

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Золотовой Надежды Валерьевны
на диссертацию Степанова Никиты Александровича на тему
«Вариации потоков энергичных частиц в магнитосфере и
высыпания электронов в ионосферу»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия

Без внешнего, преимущественно солнечного, воздействия – излучения, выбросов вещества, потоков высокоэнергичных частиц, межпланетного магнитного поля и пр. – магнитосфера Земли была бы значительно более простым объектом исследований. Вероятно, магнитосфера имела бы лишь небольшие отклонения от симметрии, а магнитосферные возмущения существовали бы как некоторый фоновый шум. Однако, благодаря магнитному полю Солнца, которое порождает такие явления как активные области, корональные дыры, вспышки, пересоединение, солнечный ветер и другие явления космической погоды, магнитосферные возмущения приобретают сложный характер.

Представленная диссертация посвящена поиску параметров солнечного ветра, которые управляют магнитосферной активностью и построению эмпирических закономерностей их воздействия на переходную область плазменного слоя и ионосферную проводимость, а также исследованию отклика ионосферы в периоды суббурь.

По-моему мнению, во-первых, диссертационная работа относится к тем вопросам, **актуальность** которых не вызывает сомнения. Автором была составлена иерархия управляющих параметров солнечного ветра, определены задержки их воздействия и структура отклика для разных популяций энергичных частиц ночной области переходного плазменного слоя. В **главе 1** представлены количественная эмпирическая модель потоков энергичных частиц разных энергий (10—150 кэВ), относящихся к разным процессам в магнитосфере, и протонной и электронной температур. Разработаны полная и региональная регрессионные модели, что позволило исследовать долготную, утро-вечер, асимметрию популяций энергичных частиц. **Глава 2** логически продолжает исследование и рассматривает вклад высыпаний энергичных частиц переходного плазменного слоя в ночную авроральную ионосферу. Вариации ионизации на высотах D и E слоев параметризованы ее проводимостью в секторе 22-03 MLT. Иерархия управляющих параметров для ионосферной проводимости схожа с их распределением для потоков электронов с наибольшим положительным вкладом скорости солнечного ветра и интенсивности магнитосферной конвекции и наибольшим отрицательным вкладом параметра NBL в периоды северного межпланетного магнитного поля. Средняя энергия высыпающихся частиц наиболее чувствительна к вариациям скорости солнечного ветра. С применением метода множественной регрессии получена количественная зависимость проводимости Холла от управляющих параметров. Наконец, **глава 3** рассматривает связь ионизации в D и E слоях в периоды суббурь под действием высыпаний энергичных электронов в переходном плазменном слое. Рассмотрены азимутальная, широтная и высотная динамика суббуревых откликов ионосферы. Получено численное описание пространственно-временной эволюции электронной концентрации авроральной ионосферы.

Переходя к оценке диссертационной работы, подчеркну, что она сделана на высоком профессиональном уровне. Выведение эмпирических закономерностей взаимодействия столь сложных динамических систем, как межпланетная среда-магнитосфера-ионосфера, требует глубокого знания физики вовлеченных процессов и уверенного владения методами статистического анализа (вариации коэффициентов корреляции не велики, а взаимные корреляции параметров снижают эффективность анализа). Выражаю надежду, что в дальнейшем полученные соотношения позволят количественно оценить вклад космической погоды, магнитосферной конвекции и других магнитосферных процессов и на низкие слои земной атмосферы (стратосферы и тропосферы). Также хочу дать высокую оценку обсуждению полученных результатов в конце каждой главы.

Ниже изложу насколько вопросов, которые появились у меня в процессе прочтения диссертации:

В выводах главы 2 указано на сходство управляющих параметров для проводимости ионосферы и для распределения электронов с энергией 10 кэВ. Согласно таблицам 2, 4 и 7 величины $\alpha \cdot \sigma$ параметра NBL по абсолютной величине сравнимы или чуть меньше в сравнении с положительным вкладом EKL. Однако, в формуле 3 учитываются только параметры, положительно влияющие на проводимость. Антикорреляция с NBL не учитывается.

На рисунке 20 для станций MCM и особенно для GIL совпадение наблюдаемых и модельных величин аврорального поглощения хорошо совпадают по фазе, однако временами заметно различаются по амплитуде. Почему модель зачастую предсказывает более сглаженные всплески поглощения?

В диссертации, конечно, есть мелкие погрешности, стилистические и пунктуационные ошибки, неточности и т.д., однако они не определяют качество работы, и я не буду на них останавливаться.

Перейду к формальной оценке работы. Диссертация объемом 146 страниц на русском и английском языках состоит из введения, трех глав, заключения, списка условных обозначений и списка литературы из 136 наименований. Текст работы хорошо структурирован и хорошо изложен. В ходе работы диссертантом были опубликованы шесть научных работ, в двух из которых он является первым автором. Апробация и достоверность работы убедительно подтверждаются статьями, опубликованными в высокорейтинговых рецензируемых журналах, и докладами на конференциях.

Диссертация Степанова Никиты Александровича на тему: «Вариации потоков энергичных частиц в магнитосфере и высыпания электронов в ионосферу» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Степанов Никита Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры физики Земли
Физического факультета СПбГУ
n.zolotova@spbu.ru



Золотова Надежда Валерьевна

20 января 2023 г.