Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2026. С. 366–369.

УДК: 551.511.31; 551.510.535
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-366
ORCID: 0009-0007-7825-0367

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ КАМЕРЫ ВСЕГО НЕБА С ФИЛЬТРОМ 630.0 НМ

Г.С. Теленков[1], И.И. Колтовской[1]

Институт Космофизических Исследований и Аэрономии им. Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия,
telgs@ikfia.ysn.ru

VISUALIZATION OF WAVE STRUCTURES IN THE UPPER ATMOSPHERE ACCORDING TO 630.0-NM ALL-SKY CAMERA DATA

G.S. Telenkov[1], I.I. Koltovskoi[1]

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, telgs@ikfia.ysn.ru

Аннотация. В работе рассматривается применение камеры всего неба на основе ПЗС-регистратора PIXIS 1024B для регистрации изображений ночного неба в области красной эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм. Использование узкополосного интерференционного фильтра 630.0 нм позволяет выделить узкий спектральный диапазон свечения верхней атмосферы и уменьшить вклад фонового излучения. Представлено описание основных элементов камеры всего неба, включая регистратор, оптическую систему и интерференционный фильтр. Получены снимки небесной полусферы с фильтром и без фильтра, что позволяет оценить влияние спектральной селекции на регистрируемое изображение. Эти данные могут быть использованы в дальнейшем для накопления серий наблюдений и разработки методов первичной обработки, направленных на выявление пространственных структур свечения верхней атмосферы.

Ключевые слова: камера всего неба, PIXIS 1024B, эмиссия OI 630.0 нм, интерференционный фильтр, верхняя атмосфера, волновые структуры.

Abstract. This paper considers application of the all-sky camera based on the PIXIS 1024B CCD detector for recording night-sky images in the red atomic oxygen emission OI 630.0 nm. The use of a narrow-band interference 630.0-nm filter makes it possible to isolate a narrow spectral range of upper-atmosphere airglow and reduce the contribution of background radiation. The main elements of the all-sky camera, including the detector, optical system, and interference filter, are described. Test images of the celestial hemisphere obtained with and without the filter are presented, allowing us to assess the influence of spectral selection on the recorded signal. These data may be used for further accumulation of observation series and for the development of primary image-processing methods aimed at identifying spatial structures in upper-atmosphere airglow.

Keywords: all-sky camera, PIXIS 1024B, OI 630.0 nm emission, interference filter, upper atmosphere, wave structures.

ВВЕДЕНИЕ

Волновые процессы в верхней атмосфере играют важную роль в переносе энергии и импульса между различными слоями атмосферы. Они оказывают влияние на температурный режим, динамику и структуру верхней атмосферы и ионосферы. К таким процессам относятся внутренние гравитационные волны, приливные и планетарные волны, а также перемещающиеся ионосферные возмущения [Hocke, Schlegel, 1996; Афраймович и др., 2001]. Изучение их пространственно-временных характеристик представляет интерес как для фундаментальных задач физики атмосферы, так и для прикладных исследований состояния околоземной среды.

Одним из эффективных методов наблюдения волновых и неоднородных структур в верхней атмосфере является регистрация свечения ночного неба с помощью камер всего неба. Такие системы позволяют получать широкоугольные изображения небесной полусферы и фиксировать пространственные неоднородности свечения атмосферы. При наличии последовательности изображений появляется возможность в дальнейшем исследовать динамику наблюдаемых структур, их перемещение и характерные масштабы.

Особый интерес представляет регистрация красной эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм, связанной с процессами в верхней атмосфере и F-области ионосферы. Использование узкополосного интерференционного фильтра позволяет выделить излучение вблизи длины волны 630.0 нм и уменьшить вклад постороннего фонового излучения. Это повышает спектральную селективность наблюдений и делает такие данные перспективными для дальнейшего изучения волновых структур в верхней атмосфере [Шиндин и др., 2014; Леонович и др., 2019].

В настоящей работе рассматривается камера всего неба на основе ПЗС-регистратора PIXIS 1024B, оснащенная узкополосным интерференционным фильтром 630.0 нм. Основное внимание уделено описанию используемой аппаратуры, характеристике фильтра и получению тестовых изображений небесной полусферы. Также выполнено визуальное сравнение изображений, полученных с фильтром и без фильтра, что позволяет оценить влияние спектральной селекции на регистрируемое изображение.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для регистрации изображений ночного неба используется камера всего неба на основе ПЗС-регистратора Princeton Instruments PIXIS 1024B (рис. 2а). Оптическая схема камеры, показанная на рис. 1, включает объектив типа «рыбий глаз» с углом зрения около 180° (1), линзу поля (2), конденсорную линзу (3), интерференционный фильтр (4), объектив (5) и регистрирующее устройство (6). Такая схема позволяет получать широкоугольные изображения небесной полусферы.

Регистратор PIXIS 1024B имеет ПЗС-матрицу размером 1024 × 1024 пикселей с размером пикселя 13 × 13 мкм [http://www.kosinc.co.kr /file/product_pdf]. Термоэлектрическое охлаждение регистратора снижает уровень теплового шума и повышает чувствительность системы при длительных экспозициях. В таблице 1 показаны основные характеристики регистратора PIXIS 1024B.

Таблица 1. Основные характеристики регистратора PIXIS 1024B от Princeton Instruments.

Тип датчика	**E2V CCD 47-10**
Формат ПЗС-матрицы	1024 x 1024 пикселей изображения; 13 x 13 мкм пикселей; коэффициент заполнения 100%
Область изображения	13,3 x 13,3 мм
Самая низкая температура охлаждения	-70°C типичная; -65°C гарантированная, указана при температуре окружающей среды +20°C
Точность термостатирования	±0,05°C
Метод охлаждения	Термоэлектрическое - воздушное или жидкостное охлаждение
Скорость/разряды АЦП	100 кГц/16 бит и 2 МГц/16 бит
Интерфейс передачи данных	USB2.0
Рабочая среда	от +5 до +30°C без конденсации влаги
Размеры / Вес	16,59 см x 11,81 см x 11,38 см (Д x Ш x В) / 2,27 кг

Для регистрации свечения верхней атмосферы в выбранном спектральном диапазоне используется узкополосный интерференционный фильтр 630.0 нм [https://keoscientific.com/products/interference-filters]. Центральная длина волны фильтра составляет 630.0 нм, полоса пропускания — 2.0 нм, диаметр фильтра — 50 мм. Данный фильтр предназначен для выделения красной эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм, которая является одной из важных оптических эмиссий верхней атмосферы.

Камера размещается в защитном корпусе (рис. 2б), предназначенном для эксплуатации в условиях открытой площадки. Корпус защищает оптическую систему и регистратор от внешних факторов, включая влагу, пыль и низкие температуры. В конструкции предусмотрен защитный купол и обогрев корпуса с терморегулятором. Управление камерой осуществляется с помощью программного обеспечения Tiandiren DCAI Acquire Software, разработанного совместно с NSSC CAS (National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences). С его помощью можно задавать основные параметры съемки: экспозицию, температуру охлаждения, режим биннинга и усиление.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В ходе работы были получены тестовые изображения небесной полусферы без фильтра (рис. 3а) и с узкополосным интерференционным фильтром 630.0 нм (рис. 3б). Съемка без фильтра позволяет получить изображение ночного неба в широком спектральном диапазоне, включающем вклад фонового излучения и посторонней засветки. При использовании фильтра регистрируется более узкий спектральный диапазон, соответствующий области красной эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм.

Сравнение тестовых изображений показывает влияние фильтра на регистрируемый сигнал: уменьшается вклад излучения вне полосы пропускания, а наблюдения становятся более селективными по спектральному диапазону. Полученные изображения подтверждают возможность использования камеры всего неба на основе PIXIS 1024B с фильтром 630.0 нм для дальнейшей регистрации свечения верхней атмосферы и визуализации пространственных структур.

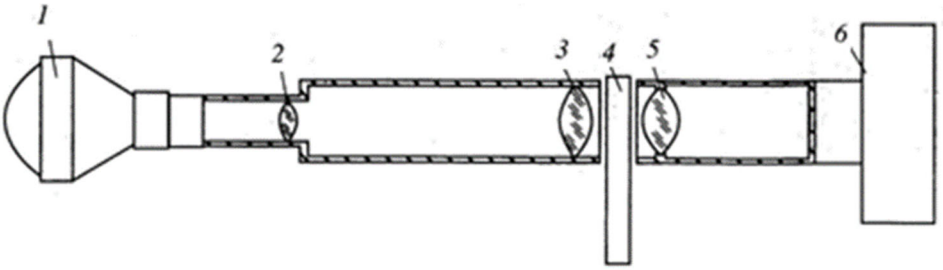

Рис. 1 – Оптическая схема камеры всего неба

Рис. 2а – вид камеры всего неба на стойке, *рис. 2б* – в термозащитном корпусе

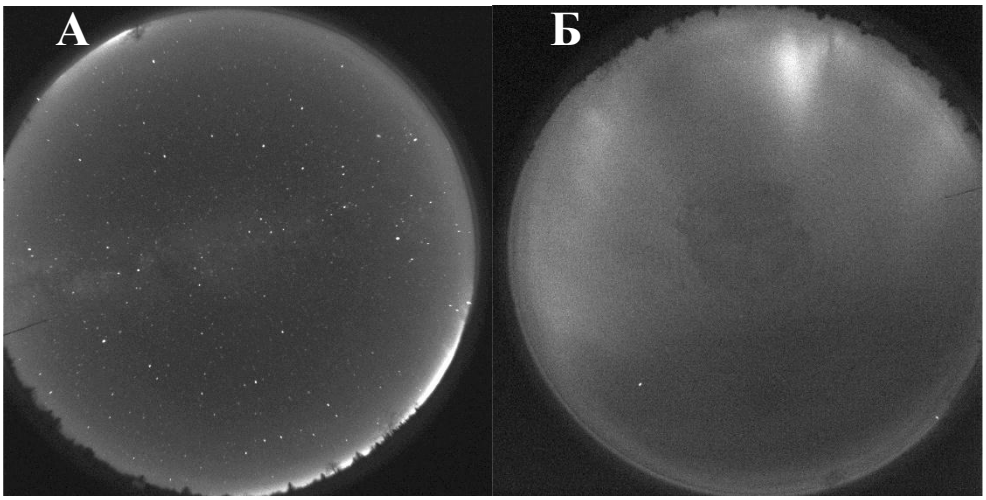

Рис. 3а - вид кадра съемки камерой всего неба на оптическом полигоне Маймага (63° с. ш., 129,5° в.д.) без фильтра с экспозицией 20 с, *рис. 3б* – с фильтром 630.0 нм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрено применение камеры всего неба на основе ПЗС-регистратора PIXIS 1024B для регистрации изображений ночного неба в области красной эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм. Описаны основные элементы оптической системы камеры, включая объектив типа «рыбий глаз», линзы, узкополосный интерференционный фильтр и регистрирующее устройство.

Используемый интерференционный фильтр 630.0 нм позволяет выделить узкий спектральный диапазон, соответствующий эмиссии OI 630.0 нм, и уменьшить вклад излучения вне полосы пропускания. Это повышает селективность регистрации свечения верхней атмосферы.

В ходе работы получены тестовые изображения небесной полусферы без фильтра и с фильтром 630.0 нм. Сравнение изображений показало влияние спектральной селекции на регистрируемый сигнал. Полученные результаты подтверждают работоспособность системы регистрации и возможность дальнейшего использования камеры всего неба для наблюдений свечения верхней атмосферы.

Дальнейшая работа будет направлена на накопление серий наблюдений, отбор интервалов с выраженными пространственными структурами.

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ 126021217280-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афраймович Э. Л., Косогоров Е. А., Лесюта О. С., Ушаков И. И. Спектр перемещающихся ионосферных возмущений по данным глобальной сети GPS // Известия вузов. Радиофизика. 2001. Т. XLIV, № 10. С. 828–839.

Леонович Л.А., Тащилин А.В., Лунюшкин С.Б., Караваев Ю.А., Пенских Ю.В. Изучение источников

эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время сильных магнитных бурь в ночной среднеширотной ионосфере // Солнечно-земная физика. 2019. № 2. С. 35–41.

Шиндин А.В., Грач С.М., Клименко В.В. и др. Оптическое свечение на длинах волн 630 и 557,7 нм при воздействии на ионосферу мощным радиоизлучением // Известия вузов. Радиофизика. 2014. Т. 57, № 11. С. 849–864.

Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995 // Annales Geophysicae. 1996. V. 14. P. 917–940.

Keo Scientific. Interference Filters [Электронный ресурс]. URL: https://keoscientific.com/products /interference-filters/ (дата обращения 12.05.2026).

Princeton Instruments. PIXIS-XO: 1024B [Электронный ресурс]. URL: http://www.kosinc.co.kr/file/ product_pdf/PIXIS-XO_1024B_datasheet.pdf (дата обращения 12.05.2026).