

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ФОТОМЕТРОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИСЗФ СО РАН

**И.Д. Ткачев, Р.В. Васильев, А.Б. Белецкий, С.В. Подлесный, М.Ф. Артамонов**

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

## FIRST OBSERVATION RESULTS OF THE EARTH'S ATMOSPHERE USING PHOTOMETERS OF THE NATIONAL HELIOGEOPHYSICAL COMPLEX OF THE ISTP SB RAS

**I.D. Tkachev, R.V. Vasilyev, A.B. Beletsky, S.V. Podlesny, M.F. Artamonov**

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

**Аннотация.** Представлены результаты первых наблюдений фотометрами национального гелиогеофизического комплекса ИСЗФ СО РАН. Приводится описание используемых устройств. Рассмотрены примеры получаемых данных, а также возможности анализа и интерпретации получаемой информации. Показаны задачи и перспективы использования фотометров при совместной работе в оптическом комплексе.

**Ключевые слова:** фотометрия, фотоэлектронные умножители, собственное свечение атмосферы.

**Abstract.** We present first results of observations made with photometers of the National Heliogeophysical Complex of the ISTP SB RAS. A description of the devices used is given. Examples of obtained data are considered, as well as possibilities of analyzing and interpreting the information. The tasks and prospects for using photometers when working together in the optical complex are also presented.

**Keywords:** photometry, photomultiplier tube, airglow.

### ВВЕДЕНИЕ

В рамках мегапроекта по созданию Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) на базе ИСЗФ СО РАН в Геофизической обсерватории (с. Торы, 150 км от Иркутска), был построен новый оптический комплекс [Васильев и др., 2020]. В его состав вошли десять единиц нового оптического оборудования: интерферометры Фабри—Перо, камеры всего неба, спектрометры видимого и инфракрасного диапазона, а также быстрые фотометры (время интегрирования от 10 мс до 1 с). Основным акцент сделан на результатах первых наблюдений быстрых фотометров.

### ФОТОМЕТР С ОДИНОЧНЫМ ФИЛЬТРОМ И ПЕРЕМЕННЫМ ПОЛЕМ ЗРЕНИЯ

На рис. 1 (слева) показано изображение фотометра с одиночным фильтром и переменным полем зрения от компании KEO SCIENTIFIC LTD (Keo Arges — VF Photometer). Слева показаны кольца, которые защищают от боковой засветки, а также обеспечивают требуемое поле зрения фотометра. Внутри колец ближе к их основанию расположен быстрый защитный затвор с датчиком яркости света (срабатывание меньше чем за 100 мс). Далее находится кассета для интерференционного светофильтра. В данной реализации устройства использована кассета с возможностью использования только одного светофильтра. Ширина полосы пропускания фильтра 2.0 нм. Рабочая температура 23° С. Длины волн 427.8, 557.7, 630.0, 843.0 нм. После светофильтра расположена фокусирующая линза. Основным объективом является высококачественный моторизованный зум-объектив  $f/1.5$  с выбираемым фокусным расстоянием от 10 до 250 мм., что позволяет изменять поле

зрения от 1.1° до 10°. Основой фотометра является ФЭУ с термозлектрическим охлаждением и GaAs-фотокатодом (арсенид-галлиевый) диаметром 5 мм. Модель ФЭУ Hamamatsu H7421-50. Спектральный диапазон 380–890 нм. Максимальная скорость счета 50 МГц. Чтобы свести к минимуму потери сигнала, согласованный USB-счетчик Hamamatsu C8855-01 располагается в непосредственной близости от счетной головки фотонов и преобразует импульсы в цифровой сигнал, который затем отправляется на компьютер через быстрое соединение USB. Управление затвором, линзой и параметрами ФЭУ осуществляется с помощью контроллера (в центре). Справа показаны два из четырех фотометров, установленных в обсерватории. Все оборудование установлено на специальных подъемниках, разработанных в ИСЗФ СО РАН. Подъемники осуществляют защиту от дневного солнечного света, а также обеспечивают удобное обслуживание оборудования. Фотометры закреплены на азимутальной установке, чтобы иметь возможность осуществлять мониторинг по всему небу, а также возможность участия в экспериментах по сопровождению искусственных и естественных объектов в атмосфере Земли.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

Начиная с июля 2021 г. осуществляется мониторинг ночного свечения атмосферы новыми фотометрами НГК. Для уменьшения естественной засветки, как и большинство оборудования обсерватории, фотометры были направлены на север на полярную звезду (~52° над горизонтом). Экспозиция одного измерения составляет 10 мс, поле зрения 5°. В ходе интерпретации получаемых данных потребовалось решить проблему с детектированием облач-



Рис. 1. Слева — Keo Arges — VF Photometer. По центру — управляющий контроллер. Справа — фотометры на рабочем месте в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН

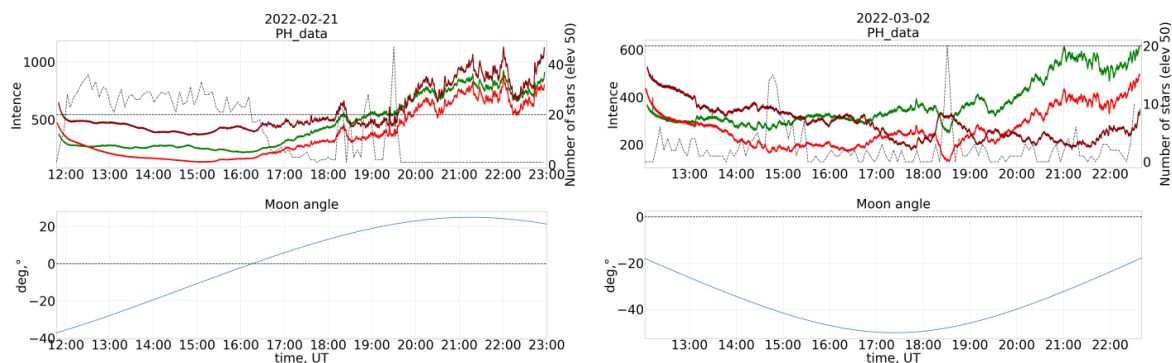


Рис. 2. Изменение интенсивности свечения ночного неба. Цветом обозначены кривые атмосферной эмиссии: красная — 630 нм, зеленая — 557.7 нм, бордовая — 843 нм. На верхних панелях пунктирной линией указано количество звезд в наблюдаемой области, прямая линия — минимальный порог количества звезд. На нижних панелях синяя кривая показывает изменение угла возвышения Луны над горизонтом: слева — ночь с луной, справа — ночь с облачностью

ности, а также влиянием света, отраженного от лунной поверхности. Эти два фактора могут вносить весомый вклад в вариации интенсивности регистрируемого свечения. Поэтому при построении ночного хода свечения атмосферы определяется также изменение угла возвышения Луны над горизонтом и вариации количества звезд в области наблюдения [Белецкий и др., 2020]. На рис. 2 показано изменение интенсивности излучения ночного неба на разных линиях атмосферной эмиссии для лунной ночи (слева) и для ночи с облачностью (справа).

Слева видно, как с ростом угла возвышения Луны над горизонтом начинает повышаться интенсивность свечения. При появлении облачности увеличивается дисперсия изменения интенсивности свечения (рис. 2. справа). С помощью дополнительных инструментов удастся определять временные отрезки в данных, которые будут пригодны для анализа поведения интенсивности свечения атмосферных эмиссий.

### НАБЛЮДЕНИЯ БЫСТРЫХ СОБЫТИЙ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Основной задачей высокочувствительных быстрых фотометров является детектирование быстрых событий в атмосфере Земли. 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 (спут-

ники, световое загрязнение и т. д.). В то же время существует несколько возможных источников оптических вспышек, которые в некоторых случаях имеют сходные характеристики в своем оптическом проявлении, в связи с чем возникает проблема их идентификации [Михалев, Белецкий, 2000]. Поэтому постоянный мониторинг и накопление базы данных таких событий поможет больше узнать о природе явлений, описанных выше. На рис. 3 показан пример уже обработанных данных: удален тренд ночного хода интенсивности эмиссии — тем самым удастся выделить быстрые процессы на фоне медленного изменения интенсивности свечения атмосферы. Более подробно исследования по изучению быстрых оптических вспышек и алгоритмов их регистрации и сортировки можно найти в [Tkachev et al., 2017; Tkachev et al., 2019].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые фотометры НГК позволяют ставить и решать научные задачи широкого спектра. Благодаря малому времени интегрирования (от 10 мс) возможно изучение изменения интенсивности свечения быстрых явлений, происходящих в атмосфере Земли (атмосферное электричество, метеорные потоки, оптические вспышки неизвестной природы, гамма-всплески, потоки частиц высоких энергий), с высоким временным разрешением. С помощью вращения инструментов на азимутальной монтировке можно проводить эксперименты по сопровождению объектов, оперативному перемещению устройств в необходимую часть неба при наблюдении дальних гроз

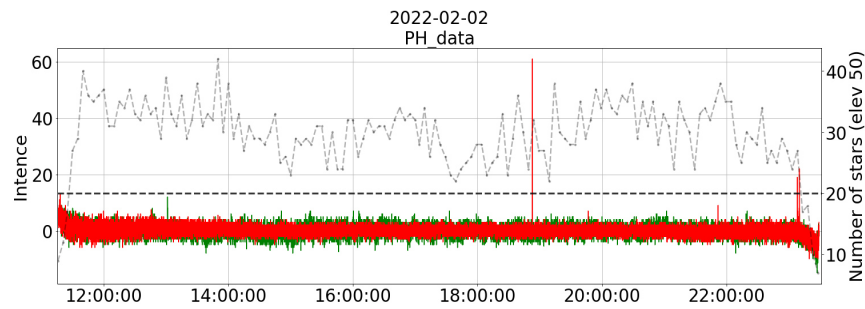


Рис. 3. Пример регистрации быстрых событий по данным фотометров оптического комплекса. Усреднение по 1 с. Красная кривая — 630 нм., зеленая — 557.7 нм. Штриховой линией показаны вариации количества звезд в области наблюдения, прямая штриховая линия — минимальный порог количества звезд. Время UT

для возможности регистрации свечения от высотных молниевых разрядов. Наблюдение явлений в атмосфере Земли, как быстрых (~1 с), так и медленных (~десятки минут), комплексом оптических инструментов позволяет проводить более глубокий анализ причин происходящих процессов. Накопленная база знаний по интерпретации данных, а также алгоритмам и методам поиска быстрых оптических вспышек позволяет использовать фотометры НГК в полном объеме возможностей.

Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А. и др. Оценка прозрачности атмосферы на основе данных широкоугольных оптических систем, предназначенных для регистрации свечения ночного неба в узких спектральных диапазонах. *Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. Москва: ИКИ РАН, 2020. С. 135. DOI: [10.21046/18DZZconf-2020a](https://doi.org/10.21046/18DZZconf-2020a).

Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б. и др. Научные задачи оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса. *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 2. С. 105–122. DOI: [10.12737/szf-62202008](https://doi.org/10.12737/szf-62202008).

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.

Kuo C.L., et al. Radiative emission and energy deposition in transient luminous events. *Physics D: Applied Physics*. 2008. Vol. 41, no. 23.

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

Tkachev I.D., et al. Recording optical flashes in the night atmosphere from CCD photometer. *Proc. SPIE*. 2017. Vol. 10466 1046648 1-7.

Tkachev I.D., et al. Simultaneous observations of fast optical events in the Earth's atmosphere by optical devices complex. *Proc. of SPIE*. 2019. Vol. 11208 112089C. DOI: [10.1117/12.2540839](https://doi.org/10.1117/12.2540839).