

УДК 656.6

Евтушенко Андрей Александрович¹, доцент
e-mail: a_evtushenko@inbox.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ

Аннотация. Одним из важных шагов при развитии параметризаций природных явлений является исследование чувствительности предложенной модели к изменению, как начальных данных, так и внутренних параметров системы. В работе исследовано изменение среднего глобального количества спрайтов в зависимости от эффективности и качества детектирования молний системой глобальной грозопеленгации WWLLN и учета сезонно-широтного распределения доли положительных разрядов.

Ключевые слова: высотные разряды, спрайты, глобальное распределение, система грозопеленгации, пиковый ток молний, импульсный дипольный момент, поляриность молниевых разрядов, мезосфера.

Предложенная ранее автором модель [1] позволяет по данным системы грозопеленгации WWLLN построить глобальное распределение спрайтовой активности. По имеющейся информации о месте времени и мощности разряда вычисляется пиковый ток по формуле предложенной в [2]. Далее выделяются ночные события и вводится на основании данных локальных систем грозопеленгации параметр R – доля положительных разрядов, в базовом приближении принятый за 10%. На основе данных системы грозопеленгации NLDN предлагается параметризация для определения среднего импульсного дипольного момента (ИДМ) и его распределения. Опираясь на данные расчетов [3,4] строится параметризация для вероятности инициации спрайта от ИДМ и получается глобальное распределение спрайтов (Рис. 1).

В первую очередь необходимо разобраться с исходными данными глобальной системы грозопеленгации WWLLN. Датчики системы регистрируют значение энергии излучения, приходящей от молниевых разрядов, так называемую RMS_Energy . Эта величина, по данным организаторов системы WWLLN имеет погрешность определения в 25% [2]. Расчеты проведенные с добавлением/вычитанием погрешности приводят к увеличению количества спрайтов на 31% и уменьшению на 37% соответственно.

Как и любая система по глобальному наблюдению молниевой активности, система WWLLN не может зарегистрировать все происходящие на Земле молниевые разряды по тем или иным причинам.

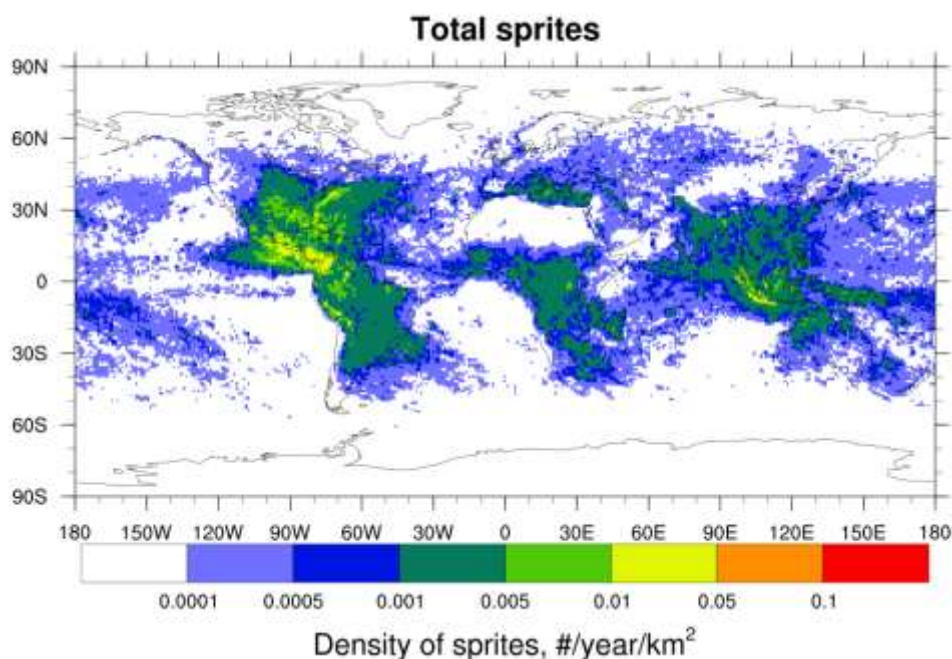


Рисунок 1 – Глобальное распределение спрайтов за 2016 год.

В некоторых случаях затухание электромагнитного импульса при распространении в атмосфере может привести к фиксации разряда на недостаточном количестве приемных пунктов и принятием решения об отсутствии разряда. Очевидно, что данный эффект проявляется тем чаще, чем меньше исходная энергия молниевых разрядов. По данным [2] система WWLLN фиксирует лишь 11% от всех разрядов облако-земля, а для разрядов с пиковым током 30 кА и более детектируется 30%. Необходимо помнить, что для инициации спрайтов особенно важны разряды с высокими токами.

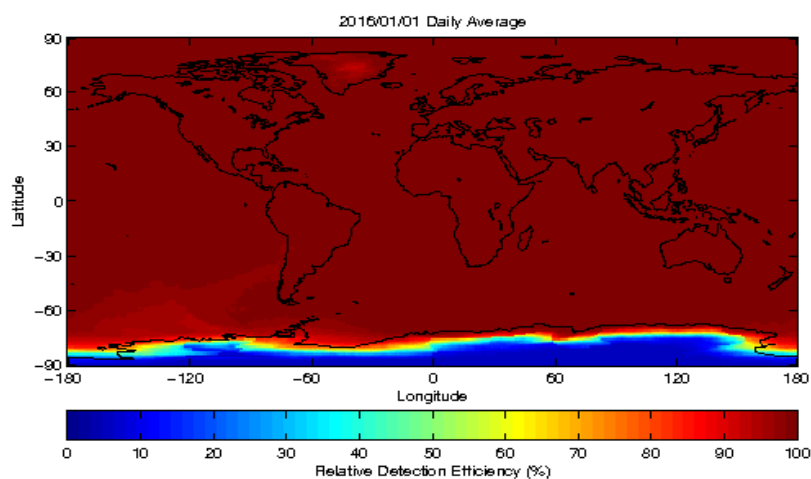


Рисунок 2 – Глобальное распределение относительной эффективности детектирования по данным системы WWLLN

Проведенный выше анализ показывает, что 86% от всех участвующих в рассмотрении разрядов лежат в диапазоне токов 15-100 кА, но влияние на общее количество спрайтов невысоко. Скорее всего влияние этого фактора на общее количество спрайтов не должно быть выше 20-30%, особенно если принять во внимание, что оценки эффективности детектирования были произведены для системы WWLLN, работавшей в 2010 году. С тех пор система WWLLN на несколько десятков увеличила количество приемных пунктов, что несомненно привело к увеличению эффективности

детектирования молний. Разработчики системы WWLLN провели анализ спектрального состава принимаемого магнитного поля и в предположении того, что спектр должен быть одинаковым на различных приемных пунктах, предложили параметр, характеризующий относительную эффективность детектирования внутри самой системы. С увеличением количества станций данный параметр значительно улучшается, что наглядно видно, если сравнить ранние данные и данные за 2016. Данные для каждого дня доступны на сайте системы WWLLN. На Рис. 2 приведено распределение относительной эффективности детектирования за 01.01.2016. Даже визуально видно, что в основных зонах, характеризующихся высокой спрайтовой активностью параметр относительной эффективности близок к 100%. Для каждого дня 2016 года был взят средний параметр для ячейки $1^0 \times 1^0$ и количество спрайтов было поделено на него. В итоге общее количество спрайтов за год увеличилось на 1,3% по сравнению с базовым сценарием.

К большому сожалению, как это обсуждалось ранее, система глобальной пеленгации WWLLN не дает информации о полярности молниевых разрядов и для базового сценария был выбран параметр $R=10\%$, то есть каждая молния расценивается как 0,1 положительного разряда и 0,9 отрицательного. В предложенной модели количество спрайтов линейно зависит от параметра R , то есть изменение параметра до $R=12\%$, приведет к увеличению количества спрайтов на 20%. Данные различных исследований [5,6] показывают, что локальным летом количество положительных разрядов находится в диапазоне 5-10%, а в зимние месяцы увеличивается до 20+%. С увеличением широты сезонная вариабельность параметра R проявляется все более четко и почти не проявляется на экваторе. Принимая во внимание эти факты и дополнительно учитывая что основная спрайтовая активность сосредоточена до 60^0 по широте, рассмотрим зависимость для R вида:

$$\begin{cases} R(\%) = 10\% + 5\% \cdot (\cos(\frac{2\pi \cdot n}{366}) + 1) \cdot (\frac{L}{60})^2, & \text{для северного полушария} \\ R(\%) = 10\% + 5\% \cdot (\cos(\frac{2\pi \cdot n}{366} + \frac{\pi}{2}) + 1) \cdot (\frac{L}{60})^2, & \text{для южного полушария} \end{cases}$$

В данной параметризации n – это номер дня, L – это широта, 366 – количество дней в 2016 году. Данное распределение позволяет отобразить тот факт, что в зимние месяцы (локальные) количество положительных разрядов достигает 20%, а минимальное количество составляет 10%. То есть данная параметризация для параметра R явно выше, чем предложенная параметризация в базовом сценарии. Тем не менее, применение данной параметризации дает увеличение общего количества спрайтов только на 4,7%.

Список литературы:

1. Evtushenko A.A., Ilin N.V., Svechnikova E.K. Parameterization and global distribution of sprites based on the WWLLN data // Atmospheric Research. — 2022. — V. 276. — P. 106272.
2. Hutchins M.L., Holzworth R.H., Rodger C.J., Brundell J.B. Far-field power of lightning strokes as measured by the world wide lightning location network // Atmos. Ocean. Technol. — 2012. — V. 29. — № 8. — P. 1102-1110.
3. Qin J., Celestin S., Pasko V.P. Low frequency electromagnetic radiation from sprite streamers // Geophys. Res. Lett. — 2012. — V. 39. — № 22. — P. L22803.
4. Qin J., Celestin S., Pasko V.P. Minimum charge moment change in positive and negative cloud to ground lightning discharges producing sprites // Geophys. Res. Lett. — 2012. — V. 39. — № 22. — P. L22801.
5. Zajac B.A., Rutledge S.A. Cloud-to-ground lightning activity in the contiguous united states from 1995 to 1999 // Mon. Weather Rev. — 2001. — V. 129. — № 5. — P. 999-1019.
6. The European lightning location system EUCLID — Part 2: Observations / Poelman D.R., Schulz W., Diendorfer G., Bernardi M. // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. — 2016. — V. 16. — № 2. — P. 607-616.



SENSITIVITY STUDY OF GLOBAL DISTRIBUTION MODEL OF HIGH-ALTITUDE DISCHARGES

Andrey A. Evtushenko

Abstract. One of the important steps in the development of parameterizations of natural phenomena is the study of the sensitivity of the proposed model to changes in both initial data and internal parameters of the system. The paper investigates the change in the average global number of sprites depending on the efficiency and quality of lightning detection by the WWLLN global lightning direction finding system and taking into account the seasonal-latitudinal distribution of the proportion of positive discharges.

Keywords: high-altitude discharges, sprites, global distribution, lightning direction finding system, peak lightning current, pulsed dipole moment, lightning discharge polarity, mesosphere.

