн. Наблюдается превышение числа межоблачных и внутриоблачных разрядов и повышенное число положительных наземных грозовых разрядов в начале и конце волны интенсивности.

По экспериментальным материалам 2008 г. оценены дальность до источника радиосигнала (около 450 км) (Мулляров и др., 2009; Rakov et al., 1992) и токи, текущие по каналу наземной молнии (Cummer et al., 1998). Медианное значение токов оказалось равным 28 кА с квантилями 14 и 40 кА. Большие амплитуды тока (в 2 раза) соответствуют положительным разрядам «облако-земля».

## Выводы

Построена карта плотности грозовых разрядов. Анализ карты показал наличие двух областей с повышенной плотностью разрядов. Один из основных максимумов грозовой активности (в 10-100 раз выше окружающих) приходится на Западносибирскую равнину (45°-65° с.ш. и 60°-87° в.д.).

Наблюдается последовательное уменьшение грозových разрядов от низких широт к высоким и с запада на восток в 10 раз, исключая 2 области повышенной грозовой активности. С увеличением высоты местности от 0 м до 200 м над уровнем моря наблюдается подъем, далее наблюдается плавный спад грозовой активности с дальнейшим повышением местности до 3 км. На высотах выше 3 км наблюдается минимальная гроззовая активность.

Медианное значение токов наблюдаемых молний равно 28 кА с квантилями 14 и 40 кА. Большие амплитуды тока (в 2 раза) соответствуют положительным разрядам «облако-земля».

Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-98540-р\_восток\_а и программами АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555 и ФАНИ г.к.02.740.11.0248.

### Литература

1. *Dowden R.L., Brundell J.B., Rogder C.J.* VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2002. V. 64, №7. P. 817-879.
2. *Casper P.W., Bent R.B.* Results from the LPATS USA national lightning and tracking system for the 1991 lightning season // *Proceedings of the 21st International Conference Lightning Protection.* Germany, Berlin, 1992. P. 339–342.
3. *Christian H.J., Blakeslee R.J., Bossippio D.J.* et al. Global frequency and distribution of lightning as observed by the optical transient detector (OTD) // *Proceedings of 11th International Conference on Atmospheric Electricity.* USA, Alabama. 1999. P. 726-729.
4. *Jones T.E., Mowforth K.* The effects of propagation on the accuracy of positions determined using Omega in the UK // *Presented at the AGARD Symposium on Medium, Long and Very Long Wave Propagation, Conference Proceedings.* Brussels, Belgium. 1981. P. 37:1–37:30.
5. *Козлов В.И., Муллаяров В.А., Васильев А.Е.* Характеристики грозových очагов по инструментальным наблюдениям в Якутии в 1993-2001 гг. // *Метеорология и гидрология.* 2003. N2. С. 39-45.
6. *Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р.* Инструментальные наблюдения гроз в Якутии в 2003-2006 годах // *Известия вузов. Радиофизика,* 2008. Том LI, № 10. С. 825-829.
7. *Муллаяров В.А., Торопов А.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р.* Особенности пространственного распределения положительных грозových разрядов на востоке Сибири // *Метеорология и гидрология.* 2009. № 6. С. 47-55.
8. *Rakov V.A., Thottappillil R., Uman M.A.* On the empirical formula of Willet et al. relating lightning return stroke peak current and peak electric field // *J. Geophys. Res.,* 1992. T. 97. P. 11,527-11,533.
9. *Cummer S. A., Inan U. S., Bell T. F., and Barrington-Leigh C. P.* ELF radiation produced by electrical currents in sprites // *Geophys. Res. Lett.* 1998. T. 8. P. 1281-1284.

## The spatial distribution of the lightning in the east of Russia on remote sensing data

**V.I. Kozlov, V.A. Mullayarov, R.R. Karimov**

*J.G. Shafer, Institute of Space Physics Research and Aeronomy SB RAS*

*677980, Russia, Yakutsk, Lenina 31*

*E-mail: v.kozlov @ ikfia.ysn.ru*

Presents data on registration tool by the density of lightning discharges and the dynamics of thunderstorms in North Asia (60°-170° east longitude and 40°-80° N) for 2009, presented maps of lightning strikes, latitudinal and longitudinal variation of the density and the density dependence of the height of the relief. Also presents the ratio between the number of lightning strikes for different types of central Yakutia.

**Keywords:** storm, remote monitoring, current, negative ground level, latitudinal and longitudinal course.