

ОТЗЫВ

Научного руководителя Института космических исследований РАН, академика РАН, профессора Зеленого Льва Матвеевича на диссертацию Цыганенко Николая Алексеевича на тему «Моделирование магнитосферы на базе многолетних архивов космических и наземных данных», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертация Николая Алексеевича Цыганенко посвящена построению и развитию семейства эмпирических моделей магнитосферы Земли, основанных на имеющихся архивных данных спутниковых измерений в солнечном ветре, магнитосфере и на поверхности планеты. Наземные и спутниковые исследования магнитного поля Земли выявили его важнейшую роль для жизни на планете. Магнитосфера Земли, с одной стороны, является естественной защитой от энергичных заряженных частиц, поступающих из солнечного ветра. С другой стороны, исследования земного магнитного поля позволяют изучать отдаленные явления, происходящие на Солнце и оказывающие глобальное воздействие на нашу планету. Начиная с 60-х годов, когда были запущены первые исследовательские космические аппараты и получены первые данные о структуре и динамике земной магнитосферы, возникла необходимость в описании магнитного поля Земли не только на малых, но также и на больших высотах. В конечном счете, возникла необходимость включения в это описание всей магнитосферы Земли как элемента космической среды, с учетом ее изменчивости в результате взаимодействия с налетающим сверхзвуковым потоком солнечного ветра.

Поистине гигантская по объему работа была проделана Николаем Алексеевичем Цыганенко в течение нескольких десятков лет. Исследования магнитосферы и ее глобальных токовых систем были последовательно учтены в сериях магнитосферных моделей, вначале более простых, которые постепенно усложнялись и включали все более сложные внешние и внутренние факторы, влияющие на структуру и динамику магнитосферы Земли. Эмпирические модели геомагнитного поля Н.А. Цыганенко строятся на основании больших массивов данных измерений магнитосферного поля и одновременных измерений в солнечном ветре. Модели основаны на аппроксимации данных измерений семейством базисных функций, полученных при численном решении уравнения Лапласа внутри магнитопаузы заданной формы. В моделях магнитосферное магнитное поле является суммой отдельных источников, в частности, могут учитываться магнитные поля токов Чепмена–Ферраро на магнитопаузе, поля кольцевого тока, тока магнитосферного хвоста и продольных токов. Интенсивности магнитосферных токовых систем могут быть заданы на основании наблюдательных данных, откуда берутся параметры солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и геомагнитных индексов. Таким образом, в каждый интересующий ученых момент времени параметры, взятые из данных измерений, определяют мгновенное состояние магнитосферы, а ее динамика может быть представлена в виде последовательности мгновенных состояний. Такой подход, разработанный Н.А. Цыганенко, позволил эффективно использовать предложенные им динамические модели для расчетов магнитосферных полей. В свою очередь, это дало возможность широкому кругу ученых всего мира использовать эмпирические модели для решения фундаментальных задач гелио- и магнитосферной физики. Фактически модели Н.А. Цыганенко стимулировали развитие целого направления исследований магнитосферы Земли и ее крупномасштабной динамики в результате воздействия потока солнечного ветра.

Благодаря разработке семейств эмпирических моделей магнитосферы Земли с модульной и немодульной архитектурой, новыми методами параметризации геоэффективными драйверами, индексами наземной активности и возможностью высокого пространственного разрешения интересных для исследователей областей, стало возможным получить глубокие физические результаты в изучении магнитосферных образований. Так, была объяснена деформация магнитосферных структур в зависимости от наклона геомагнитного диполя и наличия азимутальной компоненты межпланетного магнитного поля в солнечном ветре, в частности, предложено объяснение чашеобразной деформации токового слоя магнитосферного хвоста. Изучена структура дневных полярных каспов, ее зависимость от внешних и внутренних факторов. С помощью эмпирической модели оценена скорость сдвига авроральных зон по сравнению со скоростью векового дрейфа геомагнитных полюсов, что позволило опровергнуть гипотезу о скором перемещении овала полярных сияний на территорию северной Сибири. Построена модель характеристик плазмы в хвосте магнитосферы как функция параметров межпланетной среды. Модель магнитосферы Меркурия, построенная на базе данных спутника Messenger, позволила выявить остаточную намагниченность коры планеты и оценить возраст ее формирования. Очень важным является то, что разные варианты эмпирических моделей Н.А. Цыганенко, которыми могут пользоваться ученые всего мирового сообщества, находятся в открытом доступе, снабжены иллюстрациями, необходимыми комментариями и возможностью использовать их для расчетов магнитных полей как на глобальном уровне, так и в отдельных частях магнитосферы. Вышеперечисленные результаты сформулированы в виде девяти пунктов основных положений, вынесенных на защиту. Каждый из этих пунктов отражает более чем тридцатилетний успешный труд Николая Алексеевича Цыганенко по созданию глобальной эмпирической модели магнитосферного поля, представленный в 80 публикациях в ведущих мировых журналах.

Диссертация Цыганенко Николая Алексеевича на тему: «Моделирование магнитосферы на базе многолетних архивов космических и наземных данных», вне всяких сомнений, соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Цыганенко Николай Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Академик РАН, доктор физико-математических наук,
профессор, научный руководитель Института
космических исследований РАН

Л.М.Зеленый

31.08.2023

Подпись академика Л.М. Зеленого заверяю:
Ученый секретарь ИКИ РАН



А.М. Садовский