

ИДЕНТИЧНОСТЬ АЕ И АРО ИНДЕКСОВ В 23–24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Гуляева Т.Л.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

IDENTITY OF AE AND APO INDICES IN 23–24 CYCLES OF SOLAR ACTIVITY

Gulyaeva T.L.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS,
Moscow, Troitsk, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-85-88>

The auroral electrojet AE index is an indicator of geomagnetic activity in the auroral zone. It is used in the different methods for forecasting of space weather effects, however, a database of numerical AE indices is ceased on the Kyoto website by March 2019. The geomagnetic Apo index is measured on a network of subauroral magnetometers near 60° of magnetic latitude and provided on the site in Potsdam in real time, starting in 1995. The paper presents the results of comparison of 288 maximum monthly values of AE and corresponding Apo indices during 1995–2018. A good match was obtained between the two data series with a correlation coefficient of 0.73. Results indicate the dominant summer disturbance intensity, the intermediate equinox's and the smallest summer seasonal indices. Derivation of proxy AE index from Apo index is proposed for the models based on AE index, as well as derivation of proxy Apo index from AE index to be used for reconstruction of Apo before the start of its observations in 1995. The proxy indices are compared with the observations demonstrating the high efficiency of model results.

Индекс авроральной электроструи (ионосферных токов), *AE*, является показателем геомагнитной активности в авроральной зоне. Он измеряется как разность ($AE = AU - AL$) между интенсивностью восточной *AU* и западной *AL* авроральной электроструи [1]. Индексы *AE*, *AU* и *AL* предоставлены на сайте в Киото (<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>). Цифровой ряд этих данных имеется до марта 2019 г. С апреля 2019 г. эти индексы имеются только в графической форме, поэтому они не пригодны для использования в прогнозах, основанных на данных в реальном времени [2–4].

Недавно предложен 1ч геомагнитный *Apo* индекс (и его линейный эквивалент *Hpro*) [5], которые измеряются на сети субавроральных магнитометров вблизи 60° магнитной широты, на которых основаны данные для 3 ч *Ap* и *Kp* индексов. Данные *Apo* и *Hpro* предоставляются на сайте в Потсдаме в реальном времени, начиная с 1995 г. (<https://kp.gfz-potsdam.de/en/hp30-hp60>).

Для сопоставления двух рядов данных были выбраны максимальные месячные значения индекса AE с 1995 по 2018 гг. Допуская некоторый лаг по времени между индексами AE и Apo , из массива Apo были выбраны максимальные значения в те же дни, что и выборка AE . Результаты выборки показаны точками на рис. 1a,b. Коэффициент корреляции между двумя рядами данных $\sigma\sigma = 0.73$. Квадратичная зависимость прокси индекса AE_p от Apo (рис. 1a) приведена сплошной кривой и представлена уравнением (1). Она показывает эффект насыщения AE с ростом Apo . Соответствующая обратная зависимость прокси Apo_p от AE на рис. 1b показывает ускорение Apo с ростом AE , выраженное уравнением (2).

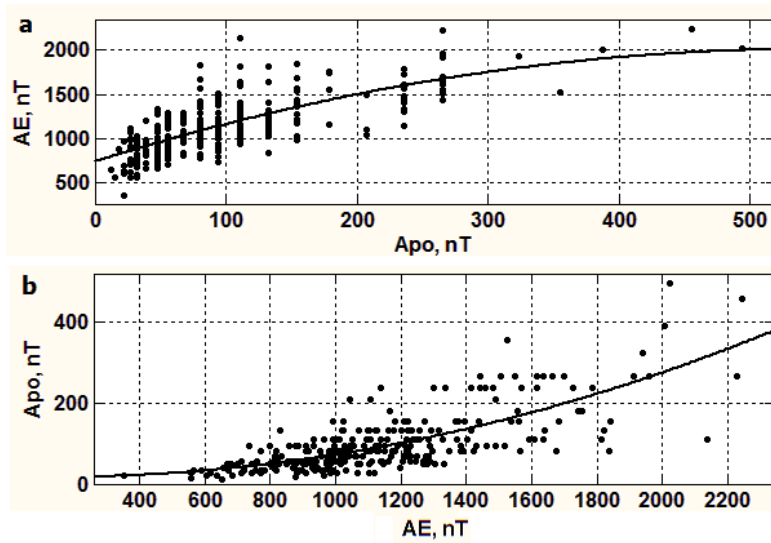


Рис. 1. Взаимосвязь максимальных месячных AE и Apo индексов за период 1995–2018 гг.

$$AE_p = P_{11} \times Apo^2 + P_{12} \times Apo + P_{13} \quad (1)$$

$$Apo_p = P_{21} \times AE^2 + P_{22} \times AE + P_{23} \quad (2)$$

Численные значения коэффициентов уравнений (1) и (2) приводятся в таблице. Высокие значения коэффициента определенности (R^2 более 0.5) подтверждают близкое соответствие двух рядов данных.

Таблица. Коэффициенты уравнений (1) и (2) и коэффициент определенности R^2 при аппроксимации по методу наименьших квадратов.

Индекс	P_1	P_2	P_3	R^2
AE_p (1)	-4.227×10^{-3}	4.632	742.1	0.547
Apo_p (2)	7.46×10^{-5}	-0.02084	18.04	0.554

Набор ежемесячных экстремальных индексов за 2 солнечных цикла (23 и 24) позволяет исследовать их различия по сезонам. Рассмотренные данные были разделены на 3 сезона: зимнее солнцестояние (“wnt” – но-

ябрь, декабрь, январь, февраль), равноденствие (“eqn” – март, апрель, сентябрь, октябрь) и летнее солнцестояние (“smr” – май, июнь, июль, август).

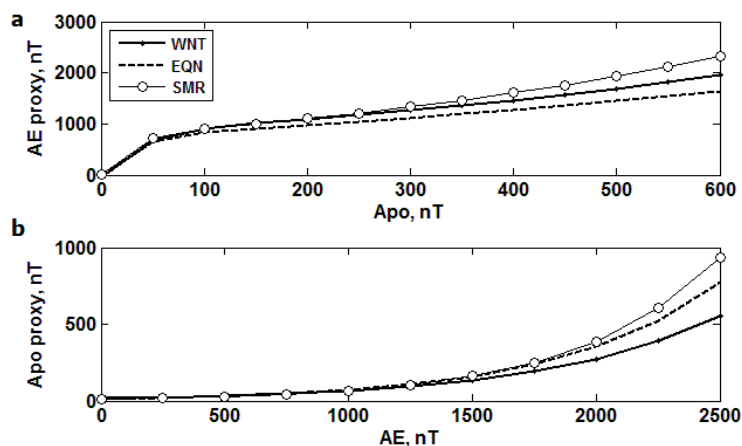


Рис. 2. Сезонные зависимости максимальных месячных AE и Aro индексов.

Аппроксимирующие кривые для трех сезонов приведены на рис. 2a,b (расположение панелей а и b подобно рис. 1a,b). Отметим различие по сезонам, возрастающее с ростом интенсивности возмущений. Учитывая расположение всех магнитометров для AE и большинства для Aro индексов в Северном полушарии, отметим для этого полушария наибольшие значения наблюдаемой интенсивности возмущений в летние месяцы, промежуточные значения в равноденствие, и наименьшие значения зимой. Результаты в Южном полушарии могут оказаться асимметричными [6].

Примеры применения формул (1) и (2) показаны на рис. 3. Слева – пример расчета по формуле (1) для бури 19–21 апреля 2018 г. Результаты прокси AE_p индекса (рис. 3a), рассчитанного из Aro индекса (рис. 3b), близко воспроизводят наблюдаемые изменения AE . Справа – применение формулы (2) для расчета Aro -прокси индекса (рис. 3d) из наблюдений AE индекса (рис. 3c) для бури 21–22 февраля 1994 г., когда 1ч данные Aro еще не производились. Для сравнения на рис. 3d использованы 3ч Ar индексы. Видно близкое соответствие модельных и наблюдаемых данных.

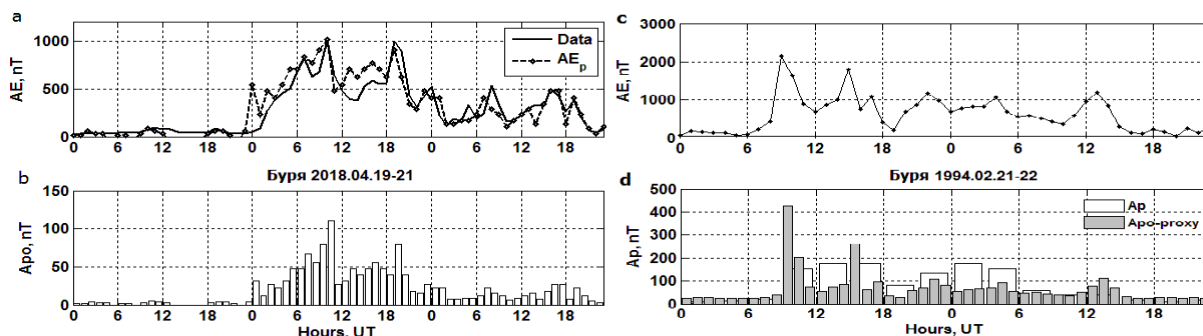


Рис. 3. Примеры применения модели прокси индексов.
Слева – формула (1), справа – формула (2)

В заключение отметим, что отсутствие цифровых данных *AE* индекса с апреля 2019 г. может быть компенсировано предложенной моделью прокси *AE* индекса на основе наблюдений 1ч *Apo* индекса для использования в прогнозах, основанных на *AE* индексе. Обратная зависимость позволяет рассчитать 1ч прокси *Apo* индекс из наблюдений *AE* индекса для использования в ретроспективных исследованиях вариаций *Apo* до начала его производства в 1995 г. Альтернативным источником прокси *AE* индекса могут служить модели его прогноза [7], доступные на сайте <http://eng.sepc.ac.cn/AEIndex.php>.

Литература

1. Davis, T.N., and Sugiura, M. Auroral Electrojet Activity index AE and its Universal Time Variations // J. Geophys. Res. Space Physics, 1966, 71 (3), 785–801. DOI: 10.1029/jz071i003p00785.
2. Li, Sh., Galas, R., Ewert, D., and Peng, J. An empirical model for the ionospheric global electron content storm-time response // Acta Geophys. 2015. V. 51, I.1. P.253-269. DOI: 10.1515/acgeo-2015-0067.
3. Yenen S.D., Gulyaeva, T.L., Arikan, F., Arikan, O. Association of ionospheric storms and substorms of Global Electron Content with proxy AE index // Adv. Space Res. 2015. V.56. I.7. P.1343-1353. 2015. DOI: /10.1016/j.asr.2015.06.025.
4. Гуляева Т.Л. Прогноз глобального электронного содержания в ионосфере в процессе развития геомагнитной бури // Солнечная и солнечно-земная физика – 2016. СПб, 2016, Пулково. 85-88.
5. Yamazaki, Y., Matzka, J., Stolle, C., et al. Geomagnetic activity index Hpo // Geophys. Res. Lett. 2022. V.49. DOI: 10.1029/2022GL098860.
6. Gulyaeva, T., Stanislawski, I., Lukianova, R. Arctic–Antarctic asymmetry of the ionospheric weather. Adv. Space Res., 2023, DOI: 10.1016/j.asr.2022.05.008.
7. Luo, B., Li, X., Temerin, M., and Liu, S. Prediction of the AU, AL, and AE indices using solar wind parameters. // J. Geophys. Res. Space Physics, 2013, 118, 7683–7694. DOI: 10.1002/2013JA019188.