

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.113.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК**

аттестационное дело N \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 8 июня 2022 г. N \_\_10.\_\_\_\_

О присуждении Малыхину Андрею Юрьевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Плазменные явления, сопровождающие процесс диполизации магнитного поля в хвосте магнитосферы Земли» по специальности 01.03.03 «Физика Солнца» принята к защите 29 марта 2022 г. (протокол заседания N 6) диссертационным советом Д 002.113.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук 117997, гсп-7, Москва, Профсоюзная ул., 84/32, приказы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №1108/нк от 20 ноября 2019г.; №599/нк от 15 октября 2020 г.

Соискатель Малыхин Андрей Юрьевич, «28» апреля 1992 года рождения.

В 2021 году соискатель окончил аспирантуру Института космических исследований Российской академии наук, работает младшим научным сотрудником в Институте космических исследований Российской академии наук. Диссертация выполнена в Институте космических исследований Российской академии наук.

**Научный руководитель** – Григоренко Елена Евгеньевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Физики космической плазмы» Института космических исследований Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

Калегаев Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией космофизических исследований Научно-

исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ (НИИЯФ МГУ) и

Сергеев Виктор Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор Физического факультета кафедры Физики Земли Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва, в своем положительном отзыве, составленном заведующим лабораторией «Физика околоземного пространства», доктором физико-математических наук, профессором Пилипенко Вячеславом Анатольевичем, утверждённым директором ИФЗ РАН доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН Тихоцким Сергеем Андреевичем, указала, что в диссертационной работе Малыхина А.Ю. получены новые научные результаты, являющиеся оригинальными, а сама работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, и её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «физика Солнца».

Соискатель имеет **15** опубликованных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях **15** работ, по теме диссертации опубликовано **8** работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано **8** работ.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Grigorenko E.E., Dubyagin S., Malykhin A.Y., Khotyaintsev Y.V., Kronberg E.A., Lavraud B., Ganushkina N.Y., Intense current structures observed at electron kinetic scales in the near-Earth magnetotail during dipolarization and substorm current wedge formation. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45, 602–611. <https://doi.org/10.1002/2017GL076303>
2. Malykhin A.Y., Grigorenko E.E., Kronberg E.A., Koleva R., Ganushkina N.Y., Kozak L., Daly P.W., Contrasting dynamics of electrons and protons in the near-

Earth plasma sheet during dipolarization, *Annales Geophysicae*, 36, 2018, 3, 741-760, <https://doi.org/10.5194/angeo-36-741-2018>

3. Malykhin A.Y., Grigorenko E.E., Kronberg E.A., Daly P.W., Kozak L.V., Acceleration of protons and heavy ions to suprathermal energies during dipolarizations in the nearEarth magnetotail, *Annales Geophysicae*, 37, 2019, 4, 549-559, <https://doi.org/10.5194/angeo-37-549-2019>
4. Malykhin A.Y., Grigorenko E.E., Shklyar D.R., Panov E.V., Le-Contel O., Avanov L., Giles B. Characteristics of resonant electrons interacting with whistler waves in the nearest dipolarizing magnetotail. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, 2021, <https://doi.org/10.1029/2021JA029440>.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается авторитетом в научном сообществе, компетентностью в области космической физики и физики космической плазмы, которые подтверждаются публикациями в международных и российских журналах.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

По наблюдениям миссий Cluster и MMS установлена многомасштабная магнитная структура зоны диполизации. Показано, что интенсивные токовые структуры, формируемые на множественных фронтах, составляющих диполизацию, имеют субионные масштабы, соответствующие долям гирорадиуса тепловых протонов. Впервые показано, что основным переносчиком тока в таких структурах являются электроны.

Впервые статистически установлено, что во время продолжительных диполизаций ускорение ионов разных масс до сверхтепловых энергий продолжается в течение нескольких минут. При этом, тяжёлые ионы испытывают более эффективное ускорение (до  $\sim 1$  МэВ) которое наблюдается на большем временном интервале, чем ускорение лёгких ионов. Показано, что вероятным механизмом ускорения ионов может быть неадиабатическое взаимодействие со множественными движущимися ДФ на фазе плавного роста продолжительной диполизации.

Впервые статистически показано, что бетатронный механизм ускорения хорошо объясняет наблюдаемые возрастания потоков электронов с энергиями, не превышающими 100 кэВ во время продолжительных диполизаций. Динамика потоков электронов более высоких энергий плохо описывается бетатронным сценарием и требует учёта других, возможно, неадиабатических механизмов.

По наблюдениям MMS в быстрой моде измерений впервые определены энергетические и питч-угловые характеристики резонансных электронов, взаимодействующих с квазипараллельными свистовыми волнами, возбуждёнными за счёт локальной циклотронной неустойчивости, вызванной перпендикулярной анизотропией функции распределения электронов по скоростям в сверхтепловом диапазоне энергий. Показано, что электроны с энергиями  $W_{res} \geq 10$  кэВ и питч-углами  $\alpha_{res} \sim 100^\circ - 130^\circ$  и  $\alpha_{res} \sim 50^\circ - 80^\circ$  вносят максимальный положительный вклад в инкремент этих волн.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

изложенные в работе экспериментальные результаты, полученные по наблюдениям миссий Cluster и MMS, дают основу для построения и валидации новых моделей формирования продолжительной диполизации в ближнем геомагнитном хвосте. Полученные в диссертации результаты дают новую информацию о процессах трансформации энергии в зоне диполизации и стимулируют дальнейшее развитие этого направления исследований.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается строгим обоснованием приведённых выводов. Все результаты работы и защищаемые положения подробно изложены в публикациях диссертанта в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых научными базами Scopus, Web of Science, РИНЦ. Также изложенные в диссертации результаты докладывались на 7 международных и российских конференциях, сделаны 4 доклада на научных семинарах организаций, занимающихся данной тематикой исследования.

**Личный вклад соискателя:**

научно-исследовательская работа, результаты которой легли в основу диссертации, была выполнена автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Автор участвовал в постановке и развитии научных задач. Поиск и анализ событий по данным MMS, а также диполизаций, наблюдаемых спутниками Cluster, которые использовались в главах 3 и 4, был выполнен лично автором. Автором был написан пакет программ для анализа и визуализации спутниковых данных. Интерпретация полученных результатов была выполнена либо автором лично, либо совместно с соавторами.

На заседании 8 июня 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Малыхину Андрею Юрьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.03.03, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного  
совета Д 002.113.03  
академик



Л.М. Зелёный

Учёный секретарь  
к.ф.-м.н.

*Цупко*

О.Ю. Цупко

Дата оформления заключения 8 июня 2022 г.