

А.В. Михалев, А.Б. Белецкий

Характеристики оптических вспышек в излучении ночной атмосферы по данным мультиспектральных фотометрических и телевизионных наблюдений

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 21.02.2000 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований оптических вспышек в излучении ночной среднеширотной атмосферы, с характерными длительностями десятки – сотни миллисекунд. Получены оценки светимостей оптических вспышек для различных диапазонов оптического спектра, распределения по длительностям и вероятности регистрации оптических вспышек в течение ночи. Проведено сопоставление моментов регистрации оптических вспышек и гамма-всплесков по данным каталога BATSE. Делается вывод, что вопрос о природе и источниках оптических вспышек требует дополнительных исследований.

На протяжении уже достаточно большого периода времени в ряде работ, связанных с исследованием световых явлений на фоне свечения ночного неба, отмечается существование нерегулярных всплесков на регистрируемых сигналах, интерпретируемых как оптические вспышки (ОВ) (см., например, [1–7]).

Анализ характеристик возможных источников и механизмов возникновения ОВ позволяет, по-видимому, говорить в настоящее время о нескольких типах ОВ и пульсаций в излучении ночной среднеширотной атмосферы, источником которых могут быть различные явления. Среди последних можно отметить всплески космического рентгеновского и гамма-излучений [8], высотные молниевые разряды [9], импульсные ионосферно-магнитосферные процессы [10], искусственные оптические явления. Наличие нескольких возможных источников ОВ, обладающих в ряде случаев подобными характеристиками в их оптическом проявлении, ставит проблему их идентификации.

В настоящей статье анализируются результаты экспериментальных исследований ОВ при наземных фотометрических и телевизионных наблюдениях собственного излучения верхней атмосферы Земли в среднеширотной атмосфере в Геофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.). Результаты относятся к периодам 1987–1993 и 1997–1999 гг.

Аппаратура и методика наблюдений

В 1987–1993 г. измерения собственного оптического излучения верхней атмосферы проводились с выделением излучения атомарного кислорода [OI] 557,7 и 630,0 нм с помощью спектрометров и фотометров с интерференционными качающимися светофильтрами ($\Delta\lambda_{1/2} \sim 1\text{--}2$ нм). В 1997–1999 гг., кроме измерений излучения в линиях 557,7 и 630 нм, регистрировалось излучение в ближней инфракрасной области (720–830 нм), в синей (360–480 нм) и ультрафиолетовой (360–410 нм) областях спектра и в отдельные периоды в интегральном свете. Измерения в период 1997–1999 гг. осуществлялись 4-канальным зенитным

фотометром с регистрацией на ЭВМ IBM PC с временным разрешением до 8 мс.

В отдельные периоды наблюдений привлекались телевизионные наблюдения с использованием электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Чувствительность телевизионной системы с различными типами ЭОП позволяла в ясные ночи уверенно регистрировать фоновую составляющую свечения ночного неба в интегральном излучении и точечные объекты до 8–9 звездной величины. Телевизионные наблюдения позволяли отделять оптические вспышки, обусловленные метеорами и спутниками с изменяющимся блеском.

Результаты наблюдений

Характерные сигналы ОВ в различных спектральных диапазонах приведены на рис. 1. ОВ имеют длительности десятки – сотни миллисекунд, в отдельных случаях – секунды. В настоящее время ОВ зарегистрированы в нескольких спектральных диапазонах – в области излучения запрещенных линий атомарного кислорода [OI] 557,7 и 630 нм, в ближней инфракрасной (720–830 нм), в синей (360–480 нм) и ультрафиолетовой (360–410 нм) областях спектра.

Характерные величины световых потоков излучения ОВ, исключая наиболее мощные вспышки, имеют значения, сопоставимые с потоками естественного фонового свечения ночного неба в соответствующих спектральных диапазонах и находятся на субвизуальном уровне. Характерные регистрируемые значения светимостей ОВ в области длин волн 557,7, 630; 720–830 и 360–410 нм соответственно имеют значения $\geq 10^{-4}$, $\geq 3 \cdot 10^{-5}$, $\geq 10^{-3}$ и $\geq (1,5\text{--}7) \cdot 10^{-3}$ эрг/(см²·с). Ниже приведено описание ОВ, зарегистрированной 1 марта 1998 г. в 2 ч 50 мин LT. Особенность этой вспышки заключается в том, что она относится к наиболее мощным и, кроме того, была зафиксирована атмосферным черенковским телескопом НИИ прикладной физики ИГУ [7], расположенным в ~ 750 м от пункта наблюдения.

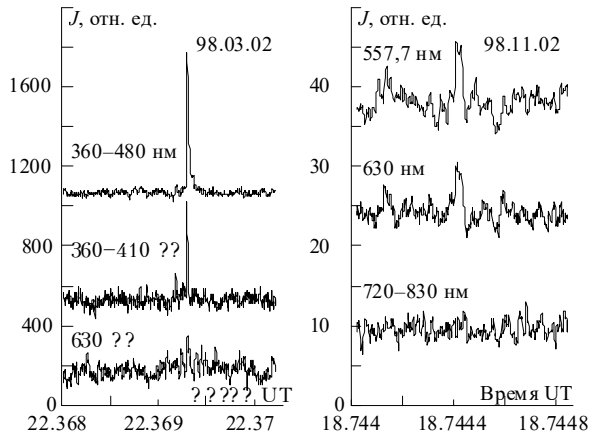


Рис. 1. Примеры оптических вспышек в излучении ночного неба, регистрируемых по каналам фотометра: *a* – большой интенсивности; *b* – слабой интенсивности (типа пульсаций)

На рис. 2 приведены сигналы по трем каналам фотометра – интегральному (300–830 нм), каналу 557,7 и каналу 630 нм для ОВ 1 марта 1998 г. Интенсивности приведены в относительных величинах со смещением нулевых линий сигналов. На этом же рисунке вверху приведены три телевизионных кадра, соответствующих моментам времени до вспышки, в период вспышки и после вспышки. Эффективное поле зрения телевизионной системы составляло около 40°.

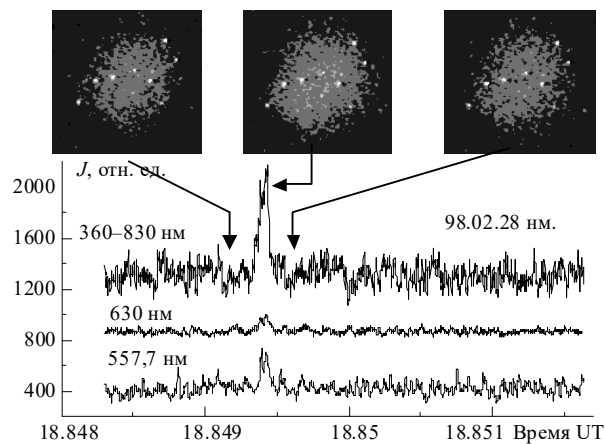


Рис. 2. Оптическая вспышка 1 марта 1998 г. (2 ч 50 мин LT) по фотометрическим (интенсивности приведены в относительных величинах, со смещением нулевых линий сигналов) и телевизионным данным

Оценка фотометрических сигналов дает следующие значения величин светимостей ОВ 01.03.98: по интегральному каналу $\sim (4-8) \cdot 10^{-3}$ эрг/(см²·с), по каналам 557,7 и 630 нм соответственно около $3,5 \cdot 10^{-4}$ и $1,26 \cdot 10^{-4}$ эрг/(см²·с). Относительное превышение сигналов во вспышке по сравнению со средними текущими значениями соответственно составило около 65, 115 и 90%.

Из приведенных выше телевизионных данных следует, что для ОВ 01.03.98 г. характерно увеличение яркости всего изображения свечения ночного неба. Это может являться прямым подтверждением одного из выводов работы

[4], что ОВ представляют собой протяженные объекты с характерными угловыми размерами в десятки градусов.

Представляли интерес характер распределения ОВ по длительностям и вероятность регистрации ОВ в течение ночи. Было получено, что наиболее вероятные значения длительностей ОВ для диапазона 360–480 нм составляют 100–200 мс, вблизи длин волн излучения 557,7 и 630 нм 20–60 мс, для диапазона 720–830 нм 40–240 и 400–520 мс. На рис. 3 приведены гистограммы длительностей ОВ для спектральных диапазонов 360–480 и 630 нм. На рис. 4 представлены вероятности регистрации ОВ для двух периодов наблюдений: май–ноябрь 1987 г. [6] (кривая 1, 200 ч наблюдений), декабрь 1998 – январь 1999 г. (кривая 2, 176 ч наблюдений) и для сравнения данные работы [2] (кривая 3, более 10 000 ч наблюдений). Зарегистрирован случай одновременной регистрации ОВ в пунктах, разнесенных на расстояние ~ 100 км.

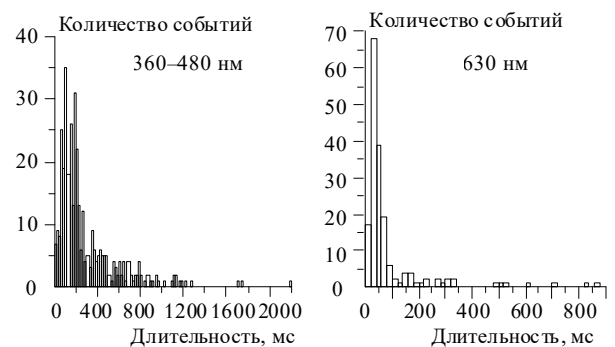


Рис. 3. Распределение оптических вспышек по длительностям

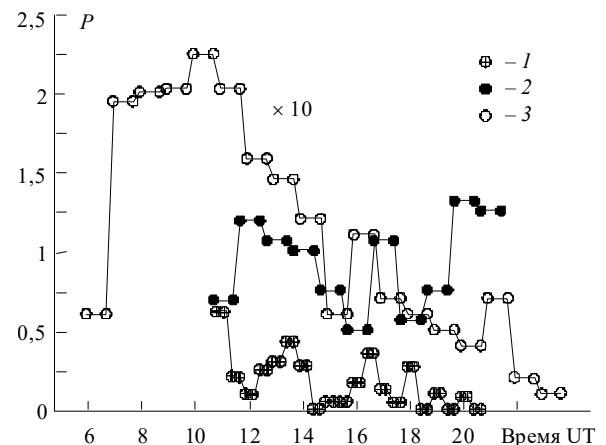


Рис. 4. Суточное распределение вероятностей регистрации оптических вспышек (число вспышек, регистрируемых в течение 1 ч): 1 – май – ноябрь 1987 г.; 2 – декабрь 1998 г. – январь 1999 г.; 3 – по данным работы [2]

Обсуждение

В работе [6] отмечается, что ОВ с отмеченными выше характеристиками, зарегистрированные первоначально в авральной [1], позднее в субавральной зонах [4], а затем и в средних широтах, представляют собой одно и то же геофизическое явление. Первоначально ОВ связывали с излучением запрещенных линий атомарного кислорода 557,7 и 630 нм [1, 2]. Результаты работы [6] и представ-

ляемые результаты позволяют утверждать, что спектр ОВ, вероятно, имеет сложный спектральный состав, включающий достаточно большое количество спектральных линий и полос атомарных и молекулярных атмосферных составляющих, а наиболее интенсивные линии и полосы возбуждаются в синей и ультрафиолетовой областях спектра.

Анализ спектра свечения ночного неба, полярных сияний и свечения воздуха при различных давлениях и условиях возбуждения позволяет указать на возможные атмосферные составляющие, ответственные за регистрируемое излучение. В таблице приведены атмосферные составляющие, оптическое излучение которых при различных механизмах возбуждения может наблюдаться в используемых нами спектральных диапазонах.

Спектральный диапазон, нм	Атмосферные составляющие	Линия или полоса
360–480	N_2^+	391,4, 427,8 нм (1NG)
	N_2	357,7 нм (2PG)
	OI	369,2, 394,7 нм
	O_2	360–400 нм ($A^3E_u-X^3E_g$)
555–557,7	OI	557,7 нм
	OH	OH*(7–1)
628–630	NO_2^*	сплошной спектр
	OI	630 нм
	OH	OH*(9–3)
	N_2	601,3, 632 нм (1PG)
720–830	NO_2^*	сплошной спектр
	OH	OH*(8–3, 4–0,9–4,5–1,6–2)
	OI	725, 774, 799 нм
	N_2	750, 763, 775 нм (1PG)
	NO_2^*	сплошной спектр
	O_2	768 нм (атмосферная, 1-1)

Основная особенность в суточном распределении регистрации ОВ по данным работ [2, 6] (см. рис. 4) связана с большей вероятностью их появления в первую половину ночи и наличием небольшого максимума около полуночи (16–17 UT). Следует отметить, что данные работы [2] получены по результатам регистрации интегрального излучения, а данные работы [6] – по результатам регистрации в области длин волн излучения атомарного кислорода 557,7 и 630 нм. Результаты, относящиеся к периоду наблюдений 1997–1999 гг., кроме отмеченных выше больших значений вероятностей регистрации ОВ в первую половину ночи и наличия максимума в середине ночи, дают и предрассветный максимум. Предрассветный максимум может быть связан как с наличием большего вклада числа вспышек в синей и ультрафиолетовой областях спектра, так и с автоматическим программным отбором (в отличие от работ [2, 6]) вспышечных событий. Сравнение кривых 2 и 3 рис. 4 позволяет выявить еще одну особенность ОВ. Вечерний максимум появления ОВ наступает не сразу после вечерних сумерек и начала оптических ночных наблюдений, а спустя 1–2 ч. Это относится как к данным, полученным в высоких широтах (кривая 3), так и к представляемым данным в средних широтах (кривая 2), для которых начало ночных оптических наблюдений не совпадает за счет различной длительности темного времени суток, доступного для оптических наблюдений.

В работах [11, 12] делается попытка интерпретации ОВ оптическим проявлением микровсплесков электронных потоков, которые, по данным спутниковых измерений [10], имеют глобальную распространенность, встречаясь во всех широтах и долготах, внутри и вне плазмосферы. Явление ОВ представляется своеобразным импульсным сиянием в миллисекундном диапазоне значений длительностей. Авторы работы [8] интерпретируют экспериментальные результаты регистрации ОВ [1] гамма-всплесками (ГВ) в атмосфере Земли. Следует подчеркнуть, что вопрос о регистрации оптического проявления ГВ в атмосфере Земли имеет достаточно давнюю историю (см., например, [3]) и, по нашему мнению, в настоящее время не решен.

Нами было проведено сопоставление моментов регистрации ОВ за 1998 г., включая описанный выше ОВ 1 марта 1998 г., с данными каталога эксперимента BATSE обсерватории «Комптон» [13] по регистрации ГВ. За указанный период было зарегистрировано 993 ОВ по каналам фотометра и 194 ГВ согласно [13]. После исключения ГВ, приходящихся на дневные часы и дни, когда оптические наблюдения не велись, из каталога был выделен 21 ГВ, совпадающий с интервалами оптических ночных наблюдений. Из этих ГВ, в пределах ошибок измерений моментов регистрации ОВ, совпадений с ОВ не было. Для 4 ГВ разница в моментах регистрации ОВ и ГВ находилась в пределах 22–58 с, причем для трех из них ГВ опережали ОВ, а для одного события ОВ предшествовала ГВ. Для остальных ГВ разница в моментах регистрации ГВ и ОВ достигала единиц – десятков минут и более. Описываемой выше ОВ 1 марта 1998 г. также не удалось соотнести ГВ по каталогу [13].

Здесь следует подчеркнуть, что энергетические оценки оптического проявления ГВ в атмосфере Земли, проведенные, например, в работе [8], дают меньшие значения плотности световых потоков по сравнению с регистрируемыми нами в ОВ. Так, для мощного гамма-всплеска с плотностью гамма-излучения $5 \cdot 10^{-8}$ Дж/м² плотность светового потока в синей области оптического спектра оценивается в 10^{-9} Дж/м² [8], в то время как характерные плотности потоков оптического излучения в регистрируемых нами ОВ в этой области спектра составляют 10^{-7} Дж/м² и более.

Таким образом, вопрос о природе и источниках регистрируемых ОВ с описанными выше характеристиками, как и вопрос регистрации оптических вспышек от ГВ, требует дополнительных исследований. В этом случае наиболее ценными были бы детальные исследования спектров излучения ОВ.

1. *Надубович Ю.А.* // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10. № 5. С. 926–929.
2. *Кузакова Л.П.* // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. Т. 12. № 3. С. 560–561.
3. *Charman W.N., Jelley J.V.* // J. Phys. A: Gen. Phys. 1972. V. 5. N 5. P. 773–780.
4. *Коробцова Л.П.* // Неоднородности в ионосфере. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1981. С. 96–102.
5. *LaBelle J.* // Geophys. Res. Lett. 1988. V. 15. N 3. P. 279–282.
6. *Ермилов С.Ю., Михалев А.В.* // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1989. Вып. 84. С. 119–125.
7. *Гресс О.А., Гресс Т.И., Паньков Л.В. и др.* // Астрофизика и физика микромира. Иркутск: ИГУ, 1998. С. 115–120.

8. Горбачев Л.П., Взорев Н.Н., Левахина Л.В. и др. // Космические исследования. 1994. Т. 32. Вып. 6. С. 172–183.
9. Internet: <http://elf.gi.alaska.edu/>
10. Jmhof W.L., Voss H.D., Mobilia J., Walf M., Jnan U.S., Carpenter D.L. // J. Geophys. Res. A. 1989. V. 94. N 8. P. 10079–10093.
11. Михалев А.В. Заселение спектральных уровней нейтрального кислорода [OI] 1S и 1D при микровсплесках электронных потоков. Иркутск, 1990. 14 с. (Препринт/ СибИЗМИР СО АН СССР, № 17).
12. Ermilov S.Yu. and Mikhalev A.V. // J. Atmos. Terr. Phys. 1991. V. 53. N 11/12. P. 1157–1160.
13. Internet: <http://www.batse.msfc.nasa.gov/>

A.V. Mikhalev and A.B. Beletsky. Characteristics of optical flares in night-time atmospheric radiation by multispectral photometer and TV-camera observations.

Presented are results of experimental investigations into optical flares in the radiation of the night-time mid-latitude atmosphere, with typical durations of tens to hundreds of milliseconds. Estimates are obtained of luminous emittances of optical flares for different optical spectral ranges, the distribution in durations, and the probability of recording optical flares during the night-time. A comparison is made of the recording times of optical flares and gamma-bursts, based on the data from the BATSE catalog. It is concluded that the question concerning the nature and sources of optical flares calls for further investigation.