

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Парникова Станислава Григорьевича «Динамические явления в субавроральном свечении. Новые наблюдения и анализ» представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»

Диссертационная работа Парникова С.Г. посвящена исследованию увеличения интенсивности свечения ночной верхней атмосферы на широтах  $45^\circ - 65^\circ$  возникающего в результате геомагнитной активности - среднеширотных сияний. В отличие от полярных ( $60^\circ - 80^\circ$ ), среднеширотные сияния преимущественно состоят из диффузного свечения на длинах волн 630.0 и 557.7 нм и существенно ниже по интенсивности, что требует специализированной аппаратуры для исследования этого явления. Наиболее интересными структурами в среднеширотных сияниях являются так называемые стабильные дуги красного аврорального свечения «stable auroral red» или SAR-дуги, а также относительно недавно открытые события ассоциируемые с быстро движущимися ионами и горячими электронами в ионосфере - STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement). Таким образом, актуальность темы исследования заключается в поиске новых сведений об этих явлениях, причинах их возникновения и свойствах, что позволит глубже понять процессы протекающие в околоземном космическом пространстве, ионосфере, плазмосфере и магнитосфере Земли, под действием неравномерного потока солнечного ветра. В диссертационной работе исследуется пространственная и временная вариативность среднеширотных диффузных сияний, SAR-дуг, STEVE при помощи наземного фотометрического и магнитометрического оборудования, и частично объясняется природа этих явлений при помощи спутниковых сведений о состоянии и составе плазмы околоземного космического пространства и моделей динамики частиц в магнитных полях.

Новизна исследования заключается в синтезе наземных и спутниковых методов исследования для описания морфологии события SAR-дуги, сопоставлении пространственной и временной вариативности среднеширотных сияний на различных длинах волн, чтобы выявить роль высыпавшихся частиц различного сорта в формировании SAR-дуги и диффузного сияния. Несомненно новыми являются сведения о пространственно-временной динамике неоднородностей интенсивности свечения полярной границы SAR-дуги, и результаты первых мультиспектральных наблюдений субаврорального свечения STEVE в долготном секторе Северо-Восточной Азии.

К положительным моментам можно отнести последовательность изложения и целостность работы. Во введении достаточно ясно изложены цели и методы исследования, сформулирована актуальность и отмечена новизна и практическая значимость работы. Автор излагает современное состояние исследований в первой главе работы, где достаточно детально, с хорошими иллюстрациями, описывает природу среднеширотных сияний, и роль внешней плазмосферы, кольцевого тока и плазменного слоя в формировании наблюдаемого свечения. Во второй главе сделано хорошее описание используемого наземного инструментария, фотометров, камер, описаны методы обработки данных этих инструментов, приведены основные сведения о спутниковых инструментах используемых в работе. В третьей главе, на примере нескольких событий, автор убедительно показывает, что именно электроны с повышенной температурой на границе плазмосферы являются причиной образования SAR-дуги. Дифференцирует лучи (корону) в свечении 557.7 нм возникшие на экваториальной границе диффузных сияний от выступов свечения на полярном крае SAR-

дуги, которые могут быть вызваны возникновением неоднородностей электронной плотности на границе внешней плазмосферы. Анализирует временную и пространственную динамику квазипериодических пульсаций свечения молекулярных полос  $N_2^+$  от высыпающихся электронов в окрестности SAR-дуги, и численными расчётами показывает, что механизм модуляции питч-угловой диффузии энергичных электронов электромагнитными ионно-циклотронными волнами может вызывать наблюдаемые пульсации свечения в окрестности плазмопаузы. В четвёртой главе автор анализирует спутниковые данные о границе плазмопаузы, положении ионов кольцевого тока и положении SAR-дуги. В результате анализа автор приходит к выводу, что нарастающая концентрация ионов, перекрывается со спадающей концентрацией электронов и приводит к потоку энергичных частиц вдоль границы плазмопаузы, формируя SAR-дугу в ионосфере, на соответствующей L-оболочке. Пятая глава посвящено исследованию STEVE и сопровождающего его явления Picket fence, описаны условия в которых возникали эти явления, их временная, пространственная и спектральная структура. Показано что, STEVE не совпадает в пространстве с наблюдавшейся SAR-дугой и не является следствием SAR-дуги. но при этом STEVE и Picket fence лежат на одних и тех же силовых линиях геомагнитного поля. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Несмотря на плодотворность проведённого исследования, следует отметить некоторые моменты по тексту, которые хотелось бы прояснить.

Положение 2. Как утверждается, SAR - область перекрытия плазмопаузы и кольцевого тока. При перемещении SAR к экватору её ширина практически не изменяется. Означает ли это, что граница плазмопаузы в экваториальной плоскости и кольцевой ток смещаются вдоль радиуса синхронно? Уменьшается ли ширина (размер вдоль долготы, от полюса к экватору) SAR перед её исчезновением, когда кольцевой ток выходит за границу плазмопаузы? Судя по динамике SAR на кеограмме 630.0 нм рис 5.2 при её исчезновении ширина остаётся постоянной. Это означает исчезновение кольцевого тока или исчезновение плазмопаузы?

Описание STEVE на стр. 29 содержит расшифровку и перевод этой аббревиатуры. Термин "скорость" в данном варианте перевода не очень подходит. Скорее всего, следует использовать термин "интенсивность". Если это явление не связано с высыпаниями, то возможно имеется в виду свечение, возникшее в результате омического нагрева от некого тока, который увеличился в результате повышения горизонтальной скорости частиц плазмы и следовало бы это подчеркнуть, а не пользоваться дословным переводом?

На стр. 32 упоминается, что проведено физическое моделирование возникновения STEVE. Имеются в виду эксперименты по искусственному воздействию на область SAID нагревными стендами или химическими компонентами выбрасываемыми с ракет, или всё же численное моделирование физических процессов?

По тексту работы многократно используется термин "магнитный зенит", приводятся примеры вариаций свечения на различных длинах волн в направлении магнитного зенита. Как показано на рисунке 5.6 магнитный зенит это направление наблюдения вдоль геомагнитного поля на некоторой высоте, которая в данном случае, очевидно, означает высоты исследуемых оптических эмиссий. Какое именно из четырёх направлений фотометра используемого в работе (стр. 38) является направлением в магнитный зенит? «73N» по всей видимости, означает направление на север, под углом  $73^\circ$  к горизонту, но рисунок 5.6 говорит, что это направление должно быть на юг, под углом  $78^\circ$  к горизонту. Что считать верным?

Каким образом диффузные сияния разделяются от естественного свечения атмосферы? Или подразумевается, что на широте наблюдения диффузные сияния присутствуют всегда, и существует некая граница в интенсивности свечения южнее которой свечение можно считать происходящим от естественных химических процессов в верхней атмосфере, а севернее свечение преимущественно обусловлено высыпанием частиц?

На стр. 55 сказано о разных механизмах возбуждения красной линии атомарного кислорода в SAR-дуге и ДС. Скорее всего это утверждение некорректно в терминах. Механизм возбуждения в обоих случаях идентичный - электронный удар, а вот энергия электронов при этом различается. В конечном итоге, происхождение этих электронов скорее всего вызвано разными механизмами в плазмосфере.

Вывод 2 на странице 65. Что подразумевается под экваториальным расширением? Смещение SAR-дуги постоянной ширины к экватору, или увеличение долготного (в направлении полюс-экватор) размера SAR-дуги? Увеличение области перекрытия должно приводить к последнему явлению, но никаких графиков или таблиц показывающих динамику ширины SAR-дуги в главе не приведено.

На стр. 73 при описании обработанного снимка с камеры всего неба сказано: "Полярная граница SAR-дуги с уровнем интенсивности  $\sim 1$  кРл оказана чёрными кружками на изображении 12:45 UT на рисунке 4.5." Очевидно, что долина на тепловой карте указанного рисунка, лежит гораздо ниже нарисованной цепочки "кружков". По представленным данным полярная граница находится в области широт  $55^\circ - 57^\circ$  а не  $\sim 59.5^\circ$ . Поэтому граница, скорее всего не может находиться на указанной L оболочке равной 3.9, а расположена ниже, на L около 3.

Было бы полезным пояснить, почему при анализе данных на стр. 74-75 для сопоставления субаврорального Te пика на DMSP-F19 с регистрацией SAR-дуги использовалась высота 350 км.

Последний абзац на стр. 76 подытоживает проведённый анализ применяя сведения о форме плазмосферы из стороннего источника. Рассмотренная форма плазмосферы, получена в спокойных геомагнитных условиях, летом, а обсуждение проводится для возмущённых условий весной. Будет ли сезонная и буревая изменчивость плазмосферы сказываться на полученных результатах?

В четвёртом выводе на стр. 78 говорится о значительном увеличении ширины SAR-дуги которое обусловлено областью перекрытия кольцевого тока с вечерней выпуклостью плазмосферы. Вероятно, этот вывод не совсем корректный в свете замечаний на стр 73 и стр 76.

В первом выводе на стр. 92 говорится о формировании SAR-дуг, подразумевая это явление в целом, а не какой то отдельный случай. Почему автор, анализируя одно событие, говорит о всех явлениях подобного рода? Скорее всего следует провести дополнительные статистические исследования.

Указанные моменты не снижают научной и практической ценности работы, а положения выносимые на защиту достаточно обоснованы и достоверны.

При помощи иллюстраций содержащих пространственные распределения интенсивности свечения и временную динамику солнечного ветра автор достаточно уверенно показывает, что формирование SAR-дуги начинается в окрестности экваториальной границы диффузного

сияния во время усиления магнитосферной конвекции при южном направлении  $V_z$  ММП, а взрывная фаза суббури вызывает её активизацию.

Несмотря на некоторые перечисленные выше замечания (стр 73, 76, 78) использованные автором спутниковые и наземные сведения о среднеширотном сиянии 17 марта 2015 г и их анализ показывают хорошую обоснованность того, что полярный и экваториальный края дуги отображают плазмопаузу и границу потока энергичных ионов кольцевого тока внутри плазмосферы. Достоверность этого достаточно высока, и необходимо только уточнение некоторых деталей и проведение дополнительного статистического исследования по этой проблеме, которое несомненно будет сделано автором в будущем.

Исследование динамики долготных распределений интенсивности от STEVE и Picket fence подтверждают сделанное предположение о геометрии наблюдаемых явлений и не вызывают сомнений в том, что структуры субаврорального свечения STEVE и Picket fence происходят на одних и тех же силовых линиях геомагнитного поля.

Следует сказать, что все защищаемые положения опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК. Судя по этим и другим публикациям выполненным в ходе исследования личный вклад автора является определяющим, все основные положения и выводы работы сделаны самим автором. Работа выполнена на высоком научном уровне, на это указывает как уже упомянуты системный и основательный подход к исследованию, так и качество всех опубликованных работ: преимущественно это статьи в рецензируемых научных журналах из списка ВАК и доклады на международных и всероссийских научных мероприятиях.

Диссертация Парникова Станислава Григорьевича является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-14 Положения о присуждении научных степеней), а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент:

И.о. заместителя директора по НИР,  
кандидат физико-математических наук



Васильев Роман Валерьевич

20.03.2024

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126А, а/я 291, тел: +7 3952 564577, эл. Почта: [roman\\_vasiljev@iszf.irk.ru](mailto:roman_vasiljev@iszf.irk.ru)

Диссертация защищена по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Подпись Васильева Романа Валерьевича заверяю  
ученый секретарь ИСЗФ СО РАН к.ф.-м.н.



И.И. Салахутдинова