

## ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: МЕТОДОЛОГИЯ И ОПЫТ РАСЧЕТОВ ДЛЯ РЕГИОНА БРИТАНСКИХ ОСТРОВОВ

Маршалко Е.Е., Кругляков М.С., Кувшинов А.В.

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, [elena.e.marshalko@gmail.com](mailto:elena.e.marshalko@gmail.com)

Взаимодействие плазмы, извергаемой в межпланетное пространство в результате корональных выбросов массы, с магнитосферой Земли приводит к мощным возмущениям геомагнитного поля (магнитным бурям и магнитосферным суббурям). В соответствии с законом Фарадея переменное во времени магнитное поле индуцирует электрическое поле, которое, в свою очередь, генерирует геоиндуцированные токи (ГИТ) в земле и технологических системах, таких как электрические сети и трубопроводы. Хорошо известно, что ГИТ являются одним из наиболее опасных явлений, влияющих на работу этих систем. Таким образом, моделирование пространственно-временной структуры геоэлектрических полей во время геомагнитных возмущений является ключевым фактором при оценке угрозы для технологических систем от космической погоды.

В данной работе мы представляем методологию, позволяющую производить моделирование приповерхностного электромагнитного поля Земли, используя трехмерные модели проводимости Земли и глобальные модели токовых систем в магнитосфере и ионосфере. Моделирование включает в себя следующие шаги: 1) комбинированное глобальное магнитогидродинамическое моделирование земной магнитосферы и электростатическое моделирование ионосферы при помощи программного средства Space Weather Modeling Framework [Toth et al., 2005] на основе спутниковых данных солнечного ветра; 2) расчет вариаций внешнего магнитного поля у поверхности Земли при помощи программного средства CalcDeltaB [Rastaetter et al., 2014] на основе полученных на первом шаге токовых систем; 3) расчет плотности эквивалентного тока на основе полученных вариаций внешнего магнитного поля [Ivannikova et al., 2018]; 4) Региональное трехмерное моделирование электромагнитных полей с использованием полученной эквивалентной токовой системы и трехмерной модели проводимости региона с использованием программы численного моделирования электромагнитных полей *extrEMe* [Kruglyakov et al., 2016], основанной на методе интегральных уравнений. Приводятся и обсуждаются результаты моделирования для региона Британских островов.

### Список литературы:

- Ivannikova, E., Kruglyakov, M., Kuvshinov, A., Rastaetter, L., and Pulkkinen, A. (2018). Regional 3-D modeling of ground electromagnetic field due to realistic geomagnetic disturbances. *Space Weather*, 16(5), 476-500, doi:10.1002/2017SW001793.
- Kruglyakov, M., Geraskin, A., and Kuvshinov, A. (2016). Novel accurate and scalable 3-D MT forward solver based on a contracting integral equation method. *Computers & Geosciences*, 96, 208-217, doi:10.1016/j.cageo.2016.08.017.
- Rastaetter, L., Toth, G., Kuznetsova, M.M., and Pulkkinen, A.A. (2014). CalcDeltaB: An efficient post processing tool to calculate ground-level magnetic perturbations from global magnetosphere simulations. *Space Weather*, 12, 553-565, doi:10.1002/2014SW001083.
- Toth, G., et al. (2005). Space Weather Modeling Framework: A new tool for the space science community. *J. Geophys. Res.*, 110, doi:10.1029/2005JA011126.