

Спектральные измерения собственного излучения ночной атмосферы с помощью спектрографа Shamrock SR-303i

А.Б. Белецкий, М.А. Тащилин, А.В. Михалев, А.В. Татарников

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, 664033, Россия
E-mail: beletsky@iszf.irk.ru; miketash@iszf.irk.ru

Регистрация спектрального состава собственного излучения верхней атмосферы Земли требует применения высокочувствительной светосильной аппаратуры. В настоящее время специализированного оборудования для этих целей промышленностью не производится. Существуют отдельные зарубежные производители, изготавливающие патрульные спектрометры для регистрации спектрального состава полярных сияний. Однако их чувствительности недостаточно для работы с хорошим временным разрешением в средних широтах и для исследований быстрых процессов в излучении авроральной верхней атмосферы, например, для исследования спектрального состава оптических вспышек. Целью работы являлся подбор и оценка работоспособности современного оборудования для регистрации спектрального состава оптического излучения верхней атмосферы Земли в средних и высоких широтах. Для исследования возможности регистрации спектрального состава излучения ночного неба с помощью прибора серийного производства был выбран универсальный спектрограф Shamrock SR-303i. Прибор был испытан как в условиях спокойной геомагнитной обстановки, так и во время сильной геомагнитной бури 17 марта 2015 г. Сделан вывод, что с помощью спектрографа Shamrock SR-303i возможна регистрация среднеширотного излучения ночной атмосферы как в невозмущенных условиях, так и во время среднеширотных сияний.

Ключевые слова: атмосферные эмиссии, спектрометр, геомагнитная буря

Одобрена к печати: 25.04.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-192-197

Введение

Для наблюдения спектрального состава собственного излучения верхних слоев атмосферы необходима светосильная и высокочувствительная регистрирующая аппаратура. В настоящее время не существует законченных схематических решений приборов, серийно выпускаемых промышленностью и пригодных для любых видов измерений. Такая аппаратура, как правило, разрабатывается исследователями в отдельных экземплярах (или малыми сериями) для решения конкретных задач измерений. Это в полной мере относится и к исследованиям свечения земной верхней атмосферы (Шефов и др., 2006).

Существуют отдельные зарубежные производители, например, KEO Scientific (<http://www.keoscientific.com/>), изготавливающие патрульные спектрометры для регистрации спектрального состава полярных сияний. Однако их чувствительности недостаточно для работы с хорошим временным разрешением в средних широтах и для исследований быстрых процессов в излучении авроральной верхней атмосферы, например, для исследования спектрального состава оптических вспышек.

Оборудование для исследования спектрального состава собственного излучения верхней атмосферы Земли было создано в 50-х годах прошлого века и использовалось во время Международного геофизического года в 1957–1958 гг. (Шефов и др., 2006). Это оборудование обладает высокой светосилой (до 1:1) и используется до сих пор в связке с современными системами регистрации. Однако оно обладает рядом недостатков: ограниченное количество выпущенных приборов, зачастую их неудовлетворительное техническое состояние, сложности в автоматизации процесса измерений,

большие массогабаритные характеристики, затрудняющие их использование в полевых условиях.

Целью работы являлся подбор и оценка работоспособности современного оборудования для регистрации спектрального состава оптического излучения верхней атмосферы Земли в средних и высоких широтах. Для оборудования были сформулированы следующие основные требования:

1. Чувствительность прибора не хуже 1 Рл при экспозиции 30 секунд в видимом спектральном диапазоне.
2. Регистрируемый спектральный диапазон 400–1700 нм.
3. Спектральное разрешение не хуже чем 0,1 нм.
4. Полностью автоматический режим наблюдений.
5. Предварительная обработка и передача данных в режиме реального времени.

Использованное оборудование

В качестве прибора для регистрации спектрального состава излучения верхней атмосферы Земли было предложено использовать универсальный спектрометр мелкосерийного производства. В результате поиска подходящего оборудования был обнаружен вариант в фирме Andor Technology Ltd (<http://www.andor.com/spectrograph/shamrock-spectrograph-series/shamrock-303i>).

Оборудование было приобретено в конце 2014 г. для установки на выносном пункте “Исток” (г. Норильск). С целью проверки работоспособности, а также для создания и отладки методики измерения и системы предварительной обработки и передачи данных прибор был запущен в опытную эксплуатацию в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (Республика Бурятия, Тункинская долина, с. Торы (51° с.ш., 103° в.д.). В период опытной эксплуатации прибор работал в следующей конфигурации:

1. Базовый блок спектрографа SR-303i-B, фокусное расстояние 303 мм, относительное отверстие 1:4, два выхода для фоточувствительных узлов.
2. Автоматическая поворотная турель для смены дифракционных решеток.
3. Автоматическая входная щель.
4. Автоматический затвор.
5. Обрезающий фильтр СЗС-24.
6. Дифракционные решетки:
 - SR3-GRT-0600-1200 (600л/мм, блеск 1200 нм);
 - SR3-GRT-1200-0500 (1200л/мм, блеск 500нм);
 - SR3-GRT-2400-0300 (2400л/мм, блеск 300нм).
7. Фоточувствительный узел Andor DU420A-BV, интерфейс USB, формат 1024x256 пикселей, размер пикселя 26x26 мкм, минимальная температура -100 °С;

8. Для экспериментальных наблюдений на основе программного пакета Solis была разработана программа, позволяющая вести наблюдения в автоматическом режиме.

Полученные результаты

На *рис. 1* показан общий вид спектрометра во время опытной эксплуатации в ГФО. Во время опытной эксплуатации прибор работал круглосуточно, в ночное и в дневное время. Параметры регистрации (экспозиция и ширина входной щели) изменялись автоматически в зависимости от времени суток. В темное время суток измерения проводятся в следующей конфигурации:

- Дифракционная решетка SR3-GRT-1200-0500 (1200 шт/мм, блеск 500 нм).
- Ширина входной щели 200 мкм.
- Ориентация и поле зрения прибора примерно соответствует спектрографу САТИ-1М (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/ground-based/spectr>; ориентирован на север с зенитным углом $\sim 60^\circ$; поле зрения $\sim 25^\circ$ вдоль входной щели и $\sim 0,5^\circ$ поперек);
- Полный вертикальный биннинг.
- Серия из 30 кадров с экспозицией 1 с; кадры серии суммируются.
- Обрезающий фильтр СЗС-24.
- Полный рабочий спектральный диапазон 492–896 нм. Одновременно регистрируется спектральный диапазон шириной ~ 60 нм. Полный спектральный диапазон регистрируется за 8 этапов.

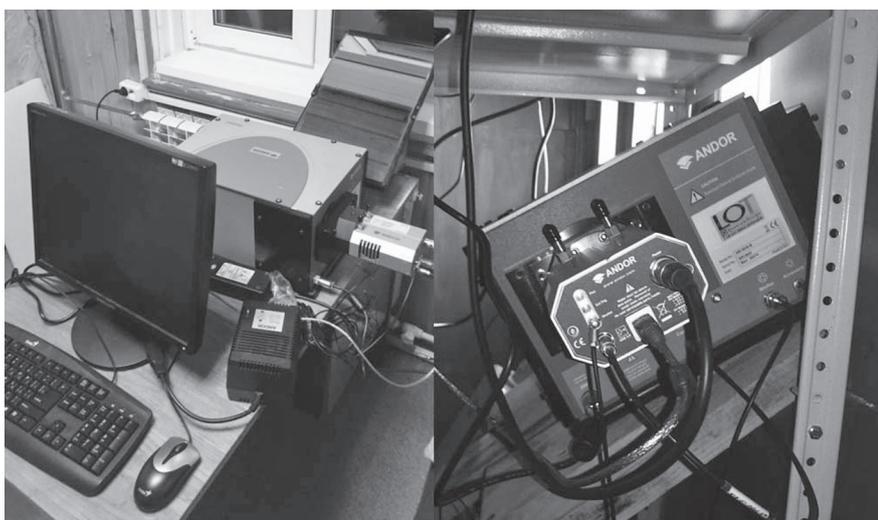


Рис. 1. Общий вид прибора во время опытной эксплуатации в ГФО

Геоманнитная обстановка 17 марта 2015 г. позволила проверить работу спектрометра в условиях, идентичных условиям авроральной атмосферы при нахождении в средних широтах.

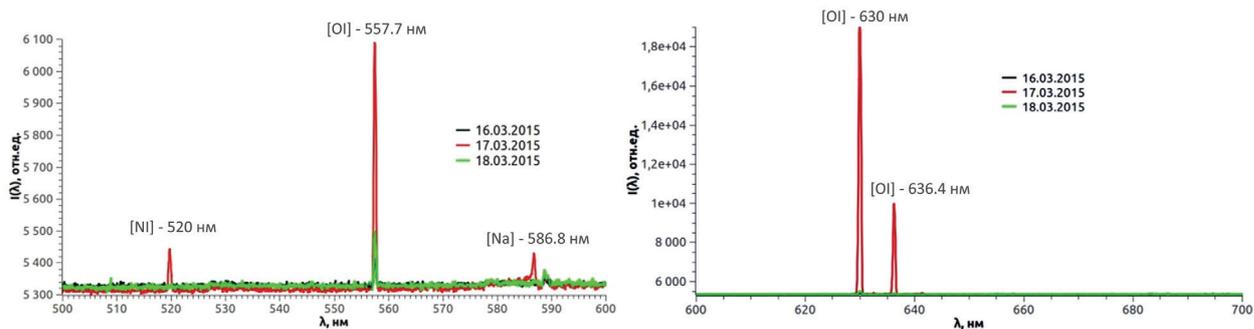


Рис. 2. Интенсивность излучения ночного неба в спектральном диапазоне 500–900 нм 16, 17 и 18 марта 2015 г. в 23:40 местного времени, экспозиция 30 с

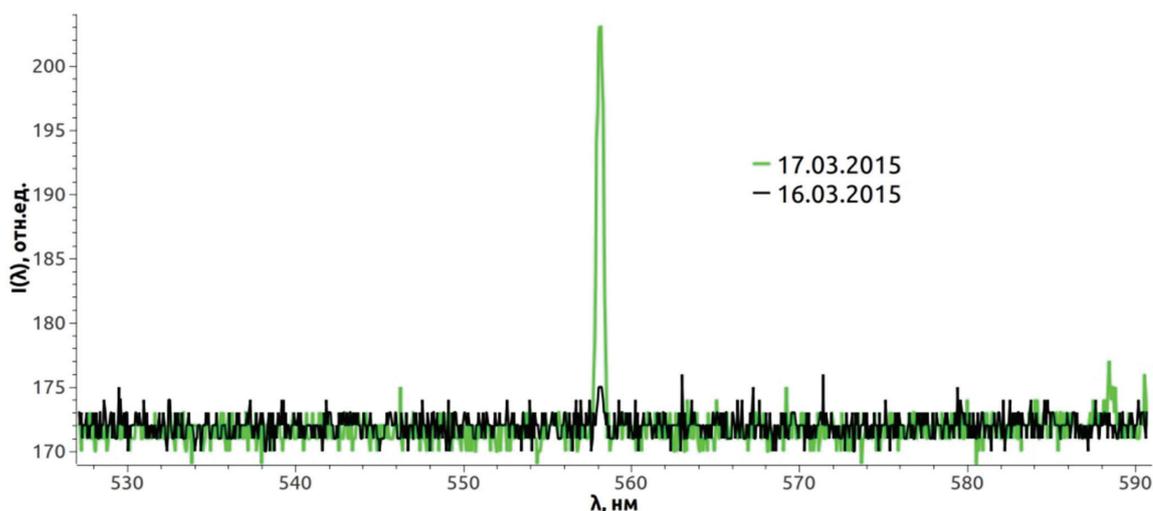


Рис. 3. Интенсивность излучения ночной атмосферы в спектральном диапазоне 525–590 нм 16 и 17 марта 2015 г. в 23:40 местного времени, экспозиция 1 с

По значению индекса Dst (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/201503/index.html), который коррелирует с интенсивностью среднеширотных сияний (Трутце, 1973; Rassoul et al., 1992; Лобзин, Павлов, 1998; Михалев и др., 2004), последняя буря такой силы была зафиксирована 15 мая 2005 г. (Михалев, 2013). То есть по состоянию на март 2015 г. это самая сильная буря по индексу Dst в 24 солнечном цикле.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные, полученные с помощью спектрографа Shamrock SR-303i в период опытной эксплуатации в ГФО 16–18 марта 2015 г. На рисунке отмечены доминирующие эмиссии атомарного кислорода (линия 557,7 нм, дуплет 630, 636,4 нм), азота (линия 520 нм) и натрия (линия 586,8 нм).

На рис. 3 приведены спектры, зарегистрированные 16 и 17 марта 2015 г. с экспозицией 1 с. Видно, что чувствительность оборудования позволяет проводить измерения в возмущенных (идентичных авроральным) условиях с экспозицией 1 с.

На рис. 4 представлен временной ход интенсивности эмиссии 630 нм, полученный с помощью приборов САТИ-1М и Shamrock SR-303i 17 марта 2015 г. (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/ground-based/spectr>). Поле зрения и направления визирования приборов совпадают.

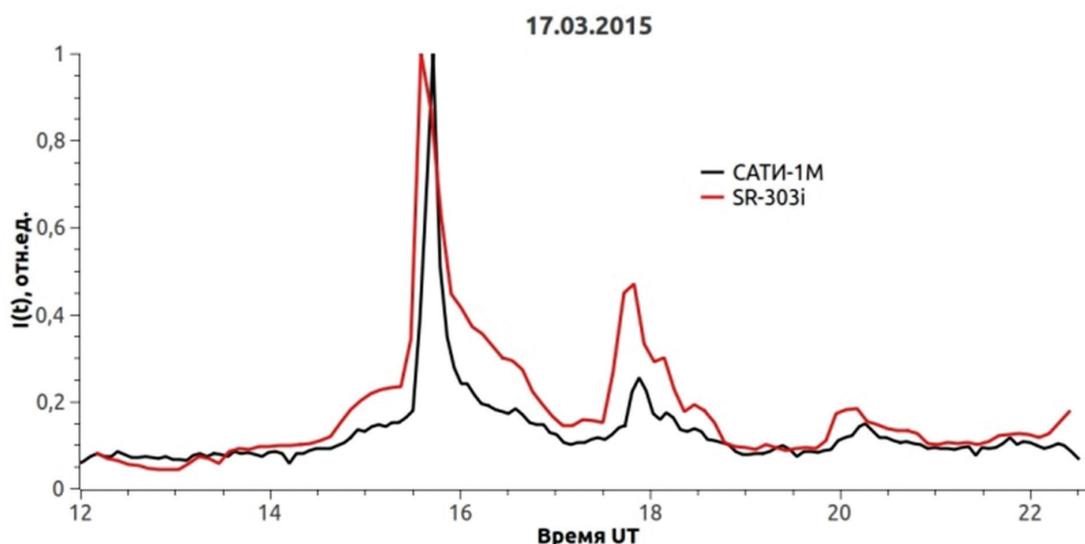


Рис. 4. Временной ход интенсивности эмиссии 630 нм полученный с помощью приборов САТИ-1М (экспозиция 260 с) и Shamrock SR-303i (экспозиция 30 с) 17–18 марта 2015 г.

По данным прибора САТИ-1М (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/ground-based/spectr/>), установленного в ГФО и практически соответствующего прибору SR-303i по направлению визирования и полю зрения, средняя интенсивность эмиссии ОI 557,7 нм 16 и 17 марта 2015 г. составляла 50 Рл и 180 Рл соответственно. Значения для эмиссии ОI 630 нм – 248 Рл и 832 Рл соответственно. Прибор SR-303i уверенно регистрировал излучение эмиссионных линий атомарного кислорода 557,7 нм и 630 нм в невозмущенных условиях 16 марта (при экспозиции 30 с 0,68 Рл и 7,5 Рл на единичный отсчет АЦП для линий 557,7 нм и 630 нм соответственно) и без изменения параметров работал в условиях среднеширотного сияния 17 марта 2015 г.

Выводы

1. С помощью спектрометра SR-303i возможно проводить ночные и дневные спектральные наблюдения излучения атмосферы в полностью автоматическом режиме. Изменение параметров наблюдения (ширина входной щели, измеряемый спектральный диапазон, экспозиция) осуществляется автоматически в зависимости от времени суток.
2. Чувствительность спектрометра достаточна для регистрации среднеширотного излучения ночного неба в невозмущенных условиях. При этом динамический диапазон достаточно широк для регистрации излучения ночного неба во время среднеширотного сияния без изменения параметров регистрации.
3. Shamrock SR-303i позволяет работать с экспозициями 30 с (прибор САТИ-1М в аналогичных условиях работает с экспозициями 260 с).
4. В возмущенных условиях (условиях авроральной атмосферы) возможно вести наблюдения с экспозицией 1 с.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00027).

Литература

9. Лобзин В.В., Павлов А.В. Связь интенсивности свечения субавроральных красных дуг с солнечной и геомагнитной активностью // Геомагнетизм и аэронавигация. 1998. Т. 38. № 3. С. 49–61.
10. 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. // Косм. иссл. 2004. Т. 42. № 6. С. 616–621.
11. Михалев А.В. Среднеширотные сияния в Восточной Сибири в 1991–2012 // Солнечно-земная физика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. В. 24 (137). С. 78–83.
12. Трутце Ю.Л. Верхняя атмосфера во время геомагнитных возмущений // Полярные сияния и свечения ночного неба. М.: Наука, 1973. № 20. С. 5–22.
13. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. Москва: ГЕОС, 2006. 740 с.
14. Rassoul H.K., Rochrbaugh R.P., Tinsley B.A. Low-latitude particle precipitation and associated local magnetic disturbance // J. Geophys. Res. A. 1992. Vol. 97. No. 4. P. 4041–4052.

Shamrock SR-303i airglow spectral measurements

A.B. Beletsky, M.A. Taschilin, A.V. Mikhalev, A.V. Tatarnikov

Institute of Solar-Terrestrial Physics RAS, Irkutsk 664033, Russia
E-mail: beletsky@iszf.irk.ru; miketash@iszf.irk.ru

High-aperture instruments are required for the airglow measurements. No specialized equipment is made for this purpose at the moment. Some foreign manufacturers make patrol spectrometers for registration of the spectral composition of auroras. However, their sensitivity is not enough to work with good time resolution in the mid-latitudes and to study fast processes in the auroral radiation of the upper atmosphere, for example, the spectral composition of optical flashes. The aim of the work was to select modern equipment and evaluate its efficiency for registration of the spectral composition of optical radiation of the Earth's upper atmosphere in the middle and high latitudes. Shamrock SR-303i universal spectrograph has been selected to study the possibility of airglow measurements. The device was tested in a quiet geomagnetic condition and during a severe geomagnetic storm of March 17, 2015. The capability of Shamrock SR-303i to register a mid-latitude airglow in undisturbed conditions and during the mid-latitude auroras was demonstrated.

Keywords: atmospheric emission, spectrometer, geomagnetic storm

Accepted: 25.04.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-192-197

References

1. Lobzin V.V., Pavlov A.V. Svyaz' intensivnosti svecheniya subavroral'nykh krasnykh dug s solnechnoi i geomagnitnoi aktivnost'yu (Contact subauroral emission intensity of red arcs of solar and geomagnetic activity), *Geomagnetizm i aeronomiya*, 1998, Vol. 38, No. 3, pp. 49–61.
2. Mikhalev A.V., Beletskii A.B., Kostyleva N.V., Chernigovskaya M.A. Sredneshirotnye siyaniya na yuge Vostochnoi Sibiri vo vremya bol'shikh geomagnitnykh bur' 29–31 oktyabrya i 20–21 noyabrya 2003 g. (Mid-latitude airglow in the South of Eastern Siberia during large magnetic storms of October 29-31 and November 20-21, 2003), *Kosm. issl.*, 2004, Vol. 42, No. 6. pp. 616–621.
3. Mikhalev A.V. Sredneshirotnye siyaniya v Vostochnoi Sibiri v 1991-2012 (Medium-shine in Eastern Siberia in 1991-2012), *Solnechno-zemnaya fizika*, 2013, Issue 24 (137), pp. 78–83.
4. Truttse Yu.L. Verkhnyaya atmosfera vo vremya geomagnitnykh vozmushchenii (The upper atmosphere during geomagnetic disturbances), *Polyarnye siyaniya i svecheniya nochnogo neba*, 1973, No. 20, pp. 5–22.
5. 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, 740 p.
6. Rassoul H.K., Rochrbaugh R.P., Tinsley B.A., Low-latitude particle precipitation and associated local magnetic disturbance, *J. Geophys. Res.*, 1992, Vol. 97, No. 4, pp. 4041–4052.