

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЯНЦ СО РАН)

Академик РАН



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЯНЦ СО РАН) на диссертацию Марчука Романа Александровича на тему «Динамика электромагнитных УНЧ-колебаний и ионосферных токов в ходе атмосферных и космических возмущений», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 "Физика космоса, астрономия»

Актуальность темы диссертации

Актуальность связана с комплексным изучением проблемы космической погоды, основанном на сопоставлении распределения трехмерных токовых систем и свечения ночного неба на средних широтах с динамикой короткопериодических колебаний (КПК) в диапазоне PiV (pulsations irregular bursts в диапазоне периодов $T = 0.2 - 600$ с, состоящего из короткопериодной части — Pi1V ($T < 40$ с) и длиннопериодной (Pi2, Pi3) $40 < T < 600$ с). А также с исследованием свойств КПК как во время магнитных бурь, так и изолированных суббуревых возмущений. Кроме того, в работе выполнены исследования пульсаций более высокочастотного диапазона с периодом $T < 0.025$ с, связанных с молниевыми разрядами в атмосфере.

Исследование пульсаций диапазона PiV (и более высокочастотных) является нетривиальной задачей вследствие их малой амплитуды. Исследование пульсаций необходимо проводить спектральными методами, из-за этого усложняются рутинные задачи, связанные с хранением данных и их обработкой. Полноценное исследование пульсаций невозможно без сведений об их ионосферной токовой системе. Диссертант Марчук Р.А. обосновал выбор вейвлета Морле для изучения спектральных свойств пульсаций. Распределение продольных и ионосферных токов во время всплесков пульсаций исследовалось на основе метода техники инверсии магнитограмм (ТИМ), который диссертант, судя по всему, хорошо изучил. Диссертант продемонстрировал новые возможности применения пульсаций Pi1V и более высокочастотного диапазона при изучении явлений в разных геосферах Земли.

Структура и содержание работы

Содержательная часть диссертации состоит из введения, шести глав и заключения. В целом работа включает 129 стр., 4 таблицы, 40 рисунков, содержит ссылки на 150 литературных источников.

Во введении автором сформулирована актуальность темы диссертации, указаны цели работы, описаны решаемые задачи, отмечена научная новизна, значимость исследования, достоверность и апробация работы, личный вклад, и положения, выносимые на защиту.

В главе 1 сделан обзор бухтообразных геомагнитных возмущений на высоких и средних широтах длительностью от часа до суток и более (изолированные суббури, пилообразные возмущения (sawtooth events (STE)), события стационарной магнитосферной конвекции (steady magnetospheric convection (SMC) и магнитосферные бури). Рассмотрено поведение параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП), геомагнитного поля, динамика энергичных частиц в магнитосфере, усиление трехмерных токовых систем, аврорального свечения и поведение геомагнитных индексов во время этих возмущений. Также рассмотрена существующая классификация короткопериодных колебаний геомагнитного поля, особое внимание уделено высокочастотным пульсациям диапазона Pi1B, а именно преимуществам их использования для таймирования взрывных фаз бухтообразных возмущений.

В главе 2 описываются используемые в работе данные и методы их обработки. Приводится карта станций Комплексной магнитно-ионосферной обсерватории ИСЗФ СО РАН. В работе используются магнитовариационные, индукционные и оптические наблюдения на станциях этой обсерватории. Приведено описание используемых индукционных магнитометров. Для анализа геомагнитных возмущений применялись данные станций сетей IMAGE и SuperMAG, геомагнитные пульсации анализировались по данным станций сети CARISMA. Потoki низкоэнергичных (50–225 кэВ) электронов исследовались по данным спутников LANL. Кроме этих данных в работе использовались индексы геомагнитной активности на разных широтах. Частотно-временной анализ пульсаций проводился с помощью вейвлет-преобразования, токовые системы во время магнитосферных бурь и суббурь исследовались на основе метода ТИМ ИСЗФ СО РАН.

В главе 3 диссертации рассматриваются результаты анализа возбуждения всплесков широкополосных геомагнитных пульсаций импульсами динамического давления солнечного ветра (P_d) во время внезапного начала магнитосферной бури (SSC) и в ходе нескольких сильных магнитосферных бурь. Диссертантом вместе с соавторами показано, что импульсы P_d вызывают генерацию цуга пульсаций типа PiB (Pi1B и Pi2). При южном направлении ММП импульсы P_d инициируют суббури с генерацией пульсаций в более широком диапазоне ($1 < T < 600$ с), с характерным расширением спектра в диапазон короткопериодных пульсаций Pi1B ($1 < T < 10$ с). В случае северного направления ММП геомагнитная активность может снижаться, а спектр пульсаций обрезать ($T > 10$ с). Диссертантом сделан вывод о ключевой роли ориентации ММП в развитии геомагнитной активности. Если импульс P_d возникает на фоне длительного существования южной Vz-компоненты, то есть на поздней фазе накопления магнитной энергии в хвосте магнитосферы, он запускает взрывную фазу суббури. В то же время импульсы, регистрирующиеся при северном ММП или сразу после поворота Vz на юг (начальная фаза накопления), не инициируют развитие суббури.

Глава 4 посвящена анализу динамики геомагнитных пульсаций во время STE событий, сильной суббури и во время SMC события. Авторами показано, что возможность наблюдения всплесков пульсаций PiB во время STE событий, определяется положением области вытекающих продольных токов (ПТ) относительно наземных станций, при значительном удалении наблюдательной станции от активной ионосферной зоны пульсации становятся не детектируемыми. Во время сильной суббури, зарегистрированной вдоль цепочки IMAGE, анализ карт распределений ПТ на основе метода ТИМ показал существование дополнительного западного электроджета на высоких широтах, наличие которого, по мнению авторов,

характерно для событий такого типа. Авторы представили упрощенную модель геомагнитных вариаций вдоль меридиана, результаты использования которой показали необходимость наличия такого электроджета для объяснения наблюдаемых вариаций геомагнитного поля. Исследование динамики пульсаций во время SMC события показало, что хотя SMC события и менее энергичные по сравнению с другими типами геофизических возмущений, рассмотренными в этой главе, они также сопровождаются пульсациями типа PiB. Это обстоятельство свидетельствует о «чувствительности» PiB пульсаций к генерации трехмерных токовых систем в SMC событиях. Диссертантом показано, что пульсации PiB вследствие узости спектра могут успешно применяться для таймирования взрывных фаз суббурильных возмущений во всех рассмотренных случаях.

В главе 5 приводятся результаты анализа локализованного геомагнитного события 20 декабря 2015 года (ЛГС – по терминологии авторов) на основе анализа динамического спектра геомагнитных пульсаций, более медленных изменений геомагнитного поля и свечения ночного неба на средних широтах. В этом событии наблюдался всплеск пульсаций и интенсивности свечения на средних широтах, при этом геомагнитная активность на авроральных широтах уменьшалась. Сравнение спектров пульсаций на разных станциях показало, что пульсации значительно интенсивнее на средних широтах, чем на высоких. При этом синхронно с развитием ЛГС наблюдалось значительное ослабление магнитного эффекта кольцевого тока в ночном секторе: от -167 до -73 нТл. Проявление ЛГС наблюдалось в обширной ночной области по MLT на средних и низких широтах. Кроме того, значительное усиление интенсивности излучения в линиях кислорода с длинами волн 630.0 и 557.7 нм, а также генерация широкополосных цугов пульсаций могут свидетельствовать о высыпании заряженных частиц в этой области. На основе перечисленных экспериментальных фактов диссертант сделал вывод о возможном источнике этого возмущения – кольцевом токе, интенсивность которого уменьшается из-за высыпаний энергичных частиц. Полученные результаты демонстрируют возможность использования комплексных наблюдений (пульсаций и свечения) для мониторинга геомагнитной активности.

В главе 6 приводятся результаты изучения синхронных, глобально наблюдаемых ультракороткопериодных импульсов (УКИ), длительностью $0.3-2$ с, регистрируемых в широком долготном секторе (от Восточной Сибири до Канады) на широтах от средних до высоких. Основная энергия исследуемых УКИ сосредоточена в диапазоне частот от 4 до 32 Гц. Диссертантом проведен морфологический и статистический анализ регистрации УКИ, изучено их пространственное распределение. Проанализированы распределение амплитуд, длительности, спектральный состав импульсов на станциях ИСЗФ СО РАН, выполнено сопоставление УКИ на станциях, разнесенных по долготе. Одновременность наблюдения УКИ указывает на распространение сигнала со скоростью электромагнитной волны, типичной для грозовых разрядов. Несовпадение частоты появления УКИ с молниевыми разрядами (частота УКИ на порядок меньше) позволяет предположить, что УКИ связаны с подклассом грозовых разрядов – красными спрайтами (электрическими разрядами в мезосфере на высотах $40-100$ км, инициируемых мощными положительными разрядами «облако–земля»). Красные спрайты, наблюдаемые в Северном Китае лучшим образом, совпадают с УКИ по спектральному составу и частоте возникновения.

В заключении приведены полученные в процессе подготовки диссертации основные результаты.

Основные научные результаты, полученные в работе:

Среди полученных автором диссертационной работы результатов, особую научную ценность и значимость представляют следующие, которые в значительной мере определяют новизну работы:

- Об особенностях генерации всплесков пульсаций PiV импульсами Pd при отрицательной и положительной ориентации Vz -компоненты ММП.
- Об ионосферной токовой системе возникающей во время суперсуббури (интенсивная суббури в которой величина геомагнитного индекса $AE > 2000$ нТл).
- О взаимосвязи генерации УКИ с зарегистрированными в северном Китае красными спрайтами.

Достоверность и обоснованность основных результатов исследования

Марчук Р.А. провел комплексное исследование магнитосферно-ионосферно-атмосферных возмущений, при этом он использовал обоснованные теоретические методики, применил статистические методы обработки данных, полученных на меридиональной сети станций ИСЗФ СО РАН. Он сопоставил результаты наблюдений на этой сети с результатами измерений на других долготях и провёл сопоставление полученных результатов с опубликованными в литературе данными. В совокупности это позволяет говорить о достоверности и обоснованности результатов и выводов диссертации.

Положения, выносимые на защиту, находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, в 6 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК для защиты докторских и кандидатских диссертаций, и прошедших перед этим независимую научную экспертизу. Результаты, представленные в диссертации, также докладывались на ряде российских и международных тематических конференций.

Значимость полученных автором диссертации результатов

Диссертантом предложен более точный метод определения момента начала взрывной фазы суббуревых возмущений, что можно использовать в дальнейших исследованиях тонкой структуры таких возмущений. Показаны возможности и преимущества одновременного использования наблюдательной инфраструктуры, а также методов анализа данных ИСЗФ СО РАН для изучения явлений в ближнем космосе. Предложен новый способ детектирования грозовых явлений – красных спрайтов по наблюдениям на межконтинентальной сети магнитных станций. Полученные данные применимы для уточнения моделей магнитосферно-ионосферного взаимодействия и интерпретации спутниковых наблюдений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные автором подходы и методы могут быть использованы геофизическим комплексом РАН, организациями Росгидромета, МЧС России и другими ведомствами при мониторинге и прогнозе космической погоды, геомагнитной и грозовой активности в Сибирском регионе.

Замечания по тексту диссертации и автореферата

1. В диссертации много глав – шесть, хотя объем текста небольшой (глава 2 – 13 стр., глава 3 – 8 стр., глава 5 – 8 стр., глава 6 – 12 стр.), избыточное количество глав усложняет восприятие текста.

2. В тексте диссертации дважды приводятся основные положения диссертации, выносимые на защиту на стр. 8 и на стр. 112 (в заключении). Такое же замечание и к автореферату диссертации, положения приведены на стр. 7 и на стр. 22 (в заключении). И в диссертации, и в её автореферате в заключении должны быть сформулированы основные результаты работы, а не положения диссертации.

3. Странно звучит утверждение на стр. 4 диссертации: «Наблюдения последних лет выявили тенденцию смещения аврорального овала в ходе интенсивных геомагнитных возмущений в восточном полушарии на более низкие широты, чем это считалось ранее, вплоть до средних широт (в том числе до среднеширотных станций ИСЗФ СО РАН, используемых в анализе в диссертационной работе) в результате ускоренного смещения геомагнитного полюса из Канады к полуострову Таймыр [Logachev and Stozhkov, 2022; Srivastava et al., 2025]», для которого нужна более весомая аргументация, поскольку при таком смещении изменяется лишь положение магнитного полюса, не влияющее на положение аврорального овала.

4. Не выдержан единый стиль представления терминов, например, (sawtooth events - STE) и событие стационарной магнитосферной конвекции (СМК), было бы лучше использовать steady magnetosphere convection – SMC.

5. На стр. 5 диссертации в фразе «распределения в ионосфере поперечных и продольных токов» непонятно какие токи обозначаются поперечными? Такой же термин использован и на стр. 32.

6. В фразе «расширением полярной шапки и всего овала ПТ» непонятен термин «овал ПТ».

7. В подписи к рис. 21 «зависимости от периода и всемирного времени». неподходящий термин «всемирного времени».

8. Стр. 89 неподходящий термин «интенсивность свечения воздуха неба».

9. На Рис. 6 автореферата вместо обозначения «Z-компонента» приведено обозначение «Y-компонента».

10. В тексте диссертации и автореферата содержатся отдельные орфографические и пунктуационные опечатки, а также неточности в оформлении библиографических ссылок. Среди них:

- на стр. 24 имеется орфографическая ошибка в единицах измерения «нТ», должно быть «нТл»;
- орфографическая ошибка в подписи к рис. 22 «спутниках LANL»;
- написание ссылок с инициалами авторов [Лунюшкин С.Б., Пенских Ю.В., 2019; Пенских Ю.В., 2020; Пенских Ю.В. и др., 2021];
- на стр. 15 автореферата: «южной Vz-компонеты»;
- и т.д.

Высказанные замечания не снижают ценности и значимости выполненного автором исследования, достоверности и обоснованности полученных в работе результатов и выводов.

Автореферат соответствует тексту диссертации и достаточно полно отражает её содержание.

Заключение

В целом диссертация Марчука Романа Александровича на тему «Динамика электромагнитных УНЧ-колебаний и ионосферных токов в ходе атмосферных и космических возмущений», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия», является завершённым научным исследованием, логически построенным, написана ясным и доступным для понимания даже не для специалистов в данной области знания языком. Выводы и заключения обоснованы. Работа соответствует пунктам 1, 11, 13 паспорта специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а её автор Марчук Роман Александрович заслуживает присуждения искомой учёной степени - кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании Ученого совета Института космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИКФИА СО РАН) 8 мая 2026 г., протокол № 4.

Отзыв подготовил Моисеев Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, заместитель директора ИКФИА СО РАН по научной работе. Диссертация защищена по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Адрес: 677027, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, д.31

E-mail: moiseev@ikfia.ysn.ru

Тел.: 8 (4112) 390 402

к.ф.-м.н.



Моисеев А.В.

8 мая 2026 г.

Я, Моисеев Алексей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

к.ф.-м.н.



Моисеев А.В.

8 мая 2026 г.

Подпись Моисеева А.В. удостоверяю.

Учёный секретарь ИКФИА СО РАН

к.ф.-м.н.



Е.Д. Бондарь

8 мая 2026 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Адрес: 677027, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2

E-mail: prezidium@prez.ysn.ru

Тел.: 8 (4112) 390 500

Сайт: <https://prez.ysn.ru/>