



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН ИПФ РАН

академик РАН, д.ф.-м.н., профессор

А. Г. Литвак

2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию *Морозенко Виолетты Сергеевны* «ФОНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НОЧНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРЕДЕЛЬНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ С ПОМОЩЬЮ ОРБИТАЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – Физика высоких энергий

Диссертационная работа Морозенко В.С. посвящена исследованиям фонового свечения атмосферы в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне с помощью бортовых фотоприемников, установленных на ИСЗ. Это исследование является необходимым при планировании и подготовке специальных экспериментов на ИСЗ по регистрации космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ) по их флуоресцентному излучению в атмосфере во время формирования широких атмосферных ливней (ШАЛ). Важность этого направления обусловлена фундаментальными задачами астрофизики. По современным данным поток таких частиц в окрестности Земли составляет  $\sim 1 / (\text{км}^2 \cdot \text{год})$  и менее. Поэтому для получения статистически значимых результатов необходимы дорогостоящие установки по регистрации ШАЛ, покрывающие очень большую площадь земной поверхности. Размещение оптического детектора ШАЛ на орбите имеет то преимущество, что достаточно большая площадь земной поверхности и атмосферы непрерывно контролируется одним прибором.

Поскольку интенсивность флуоресценции ШАЛ мала, то при планировании обнаружения свечения ШАЛ из космоса на первый план выступает знание пространственных и временных характеристик свечения атмосферы, являющегося фоном, на котором должны детектироваться вспышки ШАЛ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Цитировано 103 источника.

Во Введении обоснована актуальность диссертации, сформулированы цели работы и положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание работы.

В главе 1 приведено описание научной аппаратуры первого орбитального детектора трековой установки (ТУС) на борту ИСЗ «Ломоносов», описание особенностей работы зеркала-концентратора и фотоприемника ТУС, а также параметры сигнала от ШАЛ в детекторе, а именно: длительность сигнала, количество фотонов в ячейках детектора.

В главе 2 описан состав научной аппаратуры на спутниках «Университетский – Татьяна – 1» и «Университетский – Татьяна – 2». Подробно рассмотрены принцип и режимы работы детектора УФ (диапазон 300-400 нм) и красного-инфракрасного (К-ИК, 600-700 нм) излучения: измерение медленных вариаций фона ночной атмосферы, регистрация быстрых (от нескольких мс до сотен мс) всплесков УФ. Приведены алгоритмы расчета интенсивности УФ свечения атмосферы, а также полного количества фотонов выделенных во вспышке в УФ и К-ИК диапазонах длин волн. Приведена оценка полного числа фотонов в событиях с насыщением сигнала.

В главе 3 рассмотрены возможные источники свечения атмосферы: рассеянный свет Луны, собственное свечение атмосферы (связанное с рекомбинацией ионов), излучение, связанное с деятельностью человека (свет от промышленных центров), свечение от полярных сияний. Приведены результаты измерения интенсивности свечения ночной атмосферы Земли в различных географических районах. Выделены области минимального свечения.

В главе 4 приведены результаты измерения вспышек УФ и К-ИК излучения детекторами спутников «Университетский – Татьяна – 1» и «Университетский – Татьяна – 2». Представлено дифференциальное и интегральное распределение вспышек по количеству фотонов, выделенных в атмосфере, показано, что наклон дифференциального распределения изменяется при числе фотонов в атмосфере  $Q_a \sim 10^{23}$ . Приведено географическое распределение вспышек с разным количеством фотонов, показано, что с ростом числа фотонов вспышки концентрируются к экватору. Проведено сопоставление теоретических и экспериментальных данных по отношению количества фотонов, выделенных в атмосфере, во вспышке в К-ИК и УФ диапазонах длин волн. Полученные отношения указывают на высоты происхождения вспышек (50-80 км), характерные для транзиентных атмосферных явлений (transient luminous events, TLE). Показано существование серий ежеминутных событий. Приведена оценка частоты возникновения вспышек в различных географических районах Земли. В конце главы приведен краткий обзор данных о транзиентных явлениях, наблюдавшихся в других экспериментах, а также некоторые предположения о возможных причинах наблюдения вспышек вне грозных

районов, серий вспышек, а также излома распределения событий по количеству фотонов, выделенных в атмосфере.

В главе 5 приведены расчеты количества фотонов в отдельных ячейках детектора ТУС от стационарного свечения атмосферы Земли, на постоянном фоне которого будет происходить регистрация фотонов от ШАЛ. Проведена простая оценка пороговой энергии первичной частицы ШАЛ и экспозиции детектора ТУС при различных значениях фонового свечения атмосферы Земли. Показано, что в случае использования десятиразрядного АЦП (как в электронике детектора ТУС) можно регистрировать вспышки с  $Q_a < 10^{23}$  фотонов без насыщения при полном усилении ФЭУ (при среднем уровне свечения атмосферы ( $\sim 10^8$  фотон/см<sup>2</sup>·с·ср), а в случае высокой интенсивности свечения атмосферы (в полнолуние) можно изучать вспышки с еще большим числом фотонов (до  $2 \cdot 10^{24}$ ). Проведено моделирование свечения разряда с малым числом фотонов и малой длительности (типа «эльф») и показано, что такой разряд не имитирует сигнал от ШАЛ. Сигналы от других транзиентных явлений с большим числом фотонов и большей длительностью еще сильнее отличаются от сигнала ШАЛ.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация В.С. Морозенко представляет собой вполне законченное логически выстроенное исследование. Полученные результаты являются новыми и представляют научный и практический интерес.

В качестве наиболее важных можно выделить следующие результаты:

1. Экспериментально получено распределение интенсивности непрерывного УФ свечения атмосферы в географических координатах и его временные характеристики, определены области с минимальным уровнем свечения, наиболее благоприятные для детектирования флуоресцентных вспышек ШАЛ.
2. Получено географическое распределение импульсной компоненты свечения в УФ диапазоне, дана предварительная классификация УФ вспышек по их морфологическим признакам, предложена физическая интерпретация источников этих вспышек.
3. Выполнены оценки отношения сигнал-шум для регистрации ШАЛ с борта ИСЗ в различных условиях и определены пороговые энергии и возможная статистика КЛ ПВЭ в условиях, максимально близких к условиям будущего эксперимента..

Достоверность полученных результатов подтверждена их согласием с аналитическими оценками, в ряде случаев – сравнением с результатами других исследовательских групп. Выводы диссертации представляются вполне обоснованными.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. Известно, что глобальная частота молний  $\sim 45 \text{ с}^{-1}$ , а частота TLE  $\sim 1 \text{ мин}^{-1}$ , то есть эти частоты отличаются на 3,5 порядка, тогда как на с. 106 для этого соотношения используется оценка 10:1.
2. Использованное в эксперименте в качестве светофильтра оптическое стекло УФС-1 имеет кроме полосы пропускания в УФ области еще и заметное пропускание ( $\sim 50\%$ ) в ИК области ( $> 680 \text{ нм}$ ), где расположены сильные линии излучения молний и TLE. Поэтому при количественных оценках отношений УФ/ИК следует учитывать это обстоятельство.
3. Строго говоря, график зависимости отношения УФ/ИК от высоты можно использовать для оценки высоты вспышки только в том случае, когда известно, что вспышка действительно является транзиентным явлением (спрайт, гало, эльф), т.е. этот график не является универсальным для определения высот любых вспышек, и попадание значений отношения УФ/ИК на шкалу этого графика еще не гарантирует, что вспышка относится к TLE.
4. Недостаточное внимание уделено таким возможным источникам фонового излучения (включая вспышки) как энергичные заряженные частицы магнитосферного происхождения. В частности, следовало бы, как минимум, упомянуть, а, возможно, и рассмотреть более детально возможные эффекты в рассматриваемых диапазонах (УФ, К-ИК) от высыпаний таких частиц в связи с наблюдаемыми вспышками в безоблачных районах.
5. Присутствует некоторая небрежность в оформлении, так, например, подписи к рис. 1.1а-1.1б и описания рисунков в тексте противоречат друг другу; на с. 97 помещены два разных рисунка под одним номером (рис. 4.25) и т.п. Сокращение КЛ ПВЭ в диссертации не введено.

Сделанные замечания не отменяют общей высокой оценки работы В.С. Морозенко, которая углубляет существующие представления о характеристиках свечения атмосферы, особенно о его вспышечной компоненте, а также имеет важное прикладное значение для развития орбитальных методов исследования КЛ ПВЭ.

Полученные диссертантом результаты хорошо известны научной общественности. Они опубликованы в авторитетных российских и международных научных журналах, неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях. Личный вклад автора в совместные публикации достаточно ясно охарактеризован в работе.

Диссертация в целом носит заверченный характер. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию и выводам диссертации.

Работа В. С. Морозенко соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. В. С. Морозенко заслуживает присуждения ей искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – Физика высоких энергий.

Материалы диссертации представлены на совместном научном семинаре отдела астрофизики и физики космической плазмы и отдела геофизической электродинамики ИПФ РАН в г. Нижнем Новгороде 25 сентября 2014 г.

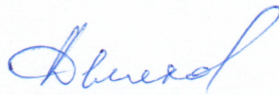
Представленный отзыв одобрен.

Отзыв подготовил:

Зав. сектором физики ионосферной  
и магнитосферной плазмы

ИПФ РАН

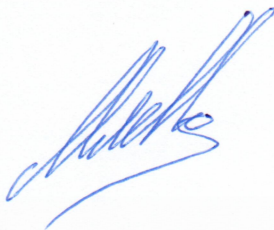
д.ф.-м.н., доцент



Демехов Андрей Геннадьевич

Адрес: 603950 г. Нижний Новгород,  
ГСП – 120, ул. Ульянова, 46,  
тел. 88314364279  
[andrei@appl.sci-nnov.ru](mailto:andrei@appl.sci-nnov.ru)

Секретарь семинара



Ильин Н.В.