

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Климова Павла Александровича
«Пространственно-временная структура излучения атмосферы Земли в
ближнем УФ-диапазоне по данным орбитальных и наземных
экспериментов»,
представленную на соискание ученой степени доктора
физико-математических наук
по специальностям 1.3.1. Физика космоса, астрономия и 1.6.18. Науки
об атмосфере и климате

Диссертационная работа Павла Александровича Климова посвящена исследованию излучения земной атмосферы в ближнем УФ-диапазоне.

Актуальность темы диссертации обусловлена важностью изучения процессов в атмосфере Земли, проявляющихся в излучении указанного диапазона длин волн. К таким процессам относятся, в частности, подготовка и формирование молниевых разрядов различного вида (включая внутриоблачные разряды и разряды облако-ионосфера), внегрозовые оптические явления, высыпания энергичных электронов из магнитосферы в ионосферу, взаимодействие космических лучей с атмосферой.

Перечисленные выше процессы характеризуются широким диапазоном пространственных и временных масштабов включая очень короткие временные шкалы порядка 1 мкс. Это обуславливает задачу создания приборов, сочетающих высокую чувствительность с достаточным временным и пространственным разрешением. Такие приборы для ближнего УФ-диапазона впервые созданы и использованы автором диссертационной работы вместе с соавторами, что составляет экспериментальную основу **новизны полученных в диссертации результатов**.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Введение содержит общую формулировку проблемы, обоснование ее актуально-

сти, постановку задач исследования, положения, выносимые на защиту, характеристику новизны и достоверности результатов, перечень публикаций автора по теме диссертации, описание личного вклада автора в получение результатов.

В первой главе описаны особенности и характеристики разработанных и использованных в исследованиях по теме диссертации приборов для измерения УФ и ИК излучения атмосферы. В частности, дана характеристика прибора космического базирования ТУС, обеспечивающего высокое временное разрешение в широком диапазоне интенсивностей УФ-излучения и имеющего большую апертуру (2 м^2). В силу технических причин возникла необходимость полетной калибровки прибора, которая также была успешно разработана и проведена. Разработан орбитальный детектор космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ) с равномерной экспозицией по небесной сфере для установки на МКС или Российской орбитальной служебной станции. Созданы и установлены на авроральных обсерваториях матричные фотометры наземного базирования, позволяющие исследовать тонкую структуру полярных сияний.

Вторая глава посвящена исследованиям квазистационарного УФ свечения атмосферы по данным спутников “Университетский-Татьяна”, “Университетский-Татьяна-2” и “Вернов”. Это исследование позволило выявить два основных источника излучения — авроральный овал в высоких широтах и облачные структуры в более низких широтах.

В третьей главе приведены результаты анализа измерений орбитального УФ-детектора ТУС на борту спутника “Ломоносов” в контексте регистрации КЛ ПВЭ. Определены параметры системы автоматического отбора событий с отсечением ложных срабатываний детектора, обусловленных прохождением заряженных частиц через матрицу фотоприемника. Отобраны и проанализированы события с параметрами, не про-

тиворечащими модельным широким атмосферным ливням от КЛ ПВЭ. Показана возможность интерпретации одного из событий как результата распада релятивистской “пылевой” частицы в атмосфере.

В четвертой главе изложены результаты исследований различных видов транзиентных событий свечения атмосферы. Эта глава характеризуется большим объемом и разнообразием представленных экспериментальных данных. В частности, исследовано распределение транзиентных атмосферных явлений в ближнем УФ-диапазоне по энергиям и по месту наблюдения, показано, что события с достаточно малой энергией, в отличие от высокоэнергичных событий, не обнаруживают статистической связи с молниевой активностью. Выделен новый класс внегрозовых вспышек, проявляющихся только в УФ, но не в инфракрасном диапазоне. За счет высокой чувствительности используемых приборов показано, что явления типа ELVES имеют место и при достаточно малом (< 30 кА) токе обратного удара родительской молнии.

В пятой главе исследуются проявления в УФ диапазоне пульсирующих полярных сияний и связь этих наблюдений с оптическими сияниями. Помимо результата, связанного с разработкой и тестированием аппаратуры для изучения тонкой пространственно-временной структуры полярных сияний, здесь хотелось бы отметить обнаружение корреляции УФ пульсаций с потоками электронов с энергиями более 100 кэВ, а также установление важной роли электронов с энергиями более 20 кэВ в формировании пульсирующих сияний на основе сравнения интенсивностей линий молекулярного азота 391 нм и 337 нм.

Отмеченные выше основные результаты являются новыми и важными, что подтверждается, в частности, их публикацией в авторитетных российских и международных журналах. Из 47 публикаций по теме диссертации в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, 16 опубли-

ликованы в журналах первого квартала (по версии Web of Science и/или Scopus).

Следует отметить высокую достоверность полученных в диссертации результатов, обусловленную использованием апробированных методов разработки и анализа характеристик детекторов УФ излучения, применением современных методов моделирования взаимодействия заряженных частиц с веществом, полным учетом возможных факторов, влияющих на интерпретацию результатов и сопоставлением новых результатов с достижениями, опубликованными в научной литературе.

Работа не свободна от недостатков, которые в основном относятся к качеству изложения материала.

В главе 1 следовало бы описать результаты по разработке приборов в сравнении с имеющимися в мире аналогами или предшественниками представленных конструкций.

При описании аппаратуры наземного базирования было бы целесообразно особо отметить общие черты и специфику таких приборов по сравнению с орбитальными.

Результат подгонки сигнала ФЭУ на рис.3.1 дает погрешность обратных времен релаксации в несколько раз выше самих значений, что вызывает вопрос о качестве такой аппроксимации. Но это, к сожалению, не обсуждается в диссертации.

При обсуждении результатов наблюдений многократных эльфов (ELVES, раздел 4.2) было бы целесообразно привести объяснение природы не только двойных, но и многократных событий и, возможно, привести пример последних.

Результат 4 в главе 4 сформулирован неоднозначно: на основании только одной этой формулировки можно предположить, что при токах выше 30 кА ELVES не образуются.

В главе 5 заслуживали быть более широко отмеченными работы российских авторов (в частности, В.Р. Тагирова, С.А. Черноуса) по пульсирующим полярным сияниям и их связи с низкочастотными электромагнитными излучениями.

Диссертация в целом написана грамотно, хорошо структурирована и легко читается. В каждой главе есть введение, в котором излагается история исследований и отмечены работы автора, на которых основано содержание главы. Однако есть некоторые замечания по стилю изложения и грамматике, приведенные ниже.

Изложение, как правило, выстроено логично, но встречаются и нарушения логики.

- Например, на с.38 говорится: “Как было сказано выше, напряжение питания последних динодов ФЭУ регулируется с помощью обратной связи...”, но выше не обсуждается напряжение питания динодов ФЭУ.
- При описании проекта “УФ атмосфера” в разделе 1.4 упоминается проект JEM-EUSO, но суть этого проекта не раскрывается.
- В главе 4 не совсем понятна логика следования разделов: казалось бы, общее распределение событий по энергии и по месту наблюдений уместно поставить в начале или в конце главы, но между этими разделами вклинивается раздел о методике определения типа вспышек, а затем следует раздел о внегрозовых явлениях, т.е. о еще одном отдельном виде событий.

Некоторые утверждения желательно было бы подтвердить ссылками на литературу: например, это относится к утверждению о слабой зависимости интенсивности линий высвечивания флуоресценции в расчете на единицу пути заряженной релятивистской частицы от давления воздуха (с.109).

Качество рисунков в ряде случаев оставляет желать лучшего.

- Рисунок 1.1 неинформативен, он требует пояснений.
- Отсутствие цветовой шкалы на рис. 2.2 снижает его информативность.
- Аналогичное замечание относится и к рис.2.7, но в гораздо большей степени: здесь вообще невозможно даже качественно сопоставить цвет и какой-либо параметр излучения.
- Для подписей к некоторым рисункам (например, 3.19) характерно отсутствие или недостаточность поясняющей информации.
- На рис.3.2 линии настолько тонкие, что их крайне трудно различить. В подписи к рисунку используется необщепотребительный термин “значимость Li-Ma”, который не удастся найти даже в Google.
- Рисунок 4.8 фактически отсутствует: на его месте находится дубликат рис.4.7.
- На рисунке 4.33 надписи на графиках неразличимы.

Встречаются стилистические неточности, например, “в течение тысяч км” (с.34) “линейность трека в той или иной степени размывается” (с.134), “низкие высоты”, и т.п.

На с.90 фраза “*Высыпающиеся электроны, двигаясь вдоль силовых линий магнитного поля, могут воздействовать на атмосферу на высоте 100 км и создавать УФ-излучение на более высоких широтах, чем те, которые наблюдаются при наблюдении потока электронов на высоте спутника (950 км).*” составлена неверно, поскольку речь, очевидно, должна идти об одних и тех же электронах на разных высотах и соответственно разных широтах.

Фраза “*большая часть электронов в ЮАА захвачена*” (с.93) не совсем корректна, поскольку сформулирована без привязки к высоте и геомагнитным условиям. Вообще говоря, за счет малого размера конуса потерь это верно практически везде (а не только на силовых линиях ЮАА) за исключением E области ионосферы и приэкваториальной области, где силовые линии целиком находятся в ионосфере, а также областей квазиизотропных высыпаний заряженных частиц.

На с.93 (строка 1), вероятно, вместо “минимума” должно стоять “максимума” (иначе непонятна предыдущая часть фразы).

Фраза на с.98 “*Поскольку глобальные облачные структуры имеют вытянутость вдоль определенных географических долгот, то они могут давать повышенную частоту регистрации избыточного УФ-излучения на определенных широтах.*” также непонятна, если не предположить, что вместо “долгот” должно быть “широт”.

Сочетание “земной шар” (с.5 и далее) и другие подобные (например, “лунный свет”, с.94) пишутся со строчных букв.

В тексте есть опечатки (например, с.29, строка 3, с.46, строка 1 после (1.8), с.70 строка 1 снизу, с.86 строка 7, с.182 строки 7–8 снизу (10–15 см²) и т.д.). Их плотность несколько увеличивается по мере продвижения по тексту. Весьма произвольно автор обращается с запятыми.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальностям 1.3.1. Физика космоса, астрономия и 1.6.18. Науки об атмосфере и климате (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоно-

сова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Климов Павел Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.1. Физика космоса, астрономия и 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
главный научный сотрудник Федерального государственного
бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический
институт» (ПГИ),
заведующий сектором Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук
им. А.В. Гапонова-Грехова» (ИПФ РАН)
Демехов Андрей Геннадьевич

Адрес места работы:

184209, г.Апатиты, Академгородок, 26а
телефон: (81555) 79-475, e-mail: demekhov@pgia.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация:

01.04.08 — физика плазмы, физико-математические науки

Контактные данные:

телефон: (81555) 79-475, e-mail: demekhov@pgia.ru

Подпись сотрудника ПГИ А. Г. Демехова заверяю:

Ученый секретарь ПГИ

Т. А. Попова