

УДК 551:004

Хасанов Айдар Маратович

студент бакалавриата,
Уфимский государственный авиационный
технический университет,
450008, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12
e-mail: aydarhasanov99@mail.ru

**О ВЛИЯНИИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ
НА МАГИСТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ КОЛЬСКОГО
ПОЛУОСТРОВА***Аннотация:*

Предложен алгоритм расчета индексов геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) на Кольском полуострове. Данный алгоритм основан на языке программирования Python. Для расчета индексов использовались данные магнитометров из обсерваторий, предоставляемые сервисом «Space and Earth Observation Centre». Данные в виде временных рядов обрабатывались с помощью фильтра частотной области. Затем на карте было построено пространственное распределение индексов GICx и GICy за 17.03.2021. Для оценки воздействия на карте построили Кольско-Карельский транзит. Предложенный алгоритм предоставляет инструмент для предварительной оценки риска космической погоды, связанной с деятельностью геомагнитно-индуцированных токов на Кольском полуострове.

Ключевые слова: ГИТ, космическая погода, временные ряды, Python.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.091

Khasanov Aydar M.

undergraduate student,
Ufa State Aviation Technical University,
450008 Ufa, 12 Karl Marks Str.
e-mail: aydarhasanov99@mail.ru

**ON THE IMPACT OF SPACE WEATHER
ON THE MAIN POWER LINES
OF THE KOLA PENINSULA***Abstract:*

The paper proposes an algorithm for calculating geomagnetic-induced currents (GIC) indices in the Kola Peninsula. This algorithm is based on the Python programming language. Magnetometer data from observatories provided by the Space and Earth Observation Centre service were used to calculate the indices. The data, in the form of time series, were processed using a frequency domain filter. Then the spatial distribution of the GICx and GICy indexes for 03/17/2021 was plotted on the map. To assess the impact, the Kola-Karelian Transit was built on the map. The proposed algorithm provides us with a tool for preliminary assessment of the risk of space weather associated with the activity of geomagnetic-induced currents in the Kola Peninsula.

Key words: GIC, space weather, time series, Python.

Введение

Магнитосферные и ионосферные электрические токи создают на поверхности Земли вариации геомагнитного и геоэлектрического поля, вызывающие так называемые геомагнитно-индуцированные (паразитные) токи (ГИТ) в длинных (многокилометровых) проводящих системах. Если в магнитоспокойное время эти вариации незначительны, то в магнитоактивные периоды ГИТ могут достигать десятки и даже сотни ампер, влияя на работу систем энергоснабжения, а также целого ряда других наземных технических систем, в которых длинные проводящие линии являются необходимым компонентом (трубопроводы, линии связи, железные дороги). Наиболее известной в этом смысле стала авария, вызванная магнитной бурей 13 марта 1989 г., в ходе которой 6 миллионов человек и большая часть промышленности канадской провинции Квебек на 9 часов остались без электричества. ГИТ оказались угрозой для энергетических сетей в высоких широтах. Чтобы транспортировать большие объемы энергии на большие расстояния, существует тенденция строить длинные линии передачи, которые затем подвергаются воздействию больших индуцированных напряжений, приводящих в движение более крупные ГИТ.

Хорошо известно, что энергетические сети в высоких широтах уязвимы для воздействия космической погоды. ГИТ протекают в линиях электропередачи в результате «геоэлектрических» полей и связанных с ними вариаций геомагнитного поля по закону

Фарадея. Фильтр частотной области, который производит индекс, представляющий активность ГИТ, применяется к данным геомагнитного поля, записанным в местах вблизи документированной активности ГИТ, чтобы определить пороговые значения уровня риска «индекс ГИТ».

Набор данных

Данные, с которыми будем работать, были взяты с сервиса <https://space.fmi.fi>. Данный сервис расшифровывается как Центр наблюдений за космосом и Землей. Этот сервис занимается исследованиями космоса и наблюдениями за Землей (ЕО), развитием космических технологий и использованием космических данных и данных ЕО для набора услуг.

Описание алгоритмов

Для начала скачиваем данные магнитометров из 35 обсерваторий (ABK, AND, BJK, BRZ, DOB, DON, HAN, HOR, IVA, JCK, KAR, KEV, KIL, KIR, LOZ, LYC, LYR, MAS, MEK, MUO, NGK, NOR, NUR, OUI, PEL, RAN, RVK, SOD, SOL, SOR, SUW, TAR, TRO, UPS, WNG), которые находятся на Скандинавском и Кольском полуостровах. Данные магнитометров предоставлялись ежеминутно с 01.01.2015 по 31.12.2015 в виде временных рядов. Перед работой с рядами в них необходимо найти выбросы (99999.9 и т.д.), удалить эти значения и выполнить линейную интерполяцию.

Данные магнитометров из обсерваторий, расположенных вблизи наблюдаемого увеличения активности сети ГИТ, были обработаны для получения ассоциированных индексов ГИТ с использованием следующего фильтра частотной области, определенного Marshall et al:

$$Z(f) = \sqrt{\frac{f}{f_N}} e^{i\frac{\pi}{4}}, \quad (1)$$

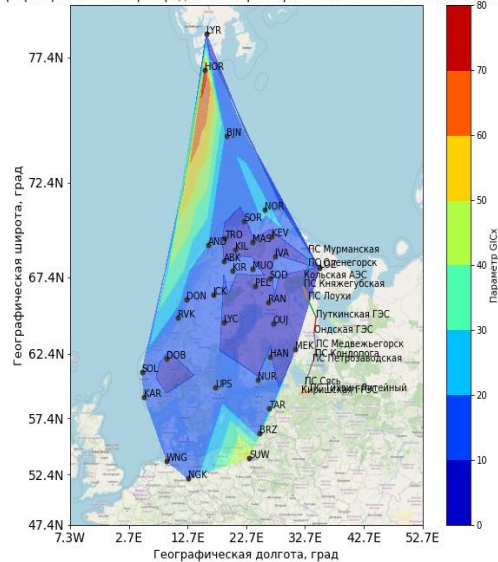
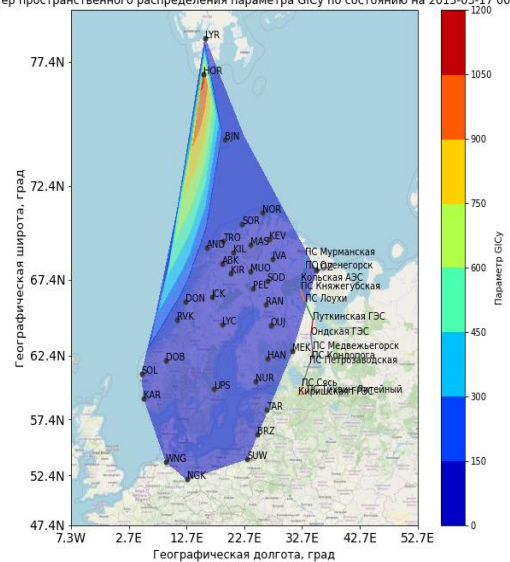
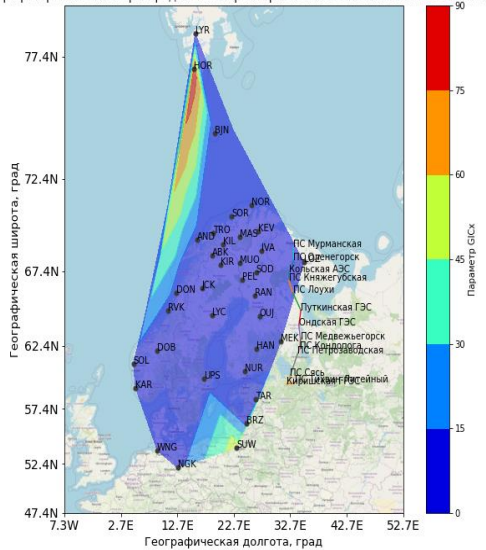
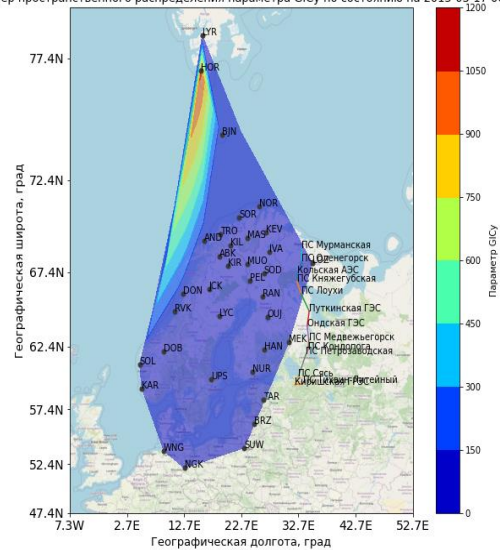
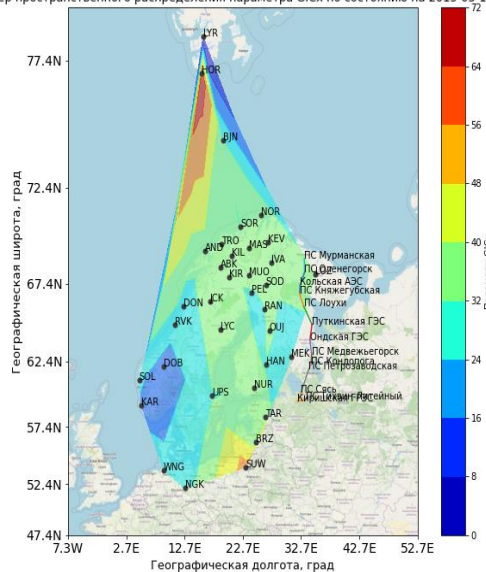
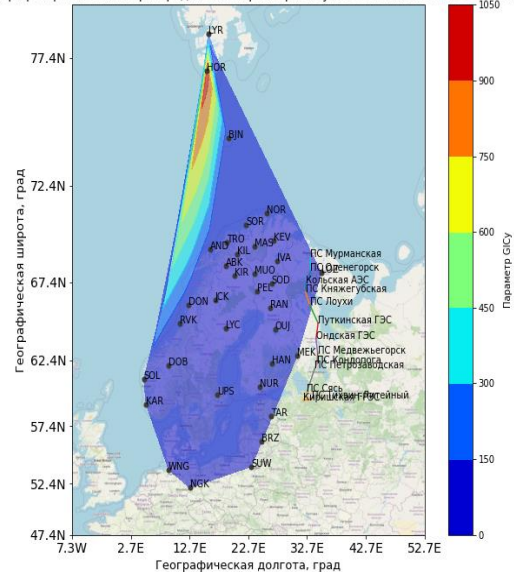
где f – частота, а f_N – частота Найквиста. Индексы ГИТ, полученные с помощью уравнения (1), представляют собой прокси для горизонтальных компонент геоэлектрического поля (предполагая горизонтальное плоское волновое поле, падающее на однородную проводящую Землю). Как правило, в течение полного дня отбирались однокомпонентные (например, x -компонентные) данные вариометра геомагнитного поля, которые обрабатывались с использованием уравнения (1) для получения соответствующих индексов ГИТ для каждого дня в соответствии со следующим. Пусть $x(t)$ и $y(t)$ представляют данные временных рядов для геомагнитного поля, которые регистрируются в географических направлениях Север-Юг и Восток-Запад, соответственно. Если $x(t)$ и $X(f)$, а также $y(t)$ и $Y(f)$ представляют собой пары преобразований Фурье, то

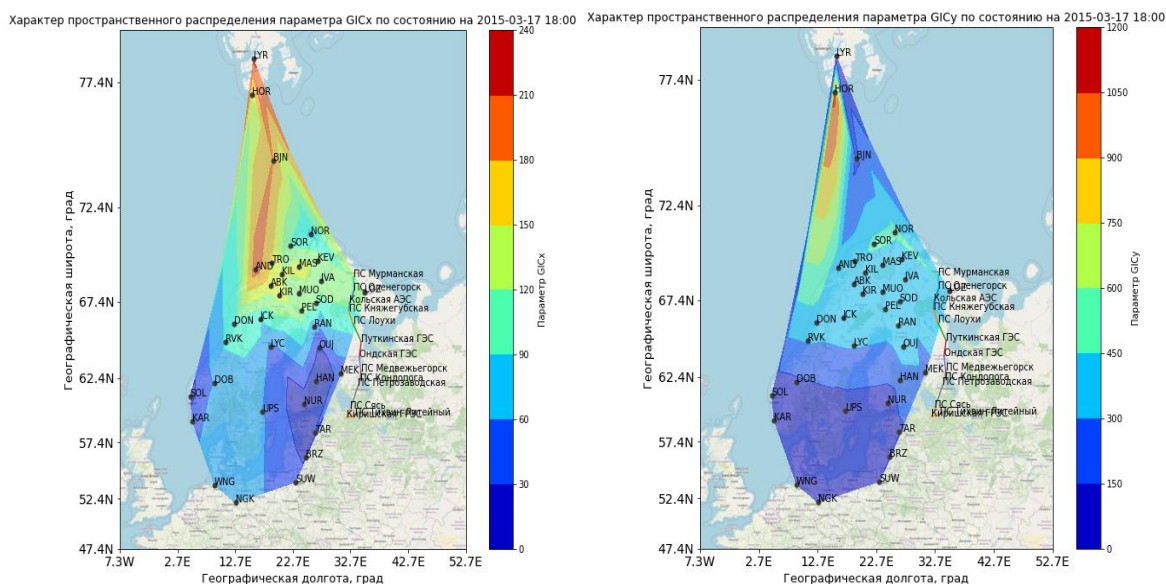
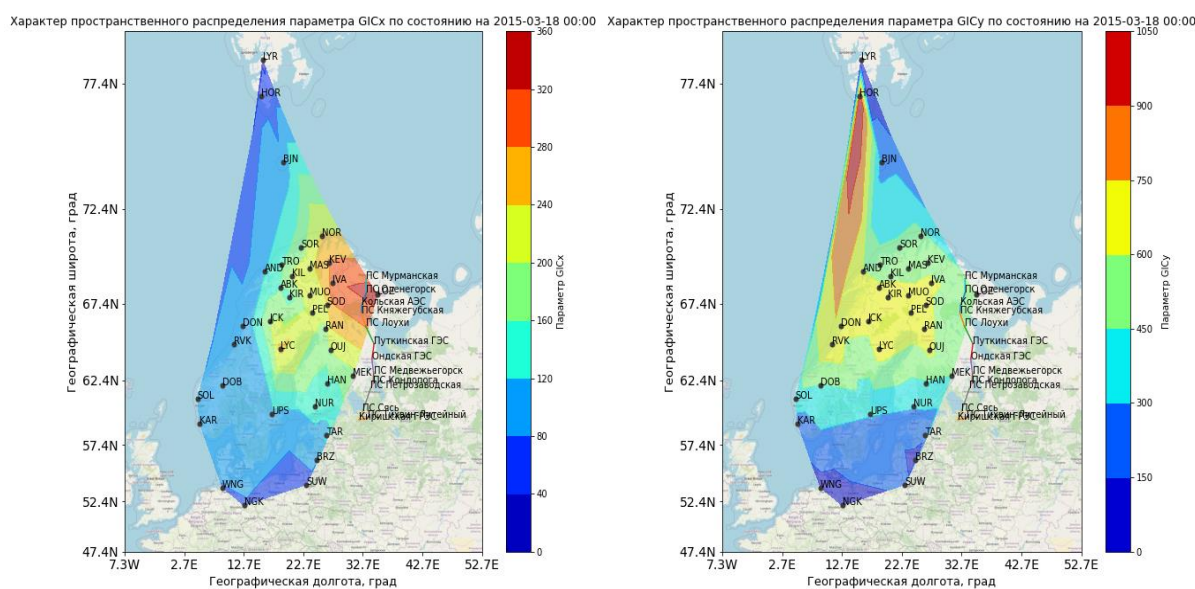
$$\begin{aligned} GIC_x(t) &= |FFT\{Y(f)Z(f)\}^{-1}|, \\ GIC_y(t) &= |FFT\{X(f)Z(f)\}^{-1}|, \end{aligned} \quad (2)$$

где $FFT\{\}^{-1}$ представляет собой обратное преобразование Фурье величины внутри скобок, $Z(f)$ – фильтрующая функция уравнения (1), а $||$ обозначает абсолютное значение комплексной величины, возвращаемой обратным преобразованием.

Далее считываем данные из файлов каждой станции, в которых находятся временные ряды. Произведем расчеты для нахождения индексов GIC_x и GIC_y .

Следующим шагом на карте построим пространственное распределение параметра GIC_x и параметра GIC_y за 17 – 18.03.2021 каждые 6 часов в 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 и 00:00 (рис. 1 – 10). Для оценки воздействия ГИТ на карте построен Кольско-Карельский транзит.

Характер пространственного распределения параметра $GICx$ по состоянию на 2015-03-17 00:00Характер пространственного распределения параметра $GICy$ по состоянию на 2015-03-17 00:00Рис. 1 – 2. Параметры $GICx$ и $GICy$ за 17.03.2015 00:00Характер пространственного распределения параметра $GICx$ по состоянию на 2015-03-17 06:00Характер пространственного распределения параметра $GICy$ по состоянию на 2015-03-17 06:00Рис. 3 – 4. Параметры $GICx$ и $GICy$ за 17.03.2015 06:00Характер пространственного распределения параметра $GICx$ по состоянию на 2015-03-17 12:00Характер пространственного распределения параметра $GICy$ по состоянию на 2015-03-17 12:00Рис. 5 – 6. Параметры $GICx$ и $GICy$ за 17.03.2015 12:00

Рис. 7 – 8. Параметры $GICx$ и $GICy$ за 17.03.2015 18:00Рис. 9 – 10. Параметры $GICx$ и $GICy$ за 18.03.2015 00:00

Заключение

В данной статье был рассчитан характер пространственного распределения параметров $GICx$ и $GICy$, а также оценено влияние геомагнитно-индуцированных токов на Кольско-Карельский транзит. Данные о геомагнитном поле с магнитометрических станций, расположенных рядом с задокументированными явлениями, обрабатывались с использованием «фильтра частотной области ГИТ» для получения соответствующего индекса ГИТ, обеспечивающего прямую связь между геофизическими явлениями и технологическими воздействиями. Оценка величин ГИТ в линиях электропередач разного класса напряжений позволит исследовать устойчивость систем электроснабжения при геомагнитных бурях различной интенсивности.

Список литературы

1. Воробьев А.В., Пилипенко В.А., Еникеев Т.А., Воробьева Г.Р., Христуло О.И., 2021. Система динамической визуализации геомагнитных возмущений по данным наземных магнитных станций. *Научная визуализация*, Т. 13., № 1., С. 162 - 176.

2. Воробьев А.В., Пилипенко В.А., Еникеев Т.А., Воробьева Г.Р., 2020. Геоинформационная система для анализа динамики экстремальных геомагнитных возмущений по данным наблюдений наземных станций. *Компьютерная оптика*, Т. 44, № 5, С. 782 - 790.
3. Воробьев А.В., Воробьева Г.Р., 2018. Подход к оценке относительной информационной эффективности магнитных обсерваторий сети intermagnet. *Геомагнетизм и аэронавигация*. Т. 58, № 5, С. 648 - 652.
4. Воробьев А.В., Воробьева Г.Р., 2017. Веб-ориентированная 2d/3d-визуализация параметров геомагнитного поля и его вариаций. *Научная визуализация*, Т. 9, № 2, С. 94 - 101.
5. Воробьев А.В., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н., 2019. Статистические взаимосвязи вариаций геомагнитного поля, аврорального электроджета и геоиндуцированных токов. *Солнечно-земная физика*, Т. 5. № 1, С. 48 - 58.
6. Воробьев А.В., Пилипенко В.А., Решетников А.Г., Воробьева Г.Р., Белов М.Д., 2020. Веб-ориентированная визуализация геофизических параметров в области аврорального овала. *Научная визуализация*, Т. 12, № 3, С. 108 - 118.
7. Воробьев А.В., Воробьева Г.Р., 2019. Визуализация геомагнитных вариаций в частотно-временной области информационного сигнала. *Научная визуализация*. Т. 11, № 2, С. 143 - 155.
8. Marshall R.A., Smith E.A., Francis M.J., Waters C.L., Sciffer M.D., 2011. A preliminary risk assessment of the Australian region power network to space weather. *Space Weather*, 9, S10004, doi:10.1029/2011SW000685

References

1. Vorob'ev A.V., Pilipenko V.A., Enikeev T.A., Vorob'eva G.R., Khristodulo O.I., 2021. Sistema dinamicheskoi vizualizatsii geomagnitnykh vozmushchenii po dannym nazemnykh magnitnykh stantsii [A system for dynamic visualization of geomagnetic disturbances based on data from ground-based magnetic stations]. *Nauchnaya vizualizatsiya*, Vol. 13., № 1., P. 162 - 176.
2. Vorob'ev A.V., Pilipenko V.A., Enikeev T.A., Vorob'eva G.R., 2020. Geoinformatsionnaya sistema dlya analiza dinamiki ekstremal'nykh geomagnitnykh vozmushchenii po dannym nablyudenii nazemnykh stantsii [Geoinformation system for analyzing the dynamics of extreme geomagnetic disturbances based on observations of ground stations]. *Komp'yuternaya optika*, Vol. 44, № 5, P. 782 - 790.
3. Vorob'ev A.V., Vorob'eva G.R., 2018. Podkhod k otsenke otnositel'noi informatsionnoi effektivnosti magnitnykh observatorii seti intermagnet [An approach to assessing the relative information efficiency of magnetic observatories of the intermagnet network]. *Geomagnetizm i aeronomiya*. Vol. 58, № 5, P. 648 - 652.
4. Vorob'ev A.V., Vorob'eva G.R., 2017. Veb-orientirovannaya 2d/3d-vizualizatsiya parametrov geomagnitnogo polya i ego variatsii [Web-oriented 2d/3d visualization of geomagnetic field parameters and its variations]. *Nauchnaya vizualizatsiya*, Vol. 9, № 2, P. 94 - 101.
5. Vorob'ev A.V., Pilipenko V.A., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N., 2019. Statisticheskie vzaimosvyazi variatsii geomagnitnogo polya, avroral'nogo elektrodzheta i geindutsirovannykh tokov [Statistical relationships of variations of the geomagnetic field, auroral electric jet and geinduced currents]. *Solnechno-zemnaya fizika*, Vol. 5. № 1, P. 48 - 58.
6. Vorob'ev A.V., Pilipenko V.A., Reshetnikov A.G., Vorob'eva G.R., Belov M.D., 2020. Veb-orientirovannaya vizualizatsiya geofizicheskikh parametrov v oblasti avroral'nogo ovala [Web-oriented visualization of geophysical parameters in the auroral oval area]. *Nauchnaya vizualizatsiya*, Vol. 12, № 3, P. 108 - 118.

7. Vorob'ev A.V., Vorob'eva G.R., 2019. Vizualizatsiya geomagnitnykh variatsii v chastotno-vremennoi oblasti informatsionnogo signala [Visualization of geomagnetic variations in the time-frequency domain of an information signal]. Nauchnaya vizualizatsiya. Vol. 11, № 2, P. 143 - 155.

8. Marshall R.A., Smith E.A., Francis M.J., Waters C.L., Sciffer M.D., 2011. A preliminary risk assessment of the Australian region power network to space weather. *Space Weather*, 9, S10004, doi:10.1029/2011SW000685.