

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРЫХ ОПТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НАЗЕМНОЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА ЗА ПЕРИОД С 2017 ПО 2019 гг.

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

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

RESULTS OF RECORDING FAST OPTICAL EVENTS BY GROUND-BASED MONITORING SYSTEMS FROM 2017 TO 2019

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

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
tid007@iszf.irk.ru

Аннотация. Работа представляет собой продолжение исследования, инициированного в 2017 г. В 2018 г., помимо постоянного мониторинга свечения ночного неба, проводилась серия экспериментов по регистрации быстрых вариаций пространственного распределения интенсивности излучения ночного неба в спектральном диапазоне 400–900 нм комплексом оптических приборов. В докладе представлены результаты экспериментов по синхронному наблюдению быстрых оптических явлений в атмосфере Земли. Приводится количество событий, одновременно зарегистрированных на нескольких устройствах. Описаны методы и алгоритмы для выделения событий из рядов данных.

Ключевые слова: быстрые оптические вспышки, атмосфера, ПЗС-камера, синхронные наблюдения, фотометр.

Abstract. The work continues the research started in 2017. In 2018 in addition to constant monitoring of the night sky glow, a series of experiments were carried out to register fast variations in the spatial intensity distribution of the night sky radiation in the spectral range of 400–900 nm by an optical instruments complex. The paper presents the results of experiments on the synchronous observation of fast optical phenomena in the Earth's atmosphere. The number of events recorded simultaneously on multiple devices is given. We describe methods and algorithms for extracting events from data series.

Keywords: rapid optical flashes, atmosphere, CCD camera, simultaneous observations, photometer.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование быстрых оптических явлений имеет большое значение в изучении физики верхней атмосферы Земли. В настоящее время для проведения экспериментов по поиску таких событий используются как спутниковые лаборатории — «Университетский-Татьяна», «Вернов», «Ломоносов» и др. [Panasyuk, 2018] — так и наземные системы с широким углом обзора, такие как WIDGET, RAPTOR, BOOTES, PI of the Sky и др. [Beskin, 2008]. Результаты наблюдений показывают, что регистрируемые быстрые оптические события могут быть как следствием физических процессов в атмосфере Земли (электрические разряды [Sato, 2015], гамма-всплески [Куо, 2008], метеорные потоки, потоки частиц высокой энергии), так и результатом человеческой деятельности (спутники, световое загрязнение и т. д.). В тоже время, существуют несколько возможных источников оптических вспышек, которые, в некоторых случаях, имеют сходные характеристики в своем оптическом проявлении, что ставит проблему их идентификации [Михалев, Белецкий 2000].

В нашей работе мы представляем результаты эксперимента по синхронному наблюдению быстрых оптических событий. Измерения проходили в период новолуний (приблизительно две недели) в безоблачную погоду на территории ГФО ИСЗФ СО РАН в марте, апреле, октябре и декабре 2018 г. В состав комплекса устройств входят (рис. 1):

1. Фотометр, собранный на базе ПЗС матрицы SONY ICX285AL и светосильного объектива Юпитер-3. Разрешение ПЗС матрицы (пикселей) 1392×1040, размер 2/3". Рабочий спектральный диа-

пазон 400–800 нм. Длительность экспозиции на период наблюдений — 1 с.

2. Высокочувствительная оптическая система. Система создана на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) 3-го поколения ЭПМ102Г-04-22С и камеры Baumer HXG40NIR на основе матрицы CMOSIS CMV4000 1 (2048×2048 пикселей, размер пикселя 5.5×5.5 мкм). Длительность экспозиции на период наблюдений — 200 мс.

3. Быстрый четырехканальный фотометр с датчиками на основе кремниевых фотоумножителей (временное разрешение ~10 мс). Датчики фотометра — четыре матрицы кремниевых фотоумножителей ArrayJ-60035-4P-EVB. Объективы SV-1214H с полем зрения ~30°.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ

На предыдущих этапах исследования было показано, что трудность в выделении событий вызывают вариации интенсивности свечения ночного неба (звезды, неравномерная облачность и пр. [Будник, Лунев, 2008]) на временных масштабах порядка нескольких минут. В ходе обработки было определено, что быстрые оптические события лучше выделяются из набора данных, если рассматривать статистические характеристики не интегральной величины, а ее производной. Для этого производилось вычитание предыдущего кадра изображения из последующего. При вычислении производной удается убрать тренд флуктуаций свечения ночного неба. Эффект от быстрых вспышек сильнее проявляется в поведении среднеквадратичного отклонения произ-



Рис. 1. Комплекс устройств, используемый в исследовании: фотометр (слева), ЭОП (посередине), быстрый четырехканальный фотометр (справа)

водной. После вычисления производной проводится выравнивание характеристики среднееквдратичного отклонения методом удаления тренда, разобранного в [Tkachev et al., 2017].

Используя методы и алгоритмы обработки данных, описанные в [Tkachev et al., 2017], был совершен анализ характеристики среднееквдратичного отклонения для ЭОПа и Фотометра, так как на этой характеристике лучше проявляются эффекты от быстрых оптических явлений. Результаты апрельских экспериментов представлены в таблице. Критерием отбора являлось превышения порога СКО в три сигма. В таблице, *a* показаны события, полученные при обработке характеристики интегральной интенсивности. Поиск одновременных по времени событий проводился вручную — путем визуального отбора. В таблице, *b* представлены результаты обработки статистических характеристик автоматическими алгоритмами, описанными в начале раздела. Одновременные события выделялись автоматически. По результатам обработки наблюдается увеличение, как количества зарегистрированных событий, так и событий, обнаруженных двумя устройствами одновременно. Это говорит о том, что разработанные алгоритмы позволяют более эффективно находить и выделять быстрые оптические вспышки из рядов данных. Также сократилось время обработки вследствие ненужности визуального просмотра данных. В тоже время можно наблюдать уменьшение количества зарегистрированных событий для фотометра на нескольких днях наблюдений. Это может быть связано с тем, что при выделении событий из рядов данных интегральной интенсивности, могли регистрироваться «шумовые» события (таблица, *a*). Так как тренд вариации интенсивности свечения ночного неба оказывал большое влияние на поиск событий по интегральной величине. Также перевес количества событий в сторону ЭОПа может быть вызван большим углом обзора и меньшим временным разрешением. Поэтому, в дальнейшем необходимо выделять одинаковый участок неба для обоих устройств.

Также был проведен анализ длительности всех зарегистрированных и одновременных событий. Гистограммы длительностей представлены на рис. 2. Большинство событий имеют длительность 1–2 с. К ним относятся флуктуации интенсивности свечения ночного неба, метеоры, «вспыхивающие» спутники и оптические вспышки, причиной которых являются

Пример одновременно зарегистрированных событий в апрельском эксперименте 2018 г.:

a) «ручная» обработка; *b*) автоматическая обработка

Дата измерений	2018 г.							
Устройство/	12.04.	14.04.	16.04.	17.04.	19.04.	20.04.	21.04.	22.04.
Фотометр	36	40	25	20	13	3	22	18
ЭОП	75	23	63	33	4	15	51	42
Количество совпадений	7 (2 спут.)	2	3	3	0	1	5 (1 метеор, 2 спут.)	3 (2 спут.)

b)

Дата измерений	2018 г.							
Устройство/	12.04.	14.04.	16.04.	17.04.	19.04.	20.04.	21.04.	22.04.
Фотометр	100	19	10	12	29	9	17	17
ЭОП	116	31	17	38	20	53	131	122
Количество совпадений	10	3	4	8	2	1	13	12

другие природные механизмы. Событиями с длительностями >2 с скорее всего являются искусственные спутники, а также события техногенного характера. Данные анализа позволяют дополнительно проводить сортировку событий, что сужает круг поиска искомым оптических вспышек природного характера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного этапа исследований был проведен ряд экспериментов по синхронному наблюдению оптических вспышек несколькими устройствами. В ходе обработки было определено, что быстрые оптические события лучше выделяются из набора данных, если рассматривать статистические характеристики не интегральной величины, а ее производной. По полученным данным был проведен сравнительный анализ работы двух методов обработки: первоначального, разработанного на прошлом этапе работы [Tkachev et al., 2017] и метода, описанного в данной статье. Новый метод продемонстрировал свою эффективность в выделении и поиске

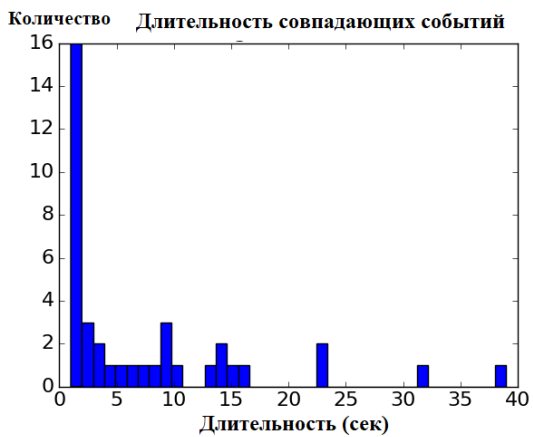
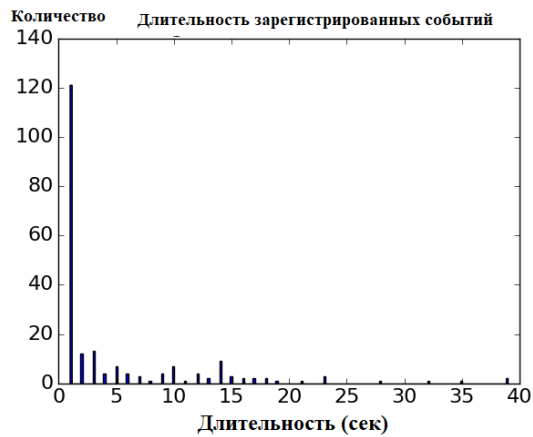


Рис. 2. Диаграмма длительностей событий. Диаграмма длительностей для всех зарегистрированных событий (сверху), для совпадающих событий (внизу)

одновременных оптических вспышек — количество событий увеличилось в сравнении с прошлой обработкой. Для найденных событий проведен анализ длительностей. Построены гистограммы зависимости количества событий от их длительности. Определенно две группы событий с длительностями 1–2 с и >2 с. Дальнейшей задачей является повышение точности синхронизации времени устройств. Используя разработанные алгоритмы и методы, необходимо провести анализ всей базы данных, накопленной за время реализации проекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00492).

Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Будник А.П., Лунев В.П. Свечение ночного неба. Обнинск : Гос. науч. центр Российской Федерации — Физико-энергетический ин-т им. А.И. Лейпунского, 2008. 61 с.

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.

Beskin G., et al. Monitoring with high temporal resolution to search for optical transients in the wide // field AIP Conference Proceedings. 2008. V. 984, N 73.

Kuo C., et al. Radiative emission and energy deposition in transient luminous events // Physics D: Applied Physics. 2008. V. 41, N 23.

Panasyuk M.I., et al. Study of transient electromagnetic events and magnetosphere electron flux dynamics on board small satellite missions vernov and lomonosov as experience for multi small satellite mission for monitoring of natural and artificial space hazards // Adv. Astron. Sci. 2018. V. 163. P. 53–59.

Sato M., et al. Overview and early results of the Global Lightning and Sprite Measurements mission // J. Geophys. Res. Atmos. 2015. V. 120. P. 3822–3851.

Tkachev I.D., et al. Recording optical flashes in the night atmosphere from CCD photometer // Proc. of SPIE. 2017. VI. 10466 1046648. P. 1–7.

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>.