

РЕГИСТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВСПЫШЕК В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ С ПОМОЩЬЮ ПЗС-ФОТОМЕТРА

И.Д. Ткачев, Р.В. Васильев, А.В. Михалев, С.В. Подлесный, А.Г. Сетов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
tid007@mail.iszf.irk.ru

REGISTRATION OF OPTICAL FLASHES IN THE EARTH'S ATMOSPHERE AT MIDDLE LATITUDES BY A CCD PHOTOMETER

I.D. Tkachev, R.V. Vasilyev, A.V. Mikhalev, S.V. Podlesny, A.G. Setov

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация. В работе представлены результаты наблюдения ночного неба по данным ПЗС-фотометра за период с декабря 2016 г. по февраль 2017 г. Основной задачей исследования является определение возможностей камеры по фиксации быстрых оптических вспышек, искусственных спутников Земли (ИСЗ) и метеорных болидов. Описан автоматический алгоритм выделения кадра со вспышкой. Предложены автоматические алгоритмы выделения кадров содержащих ИСЗ и метеорные болиды. На основе первичной базы данных вспышек проведен статистический анализ результатов.

Ключевые слова: оптические вспышки, ПЗС-фотометр, атмосфера.

Annotation. The paper presents the results of night sky observations based on the CCD photometer data for the period from December 2016 to February 2017. The main objective of the study is to determine the camera's capabilities for fixing fast optical flashes, artificial Earth satellites and meteor bolides. An automatic algorithm for selecting a frame with a flash is described. Automated algorithms for extracting frames containing satellites and meteor bolides are proposed. Based on the primary flash database, a statistical analysis of the results was carried out.

Keywords: optical flashes, CCD photometer, atmosphere.

Быстрые динамические оптические процессы в верхних слоях атмосферы Земли можно разделить на явления, связанные с атмосферным электричеством, явления, вызванные магнитосферно — ионосферным взаимодействием и явлений, связанных с метеорами и искусственными спутниками Земли. Кроме того, можно отметить оптические вспышки, связанные с субатомными частицами сверхвысоких энергий, вторгающиеся в атмосферу Земли.

По последним сведениям, связанные с атмосферным электричеством транзитные световые явления (Transient luminous Events, TLE) спрайты, эльфы, гало, гигантские джеты, привязаны к очагам грозовой активности [Lyons, 1996; Liu, 2015; Sato, 2015]. Глобальная картина положения этих геофизических событий [Chen, 2008; Sato, 2015] заключается в том, что преимущественно они происходят в приэкваториальной зоне.

Первые результаты регистрации быстрых оптических вспышек с многоканальным зенитным фотометром, полученные с помощью геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН были опубликованы в 2000 г. [Михалев, 2000]. В этой работе была проведена оценка светимости оптических вспышек для различных диапазонов оптического спектра, были получены распределение по длительности, и вероятность записи оптических вспышек в течение ночи. Сравнение моментов регистрации оптических вспышек и гамма-всплесков проводили по данным каталога BATSE. Чрезвычайно низкая частота встречаемости TLE над центральными частями континентов северного и южного полушарий, особенно

в Евразии, в сочетании с наблюдаемыми быстрыми оптическими вспышками, вызывает вопрос о характере вспышек или уточнения полученных результатов.

В конце ноября в начале декабря 2016 г. возобновился мониторинг ночного неба на территории геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН на наличие быстрых оптических вспышек с помощью фотометра на базе ПЗС-матрицы. В данной работе используется фотометр на базе ПЗС-матрицы предназначенный для наблюдения быстротекущих процессов (единицы секунд). Фотометр собран на основе ПЗС-матрицы SONY ICX285AL (камера Видеоскан-285/П-USB, разработка НПО «ВИДЕОСКАН», <http://videoscan.ru/>). В качестве входного объектива используется объектив Юпитер 3. Разрешение (пикселей) 1392x1040. Размер пикселя (мкм) 6.45x6.45 Размер матрицы (дюйм/мм) 2/3 (8.77x6.6) Длительность экспозиции от 3.5 мкс до 110 с. Кадровая частота (Гц) от 7.7 до 19.5. Рабочий спектральный диапазон 400–800 нм. Наблюдения проводятся на территории геофизической обсерватории «Торь» 51.809813° N 103.077429° E ИСЗФ СО РАН. Камера установлена на неподвижной монтировке под углом ~51° к горизонту и направлена на север. Время экспозиции 2 с было выбрано исходя из предварительных результатов тестовых включений.

Обработка данных ПЗС-фотометра проходит в несколько этапов. Снимки с фотометра сохраняются с расширением fit размером 186x144. На начальном этапе рассчитывается интегральная интенсивность I всего кадра:

$$I = \sum_1^N i_N,$$

где i_N — интенсивность в одном пикселе, а N — количество пикселей кадра. На рис. 1 показаны изменения интегральной интенсивности за всю ночь. Приведена безлунная ночь и ночь с лунной засветкой.

Следующий этап — это поиск оптических вспышек в атмосфере за всю ночь. Сначала в алгоритме устанавливается размер сканирующего окна. Далее, с шагом в 1 кадр, окно «пробегает» по всем значениям интенсивности за ночь. Внутри этого окна происходит проверка следующего условия:

$$(I_{\text{mid}} - I_{\text{med}}) > 3\sigma,$$

где I_{mid} — срединное значение интенсивности в окне, I_{med} — медианное значение интенсивности в окне, σ — стандартное отклонение в сканирующем окне. Все значения разности в формуле 2, которые выше порога в три сигма фиксируются как события. Но событиями могут быть как искомые вспышки, так и метеорные болиды с искусственными спутниками Земли. Для фильтрации спутников и метеоров используются два алгоритма: комбинаторный и статистический.

Комбинаторный алгоритм основывается на том, что при движении спутника, уровень интенсивности пикселей изменяется со временем в разных частях кадра. Поэтому кадр разбивается на 4 части, как показано на рис. 2.

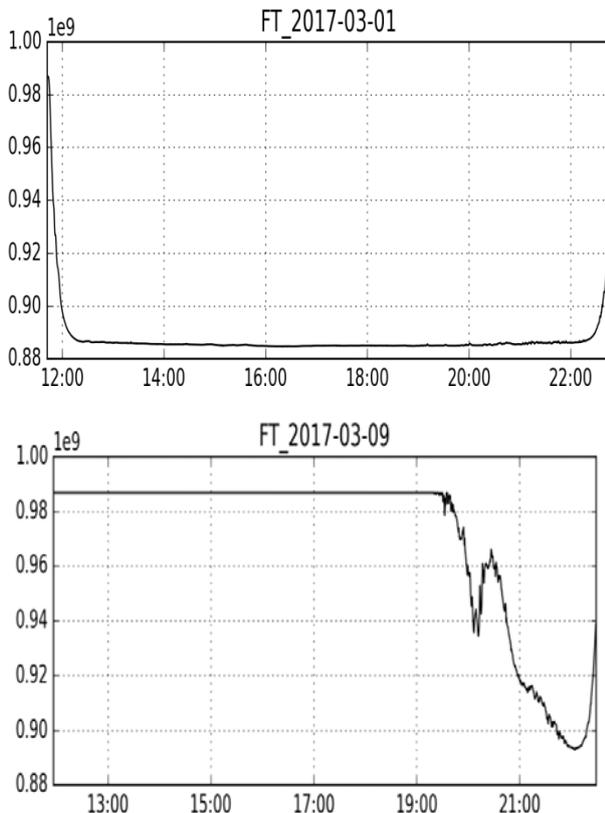


Рис. 1. Изменение интегральной интенсивности за ночь. Безлунная ночь (сверху), Ночь с луной (внизу). Время UT

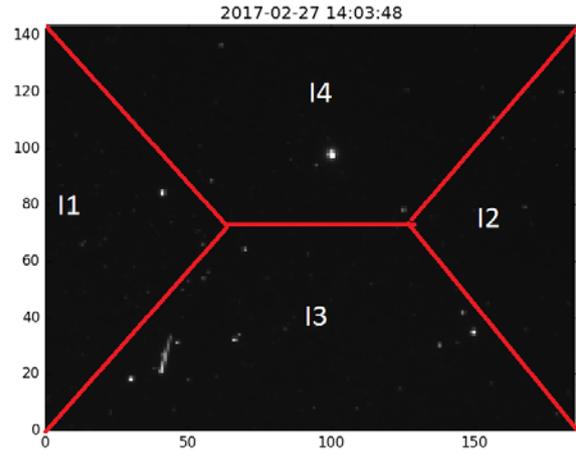


Рис. 2. Деление кадра на части для комбинаторного алгоритма фильтрации спутников

Далее исследуется изменение интенсивности в этих областях. Если существует последовательное увеличение интенсивности в разных частях кадра, то событие является спутником.

Для фильтрации метеоров используется статистический алгоритм. По всему кадру определяется дисперсия интенсивности. При фиксации метеорных болидов происходит скачок в изменении дисперсии (рис. 3).

Так же важной характеристикой является длительность сканирующего окна. Ее величина влияет на количество регистрируемых событий. На рис. 4 показано изменение количества фиксируемых событий в зависимости от длительности сканирующего окна для каждого дня в месяце. На правой стороне рис. 4 показано изменение количества регистрируемых спутников в зависимости от длительности окна.

По рис. 4 видно, что наибольшее количество регистрируемых событий при минимальном количестве спутников располагается в диапазоне длительностей сканирующего окна 60–70 с. Для всех расчетов длительность подбиралась из этого диапазона.

После обработки данных всеми описанными выше алгоритмами выделяются события, которые можно интерпретировать как оптические вспышки в атмосфере. На рис. 5 приведен пример одного из таких событий.

После обработки данных фотометра были построены статистические распределения характеристик полученных событий. На рисунке 6 представлен суточный ход регистрируемых событий, который качественно подобен суточному распределению регистрируемых оптических вспышек в атмосфере, полученному по данным работы [Михалев, 2000]. Обсуждение и анализ полученных результатов будет проводиться в дальнейших работах.

Работа выполнена в рамках гранта № НШ-6894.2016.5 Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ No. 17-05-00492. Экспериментальные данные получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара» (ИСЗФ СО РАН). Работа была проведена при финансовой поддержке

Регистрация оптических вспышек в атмосфере Земли в средних широтах с помощью ПЗС-фотометра

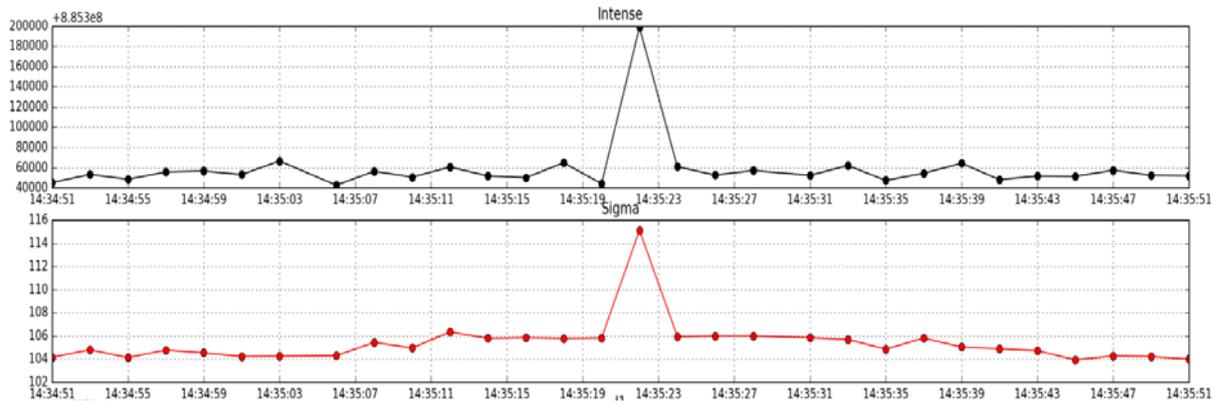


Рис. 3. Поведение интегральной интенсивности (сверху) и ее дисперсии (снизу) при регистрации метеорного боида

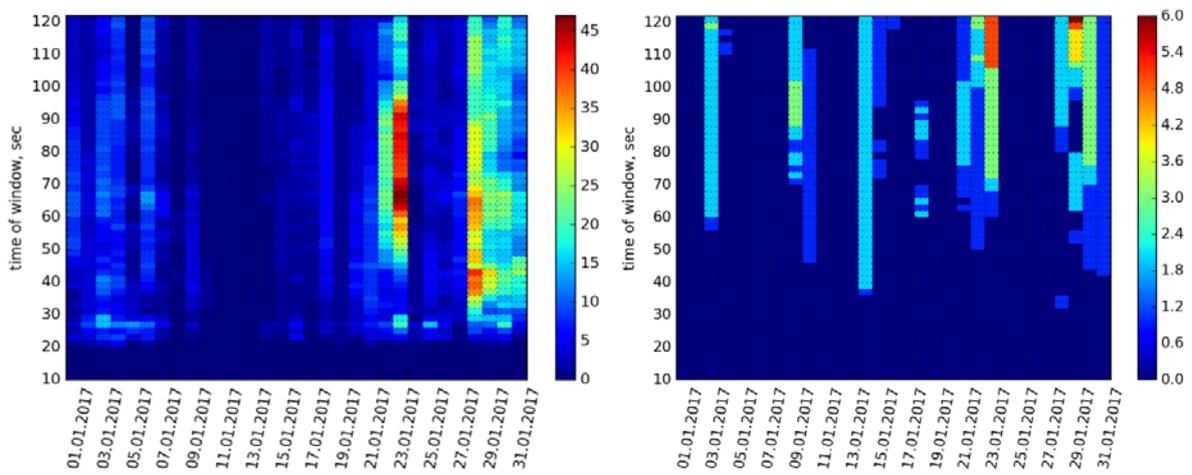


Рис. 4. Количество регистрируемых событий в зависимости от длительности сканирующего окна для января 2017. Справа количество регистрируемых спутников

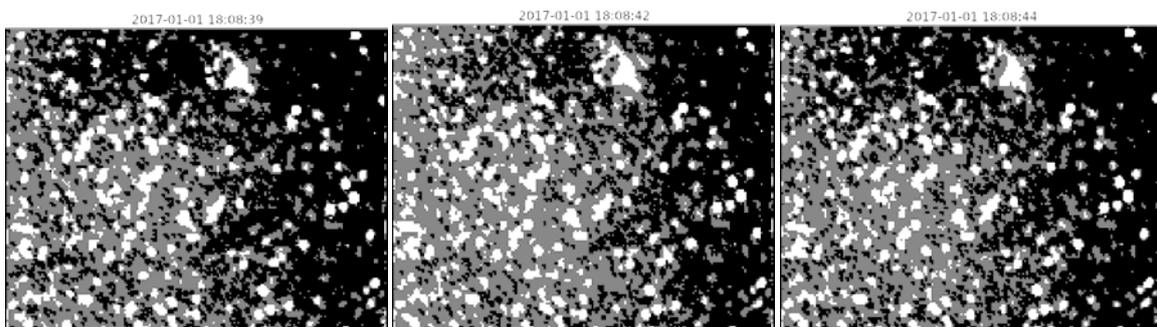


Рис. 5. Пример вспышки 01.01.2017 в 18:08:42 UT. Слева кадр до вспышки, посередине — в момент вспышки, справа после вспышки

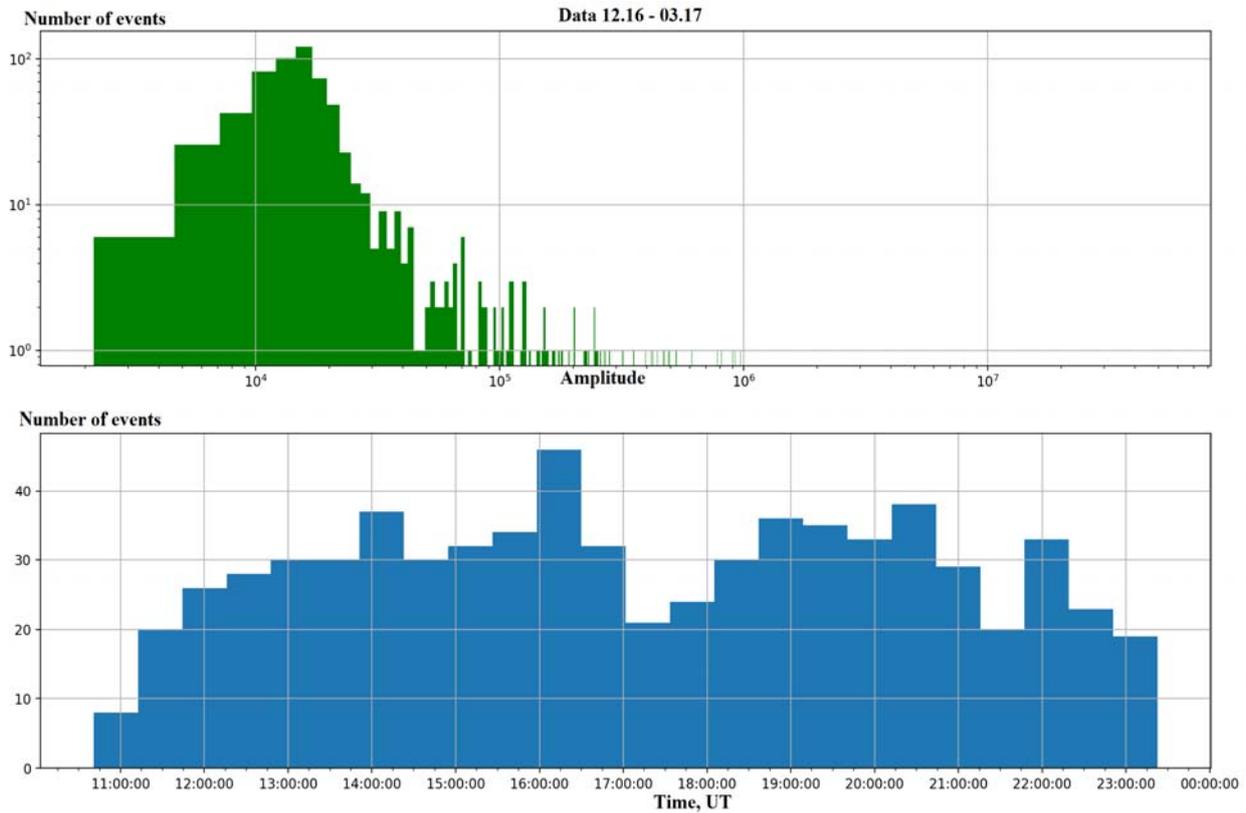


Рис. 6. Распределение зарегистрированных событий по времени суток и амплитуде за декабрь 2016 – март 2017 г.

системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера. Уникальный номер 0344-2014-0006. Регистрационный номер ЦИТиС-01201281656. Внутренний шифр института 200 005 100.

Список литературы

Михалев А.В., Белецкий А.Б. Характеристики оптических вспышек в излучении ночной атмосферы по данным мультиспектральных фотометрических и телевизионных наблюдений // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13, №. 4. С. 338–341. <http://ao.iao.ru/ru/content/vol.13-2000/iss.04/4>

Kuo C.L., Chen A.B., Chou J.K., et al. Radiative emission and energy deposition in transient luminous events // J. Phys. D: App. Phys. 2008. V. 41, N 23. DOI: 10.1088/0022-3727/41/23/234014.

Chen A.B., et al. Global distributions and occurrence rates of transient luminous events // J. Geophys. Res. 2008. V. 113, A08306. DOI: 10.1029/2008JA013101.

Lyons W.A. Sprite observations above the U.S. High Plains in relation to their parent thunderstorm systems // J. Geophys. Res. 1996. V. 101(D23). P. 29641–29652. DOI: 10.1029/96JD01866.

Ningyu Liu, Matthew G. McHarg, Hans C. Stenbaek-Nielsen. High-altitude electrical discharges associated with thunderstorms and lightning // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2015. V. 136, Pt. A. P. 98–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.05.013>.

Sato M., Ushio T., Morimoto T. et al. Overview and early results of the Global Lightning and Sprite Measurements mission // J. Geophys. Res. Atmos. 2015. V. 120. P. 3822–3851. DOI: 10.1002/2014JD022428.

Cummer S.A., Jaugey N., Li J. et al. Submillisecond imaging of sprite development and structure // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, L04104. DOI: 10.1029/2005GL024969.