
СВЕЧЕНИЕ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В RGB ЦВЕТОВОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

NIGHT AIRGLOW IN RGB MODE

А.В. Михалев*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, mikhalev@iszf.irk.ru***С.В. Подлесный***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, step8907@mail.ru***П.В. Стоева***Институт космических исследований и технологий БАН,
Стара Загора, Болгария, penm@abv.bg***A.V. Mikhalev***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, mikhalev@iszf.irk.ru***S.V. Podlesny***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, step8907@mail.ru***P.V. Stoeva***Space Research and Technology Institute BAS,
Stara Zagora Department, Stara Zagora, Bulgaria,
penm@abv.bg*

Аннотация. С целью исследования динамики верхней атмосферы рассматриваются результаты фотометрии ночной атмосферы с применением цветной ПЗС-камеры с учетом собственного излучения верхней атмосферы и особенностей его спектрального состава.

Использовались данные наблюдений свечения ночной атмосферы за 2010–2015 гг. в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) камерой с охлаждаемой цветной ПЗС-матрицей KODAK KAI-11002. Получены оценки средней светимости ночного неба в спектральных диапазонах R-, G-, B-каналов цветной камеры для региона Восточной Сибири с характерными значениями $\sim 0.008\text{--}0.01$ эрг·см⁻²·с⁻¹. Определен сезонный ход светимостей ночного неба в R-, G-, B-каналах цветной камеры, характеризующихся понижением в весенние месяцы, возрастанием в осенние месяцы и наличием летнего максимума, который объясняется рассеянным солнечным светом и связан с месторасположением Геофизической обсерватории. Рассматриваются геофизические явления, имеющие оптические проявления в R-, G-, B-каналах цветной камеры. Показана возможность для некоторых геофизических явлений (геомагнитных бурь, внезапных зимних стратосферных потеплений) количественно связывать усиление сигналов в G- и R-каналах с ростом интенсивностей дискретных эмиссий 557.7 и 630.0 нм, которые доминируют в спектре собственного излучения верхней атмосферы.

Ключевые слова: свечение атмосферы, фотометрия.

Abstract. To study dynamics of the upper atmosphere, we consider results of the night sky photometry, using a color CCD camera and taking into account the night airglow and features of its spectral composition.

We use night airglow observations for 2010–2015, which have been obtained at the ISTP SB RAS Geophysical Observatory (52° N, 103° E) by the camera with KODAK KAI-11002 CCD sensor. We estimate average brightness of the night sky in R, G, B channels of the color camera for eastern Siberia with typical values ranging from ~ 0.008 to 0.01 erg·cm⁻²·s⁻¹. Besides, we determine seasonal variations in the night sky luminosities in R, G, B channels of the color camera. In these channels, luminosities decrease in spring, increase in autumn, and have a pronounced summer maximum, which can be explained by scattered light and is associated with the location of the Geophysical Observatory. We consider geophysical phenomena with their optical effects in R, G, B channels of the color camera. For some geophysical phenomena (geomagnetic storms, sudden stratospheric warmings), we demonstrate the possibility of quantitative relationship between enhanced signals in R and G channels and increases in intensities of discrete 557.7 and 630 nm emissions, which are predominant in the airglow spectrum.

Keywords: airglow, photometry.

ВВЕДЕНИЕ

Свечение ночной атмосферы (СНА) можно разделить на свечение, обусловленное внеатмосферными источниками (звезды, планеты, туманности), и свечение земного происхождения, к которому относятся собственное излучение верхней атмосферы, рассеянный в тропосфере свет от внеземных источников и многократно рассеянный солнечный свет в области земной тени. В ясные безлунные ночи доля собственного излучения верхней атмосферы может достигать 60 % и более [Фишкова, 1983]. Собствен-

ное излучение несет ценную информацию об аэрономических процессах на высотах его высвечивания.

Составляющие свечения ночной атмосферы представляют самостоятельный интерес и, как правило, исследуются независимо друг от друга.

Между тем, в настоящее время появляются задачи, для решения которых требуются знания морфологии полной (в некотором спектральном диапазоне) интенсивности СНА. Прежде всего, это задачи, связанные с климатическими изменениями характеристик атмосферы [Шефов и др., 2006], и, в частности,

с динамикой интегрального СНА, тенденциями и изменениями характеристик полярных сияний по сравнению с предыдущими веками [Vázquez et al., 2016]. Во-вторых, СНА является параметром, определяющим минимальную ночную освещенность, которую необходимо знать в ряде случаев для решения практических задач, связанных, например, с работой оптических систем наземного и космического базирования [Зуев и др., 1990], особенностями зрения человека и животных в условиях низких освещенностей, астрономическими наблюдениями [Leinert et al., 1998].

Следует отметить, что в последние годы большое внимание уделяется также световому загрязнению атмосферы. В этом случае СНА является естественным фоном, относительно которого может быть определен уровень светового загрязнения, что, в частности, определяет необходимость знания морфологии и физики собственного излучения верхней атмосферы в различных гелиогеофизических условиях.

Во многом появление отмеченных выше задач, как и возможности их решений, обусловлены в последние десятилетия широким внедрением в практику астрономических, атмосферных и прикладных исследований принципиально новых высокочувствительных приемников света на основе ПЗС-матриц.

Широкое использование современных фотокамер на основе цветных ПЗС-матриц и появившаяся практика публикации снимков в Интернете во время планетарных гелиогеофизических возмущений (большие геомагнитные бури, падение крупных метеоритов и пр.) открывает потенциальную возможность использования таких снимков в исследованиях СНА для получения информации об атмосферных возмущениях в регионах, в которых отсутствуют специализированные геофизические станции. Для этого необходима информация о реакции свечения атмосферы в спектральных диапазонах, используемых в цветовых каналах аппаратуры, на возмущения различной природы.

В настоящей работе представлены некоторые результаты исследований СНА в 2010–2015 гг. в ГФО с использованием цветной камеры.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Аппаратура

Камера собрана на основе охлаждаемой цветной ПЗС-матрицы KODAK KAI-11002 (камера «Видеоскан-11002», разработка НПО «Видеоскан», [http://videoscan.ru/]). В качестве входного используется объектив «Мир-20» (фокусное расстояние 20 мм, относительное отверстие 1:3.5). Камера помещена в кожух с термостабилизацией, установлена на поворотной турели и ориентирована в северную часть небосвода в область полюса мира. С помощью термоэлектрического элемента Пельтье осуществляется охлаждение непосредственно матрицы на 25° относительно температуры в кожухе камеры. Датчик температуры, установленный на матрице, позволяет программно контролировать ее рабочую температуру. Угловое поле зрения камеры составляет ~90°, разрешение матрицы — 4004×2671 пикселей.

Выбор времени экспозиции

Для надежной регистрации собственного излучения верхней атмосферы обеспечивалась световая нагрузка всех пикселей матрицы, превышающей уровень шума, что достигалось выбором соответствующей экспозиции. В соответствии с этим требованием для регулярных наблюдений время экспозиции составляло 300 с.

На рис. 1 показана гистограмма типичной световой загрузки матрицы. Регистрация СНА практически всегда сопровождалась регистрацией спектра или основных эмиссионных линий излучения верхней атмосферы.

Распределение составляющих СНА по R-, G-, B-каналам матрицы

Согласно [Фишкова, 1983], излучение верхней атмосферы в видимой области спектра в ясные безлунные ночи вносит наибольший вклад в интегральное излучение свечения ночного неба. На рис. 2 показаны схематичный средний спектр ночного излучения верхней атмосферы (а) и спектральная чувствительность матрицы KODAK KAI-11002 (б). Следует отметить, что одним из интенсивных компонентов излучения верхней атмосферы по суммарной интенсивности в спектральных диапазонах чувствительности R-, G-, B-каналов камеры является континуум. В отсутствие полярных сияний в сигнал R-канала могут вносить вклад эмиссии молекулы гидроксила в ближней инфракрасной области спектра [Аммосов, Гаврильева, 1999]. При этом эмиссия атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630.0 нм, которые являются наиболее яркими дискретными линиями как в полярных сияниях, так и в свечении верхней атмосферы, приходится на разные цветовые каналы G и R соответственно и расположены в областях максимумов спектральных чувствительностей этих каналов. В средних широтах интенсивности этих эмиссий во время некоторых геофизических явлений, например геомагнитных бурь (эмиссия [OI] 630 нм) и внезапных зимних стратосферных потеплений (эмиссия [OI] 557.7 нм) могут возрастать на порядок и более [Mikhalev et al., 2001; Михалев и др., 2004]. Это позволяет рассмотреть возможность для указанных геофизических явлений количественно связывать увеличение сигналов по G- и R-каналам с ростом интенсивностей дискретных эмиссий 557.7 и 630.0 нм.

Уменьшение вклада звездной составляющей и его вариации в интегральное излучение может быть обеспечено выбором соответствующей площадки изображения небосвода в окрестности полюса мира.

Абсолютная калибровка

Оценка абсолютной чувствительности камеры осуществлялась по эталонной звезде Дубхе (Dubhe, alpha Ursae Majoris — альфа Большой Медведицы, α UMa) видимая звездная величина 1.79^m), изображение которой попадало в поле зрения камеры и регистрировалось непосредственно в процессе наблюдения СНА каждую ясную ночь на всех кадрах в течение ночи. Методика абсолютной калибровки заключалась в том, что выбиралось несколько

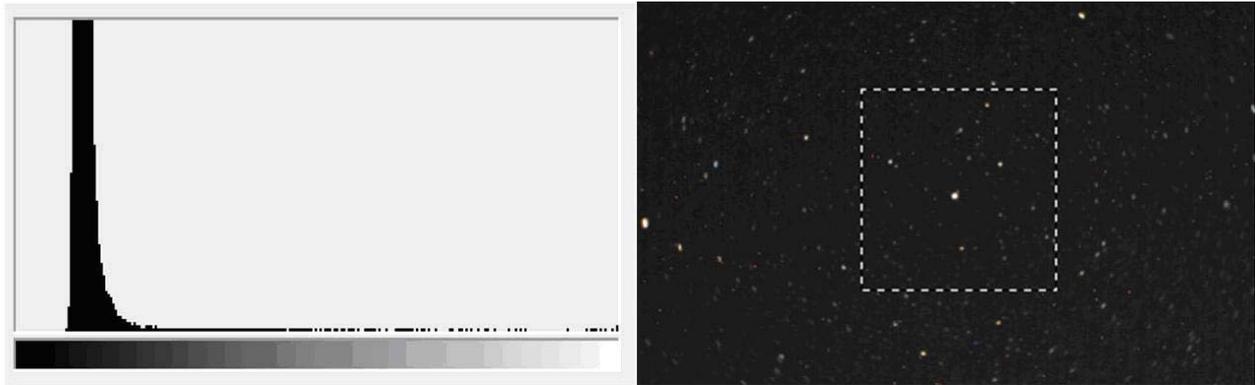


Рис. 1. Световая нагрузка матрицы. Слева — гистограмма уровней загрузки пикселей матрицы, растянутая в четыре раза от первоначального. Справа — увеличенный участок изображения. Штриховой квадрат — область, используемая для получения гистограммы

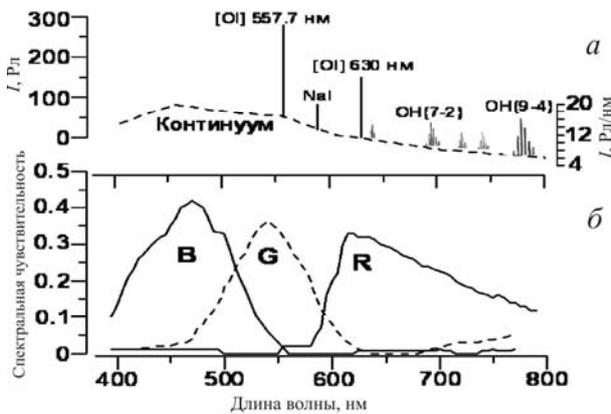


Рис. 2. Схематичный средний спектр ночного излучения верхней атмосферы (а) и спектральная чувствительность матрицы KODAK KAI-11002 (б)

ясных ночей. Затем для изображений, полученных в эти ночи, для каждого из цветовых каналов RGB путем свертки спектральных чувствительностей матрицы, приведенных на рис. 1, и спектрального энергетического распределения звезды Дубхе вычислялись энергетические освещенности пикселей матрицы, формирующих изображения звезды. В нашем случае из-за длительных экспозиций изображения звезды регистрировались в виде треков (рис. 3). Затем сопоставлялись сигналы загрузки пикселей матрицы в изображении звезды и соседних пикселей в изображении фона по отсчетам аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в предположении, что загрузка пикселей в изображении фона собственно и осуществляется СНА. Полученные величины освещенностей позволяли оценить энергетическую величину отсчета АЦП (в эрг/(см²·с·отсчет) для пересчета регистрируемых светимостей ночной атмосферы в другие ночи.

Следует отметить, что дискретный характер изображений, получаемых в цифровых камерах, вызывает некоторые трудности при количественном анализе изображений. В частности, точечное изображение звезды в идеальном случае может засветить один пиксель матрицы. Идеальность в нашем случае означает, что используемая оптика формирует изображение точечного объекта, размеры которого меньше размеров пикселя матрицы. Регистрируемое изображение не попадает на границу двух и более

соседних пикселей. Реально получаемые изображения зависят от амплитудно-частотных характеристик оптики, времени экспозиции и других факторов. На рис. 3 показаны изображения звезды Дубхе, полученные в течение шести ночей 8–13 октября 2015 г. (а), и для сравнения — изображение Полярной звезды (альфа Малой Медведицы, α UMi) (б).

Размеры и характер размытия получаемых изображений звезд (точечных источников) в нашем случае обусловлены разрешением используемого объектива (~50 лин/мм) и режимом работы камеры (бининг 2×2, экспозиция 300 с). Оценка абсолютной калибровки камеры и определение энергетической светимости ночного неба осуществлялись сопоставлением средних значений АЦП отдельно по каждому цветовому R-, G-, B-каналу матрицы в области изображений звезды Дубхе и в соседних областях, не содержащих звезд.

Использовались данные о спектральном энергетическом распределении звезды Дубхе [Харитонов и др., 1978].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Суточные и сезонные вариации СНА

При интерпретации данных наблюдений достаточно часто возникает необходимость иметь информацию о суточных и сезонных вариациях СНА. На рис. 4 показаны примеры ночного хода СНА в RGB-каналах, которые указывают на некоторое его разнообразие. При этом амплитуда вариаций ночного хода СНА в безлунные ночи относительно невелика и в среднем меньше амплитуд основных мезосферных эмиссий OI 557.7 нм, Na и OH [Фишкова, 1983; Михалев, 2011; Mikhalev, 2011].

Сезонный ход СНА, полученный по данным за 2010–2015 гг. для рассматриваемого региона, имеет выраженную регулярность, включающую снижение величины светимости в весенние месяцы, летний максимум и рост светимости в осенние месяцы. На рис. 5 показан сезонный ход СНА в R-канале. Толстой линией показан средний сезонный ход СНА в R-канале в 2010–2015 гг., тонкими линиями показаны сезонные вариации в отдельные годы рассматриваемого периода. Летний максимум мы объясняем рассеянным

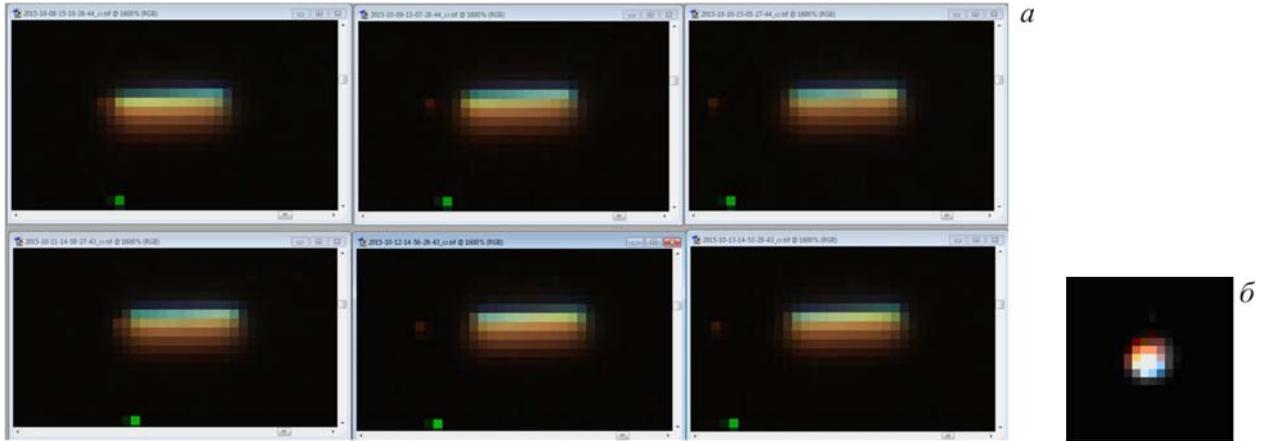


Рис. 3. Изображения звезды Дубхе, полученные в течение шести ночей 8–13 октября 2015 г. (а), и изображение Полярной звезды (альфа Малой Медведицы, α UMi) (б). Время экспозиции 300 с. Биннинг 2×2

Некоторые компоненты светимости ночного неба по данным настоящей работы (R,G,B) и данных, приводимых в работах [Шефов, 1962; Фишкова, 1983; Будник, Лунев, 2008]

	Диапазон измерения, нм	Светимость, $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$
R-канал	суммарное свечение — 580–800	~ 0.0094
G-канал	суммарное свечение — 470–620	~ 0.0078
B-канал	суммарное свечение — 400–550	~ 0.01
[Шефов, 1962]	континуум — 400–700	~ 0.021
[Фишкова, 1983]	континуум — 500–700	~ 0.013
[Будник, Лунев, 2008]	светимость ночного неба на длине волны $\lambda=530$ нм.	$\sim 0.007\text{--}0.0185$

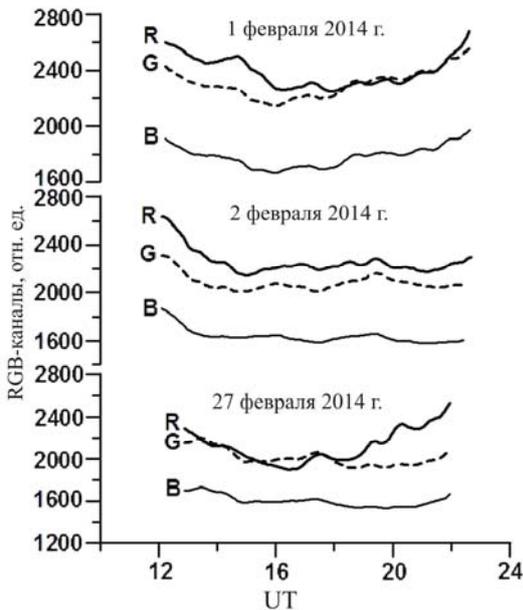


Рис. 4. Ночной ход СНА в RGB-каналах в геомагнитно-спокойные дни (1 и 2 февраля 2014 г.) и во время магнитной бури 27 февраля 2014 г.

солнечным светом в условиях незначительного погружения Солнца за горизонт в летние месяцы (эффект белых ночей). В осенний, зимний и весенний периоды сезонный ход СНА совпадает с сезонным ходом сплошного спектра СНА [Фишкова, 1983], что может объясняться определяющим вкладом сплошного спектра СНА в общую светимость ночной атмосферы.

Средние значения светимости в полюсе мира составили ~ 0.0094 , ~ 0.0078 и ~ 0.01 $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ в R-, G- и B-каналах соответственно.

В таблице приведены полученные значения светимости в сравнении с некоторыми опубликованными данными.

Автор работы [Фишкова, 1983], оценивая абсолютную величину интенсивности сплошного спектра в диапазоне 500–700 нм, приводит значение 4000 Рл, что эквивалентно ~ 0.013 $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ для средней длины волны 600 нм. В работе [Будник, Лунев, 2008] приводится яркость свечения атмосферы в видимой части спектра в диапазоне $3.38 \cdot 10^{-7}$ – $1.47 \cdot 10^{-6}$ Вт/($\text{м}^2\cdot\text{ср}$), что соответствует светимости $\sim 7 \cdot 10^{-3}$ – $1.85 \cdot 10^{-2}$ $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Геофизические явления, доступные для детектирования с помощью цветных камер при мониторинге свечения ночной атмосферы

Среди геофизических явлений, доступных для детектирования и исследования с использованием цветных ПЗС-камер, можно отметить геомагнитные бури [Подлесный, Михалев, 2015], вторжение в атмосферу крупных метеороидов [Михалев и др., 2014], стратосферные потепления, распространение мезосферных волн [Михалев и др., 2007; Mikhalev, 2011] и другие.

На рис. 6 показан пример оптического проявления магнитной бури в RGB-каналах цветной камеры.

Различие изображений в RGB-каналах, полученных при ракурсных наблюдениях, с учетом спектро-

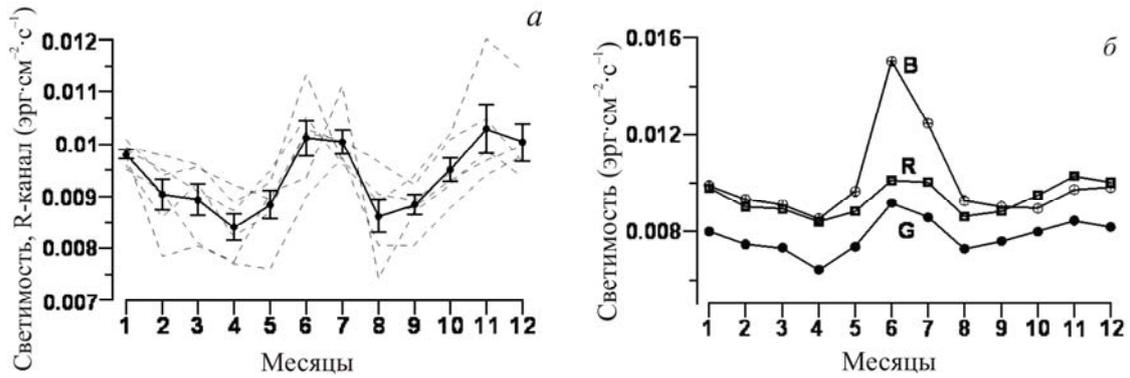


Рис. 5. Сезонный ход СНА в R-канале (а) и в сравнении по RGB-каналам (б). Толстая линия — средний ход за 2010–2015 гг., штриховые линии — сезонный ход в отдельные годы за рассматриваемый период. Вертикальными линиями показаны стандартные ошибки

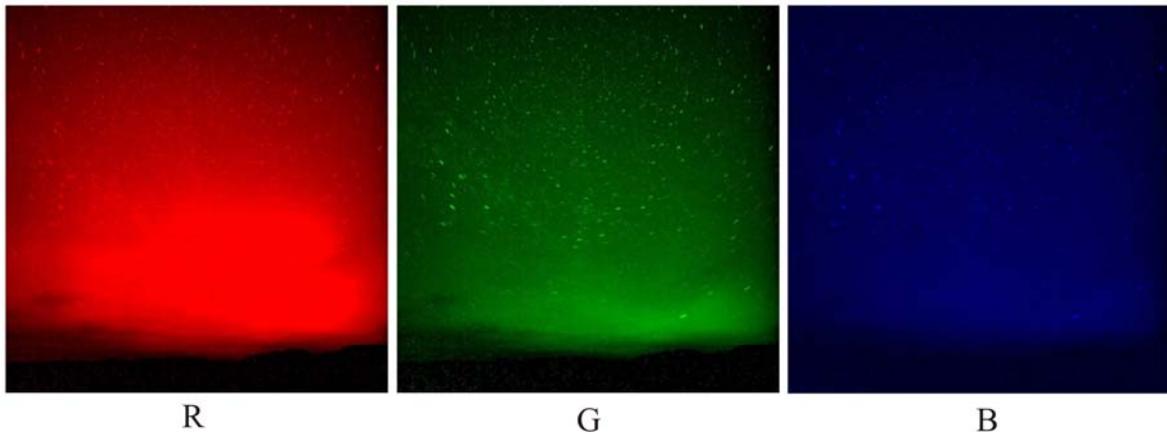


Рис. 6. Оптическое проявление магнитной бури 17 марта 2015 г. в RGB-каналах в ГФО ИСЗФ СО РАН

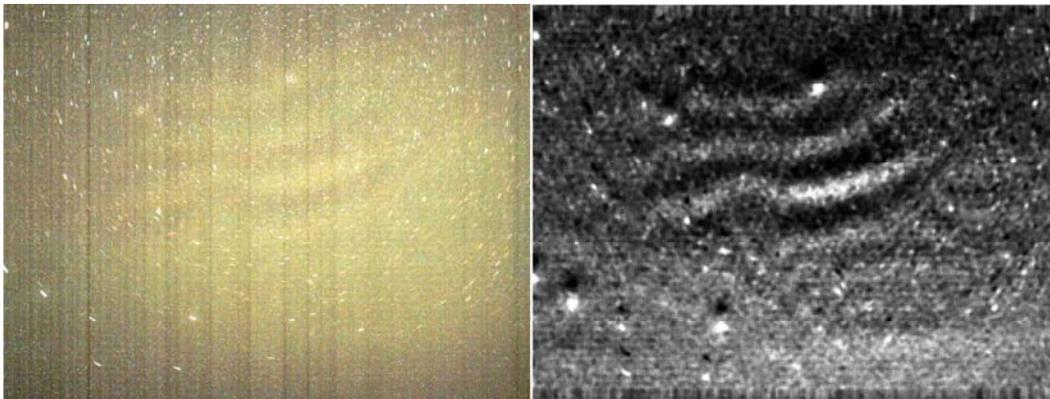


Рис. 7. Оптическое проявление мелкомасштабных мезосферных волн, зарегистрированных с помощью цветной камеры в ГФО ИСЗФ СО РАН 11 августа 2013 г. в 17:28 UT. Время экспозиции 300 с. Слева — исходный кадр, справа — обработанное изображение

фотометрических измерений позволяет определить высоты свечения полярного сияния в основных доминирующих эмиссиях [OI] 557.7 и 630 нм и расстояние до него от места наблюдения. В работе [Подлесный, Михалев, 2015] для этой бури показана высокая корреляция вариаций интенсивности эмиссии 630 нм и сигнала в R-канале цветной камеры.

На рис. 7 приведен пример регистрации мелкомасштабных мезосферных волн. Слева показан фрагмент исходного изображения, справа — обработанное изображение с целью выделения малоконтрастных неоднородностей (волн). Яркая точка в верхней части изображений — Полярная звезда, в левом

нижнем углу — звезды созвездия Большой Медведицы. Характерный поперечный масштаб приведенных на рис. 7 волновых возмущений оценивается величиной $\sim 5.3^\circ$ или ~ 9 км в предположении, что возмущения возникают на высоте ~ 100 км, близкой к высотам высвечивания ОН (~ 70 – 115 км), эмиссии 557.7 нм (~ 85 – 115 км), континуума (~ 80 – 110 км). Горизонтальная скорость распространения волнового пакета ~ 15 м/с, направление — с юга на север.

Полученные характеристики мезосферных волн, показанных на рис. 7, совпадают с результатами работы при наблюдениях волновых неоднородностей в гидроксильном излучении, проводимых ранее

в ГФО ИСЗФ СО РАН [Тащилин и др., 2010], а также с результатами других работ (см., например, [Аммосов и др., 2006]).

Таким образом, приведенные выше примеры показывают принципиальную возможность детектирования и исследования некоторых геофизических явлений с помощью цветных ПЗС-камер при регистрации СНА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении работы получены следующие результаты:

1. С использованием данных наблюдений за 2010–2015 гг. в ГФО ИСЗФ СО РАН получена оценка средней светимости ночного неба в спектральных диапазонах R-, G-, B-каналов цветной камеры для региона Восточной Сибири с характерными значениями в диапазоне $\sim 0.008\text{--}0.01 \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

2. Определен сезонный ход светимостей ночного неба в R-, G-, B-каналах цветной камеры, характеризующихся понижением светимостей в весенние месяцы, ростом в осенние месяцы и наличием летнего максимума. Летний максимум в сезонном ходе объясняется рассеянным солнечным светом.

3. Указаны некоторые геофизические явления, имеющие оптические проявления в R-, G-, B-каналах цветной камеры.

4. Указана возможность для некоторых геофизических явлений количественно связывать усиление сигналов по G- и R-каналам с ростом интенсивностей дискретных эмиссий 557.7 и 630.0 нм.

Работа выполнена в рамках российско-болгарского проекта «Атмос».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аммосов П.П., Гаврильева Г.А. Цифровая камера для регистрации пространственной структуры свечения ночного неба // Приборы и техника эксперимента. 1999. № 3. С. 120–124.

Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовский И.И. Наблюдения короткопериодических волн камерой всего неба в инфракрасном свечении OH над Якутском // Геомагнетизм и аэронавигация. 2006. Т. 46, № 6. С. 801–805.

Будник А.П., Лунев В.П. Свечение ночного неба Препринт ФЭИ (Физико-энергетический институт) – 3139. Обнинск. 2008. 61 с.

Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1990. 192 с.

Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Среднеширотные сияния на юге Восточной Сибири во время больших геомагнитных бурь 29–31 октября и 20–21 ноября 2003 г. // Космические исследования. 2004. Т. 42, № 6. С. 616–621.

Михалев А.В. Вариабельность атмосферной эмиссии 557.7 нм // Солнечно-земная физика. Вып. 17. 2011. С. 184–188.

Михалев А.В., Ратовский К.Г., Медведев А.В. и др. Одновременные наблюдения усиления атмосферной эмиссии 557.7 нм [OI] и образования спорадических слоев в периоды температурных возмущений в страто-мезосфере // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 12. С. 1071–1076.

Михалев А.В., Подлесный С.В., Стоева П.В. Оптические характеристики ночного неба в Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита. I. Яркость ночного неба // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 12. С. 1085–1089.

Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдаемых в регионе Восточной Сибири во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск 2015. С. 175–177.

Тащилин М.А., Белецкий А.Б., Михалев А.В. и др. Некоторые результаты наблюдений пространственных неоднородностей в эмиссии гидроксила // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 15. С. 131–134.

Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата: Наука, КазССР. 1978. 198 с.

Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: МЕЦНИЕРЕБА, 1983. 271 с.

Шефов Н.Н. Атлас спектра излучения ночного неба $\lambda\lambda$ 3000–12400 Å. Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. Москва, 1962. 31 с.

Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы — индикатор ее структуры и динамики. М.: ГЕОС, 2006. 741 с.

Leinert Ch., Bowyer S., Haikala L.K., et al. The 1997 reference of diffuse night sky brightness // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1998. V. 127. P. 1–99.

Mikhalev A.V. Variability of the 557.7 nm atmospheric emission // Geomagnetism and Aeronomy. 2011. V. 51, N 7. P. 968–973.

Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Beletsky A.B., Kazimirovsky E.S. An investigation of the upper atmospheric optical radiation in the line of atomic oxygen 557.7 nm in East Siberia // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2001. V. 63, N 9. P. 865–868.

Vázquez M., Vaquero J.M., Gallego M.C., et al. Long-term trends and Gleissberg cycles in aurora borealis records (1600–2015) // Solar Phys. 2016. V. 291, iss. 2, P. 613–642. DOI: 10.1007/s11207-016-0849-6.

URL: <http://videoscan.ru/> (дата обращения 19 апреля 2016).

REFERENCES

Ammosov P.P., Gavril'eva G.A. A digital camera for recording the spatial structure of night airglow. *Instruments and Experimental Techniques*. 1999, vol. 42, no. 3, pp. 398–401.

Ammosov P.P., Gavril'eva G.A., Koltovsky I.I. Observation of short-period waves by the infrared all-sky camera in infrared OH emission over Yakutsk. *Geomagnetizm i Aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2006, vol. 46, no. 6, pp. 801–805. (In Russian).

Budnik A.P., Lunev V.P. *Svechenie nochnogo neba* [Night airglow] Preprint. Obninsk. FEI – 3139. 2008, 61 p.

Fishkova L.M. *Nochnoe izluchenie sredneshirotnoy verkhney atmosfery Zemli* [The Night Airglow of Earth's Mid-Latitude Upper Atmosphere]. Tbilisi: METSNIEREBBA, 1983, 271 p. (In Russian).

Kharitonov A.V., Tereshchenko V.M., Knyazeva L.N. *Svodnyi Spektrofotometricheskij Katalog Zvezd* [Compiled Spectrophotometric Catalog of Stars]. Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1978. 198 p.

Leinert Ch., Bowyer S., Haikala L.K., Hanner M.S., Hauser M.G., Levasseur-Regourd A.-Ch., Mann I., Mattila K., Reach W.T., Schlosser W., Staude H.J., Toller G.N., Weiland J.L. The 1997 reference of diffuse night sky brightness. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1998, vol. 127, pp. 1–99.

Mikhalev A.V., Beletsky A.B., Kostyleva N.V., Chernigovskaya M.A. Mid-latitude auroras in the south of Eastern Siberia during strong geomagnetic storms on October 29–31, 2003 and November 20–21, 2003. *Kosmicheskie issledovaniya* [Cosmic Research]. 2004, vol. 42, no. 6, pp. 616–621. (In Russian).

Mikhalev A.V. Variability of the 557.7 nm atmospheric emission. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2011, vol. 51, no. 7, pp. 968–973.

Mikhalev A.V. Variability of the 557.7 nm atmospheric emission. *Solnechno-Zemnaya Fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2011, vol. 17, pp. 184–188. (In Russian).

Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Beletsky A.B., Kazimirovsky E.S. An Investigation of the Upper Atmospheric Optical Radiation in the Line of Atomic Oxygen 557.7 nm in East Siberia. *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2001, vol. 63, no. 9, pp. 865–868.

Mikhalev A.V., Ratovskiy K.G., Medvedev A.V., Chernigovskaya M.A., Medvedeva I.V. Simultaneous observations of 557.7 nm atmospheric emission intensification and formation of sporadic layers during temperature disturbances in the stratosphere. *Optika Atmosfery i Okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2007, vol. 20, no. 12, pp. 1071–1076. (In Russian).

Mikhalev A.V., Podlesnyy S.V., Stoeva P.V. Optical characteristics of the night sky over Eastern Siberia after the Chelyabinsk meteoroid fall. I. Night sky brightness. *Optika Atmosfery i Okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2014. vol. 27, no. 12. pp. 1085–1089. (In Russian).

Podlesnyi S.V., Mikhalev A.V. Spectrophotometry of mid-latitude auroras observed in the Eastern Siberia region during February 27, 2014 and March 17, 2015 magnetic storms. *Mezhdunarodnaya Baikal'skaya Molodezhnaya Nauchnaya Shkola po Fundamental'noi Fizike. Trudy XIV Konferentsii Molodykh Uchenykh «Vzaimodeistvie Polei i Izlucheniya s Veshchestvom»* [Proc. XIV Young Scientists' Conference "Interaction of Fields and Radiation with Matter"]. Irkutsk, 2015. pp. 175–177. (In Russian).

Shefov N.N. *Atlas Spektra Izlucheniya Nochnogo Neba $\lambda\lambda$ 3000–12400 Å* [Atlas of the night airglow spectrum $\lambda\lambda$ 3000–12400 Å] A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS. Moscow, 1962. 31 p.

Shefov N.N., Semenov A.I., Khomich V.Yu. *Izluchenie Verkhnei Atmosfery — Indikator Ee Struktury i Dinamiki* [Airglow as an indicator of the upper atmospheric structure and dynamics]. Moscow: GEOS, 2006. 741 p.

Tashchilin M.A., Beletsky A.B., Mikhalev A.V., Xu Jiyao, Yuan Wei. Some results of observation of spatial inhomogeneities in hydroxyl emission. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2010, iss.15, pp. 131–134.

Vázquez M., Vaquero J.M., Gallego M.C., Roca Cortés T., Pallé P.L. Long-term trends and Gleissberg cycles in aurora borealis records (1600–2015). *Solar Phys.* 2016, vol. 291, iss. 2, pp. 613–642. DOI: 10.1007/s11207-016-0849-6.

Zuev V.E., Belan B.D., Zadde G.O. *Opticheskaya Pogoda* [Optical Weather]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1990. 192 p.

URL: <http://videoscan.ru/> (accessed April 19, 2016).