

Отзыв на диссертацию Н.А.Цыганенко
«МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОСФЕРЫ НА БАЗЕ МНОГОЛЕТНИХ
АРХИВОВ КОСМИЧЕСКИХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ»
представленную на соискание учёной степени доктора физ.-мат. наук

Магнитосфера Земли является результатом воздействия «солнечного ветра» (потоков намагниченной плазмы, испускаемых Солнцем) на «постоянное» квазидипольное магнитное поле Земли, определяемое процессами в ядре Земли. Эффективность этого воздействия зависит от многих факторов. С одной стороны, это геоэффективные параметры солнечного ветра, такие как скорость потоков солнечной плазмы и полярность переносимого этой плазмой магнитного поля Солнца (называемого «межпланетным магнитным полем»). Эти параметры характеризуют поступление энергии солнечного ветра в магнитосферу в каждый текущий момент времени и определяют структуру электрических полей и токов внутри магнитосферы. С другой стороны, поступившая в магнитосферу энергия солнечного ветра аккумулируется и реализуется в форме магнитосферных возмущений (магнитных бурь и суббурь). Магнитосферные возмущения («космическая погода») оказывают критическое влияние на жизнедеятельность человека, как на Земле, так и в околоземном космическом пространстве, поэтому мониторинг состояния магнитосферы представляет очень важную научную и практическую задачу.

Необходимым условием реального мониторинга магнитосферы является наличие модели магнитосферы, учитывающей суммарный магнитный эффект всех внеземных источников, локализованных в различных частях магнитосферы. Эта задача является далеко не тривиальной, поскольку разные магнитосферные источники реагируют различным образом и с различной временной задержкой на изменения параметров солнечного ветра и уровня магнитной активности, а спутники, фиксирующие магнитные эффекты этих источников, находятся в постоянном передвижении по своим орбитам. Это означает, что магнитный эффект, фиксируемый каждым отдельным спутником, является специфической комбинацией пространственных и временных изменений магнитного поля, и для корректной идентификации этих изменений необходимы одновременные измерения на многочисленных спутниках во всех частях магнитосферы, что в реальности является невыполнимой задачей. Как показала первая, далёкая от совершенства, эмпирическая модель магнитосферы, полученная по данным измерений на спутниках IMP (Mead and Fairfield, 1975), общая конфигурация магнитосферы сильно зависит от геомагнитной активности.

Последующий прогресс в развитии эмпирической модели магнитосферы определяется исследованиями Н.А.Цыганенко. В его работах, выполненных за три

десятилетия (1982 – 2016), использовался модульный подход, при котором структура каждого внешнего источника (модуля) и характер изменений этой структуры задавался априори, исходя из существующих экспериментальных или теоретических представлений. Многолетние архивы данных магнитных наблюдений на спутниках Polar, Geotail, Cluster, THEMIS и RBSP послужили источником сведений о структуре и характере изменений таких модулей как магнитопауза, токовый слой хвоста магнитосферы, полярные каспы, продольные магнитосферные токи, кольцевые симметричные и асимметричные DR токи; была исследована связь этих модулей с магнитосферными возмущениями и параметрами солнечного ветра и с сезонно-суточными колебаниями оси магнитного диполя,.

В 2016 г. им был разработан и введён в практику новый метод моделирования земной магнитосферы без априорных предположений о структуре токовых систем, получивший название метода радиальных базисных функций (РБФ). В основе РБФ метода лежит разложение тороидальной и полоидальной составляющих внешнего магнитосферного поля на суммы вкладов от системы источников в узлах трёхмерной решётки, покрывающей область моделирования. Важным преимуществом такого подхода является возможность локально изменять плотность РБФ-центров при необходимости улучшения качества восстановления поля в какой-то определенной области пространства. В 2017г. Н.А.Цыганенко была разработана «гибридная» модель, объединяющая модульный и РБФ методы, в которой крупномасштабная структура магнитосферы восстанавливается с помощью модульной модели, а затем добавляется РБФ модель, которая играет роль поправки второго порядка, позволяющей описать более тонкие структуры, не заложенные в модульную модель. Новый метод обеспечил возможность моделирования конкретных событий на основе анализа доступных характеристик текущего состояния магнитосферы и солнечного ветра и их временных трендов.

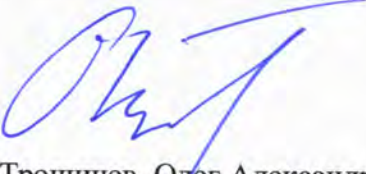
Следует отметить, что все экспериментальные данные наблюдений на американских спутниках, используемые в анализах Н.А.Цыганенко, прошли проверку на качество (вырезание дефектных интервалов) и необходимую «редакционную» подготовку, включающую удаление постоянного вклада геомагнитного поля из полных векторов, пересчёт в необходимую систему координат, осреднение по 5-минутным интервалам. В настоящее время унифицированная база данных включает $\sim 10^7$ 5-минутных значений магнитосферного поля и $\sim 3 \cdot 10^6$ значений межпланетных параметров. Используемый для тестирования и визуализации моделей пакет фортран-подпрограмм Geopack-2008, и модельные программные средства, реализующие новые разработки, выложены на соответствующем сайте СПбГУ и систематически обновляются.

Эмпирические модели магнитосферы, полученные в работах Н.А.Цыганенко, неоднократно использовались для тестирования теоретических моделей различных магнитосферных процессов, а также для моделирования магнитосфер других планет. Представляет интерес анализ связи векового дрейфа магнитных полюсов Земли (о котором много говорится в современной прессе) с местоположением авроральных зон. Как показали результаты этого анализа, движение магнитных полюсов Земли представляет скорее локальное явление и не оказывает заметного влияния на глобальную структуру магнитосферы.

В настоящее время Н.А.Цыганенко является общепризнанным лидером в эмпирическом моделировании магнитосферы и все его работы, выполненные в Санкт-Петербургском Университете (в том числе и в соавторстве с зарубежными учёными), встречают неизменный интерес и признание международного научного сообщества.

Диссертационная работа Н. А. Цыганенко является законченным, экспериментально и теоретически обоснованным научным исследованием и Н.А.Цыганенко безусловно заслуживает присвоения учёного звания доктора физ.-мат. наук.

Главный научный сотрудник ААНИИ
профессор, доктор физ.- мат. наук



Трошичев Олег Александрович

30 августа 2023 г.

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38