

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Синевича Александра Алексеевича

на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА В СУБАВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ
СПУТНИКОВЫМИ И НАЗЕМНЫМИ СРЕДСТВАМИ»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»

Работа посвящена важной научной проблеме – формированию мелкомасштабной структуры ионосферы. Одним из драйверов являются более крупномасштабные структуры: авроральный овал, перемещающиеся ионосферные неоднородности, экваториальные пузыри и другие (за счет различных механизмов). Настоящая работа посвящена изучению поляризационного джета с использованием спутниковых и анализу его воздействия на радиосигналы. Высокая актуальность работы связана с взаимосвязью воздействия таких мощных структур, как поляризационный джет, на качество работы технических систем, в том числе систем связи, радиолокации и радионавигации. Последнее связано с эффективным рассеянием радиоволн на неоднородностях мелких масштабов, а также мелкомасштабной рефракцией (для более крупного масштаба неоднородностей).

Работа является достаточно глубокой в научном плане и написана хорошим языком. Диссертация в большей части достаточно подробно описывает текущее состояние исследований в данной области, в том числе как работы зарубежных, так и отечественных групп. Особое положительное впечатление оставляют научные положения, выносимые на защиту: они оформлены в корректном виде (в виде утверждений), позволяют понять значимость и новизну. Наиболее важным фундаментальным результатом считаю обнаружение стратификации поляризационного джета со стратами не являющимися краткосрочными флуктуациями, а достаточно устойчивыми структурами, а также обнаружение факта, что при развитии геомагнитной активности роль крупномасштабных эффектов увеличивается. К результатам можно употребить эпитет «изящные»: они гармонично вплетаются в общее понимание структуры ионосферы. Полезно и обобщение, выполненное в Таблице 2.

Автором используются различные группировки спутников. Проявление эффектов одновременно в различных (независимых) приборах указывает на корректность данных и

является надежной основой для выводов. Положительно можно оценить то, что автор во многих случаях приводит погрешности измерений и расчетов.

По представленной диссертационной работе имеются замечания:

1) Структура диссертации. Хотя введение к главам является вполне возможным, в данном случае, на мой взгляд, удачнее было бы сделать отдельную главу, объединив введения к различным главам, так как, по сути, они представляют собой обзор текущего состояния по проблеме диссертации. В отдельную главу, возможно, стоило бы вынести средства измерений и описание геомагнитных событий. Аналогично с разделами «Обсуждение» - они не обобщены между главами, в ряде случаев в них приведена информация не существенная для диссертации (более уместная для статьи, в том числе про суперфонтан-эффект и экваториальные пузыри). Информация о бурях и общие утверждения частично повторяются.

2) Терминология не везде удачная.

- Автор использует термин «амплитудные и фазовые сцинтилляции». Более точный термин в русскоязычной литературе для этого явления – «мерцания» и «флуктуации». Сцинтилляции – англицизм (от scintillations) немного запутывающий и создающий ассоциацию с сцинтилляционными детекторами для регистрации ионизирующего излучения. В результате в ряде случаев терминология не верна: например, «интенсивностью сцинтилляций для индекса S4» - индекс S4 – это и есть интенсивность амплитудных мерцаний.

- Наименование «Буря Победы» по отношению к буре 10–12 мая 2024 года не выглядит уместным. Автор указывает «поскольку солнечные вспышки произошли 8–9 мая 2024 года», «солнечное событие в День взятия Бастилии, геомагнитная буря в День Святого Патрика 2015 года». Тогда корректнее было бы сказать не буря, а «Solar Storm», как часто указывается в зарубежной литературе. В результате автор путает сам себя, указывая вместо даты 10–12 мая на стр. 130 «во время геомагнитной бури в День Победы (9–12 мая) 2024 года».

3) Хотя автор сделал достаточно хороший обзор литературы, цитирование не всегда точное.

- Не ссылаться на монографию (Афраймовича и Переваловой, 2006), приводя формулу (60) как-то не принято. Сама формула содержит опечатку: коэффициент должен быть «40.308», а не «40.38».

- В качестве ссылки для индекса RODI удачнее было бы выбрать статью не (Jin et al., 2020), а более раннюю статью (Zakharenkova et al., 2016; DOI:10.1186/s40623-016-0490-5).

- (Alken et al., 2021) – не самая удачная ссылка на IGRF-90.

- В части срывов сопровождения сигнала удивляет отсутствие пионерских работ Э.Л. Афраймовича, а в части их физических механизмов – В.В. Демьянова.

4) Срывы сопровождения сигнала – вероятностные величины. Поэтому более удачно их изучать на сети приемников, которых достаточно много в исследуемом европейском секторе. Хотя временное разрешение в приемниках стандартной сети сильно меньше специализированных ионосферных мониторов, за счет большого количества станций такие данные становятся более информативными и полезно было бы анализировать и их. Хороший вопрос на будущее: почему близкие спутники характеризуются разным типом мерцаний (много низких и одно высокое значение), что тоже можно анализировать, привлекая сеть приемников.

5) Данные абсолютного ПЭС (рис. 3.21). Не описаны как карты ПЭС получены. Методы построения локальных карт должны сглаживать такие тонкие структуры $1-2^\circ$. Их типичное разрешение – несколько градусов. Если они строятся на сферических гармониках, как карты Калининградского филиала ИЗМИРАН, то сглаживание будет еще более сильным и такие мелкие структуры не должны проявляться. Вытянутая структура больше похожа на результаты интерполяции (см. 15:00, на 16:00 и 17:00 – не видно).

6) Интерпретация спектров. Из Рис. 2.6 – 2.7 не видно, откуда автор взял пространственные масштабы страт поляризационного джета «от сотен метров до километра», а на рис. 2.9 – «минимальный пространственный размер неоднородностей в которых составляет сотни метров». На графике это от нескольких до 10 километров. Может быть, на оси приведены не метры, а дециметры.

7) Имеются отдельные неточности и оформительские ошибки.

- Для многих рисунков (1.20, 1.22, 2.2, 2.3 2.4, 2.5, 2.6, 3.8, 3.17, 4.9) часть подписи (иногда вся) переехали на следующую страницу, что затрудняет чтение. В ряде случаев можно было вставить без излишних корректировок.

- «Результаты диссертационной работы представлены в 27 тезисах докладов на российских и международных конференциях и симпозиумах». Результаты представлены на российских и международных конференциях, а не только (и не столько) в тезисах докладов.

- Качество иллюстративного материала не всегда удачное. В ряде случаев используются мелкие шрифты и надписи на английском, что усложняет понимание.

- Использование англоязычных сокращений не всегда оправдано. Для продольных токов вместо FAS можно использовать сокращение ПТ (или вообще не сокращать).

- Стр. 44: «Экваториальнее участка, отмеченного красной стрелкой, простирается область, со стороны экватора ограниченная небольшим подъемом электронной концентрации

- (показан синей стрелкой) на 52.2° геомагнитной широты (10:11:44 UT).». На самом деле, не «область, ограниченная подъемом» (подъем не ограничивает ее), а область, с повышенными значениями температуры и электронной концентрации».
- Стр. 20. «было проведено первое магнитно-сопряженное исследование ПД в ионосфере». Должно быть исследование ПД по данным в магнито-сопряженных областях.
 - Стр. 22. «соотношению $J||-n_i-E_x$ «генератора тока»»
 - Стр. 52. «градиентной дрейфовой неустойчивости». Д.б. «градиенто-дрейфовой неустойчивости.
 - Стр. 56. «SMA — простое скользящее среднее». Не вполне понятно, что значит «простое». Чаще используется СМА, где С значит centered (центрированное). Для однозначности стоило привести формулу.
 - Стр. 56. Рис. 2.1 Нет шкалы для синей и красной линии. Линии описаны в основном тексте, но не описаны в подрисуночной подписи. При этом, это важные для интерпретации кривые.
 - Иногда знак минус отрывается от числа и переносится на более высокую строку (например, стр. 65).
 - Стр. 82. «каждую секунду выдает необработанные данные наблюдений, включая измерения фазы и амплитуды с частотой 50 Гц и измерения ПЭС с частотой 1 Гц.». Каждую секунду – расчеты ПЭС. Измерения 50 Гц – 0.02 секунды.
 - «Исходные измерения фазы были очищены от тренда с помощью фильтра верхних частот Баттерворта 6-го порядка с частотой среза 0.1 Гц (Skjæveland et al., 2021)». Видимо речь идет про стандартную процедуру получения мерцаний в приемнике. Они выдаются вообще 1 раз в минуту и там используется фильтр верхних частот.
 - «Для обоих приемников использованы данные с частотой 1 Гц» - секундные данные плохо подходят для оценки мерцаний, если по ним идет расчет – эффект оказывается замазан.
 - Стр. 84. «Индексы фазовой сцинтилляции σ_f ,» не понятно, что обозначает. Во-первых, он один σ_f . Нет согласования между «фазовой» и «сцинтилляции». Оптимально «Индекс фазовых флуктуаций/мерцаний».
 - Стр. 85. «для кодового разделения каналов (CDMA) в системах GPS, ГЛОНАСС и Galileo». В системе ГЛОНАСС основное разделение – частотное, а дальномерный код используется один. Коды представленные здесь просто разделяют спутники. В итоге, PRN 45 – не вполне корректное наименование и не понятно, как соотносится со стандартным форматом RINEX.

- Стр. 85. «В обычной практике анализа данных о сцинтилляциях высокие значения индекса σf следует удалять из набора данных, поскольку соответствующие им значения времени синхронизации составляют менее 240 с» - не вполне корректно.
- Стр. 87-88. «Следует отметить, что индекс амплитудной сцинтилляции S4 более чувствителен в зоне дискретного полярного сияния, однако повышенные значения S4 также наблюдаются у спутников, проходящих через зону экваториальной границы диффузного полярного сияния, где обычно наблюдается ПД.» - Фазовые всегда сильнее. И надо помнить, что это разные единицы.
- Стр. 105. «Параметры геомагнитного события 18 марта 2018 года уже были рассмотрены ранее в диссертационной работе, в области Земли Королевы Мод в Антарктиде.». Потерянная мысль если смотреть на знаки препинания.
- Стр. 121. «индекс S4 является индикатором мелких неоднородностей меньше масштаба Френеля» - обычно считается, что на размерах порядка.
- Стр. 122-123. «в то время как DPS-4 усредняет скорости по пространственной области (радиусом около нескольких десятков км) и времени (около 3–4 мин).» - Не понятно, откуда идет такая оценка. Если это общая область диаграммы направленности, то она должна быть сотни километров.
- Стр. 130. «нагрева и инъекции энергии в турбулентность». Жаргонизм.
- Стр. 131. «суммарное межпланетное магнитное поле B_t » - обычно это модуль. И не понятно, как он может быть отрицательным (-73 нТл) – на картинке положительные значения.
- стр. 131 «Во время геомагнитной бури в День Победы 2024 года наблюдались значительные изменения геомагнитных индексов K_p и Dst , а также индекса солнечной активности $F10.7$, как видно из Рисунка 4.2» - Понятно, что изменения $F10.7$ связанного с бурей нет. Рисунку сложно это подтвердить в силу низкого временного разрешения, но даже из него видно отсутствие значительных вариаций 9-11 мая 2024 г.
- Стр. 131. «Буря началась 10 мая около 12:00 UT с увеличением индекса K_p до 4,» - противоречит времени прихода ударной волны (16:40 UT – именно это время характеризуется повышением индекса SYM-H и соответствует времени смещения овала ионосферных неоднородностей по данным ROTI). Можно видеть, что индекс Dst в это время еще не среагировал, а индекс K_p хоть и стал 4, но тоже не соответствует развитию возмущения, что произошло для интервала 15-18 UT. Кроме того, это противоречит сведениям, приведенным в п. 4.4.2 (с 9 мая по 17:30 UT 10 мая значительных вариаций во всех компонентах магнитного поля не наблюдается).

- Стр. 132. «10 на 11 мая 2024 года, когда значения К_p достигли 9 и оставались на этом уровне до вечера 11 мая». Не точно: 9 имеет место только в два трехчасовых (0-3 и 9-12 UT) временных интервала.
- Стр. 132. «значительно повышенную солнечную активность. В этот период на Солнце наблюдались солнечные вспышки класса X. ... после резкого увеличения 7 мая индекс F10.7 оставался довольно высоким, что указывает на различные продолжающиеся солнечные процессы, такие как мощные вспышки, КВМ и высокоскоростные потоки плазмы.». Автор смешивает «активность» как высокий F10.7, и вспышечную активность. Высокий F10.7 не является индикатором вспышечной активности и КВМ.
- Стр. 138. Методика определения ROTI дана уже в основной части в конце диссертации.
- «Метод определения параметров поляризационного джета» дан в разделе «4.3 Поляризационный джет во время других экстремальных геомагнитных бурь»
- Стр. 150. Опечатка «Ноябрьской бури 20 ноября 2003 года».
- «Октябрьская буря является одной из мощнейших экстремальных геомагнитных событий 21 века» - буря октября 2024 не была экстремальной. Она была очень сильная.
- «крупнейших геомагнитных событий 21 века,» - на момент выхода статей действительно было так, но на настоящий момент на фоне произошедших бурь в ноябре 2025 г. и январе 2026 г. буря октября 2024 г. выглядит не таким уж «крупнейшим событием».

При этом, внимательный анализ выводов и результатов, показывает, что **указанные выше замечания** на них не сказываются, не снижают качества проведенных исследований и **не затрагивают вынесенные на защиту положения.**

Тема и содержание диссертации соответствует п. 11 и п. 12 паспорта научной специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»: «Магнитосферы и ионосферы Земли, планет и экзопланет. Геомагнитная активность.» и «Теоретические и экспериментальные исследования космической плазмы».

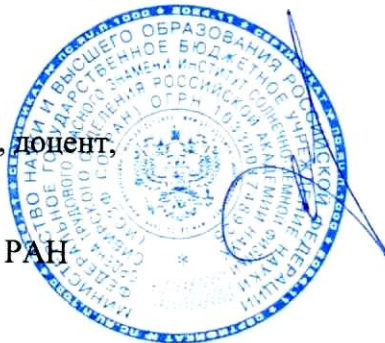
Работа достаточно широко обсуждалась на отечественных и международных конференциях. Результаты работы опубликованы в 10 рецензируемых статьях входящих в список изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных исследований, или приравненных к ним. Стоит отметить, что 5 статей опубликовано в журналах первого квартиля (Q1), в том числе Geophysical Research Letters, что указывает на высокую научную значимость результатов и крайне серьезный уровень рецензирования на предварительном этапе.

Диссертация является законченным научным исследованием. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Таким образом, считаю, что диссертация Синевича Александра Алексеевича «Исследование мелкомасштабной структуры поляризационного джета в субавроральной ионосфере спутниковыми и наземными средствами» соответствует критериям, установленным пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. (в текущей редакции), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
заместитель директора по научно-
исследовательской работе ИСЗФ СО РАН



Ю.В. Ясюкевич

18.08.2026

Ясюкевич Юрий Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент,
заместитель директора по научно-исследовательской работе, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН), 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126А, а/я 291, Тел. +7(3952)564-554,
Эл. Почта yasukevich@iszf.irk.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 1.3.4 «Радиофизика»
Ученое звание доцента по специальности "Радиофизика".