

УДК 551.594.6

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВОСТОКЕ СИБИРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ГРОВОВЫХ РАЗРЯДОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ РАЗРЯДОВ В МЕЗОСФЕРЕ

А.А. Торопов, В.А. Муллаяров, В.И. Козлов

SOME RESULTS OF THE EAST SIBERIA ELECTROMAGNETIC OBSERVATION OF POSITIVE LAND LIGHTNING DISCHARGES AND DISCHARGES, CONNECTED WITH THEM, INTO THE MESOSPHERE

A.A. Toropov, V.A. Mullayarov, V.I. Kozlov

В данной работе рассмотрены некоторые особенности пространственных распределений положительных грозовых разрядов на востоке Сибири и свойства сигналов с КНЧ-излучением, связываемых со спрайтами. Для положительных грозовых разрядов, принимаемых в Якутске, проанализированы пространственные распределения на широтах $\varphi=55-70^\circ$ N для летних сезонов 2003–2007 гг.

In this paper some features of spatial distributions of positive lightning discharges in the east of Siberia and property of UHF signals, connected with sprites are considered. For the positive lightning discharges accepted in Yakutsk, spatial distributions at widths $\varphi=55-70^\circ$ N for summer seasons 2003–2007 are analyzed.

Введение

Грозовые разряды, переносящие из облака к земной поверхности положительные заряды, в последние годы привлекают внимание в связи с тем, что вслед за ними часто происходят грозовые разряды в мезосферу (ионосферу), проявляющиеся в красном и синем свечении на больших высотах (спрайты, дже-ты) [1]. Таким образом, положительные разряды играют важную роль в глобальной электрической цепи. Так как грозовая активность зависит от географических особенностей местности, то и распределение положительных грозовых разрядов должно отражать соответствующие особенности региона наблюдений.

Методика измерений

Пространственные распределения положительных и отрицательных разрядов получены с помощью однопунктового грозопеленгатора-дальномера, который охватывает своими наблюдениями всю территорию Якутии (круг с радиусом ~ 1200 км) [2]. Электромагнитные сигналы грозовых разрядов (атмосферики) регистрируются с помощью трех антенн, принимающих вертикальную электрическую и две горизонтальные магнитные составляющие электромагнитного фона. Направление на грозовые разряды определяется по отношению среднеквадратичных значений сигналов, поступающих с магнитных антенн. Неоднозначность пеленга устраняется путем сопоставления знаков взаимной корреляции электрической и магнитной составляющих сигнала атмосфера. Максимальное стандартное отклонение по пеленгу $\sim 2.5^\circ$. Дальность до грозового разряда определяется как среднегеометрическое по четырем параметрам сигнала атмосфера. Использование четырех признаков нормализует распределение и уменьшает погрешность измерений. Ошибка определения координат молниевых разрядов по указанной методике однопунктовой дальнометрии составляет $\sim 18\%$.

Для разделения межоблачных и наземных разрядов используется алгоритм, основанный на том, что спектр сигналов межоблачных разрядов является

более высокочастотным по сравнению с сигналами наземных разрядов. В эксперименте граница раздела (пороговая частота) определяется в начале сезона и в последующем контролируется. Атмосферик с частотой, превышающей пороговую, рассматривается как межоблачный. Также отбраковываются сигналы, у которых нарушено амплитудное соотношение электрической и магнитной составляющих сигнала (во многих случаях это обусловлено наложением нескольких атмосфериков). Затем разделяются наземные положительные и отрицательные разряды.

Результаты

Анализ пространственного распределения грозовых разрядов показывает, что положительные разряды отражают в целом общую картину грозовой активности на территории Якутии. Две области повышенной частоты наблюдения положительных разрядов (рис. 1, а, июль 2005 г.), соответствующие основным очагам отрицательных разрядов [2, 3], располагаются на юге и западе от г. Якутск, однако по интенсивности в рассматриваемый период они преобладали только в 2005 г. Наряду с ними постоянно присутствуют и два других очага: северо-восточный (был наиболее интенсивен в 2003, 2004, 2006 гг.) и восточный (преобладал над остальными в 2003 и 2007 гг.) Пример пространственного распределения положительных разрядов с более сильным восточным очагом (июль 2003 г.) приведен на рис. 2, а.

На рис. 1, б, в представлены пространственные распределения интенсивности разрядов для июня и августа 2005 г. Для определения интенсивности за единицу времени выбран часовой интервал, а за единицу площади – 1 км^2 . С середины и до конца сезона положительные разряды наблюдались в тех же секторах, что и отрицательные (см. рис. 1, з, август). Но в июне положительные разряды (рис. 1, б) дают приблизительно равновероятное по секторам распределение со слабым северо-восточным очагом. В другие годы, в отличие от 2005 г., в августе распределения положительных разрядов существенно

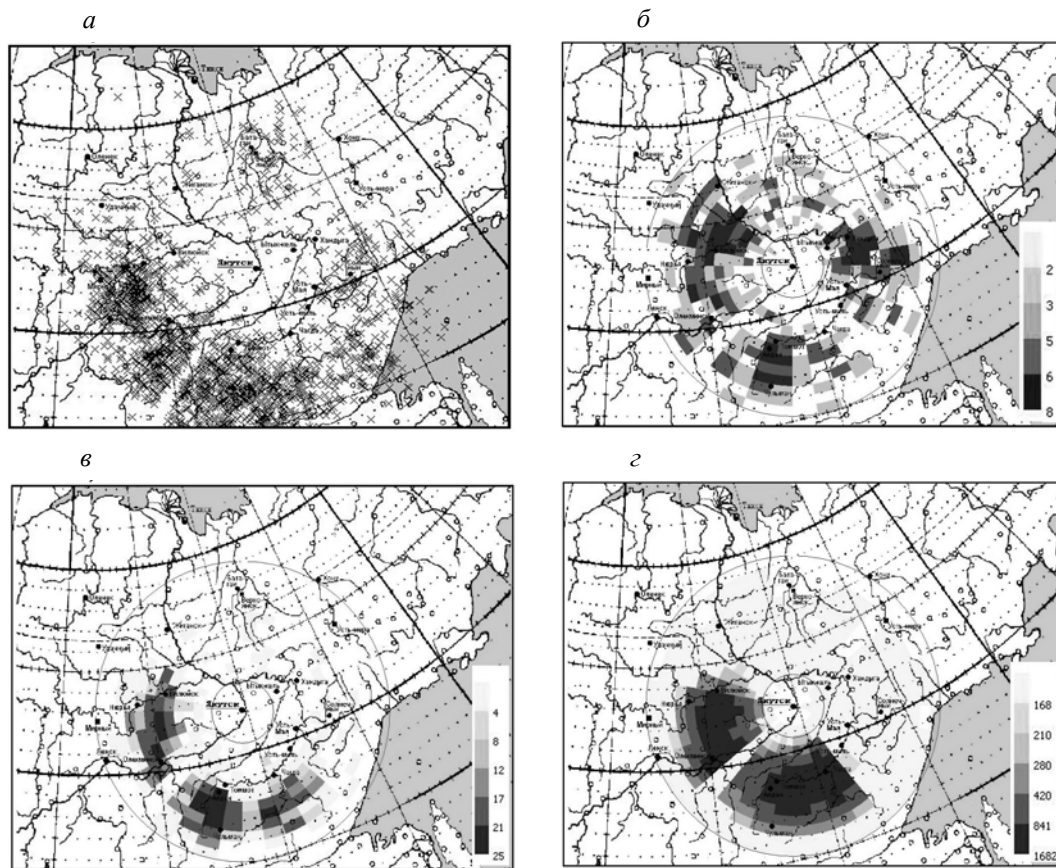


Рис. 1. Пространственное распределение грозных разрядов в 2005 г.: а – положительные разряды в июле. Интенсивность (число разрядов в час на 1 км²) положительных разрядов в июне (б) и августе (в) и отрицательных разрядов в августе (z).

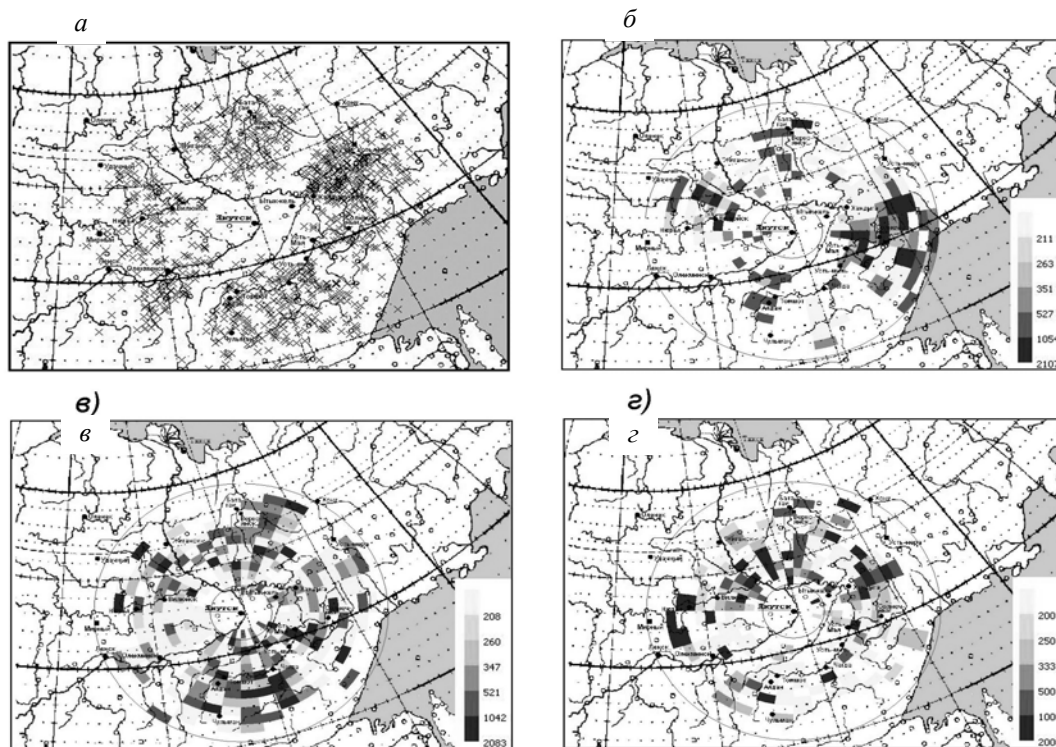


Рис. 2. Пространственное распределение грозных разрядов в 2003 г.: а – положительные разряды в июле. Нормированные распределения разрядов (отношение потока положительных разрядов к потоку отрицательных) в июне (б), июле (в) и августе (z).

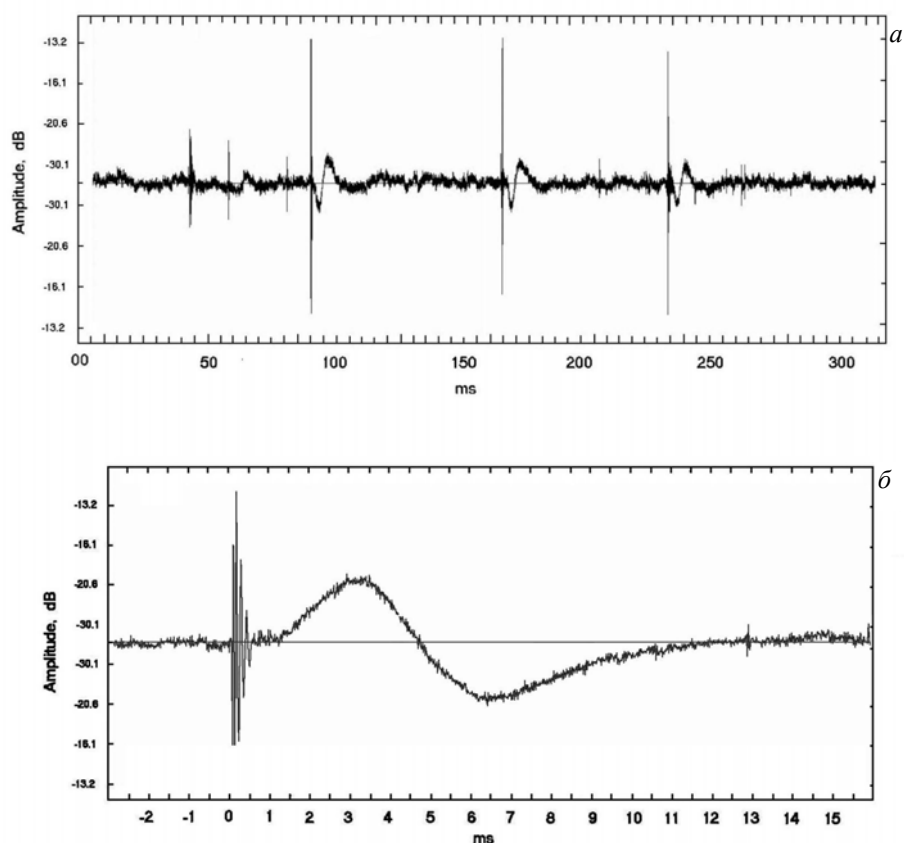


Рис. 3. Изменение амплитуды сигналов положительных разрядов 21 августа 2008 г.: а – 5 ч 20 мин 10 с; б – 5 ч 21 мин 47 с ВСВ.

отличаются от распределений отрицательных.

Таким образом, в начале и конце сезона в распределениях положительных разрядов выделяются очаги, отсутствующие в соответствующих распределениях отрицательных разрядов либо являющиеся второстепенными. Подтверждением могут служить нормированные распределения, представляющие пространственные распределения величины отношения числа положительных разрядов к числу отрицательных в каждой анализируемой ячейке (80 км на 10°). Отметим, что нормированные распределения отражают изменения качественного состава разрядов, т. е. увеличение отношения в той или иной области связано не с усилением грозовой активности, а указывает на область, где существенное значение имеют положительные разряды. На рис. 2, б–г представлены такие распределения для 2003 г. В июне (рис. 2, б) наиболее ярко выделяется восточный очаг положительных разрядов, а в августе – северные сектора (рис. 2, г). Нужно обратить внимание также на то, что в указанных очагах (северо-восточный и восточный) доля положительных разрядов может быть очень большой. В северо-восточных областях отношение потока положительных разрядов к потоку отрицательных во все рассмотренные годы часто превышает 1. В значительной степени это относится к началу и окончанию сезона (июнь и август). Таким образом, на востоке Сибири доля положительных разрядов возрастает в высоких широтах.

Подтверждением повышенной вероятности положительных грозовых разрядов в высоких широтах

могут быть результаты наблюдений, проведенных в Верхоянье ($\varphi=67.85$ N, $\lambda=134.95$ E) 21–23 августа 2008 г. Запись электромагнитных сигналов разрядов осуществлялась в часы максимальной грозовой активности (15–18 ч местного времени) с электрической антенны высотой 10 м через усилитель на ноутбук с частотой оцифровки 62.5 кГц. Условия записи были благоприятны с точки зрения отсутствия каких-либо сетевых и промышленных помех. Запись проводилась на высотах ~450 м над уровнем моря.

На рис. 3 приведены примеры электромагнитных сигналов (зарегистрированных в период проведения этих наблюдений в Верхоянье), с которыми во многих случаях связаны оптические явления в мезосфере (ионосфере) [4–7]. Эти явления в виде красного свечения (спрайты) обычно следуют за положительными наземными разрядами, сигналы которых из-за малой развертки на рис. 3, а выглядят вертикальными линиями. Предваряющие спрайты грозовые разряды обычно сопровождаются осциллирующими низкочастотными колебаниями после атмосфериков. Более быстрая развертка использована на рис. 3, б. Видно, что второй (низкочастотный) сигнал следует после первого приблизительно через 1 мс. Приведенный пример показывает, что частота наблюдения грозовых разрядов, которые могли сопровождаться оптическими явлениями в ионосфере, была очень высокой (на рис. 3, а видно три импульса за 140 мс).

Заключение

Получено, что кроме основных грозовых очагов на юго-западе Якутии можно выделить северо-

восточный и восточный очаги, в которых наблюдается доминирование положительных разрядов над отрицательными (при 10 % положительных разрядов от общего числа разрядов в типичных условиях). Таким образом, на востоке Сибири доля положительных разрядов возрастает в высоких широтах. Указанные особенности пространственного распределения положительных грозных разрядов означают, что при возникновении данных разрядов на востоке Сибири большое значение имеют географические условия.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-05-98540-р_восток_а, ФПЦ НОЦ г.к. 02.740.11.0248 и программами Президиума РАН № 16 и РНП 2555.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gerken E.A., Inan U.S., Barrington-Leig C.P. Telescopic imaging of sprites // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27, N 17. P. 2637–2640.
2. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Инструментальные наблюдения грозной деятельности в Якутии в 1993–1994 гг. // *Метеорология и гидрология.* 2003. № 2. С. 39–45.
3. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозная активность в Якутии. Якутск: Изд-во СО РАН, 2004. 104 с.
4. Haldoupis C., Neubert T., Inan U. S., et al. Subionospheric early VLF signal perturbations observed in one-to-one association with sprites // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109, N A10. P. A10303. doi: 10.1029/2004JA010651.
5. Haldoupis C., Steiner R.J., Mika A. “Early/slow” events: A new category of VLF perturbations observed in relation with sprites // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111, N A11. P. A11321. doi: 10.1029/2006JA011960.
6. Marshall R.A., Hale L.C., Croskey C.L., Lyons W.A. Electromagnetics of sprite – and elve-associated spherics // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2007. V. 69. P. 1569–1586.
7. Marshall R.A., Inan U.S., Lyons W.A. Very low frequency spheric bursts, sprites, and their association with lightning activity // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, N D22. P. D22105. doi: 10.1029/2007JD008857.

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск