УДК 550.385.4

Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах

Гуляева Т.Л.

*ИЗМИРАН, Москва, Россия*

*e-mail:* *gulyaeva@izmiran.ru*

Поступила в редакцию

После доработки

Принята к публикации

Индекс авроральной электроструи *АЕ* часто используется в прогностических моделях как источник распространения возмущения в геосфере от полюса к средним и низким широтам. Однако эти данные не предоставляются в цифровом виде с апреля 2019г. Вместо *АЕ* индекса в данной работе предлагается использовать недавно введенный 1ч *apo* индекс, учитывая близкое расположение сетей магнитометров для этих индексов в высоких широтах и наличие *apo* индекса в реальном времени. С этой целью проанализирована их корреляция во время 276 интенсивных бурь за 1995-2017гг. Профили бурь построены методом совмещения эпох с началом отсчета *t0* = 0 при пороговом значении *AЕ* ≥ 1000 нТл. Проведено сравнение профилей бурь *AE(t)*, *apo(t)*, межпланетного электрического поля *E(t)* и скорости солнечного ветра *Vsw(t)* в течение 72 часов: 24ч до пика бури *t0*, и 48 часов после него. Получено хорошее соответствие между рядами *AE(t)* и *apo(t)* с коэффициентом корреляции 0.70. Сравнение с межпланетными параметрами показало корреляцию *AЕ(t)* и *apo(t)* с электрическим полем *Е(t)* и отсутствие их прямой связи со скоростью солнечного ветра *Vsw(t)*. Выведена двухпараметрическая формула зависимости индекса авроральной электроструи *AE(t)*от межпланетного электрического поля *E(t)*и геомагнитного индекса *apo(t)* для использования в прогнозах геомагнитных бурь. В случае отсутствия данных *E(t)* предложены формулы прямой зависимости *АЕ(t)* от *aро(t)* для применения в реальном времени и обратной зависимости *aро(t)* от *АЕ(t)* для реконструкции 1ч *aро* индекса до 1995г. Проверка предложенных моделей по данным 5 интенсивных бурь в 2018г показала соответствие модельных расчетов наблюдательным данным *АЕ* индекса с высоким коэффициентом определенности *R*2 в пределах от 0.62 до 0.81.

1. ВВЕДЕНИЕ

Во время геомагнитных бурь электрическое поле магнитосферной конвекции усиливается, проникает во внешние L-оболочки и движется по силовым линиям к экватору. Наиболее подвержены влиянию космической погоды полярные и экваториальные зоны в магнитосфере и ионосфере [Tsurutani et al., 1990; Gulyaeva and Stanislawska, 2010; Gu et al., 2019; Prikryl et al., 2022]. Это, в частности, подтверждается широким использованием в операционных системах мониторинга и прогноза космической погоды индексов авроральной электроструи *AE* и кольцевого тока, представленного экваториальным *Dst* индексом. *AE* индекс был введен для измерений вариаций горизонтальной компоненты *H* геомагнитного поля в выбранных 10−13 обсерваториях [Davis and Sugiura, 1966]. Верхняя граница отклонений *H* от спокойного уровня обозначена как *AU* индекс, нижняя граница как *AL* индекс, представляющие соответственно интенсивности восточной и западной авроральной электроструи. *AE* индекс представляет собой разность *AU* и *AL* (*AE* = *AU* – *AL)*. Наряду с другими известными параметрами, индексы *AE, AU* и *AL* широко используются в исследованиях влияния космической погоды на космические и телекоммуникационные системы [Schrijver, 2015], авиационную безопасность [Göker, 2023] и другие технологии.

*AE* индекс широко применяется для исследования морфологии суббурь, ионосферных бурь, радиомерцаний и взаимосвязи межпланетного магнитного поля с магнитосферой Земли [Luo et al., 2013; Nesse Tyssøy et al., 2021; Белюченко и др., 2022]. Его практическое применение в ионосферных прогнозах [Li et al., 2015; Yenen et al., 2015; Gulyaeva, 2016] затруднено из-за отсутствия этих данных в числовом формате с апреля 2019г на сайте провайдера (<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>).

Отсутствие данных *AE* в реальном времени частично компенсируется прогнозами *AE* индекса, основанными на измерениях параметров солнечного ветра [Luo et al., 2013; Gu et al., 2019]. Корреляции аврорального *AE* индекса с другими индикаторами магнитосферных возмущений исследовались ранее в ряде работ [Rostoker*,* 1991*;* Cade III et al., 1995; Fares Saba et al., 1997; Шубин и др., 1998; Adebesin, 2016]. В них использовались сравнения *AE* с 3ч *ap* и *Kp* индексами и 1ч *Dst* индексом. Недавно ряды 3ч геомагнитных индексов *Kp* и *ap* пополнились 1ч *Hpo* и *apo* индексами, измеряемыми на их общей сети магнитометров вблизи аврорального овала [[*Yamazaki*](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/authored-by/Yamazaki/Y.) et al., 2022]. Индексы *Hpo* и *apo* доступны с 1995г на сайте (<https://kp.gfz-potsdam.de/en/hp30-hp60>) и продолжают регулярно пополняться в режиме реального времени. В данной работе впервые исследуются взаимосвязи между *AE* и *apo* индексами во время интенсивных геомагнитных бурь, с целью использования нового ряда 1ч *apo* индексов в прогнозах эффектов геомагнитных бурь вместо отсутствующих цифровых данных *AE* индекса.

1. АНАЛИЗ ДАННЫХ

Прежде, чем перейти к сравнению поведения геомагнитных *AE* и *apo* индексов во время интенсивных геомагнитных бурь, рассмотрим расположение сетей магнитометров, на основе измерений которых вычисляются эти индексы (рис. 1). Видно близкое расположение источников данных в высоких широтах. Сеть магнитометров для *AE* индекса располагается выше 60° магнитной широты в Северном полушарии, а сеть для *apo* индекса, совпадающая с сетью 3ч *ap* и *Kp* индексов, вблизи 60° магнитной широты в Северном полушарии и 2х станций в Южном полушариях.

Сравнение профилей бури для *AE* и *apo* индексов выполнено методом совмещения эпох для 276 интенсивных бурь, с началом отсчета *t0* = 0 при пороговом значении *AE* ≥ 1000 нТл за 1995−2017гг. Профили бурь вычислены в течение 72 часов: 24ч до пика бури *t0*, и 48 часов после него. Результаты показаны на рис. 2а − профили бурь *AE(t*) и рис. 2б − профили бурь *apo(t*). В работе [Куражковская и Куражковский, 2023] показана зависимость *Ap* и *Dst* индексов от индикаторов солнечной активности, а также от параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Межпланетное электрическое поле показывает наилучшую корреляцию с геомагнитными индексами и отрицательными ионосферными возмущениями [Crooker and Gringauz, 1993; Kim and Chang, 2014]. В данной работе профили параметров межпланетного электрического поля *E(t)* (рис. 2в) и скорости солнечного ветра *Vsw(t)* (рис. 2г) посчитаны для сравнения с вариациями *AE(t*) и *apo(t*) во время 276 интенсивных бурь. Электрическое поле солнечного ветра *E* (в единицах mW/m) вычисляется как произведение южной компоненты Межпланетного магнитного поля, *Bz* (нТл) на скорость солнечного ветра *Vsw* (км/с) с обратным знаком и предоставляется на сайте (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min.html>):

 ( 1 )

Индивидуальные профили бурь показаны на рис. 2а−г черными линиями, медиана − белая кривая. В медианах, в частности, хорошо видно совпадение пика бурь *apo* с пиком бурь *AE*. Видно, что пик *Emax* опережает на 1ч *t0,* в то время как *Vswmax* запаздывает на 8ч после *t0*. Пик *Emax* отражает момент пика южной компоненты *Bz* при возросшей скорости *Vsw* (ур−е 1)*.* Визуально вариации профиля бурь *E(t)* соответствуют вариациям *AE(t*) и *apo(t*), что подтверждает изменения в *AE* под влиянием конвекции электрического поля солнечного ветра [Gu et al., 2019]. Исследование корреляций различных параметров космической погоды с геомагнитным *Dst* индексом также показали его наилучшее соответствие произведению |V*sw*Bz|, пропорциональному электрическому полю [Samwel and Miteva, 2023]. Запаздывание по времени скорости солнечного ветра в максимуме, *Vswmax*, после *t0* свидетельствует о том, что скорость солнечного ветра *Vsw* не пригодна для использования в прогнозах интенсивных бурь *AE* и *apo* индексов, развитие которых предшествует пику *Vsw*.

Качественное сравнение профилей бурь на рис. 2а−г подтверждается коэффициентом корреляции между рассмотренными параметрами, представленным в Таблице 1. Заметим, что в эти сравнения включены все моменты профилей бури – за 24ч до ее пика *t0* и 48ч в фазе восстановления. Из Таблицы 1 видно, что корреляция отсутствует между *Vsw* и *E*, слабая корреляция наблюдается между *Vsw* и *AE* и между *Vsw* и *apo*. Коэффициент корреляции улучшается между индексами *E* и *AE* и между *E* и *apo*. Наилучшая корреляция наблюдается между *AE* и *apo* индексами с коэффициентом корреляции, равным 0.70. Это свойство мы используем для вывода уравнений связи между исследуемыми индексами.

**Таблица** 1. Коэффициент корреляции между значениями 4х рассмотренных индексов во время интенсивных геомагнитных бурь.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Индекс | *Vsw* | *E* | *AE* | *apo* |
| *Vsw* | 1 | 0.02 | 0.29 | 0.36 |
| *E* |  | 1 | 0.58 | 0.50 |
| *AE* |  |  | 1 | 0.70 |
| *apo* |  |  |  | 1 |

На рис. 3а приведена зависимость индекса *AE* от *apo*, и на рис. 3б – обратная ей зависимость *apo* от *AE*, построенная по данным профилей бурь, приведенных на рис. 2а,б. Точками показаны исходные данные, сплошная кривая – экспоненциальная модель, построенная по методу наименьших квадратов:

 ( 2 )

 ( 3 )

Коэффициенты аппроксимаций (2−3) приведены в Таблице 2 с указанием меры определенности *R*2. Параметр *R*2 меняется от −∞ to 1 (наихудшее значение −∞; наилучшее значение +1) [Chicco et al., 2021]. Полученные значения *R*2 показывают хорошее приближение модели к данным.

**Таблица 2**. Коэффициенты экспоненциальных выражений (2−3) и мера определенности *R*2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Модель | *a* | *b* | *c* | *d* | *a1* | *b1* | *R2* |
| *AE(apo*) | −916.8 | −0.02744 | 874.0 | 0.001715 |  |  | 0.878 |
| *apo(AE*) |  |  |  |  | 12.98 | 0.001659 | 0.476 |

Выражения (2−3) включают все точки профилей бурь. При наличии данных межпланетного электрического поля профиль бурь *AE* индекса можно представить в зависимости от двух параметров: *E* и *apo*. Такая двухпараметрическая зависимость представлена на рис. 4 и в уравнении (4):

( 4 )

Коэффициенты уравнения (4) представлены в Таблице 3 с указанием меры определенности *R*2. Параметр *R*2 показывает высокую точность модели.

**Таблица 3**. Коэффициенты двухпараметрической модели (4) и мера определенности *R*2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Модель | *p00* | *p10* | *p01* | *R*2 |
| *AE*(*E*, *apo*) | 219.1 | 34.88 | 4.955 | 0.561 |

Как указано выше, мы исследовали все интенсивные бури за время имеющегося ряда часовых *apo* и *АЕ* индексов с 1995 по 2017гг. Данные *AE* индекса в цифровом виде имеются по март 2019г. С января 2018г по март 2019г наблюдалось 5 интенсивных бурь с *AE* индексом, превышающим 1000 нТл, перечисленных в Таблице 4. Эти события относятся к минимуму солнечной активности, но интенсивность геомагнитных возмущений в них выбрана по тому же критерию *AE* ≥ 1000 нТл, что и в списке проанализированных бурь. Мы используем профили этих бурь, не включенных в данные при анализе, для проверки предложенных моделей. Сравнение проводилась для каждого события в течение 3х календарных дней: один день до пика бури *AEmax*, день пика бури, указанный в 1м столбце Таблицы 4, и один день, следующий за пиком бури. Всего сравнение проводилось в течение 72 часов для каждого события. Результаты представлены на рисунках 5 и 6 и в Таблице 4.

На рисунках 5 и 6 (верхняя панель) представлены данные наблюдаемого *AE* индекса (кривая 1), результаты расчета по модели (2) − кривая 2, и расчета по модели (4) − кривая 3. Исходные данные для расчетов показаны на средней панели (электрическое поле *E*) и на нижней панели (планетарный *apo* индекс). На верхней панели видно близкое соответствие модельных расчетов данным наблюдений. На рис. 5 представлена буря с 17 по 19 марта 2018г, при этом модели близко воспроизводят наблюдательный профиль бури *AE* индекса. Пример на Рис. 6 относится к буре с 25 по 27 августа 2018г. На Рис. 6 видно хорошее воспроизведение моделями вариаций *AE* индекса, несмотря на сложную колебательную структуру его изменений во время бури.

Количественные оценки расчетов по моделям (2) и (4) для 5 контрольных примеров представлены в Таблице 4. Здесь указаны максимальные значения наблюдаемых индексов во время бури (*AEmax*, *apomax* и *Emax*) и коэффициент определенности *R*2 для моделей (2) и (4). Видно высокое значение коэффициента *R*2, с лучшими результатами для модели (4) по сравнению с моделью (2), за исключением 2го события с 19 по 21 апреля 2018г. В рассмотренных случаях коэффициент определенности *R*2 меняется от 0.62 до 0.81

**Таблица 4.** Проверка моделей (2) и (4) для 5 бурь в 2018г

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дата | *AEmax*nT | *apomax*nT | *Emax*mW/m | *R*2(2) | *R*2(4) |
| 2018.03.18 | 1113 | 111 | 3.56 | 0.62 | 0.71 |
| 2018.04.20 | 1001 | 111 | 5.76 | 0.81 | 0.72 |
| 2018.06.01 | 1001 | 56 | 3.86 | 0.71 | 0.77 |
| 2018.08.26 | 1210 | 179 | 6.56 | 0.74 | 0.75 |
| 2018.11.05 | 1045 | 94 | 3.66 | 0.64 | 0.72 |

1. ВЫВОДЫ

Применение аврорального *АЕ* индекса в прогностических моделях затруднено, так как с апреля 2019г данные *AE* приведены только в виде рисунков на сайте в Киото (<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>). Учитывая близкое расположение источников данных для *AE* и *apo* индексов, наличие цифровых данных *apo* по адресу (<https://kp.gfz-potsdam.de/en/hp30-hp60>) и отсутствие таких данных *AE* в реальном времени, можно рекомендовать использование *apo* индекса в качестве управляющего параметра в геосферных моделях.

Этот вывод подтверждается проведенным исследованием корреляции *AE(t)* и *apo(t)* индексов во время 276 интенсивных бурь за 1995-2017гг. Профили бурь построены методом совмещения эпох с началом отсчета *t0* = 0 при пороговом значении *AЕ* ≥ 1000 нТл. Проведено сравнение профилей бурь *AE(t)*, *apo(t)*, межпланетного электрического поля *E(t)* и скорости солнечного ветра *Vsw(t)* в течение 72 часов: 24ч до пика бури *t0*, и 48 часов после него. Получено хорошее соответствие между рядами *AE(t)* и *apo(t)* с коэффициентом корреляции 0.70. Сравнение с межпланетными параметрами показало корреляцию *AЕ(t)* и *apo(t)* с электрическим полем *Е(t)* и отсутствие их прямой связи со скоростью солнечного ветра *Vsw(t)*.

Выведена двухпараметрическая формула зависимости индекса авроральной электроструи *AE(t)*от межпланетного электрического поля *E(t)*и геомагнитного индекса *apo(t)* для использования в прогнозах геомагнитных бурь. В случае отсутствия данных *E(t)* предложены формулы прямой зависимости *АЕ(t)* от *Аро(t)* для применения в реальном времени и обратной зависимости *Аро(t)* от *АЕ(t)* для реконструкции 1ч *Аро* индекса до 1995г.

Проверка предложенных моделей по данным 5 интенсивных бурь в 2018г показала ее соответствие наблюдательным данным *АЕ* индекса с высоким коэффициентом определенности *R*2 в пределах от 0.62 до 0.81.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*− Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г.* Связь возмущений полного электронного содержания с AE-индексом геомагнитной активности во время геомагнитной бури в марте 2015г. // Солнечно-земная физика. Т. 8. № 3. С. 41-48. 2022. DOI:10.12737/szf-83202206.

*− Гуляева Т.Л.* Прогноз глобального электронного содержания в ионосфере в процессе развития геомагнитной бури // Солнечная и солнечно-земная физика – 2016. СПб, Пулково. С. 85-88. 2016.

*− Куражковская Н.А. и Куражковский А.Ю.* Эффект гистерезиса между индексами геомагнитной активности (Ap, Dst) и параметрами межпланетной среды в 21−24 циклах солнечной активности // Солнечно-земная физика. Т. 9. № 3, С. 73-82. 2023. DOI:10.12737/szf-93202308.

*− Шубин В.Н., Иванов-Холодный Г.С., Ситнов Ю.С.* Использование интегральных индексов для описания динамики магнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 38. № 4. C. 16–23. 1998.

*−* *Adebesin B.O.* Investigation into the linear relationship between the AE, Dst and ap indices during different magnetic and solar activity conditions. // Acta Geod. Geophys. V. 51. P. 315–331. 2016. DOI:10.1007/s40328-015-0128-2.

*− Cade III W.B., Sojka J.J., Zhu L.* A correlative comparison of the ring current and auroral electrojects using geomagnetic indices. // J. Geophys. Res. V/ 100. No. A1. P. 97−106/ 1995. DOI:10.1029/94JA02347.

*− Chicco D., Warrens M.J., Jurman G.* The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. // *PeerJ Comput. Sci.* V/ *7. P.* e623. 2021. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>.

*− Crooker N.U. and Gringauz K.I.* On the low correlation between long-term averages of solar wind speed and geomagnetic activity after 1976. // J. Geophys. Res. Space. V. 98. P. 59-62. 1993. <http://doi.org/10.1029/92JA01978>.

*− Davis T. N. and Sugiura, M.* Auroral Electrojet Activity index AE and its Universal Time Variations. // J. Geophys. Res. V. 71. No. 3. P. 785–801. 1966. DOI:10.1029/jz071i003p00785.

*− Fares Saba M.M , Gonzalez W.D., Cluúa de Gonzalez A.L.* Relationships between the AE, ap and Dst indices near solar minimum (1974) and at solar maximum (1979). // Ann. Geophysicae. V. 15. P. 1265−1270. 1997.

*− Göker Ü.D*. Short- and long-term changes in the neurophysiological status of pilots due to radiation exposure caused by geomagnetic storms. // Medical Research Archives. V.11. No. 9. 2023. <https://doi.org/10.18103/mra.v11i9.4395>.

*− Gu Y., Wei H.-L., Boynton R. J., Walker S. N., Balikhin M. A.* System identification and data-driven forecasting of AE index and prediction uncertainty analysis using a new cloud-NARX model. // J. Geophys. Res., Space. V. 124. P. 248–263. 2019. <https://doi.org/10.1029/2018JA025957>.

*− Gulyaeva T.L. and Stanislawska I.* Magnetosphere associated storms and autonomous storms in the ionosphere-plasmasphere environment. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys**.** V. 72. P.90-96. 2010. DOI: 10.1016/j.jastp.2009.10.012.

*−* *Li Sh., Galas R., Ewert D., Peng J.* An empirical model for the ionospheric global electron content storm-time response // Acta Geophys. V. 51, I.1. P.253-269. 2015. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2015-0067>.

*− Luo B., Li X., Temerin M., Liu S.* Prediction of the AU, AL, and AE indices using solar wind parameters. // J. Geophys. Res. Space. V. 118. P. 7683–7694. 2013. <https://doi.org/10.1002/2013JA019188>.

*− Nesse Tyssøy H., Partamies N., Babu E.M., Smith-Johnsen C., Salice J.A.* The predictive capabilities of the Auroral Electrojet index for medium energy electron precipitation. // Front. Astron. Space Sci., Sec. Space Physics. V.8. 2021. <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.714146>.

*− Prikryl P., Gillies R.G., Themens D.R., Weygand J.M., Thomas E.G., Chakraborty S.* Multi-instrument observations of polar cap patches and traveling ionospheric disturbances generated by solar wind Alfvén waves coupling to the dayside magnetosphere. // Ann. Geophys. V. 40. P. 619–639. 2022. <https://doi.org/10.5194/angeo-40-619-2022>.

*− Rostoker G.* A quantitative relationship between AE and Kp. // J. Geophys. Res. Space. V. 96. P. 5853−5857. 1991.

*− Samwel S. and Miteva R.* Correlations between space weather parameters during intense geomagnetic storms: Analytical study. // Adv. Space Res. V. 72. I. 8. P. 3440−3453. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.07.053>.

*− Schrijver C.J.* Socio-economic hazards and impacts of space weather: The important range between mild and extreme. // Space Weather. V. 13. P. 524–528. 2015. <https://doi.org/10.1002/2015SW001252>.

*− Tsurutani B.T., Goldstein B.E., Smith E.J., Ghonzales W.D., Tang F., Akasofu S.I., Anderson R.R*. The interplanetary and solar causes of geomagnetic activity. // Planet. Space Sci. V. 38. I. 1. P. 109–126. 1990.

*−* [*Yamazaki*](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/authored-by/Yamazaki/Y.) *Y.,* [*Matzka*](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/authored-by/Matzka/J.) *J.,*[*Stolle*](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/authored-by/Stolle/C.) *C.,*[*Kervalishvili*](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/authored-by/Kervalishvili/G.)*G., et al.* Geomagnetic activity index Hpo. // Geophys. Res. Lett. V.49. 2022. <https://doi.org/10.1029/2022GL098860>.

*− 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*. V.56. I.7. P.1343-1353. 2015. DOI: 10.1016/j.asr.2015.06.025, 2015.

Подписи к рисункам

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»

Рис. 1. Сети магнитометров, поставляющие данные для производства *AE* и *apo* индексов.

Рис. 2. Профили интенсивных бурь за 1995-2017гг., центрированные к моменту пика *АЕ* индекса: (а) профили *AE(t)*; (б) *apo(t)*; (в) *E(t)*; (г) *Vsw(t)*. Индивидуальные профили - черные линии, медиана - белая кривая.

Рис. 3. Регрессионные зависимости между индексами *АЕ* и *apo*: (а) зависимость *AE* от *apo*; (б) зависимость *apo* от *AE*.

Рис. 4. Двух−параметрическая зависимость профиля бурь *AE* индекса от параметров *E* и *apo*.

Рис. 5. Данные наблюдений и расчеты по модели во время бури с 17 по 19 марта 2018г. (а) 1 - наблюдения *АЕ* индекса, 2 - расчет по модели (2); 3 - расчет по модели (4); (б) наблюдения электрического поля *E*; (в) наблюдения индекса *apo*.

Рис. 6. Аналогично рис. 5 для бури с 25 по 27 августа 2018г.



Рис.1

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»



Рис.2

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»



Рис.3

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»



Рис.4

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»



Рис.5

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»



Рис.6

к ст. Т.Л. Гуляевой

«Соответствие вариаций AE и apo индексов в 23−24 солнечных циклах»