

УДК 550.38

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ НА
ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ
ТОКОВ****Прозоров Владислав Антонович,**

студент 4 курса, кафедра «Геофизические методы исследования»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, г. Уфа,
prozorovladislav2003@gmail.com

Тухбатуллин Динис Рустамович,

студент 4 курса кафедра «Геофизические методы исследования»,
Уфимский государственный нефтяной технический университе,
Россия, г. Уфа,
dinistuhbatullin81@gmail.com

Гарипова Ильнара Вильсуровна,

студент 1 курса магистратуры, кафедра «Уфимской высшей школы экономики и
управления»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, г. Уфа,
ilnara.garipova2016@yandex.ru

Аннотация

Геомагнитные бури и вариации магнитного поля Земли оказывают значительное воздействие на технологические системы, в особенности на высокоширотные регионы, такие как Арктика. В данной статье рассматриваются механизмы возникновения экстремальных геоиндуцированных токов (ГИТ) в Арктическом регионе и их связь с геомагнитными вариациями, а также последствия для энергетических и транспортных систем. Используется комбинированный подход, включающий как теоретические исследования, так и результаты экспериментальных наблюдений, основанных на данных, полученных с помощью современных моделей солнечно-земной физики.

Ключевые слова: геомагнитное бури; геомагнитные вариации; геомагнитная активность; геоиндуцированные токи; техногенные системы; компьютерные модели.

**THE EFFECT OF HIGH-LATITUDE GEOMAGNETIC VARIATIONS ON THE
OCCURRENCE OF EXTREME GEOINDUCED CURRENTS****Vladislav A. Prozorov,**

4th year student, Department of "Geophysical Research Methods",
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia,

prozorovladislav2003@gmail.com

Denis R. Tuxhatullin,

4th year student of the Department of "Geophysical Research Methods",
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia,
dinistuhbatullin81@gmail.com

Il'nara V. Garipova,

1st year graduate student, Department of the Ufa Higher School of Economics and Management,
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia,
ilnara.garipova2016@yandex.ru

ABSTRACT

Geomagnetic storms and variations in the Earth's magnetic field have a significant impact on technological systems, especially in high-latitude regions such as the Arctic. This article examines the mechanisms of occurrence of extreme geoelectric currents (GIT) in the Arctic region and their relationship with geomagnetic variations, as well as the consequences for energy and transport systems. A combined approach is used, including both theoretical studies and the results of experimental observations based on data obtained using modern models of solar-terrestrial physics.

Keywords: geomagnetic storms; geomagnetic variations; geomagnetic activity; induced currents; man-made systems; computer models.

Актуальность

Геомагнитные штормы и вариации магнитного поля Земли являются следствием взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, что, в свою очередь, приводит к возникновению геоиндуцированных токов (ГИТ) на поверхности планеты. Эти токи могут оказывать разрушительное воздействие на техногенные системы, такие как энергосети, коммуникационные сети и системы навигации, особенно в северных регионах, где геомагнитная активность наиболее выражена. Арктический регион, благодаря своему географическому положению, находится под непосредственным воздействием солнечно-земных возмущений, что приводит к увеличению риска возникновения экстремальных ГИТ, способных вызывать серьёзные сбои в функционировании инфраструктуры. Проблема диагностики и прогнозирования таких событий остаётся актуальной и требует комплексного подхода, включающего использование современных вычислительных моделей и данных наблюдений.

Цель исследования: заключается в изучении влияния высокоширотных геомагнитных вариаций на возникновение экстремальных геоиндуцированных токов с целью выявления причин и механизмов их возникновения, разработки методов предотвращения и защиты от потенциально опасных геомагнитных явлений.

Геомагнитные вариации и их влияние на Арктический регион Арктика — это один из тех регионов Земли, где геомагнитная активность наиболее интенсивна, а её влияние на Землю проявляется в виде явлений, таких как полярные сияния и геомагнитные бури. Солнечные вспышки и корональные масс-выбросы (КМВ) являются основными источниками геомагнитных вариаций, которые в свою очередь вызывают локальные

изменения в магнитном поле Земли. Для прогнозирования полярных сияний и геомагнитных бурь разработаны интерактивные компьютерные модели, которые позволяют более точно анализировать геомагнитную активность в высокоширотных регионах и предсказывать её воздействие на инфраструктуру.

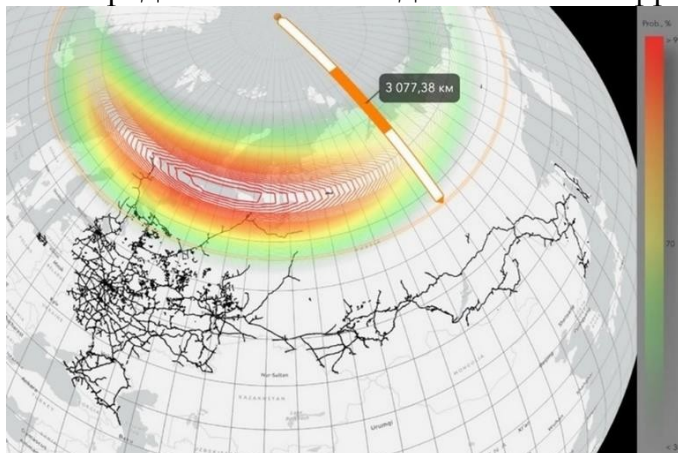


Рис1. Интерактивная компьютерная модель геомагнитной активности

В этих регионах магнитное поле Земли обладает особенностями, которые делают их более уязвимыми к геомагнитным бурям. Прежде всего, это связано с высокой плотностью токов в ионосфере и магнитосфере, а также с возможностью возникновения так называемых "индексированных токов", которые могут значительно увеличивать амплитуду ГИТ. [1]

Экстремальные геоиндуцированные токи (ГИТ) и их влияние на техногенные системы

Геоиндуцированные токи — это электрические токи, возникающие в результате изменения геомагнитного поля Земли, которые могут воздействовать на проводники на поверхности Земли, такие как линии электропередачи, трубопроводы и другие инженерные сооружения. Эти токи описываются уравнением:

$$I = \int_{\sigma}^0 J dS,$$

Где:

I — общий ток, индуцированный в проводнике;

J — плотность тока, зависящая от электрического поля (E) и проводимости среды (σ):
 $J = \sigma E$;

dS — элемент площади проводящей поверхности.

Важно отметить, что плотность тока J прямо пропорциональна электрическому полю E , которое, в свою очередь, зависит от скорости изменения магнитного поля и проводимости грунта. Чем быстрее и сильнее изменяется магнитное поле, тем больше электрическое поле и, следовательно, тем сильнее будут индуцированные токи в проводниках. [2]

Особую опасность представляют экстремальные ГИТ, которые возникают во время интенсивных геомагнитных бурь. Такие бури могут вызвать резкие и значительные изменения магнитного поля, что приводит к аномально высоким значениям ГИТ. Последствия этих экстремальных токов могут быть разрушительными для техногенных систем, включая: повреждение трансформаторов, сбои в системах питания и повреждениям коммуникационных сетей.

Кроме того, такие токи могут существенно снижать надёжность работы энергетических систем, особенно в тех регионах, где геомагнитная активность особенно высока. В Арктике это особенно актуально, поскольку большинство энергетических инфраструктур в этих регионах в силу своего географического положения и исторического

развития часто плохо защищены от таких воздействий. Существующие системы защиты могут быть не рассчитаны на экстремальные ГИТ, что делает инфраструктуру уязвимой.

Повышенные риски для транспортных систем, таких как железные дороги и авиационные системы, также связаны с изменениями магнитного поля, влияющими на навигационные и радиосистемы. ГИТ могут создавать помехи в работе навигационного оборудования, приводить к сбоям в связи между диспетчерами и транспортными средствами, а также влиять на работу систем автоматизированного управления движением. [3]

Моделирование и прогнозирование геомагнитных бурь в Арктике. Для эффективного мониторинга и прогнозирования геомагнитной активности в Арктическом регионе используются различные математические модели и компьютерные симуляции. Примером таких подходов является использование динамических визуализаций и компьютерных моделей для анализа и прогнозирования влияния солнечно-земных взаимодействий.

Одним из ключевых параметров, используемых в моделях, является плотность энергии солнечного ветра (P), которая рассчитывается как:

$$P = \frac{\rho v^2}{2},$$

Где:

ρ – плотность плазмы солнечного ветра;

v – скорость солнечного ветра.

Эти методы позволяют учитывать многочисленные параметры, такие как интенсивность солнечного ветра, состояние магнитосферы и ионосферы, а также прогнозировать последствия этих воздействий для геоиндуцированных токов.

Системы прогнозирования, созданные на основе этих моделей, могут значительно повысить эффективность управления рисками и минимизировать ущерб от экстремальных ГИТ, если они будут интегрированы с существующими технологическими и мониторинговыми системами в Арктическом регионе. [4]

Заключение

Геомагнитные вариации в Арктическом регионе представляют собой серьёзную угрозу для технологической инфраструктуры, в частности, для энергетических и транспортных систем, подверженных воздействию экстремальных геоиндуцированных токов. Разработка и использование современных компьютерных моделей и методов прогнозирования, могут значительно улучшить нашу способность предсказывать и минимизировать последствия таких явлений. Совместные усилия научного сообщества и технологических компаний в области мониторинга геомагнитной активности будут играть ключевую роль в обеспечении безопасности и устойчивости инфраструктуры в Арктике.

Список литературы:

1. Воробьев А.В., Соловьев А.А., Пилипенко В.А., Воробьева Г.Р. Интерактивная компьютерная модель для прогноза и анализа полярных сияний. Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 93–100. DOI: 10.12737/szf-82202213.
2. Воробьев А.В. Подход к динамической визуализации разнородных геопространственных векторных изображений / А.В. Воробьев, Г.Р. Воробьева // Компьютерная оптика. – 2024. – Т. 48, № 1. – С. 123–138. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1279.
3. В.А. Пилипенко, А.А. Черников, А.А. Соловьев, Н.В. Ягова, Я.А. Сахаров, Д.В. Кудин, Д.В. Костарев, О.В. Козырева, А.В. Воробьев, и А.В. Белов, (2023), Влияние космической

погоды на надежность функционирования транспортных систем на высоких широтах, Russian Journal of Earth Sciences, т. 23, ES2008, 10.2205/2023ES000824

4. Cliver E.W., & Svalgaard, L. (2004). "The Solar and Geomagnetic Effects on the Earth's Magnetosphere." Journal of Geophysical Research.

References:

1. Vorobyov A.V., Solovyov A.A., Pilipenko V.A., Vorobyova G.R. An interactive computer model for forecasting and analyzing auroras. Solar-terrestrial physics. 2022. Vol. 8, No. 2. pp. 93-100. DOI: 10.12737/szf-82202213.
2. Vorobyov A.V. Approach to dynamic visualization of heterogeneous geospatial vector images / A.V. Vorobyov, G.R. Vorobyova // Computer optics. - 2024. - Vol. 48, no. 1. - pp. 123-138. - DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1279.
3. V.A. Pilipenko, A.A. Chernikov, A.A. Solovyov, N.V. Yagova, Ya.A. Shakharov, D.V. Kudin, D.V. Kostarev, O.V. Kozyreva, A.V. Vorobyov, I.V. Belov, (2023), The influence of space weather on ground navigation, Russian Journal of Earth Sciences Earth, vol. 23, ES2008, 10.2205/ 2023ES000824
4. Cliver E.W. and Svalgaard L. (2004). "Solar and geomagnetic effects on the Earth's magnetosphere". Journal of Geophysical Research.