

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Парникова Станислава Григорьевича «ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СУБАВРОРАЛЬНОМ СВЕЧЕНИИ. НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Мониторинг и прогнозирование состояния верхней атмосферы имеют важное прикладное значение для улучшения качества радиосвязи, навигации, оперативности и точности позиционирования с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, а также для оценки вариаций торможения спутников. Изучение динамики и структуры высокоширотной атмосферы является актуальным разделом геофизики, имеющим большое прикладное значение, особенно для России. Увеличение темпов развития программ по освоению Арктики и наметившийся рост в использовании высоких широт для перевозки пассажиров воздушным транспортом делают задачи обеспечения безопасности перелетов и надежности радиосвязи в суб-авроральном регионе наиболее важными. Субавроральный регион характеризуется сильно структурированной средой из-за наличия большого количества неоднородностей различных масштабов, от нескольких метров до сотен километров. Наиболее известной и изученной неоднородной структурой субавроральной ионосферы является главный ионосферный провал. Другой важнейшей (более тонкой и менее изученной) структурой субавроральной ионосферы является поляризационный джет. Неоднородности в субавроральной ионосфере возникают вследствие наличия процессов магнитосферно-ионосферного взаимодействия, связанных с авроральной активностью, в частности, с высыпаниями энергичных частиц, продольными токами и возникающими высокоширотными ионосферными электрическими полями. Мониторинг этих неоднородностей радиофизическими методами усложняется за счет 1) малых значений электронной концентрации в высокоширотном регионе, 2) существенным поглощением радиосигналов в областях высокоширотной нейтральной термосферы за счет курпускулярного и Джоулева разогрева нейтралов и соответственно увеличения их плотности. Благодаря этому существенный вклад в изучение процессов и явлений в верхней атмосфере суб-аврорального и аврорального регионов должны вносить оптические методы измерения. Диссертация Парникова С.Г. посвящена использованию оптических наблюдений для изучения процессов в суб-авроральном регионе в периоды развития различных магнитосферных событий. Из сказанного выше актуальность и практическая значимость выполненных Парниковым С.Г. работ не вызывает сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Объем диссертации составляет 117 страниц, включая 32 рисунка. Список литературы содержит 164 наименования. Во введении определены цели и задачи исследований, представлена новизна, научная и практическая значимость, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту. В первой главе представлено общепринятое представление о динамике диффузных сияний, SAR-дуг и пульсаций суб-авроральных свечений, а также современное представление о свечениях в суб-авроральной области в периоды магнитосферных возмущений. Вторая глава дает представление об оптических приборах, методах обработки и анализе данных наблюдений, которые легли в основу диссертационного исследования. В третьей главе обсуждаются вопросы возникновения SAR-дуги и лучей (короны) на экваториальной границе диффузных сияний во время взрывной фазы магнитосферной суббури. Также в этой главе представлены результаты выявления пульсаций свечения в эмиссии 427.8 нм на широтах полосы красного свечения и обсуждается связь этих пульсаций с генерацией электромагнитных ионно-циклотронных волн энергичными ионами кольцевого тока. В четвертой главе представлено сопоставление данных наземных наблюдений SAR-дуги с данными спутниковых измерений параметров плазмы и потоков энергичных частиц во время геомагнитной бури. Пятая глава посвящена исследованию динамики, пространственных и спектральных характеристик недавно выявленных свечений в суб-авроральном регионе STEVE и Picket fence. В заключении кратко изложены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

Важные научные результаты данного исследования были получены при анализе и сравнении спутниковых данных потоков заряженных частиц в широком диапазоне энергий и данных оптических измерений (камер всего неба, фотометров, и т.д.) использующимися для мониторинга и обнаружения высыпающихся частиц с высокими энергиями. Высокий уровень проведенных работ был обеспечен большим опытом руководителя диссертанта, а также наличием комплекса современных оптических инструментов и программ обработки оптических данных в ИКФИА СО РАН. Диссертация Парникова С.Г. представляет собой результат важных научных исследований, направленных на совершенствование понимания взаимосвязи процессов в авроральном овале, на плазмапаузе и в суб-авроральном регионе. Основой диссертационной работы стали оптические наблюдения на станции Маймага, с помощью которых были получены следующие важнейшие результаты: 1) показано одновременное появление лучей (короны) на экваториальной границе диффузных сияний в эмиссии 557 нм и выступов свечения на полярном крае красной дуги во время взрывной фазы суббури; 2) показана связь пульсаций свечения молекулярных полос иона азота с

генерацией электромагнитных ионно-циклотронных волн; 3) выявлена связь SAR-дуги и потоком энергичных ионов кольцевого тока внутри плазмосферы; 4) показано, что суб-авроральные свечения STEVE и Picket Fence наблюдаются на одних и тех же силовых линиях геомагнитного поля на разных высотах.

Диссертационная работа прошла необходимую апробацию в виде достаточного количества публикаций в рецензируемых журналах (5 статей в журналах входящих в перечень ВАК и баз данных Scopus и Web of Science), 19 публикаций в трудах конференций, а также в виде докладов на научных конференциях, научных семинарах и симпозиумах.

В изложении диссертации присутствует ряд недостатков.

1. Название сформулировано не очень удачно. Смущают слова “Новые наблюдения и анализ”. Под “новыми” наблюдениями на мой взгляд понимаются не новые виды наблюдений, а данные наблюдений, полученные за последние годы.

2. В Главе 3 в первом рассмотренном случае в линии 557 нм на широтах ниже зенита станции формируется максимум свечения. Связан ли этот максимум с SAR-дугой или нет?

3. Стр. 45-46. Не дано объяснение каким образом вариации Не дано объяснение каким образом вариации магнитного поля  $dX$  и  $dY$  в трех сильно разнесенных точках указывают на положение центра начала активации. И что такое вообще центр начала активации?

4. Стр. 46-47. Требуется пояснение, что из себя представляет эффект Ван Райна.

5. Стр. 53-54. В тексте указано, что в окрестности экваториальной границы диффузных сияний интенсивность красной линии растет вследствие механизма возбуждения SAR-дуги. Но ведь рост интенсивности происходит и в области диффузных сияний, а значит, нужно было бы написать, что в окрестности экваториальной границы диффузных сияний интенсивность красной линии растет сильнее вследствие механизма возбуждения SAR-дуги, чем за счет усиления диффузных высыпаний мягких электронов.

6. В разделе 3.5 на стр. 55 делаются выводы о пульсациях в свечении, связанных с пульсациями высыпающихся энергичных частиц на широтах плазмопаузы. Чем подтверждается данный вывод?

7. При рассмотрении пиков в  $T_e$  по данным спутников SWARM и их связи с SAR-дугой было бы полезно упомянуть о недавней работе Синевича и др. (Sinevich, A. A., Chernyshov, A. A., Chugunin, D. V., Clausen, L. B. N., Miloch, W. J., & Mogilevsky, M. M. (2023). Stratified Subauroral Ion Drift (SSAID). *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031109. <https://doi.org/10.1029/2022JA031109>) в которой выявлена связь между

стратификацией электронной концентрации и температуры в области поляризационного джета в субавроральном регионе.

8. На стр. 55 для события марта 2003 года не приведено поведение параметров солнечного ветра и индексов геомагнитной активности. Это усложняет понимание приведенных в тексте причинно-следственных связей.

9. На стр. 60 в приведенной оценке частоты ЭМИЦ волн в окрестности плазмопаузы не описаны все величины:  $M_k$ ,  $M_p$ ,  $\Omega_k$ ,  $\Omega_p$ . Что обозначает  $A$  в численном определении частоты ЭМИЦ волн?

10. На стр. 63 указано, что пульсации на широтах пульсации на широтах SAR-дуги возникают в период фазы восстановления суббури. Откуда следует этот вывод? По каким параметрам можно определить фазу восстановления суббури?

11. На стр. 65 неудачно сформулирован пункт 1. Как усиление магнитосферной конвекции может “наблюдаться” в экваториальном расширении ДС?

12. На рис. 5.2. и 5.5 не ясен принцип отделения свечений SAR-дуги и STEVE. Это должно быть разъяснено. Также не понятно как на рис. 5.5 выделен PF в ~13:25 UT в области экваториальной границы ДС.

13. На рис. 5.3 для верхнего левого рисунка стрелка указывает на расположение STEVE на востоке. Тогда как на западе имеется схожее свечение, которое для других эмиссий отмечено как STEVE.

14. Откуда взято предположение о высоте свечения PF на 110 км. От выбора этой высоты зависит оценка высоты STEVE.

Отмеченные замечания носят уточняющий характер и не снижают ценность основных результатов диссертационной работы. Диссертационная работа «ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СУБАВРОРАЛЬНОМ СВЕЧЕНИИ. НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Парников Станислав Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Ведущий научный сотрудник, заместитель директора по научной работе  
Калининградского Филиала ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и  
распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (КФ ИЗМИРАН)

доктор физико-математических наук



/Клименко М.В./

Россия, 236017 г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61, e-mail: mvklimenko@wdizmiran.ru

20 марта 2024 г.

Подпись Клименко М.В. заверяю  
Ведущий бухгалтер КФ ИЗМИРАН



Н.В. Линская

Я, Клименко Максим Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

20 марта 2024 г.

/Клименко М.В./