

УДК 550.389.5

О ПРИМЕНИМОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ И СТАНЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Б.Г. Гаврилов, И.А. Ряховский, И.Э. Маркович, А.Н. Ляхов, Д.В. Егоров

Поступила 09.11.2016 г.

При анализе физических механизмов изменений геофизических параметров используются данные по вариациям геомагнитного поля, как одного из наиболее значимых факторов гелиогеофизической обстановки. При этом рассматриваются как планетарные индексы геомагнитной активности (AE, AL, Ap, Kp, Dst и др.), так и стационарные индексы K, характеризующие изменения геомагнитного поля по данным одной магнитометрической станции. В статье приводятся результаты сравнительного анализа вариаций геомагнитной активности по данным планетарных и стационарных индексов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ, АВРОРАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ, ЭЛЕКТРОДЖЕТ, СРЕДНЕШИРОТНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ВАРИАЦИИ, ПЛАНЕТАРНЫЕ ИНДЕКСЫ, СТАНЦИОННЫЕ ИНДЕКСЫ.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании взаимосвязанных физических процессов в литосферно-атмосферно-ионосферной системе в качестве одного из основных параметров, характеризующих гелиогеофизическую обстановку, анализируются вариации геомагнитного поля (ГМП). Для его количественной оценки используются планетарные индексы геомагнитной активности (AE, AL, Ap, Kp, Dst и др.). В среднеширотной зоне наиболее часто используется Kp-индекс. Индекс рассчитывается каждые 3 часа по измерениям магнитного поля на станциях, расположенных в широком диапазоне широт и долгот (табл.1). Как можно видеть, станции неравномерно распределены по Земному шару. Большинство станций находится в Европе. В Южном полушарии находятся всего две станции. При расчете Kp индекса вводятся весовые коэффициенты, которые должны учитывать широтное положение станций (правый столбец табл.1), однако корректность представления среднеширотных планетарных данных по данным Kp-индекса давно подвергается сомнению (см. например [1]). Несмотря на это, Kp-индекс широко применяется для оценки изменений геомагнитной обстановки на временах, превышающих трехчасовой интервал.

Для изучения более коротких событий применяется индекс авроральной активности AE. Индекс характеризует динамику и геометрию авроральных электроджетов, то есть характеризует высокоширотные вариации геомагнитного поля. Тем не менее, AE-индекс широко используется и в качестве характеристики изменения геомагнитной обстановки в целом.

Физический смысл AE-индекса и его применимость являются предметом дискуссии с тех пор, как он был введен в научный оборот [2]. Авторы [3] показали, что использование AE индекса без анализа составляющих его AU и AL индексов является некорректным. Их алгебраическое сложение физически не обосновано, так как они описывают различные явления в авроральной ионосфере. Природа восточного электроджета, описываемого индексом AU, совершенно другая, чем западного электроджета, описываемого индексом AL. Особенно разница в поведении AU и AL очевидна при анализе больших по длительности событий, например суточных и 27-суточных вариаций ГМП и сезонных вариаций геомагнитной активности. Сезонные вариации ГМП связаны с относительным положением и ориентацией Земли и Солнца в течение года. Наблюдаются два максимума геомагнитной активности в период равноденствий и два минимума во время солнцестояний. Анализ сезонных вариаций AU, AL и AE индексов показал, что зависимость AU индекса (а следовательно и AE индекса) от сезона не носит регулярного характера. AL индекс, напротив, точно отрабатывает как дневные, так и сезонные вариации и, по-видимому, является предпочтительным для их изучения.

Гаврилов Борис Георгиевич, д.ф.м.н., зав. лабораторией, ФГБУН ИДГ РАН, Москва, Россия, тел. +7 916 128 7903, boris.gavrilov34@gmail.com

Ряховский Илья Александрович, к.ф.м.н., нс, ФГБУН ИДГ РАН, Москва, Россия

Маркович Ирина Эмидовна, м.н.с., ФГБУН ИДГ РАН, Москва, Россия

Ляхов Андрей Николаевич, к.т.н., зав. лабораторией, ФГБУН ИДГ РАН, Москва, Россия

Егоров Дмитрий Венедиктович, снс, ФГБУН ИДГ РАН, Москва, Россия

Таблица 1.

Магнитовариационные станции, по данным которых рассчитывается Кр-индекс

#	Код	Широта	Долгота	К=9 (нТл)
1	LER	60°08'	358°49'	1000
2	MEA	54°37'	246°40'	1500
3	SIT	57°03'	224°40'	1000
4	ESK	55°19'	356°48'	750
5	UPS	59°54'	17°21'	600
6	OTT	45°24'	284°27'	750
7	BFE	55°37'	11°40'	600
8	HAD	50°58'	355°31'	500
9	WNG	53°45'	9°04'	500
10	NGK	52°04'	12°41'	500
11	FRD	38°12'	282°38'	500
12	CNB	-35°18'	149°00'	450
13	EYR	-43°25'	172°21'	500

С осторожностью следует подходить при анализе среднеширотных геофизических явлений и к использованию Dst-индекса. Он, как известно, отражает динамику кольцевого тока и связан прежде всего с экваториальными явлениями. Магнитное поле кольцевого тока является одним из основных составляющих глобальной геомагнитной активности, но далеко не полностью определяет ее среднеширотную динамику.

Наряду с планетарными индексами, для анализа локальных и региональных геофизических эффектов часто применяются станционные индексы геомагнитной активности К. Методика их расчета та же, что и при определении индекса Кр, но данные берутся для горизонтальной компонента ГМП по результатам измерений на одной магнитовариационной станции. В статье обсуждается вопрос о применимости различных индексов для оценки локальных геофизических эффектов в среднеширотной зоне.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа соотношения и значимости данных, которые могут быть получены с использованием различных индексов, используются результаты мониторинговых наблюдений вариаций ГМП геофизической обсерватории (ГФО) «Михнево» ИДГ РАН и данные мировых центров геофизических данных (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>).

ГФО «Михнево» расположена в 80 км на юг от Москвы в точке с координатами 54,961 с.ш., 37,763 в.д. В обсерватории систематические измерения К-индекса проводятся с апреля 2006 г. Данные, накопленные за почти 10-летний период, позволяют сравнить сезонные вариации К-индекса ГФО «Михнево» с их с поведением на других станциях и с глобальными индексами.

Обработка данных ГФО «Михнево» происходила следующим образом. В каждом месяце суммировалось количество трехчасовых интервалов, где значение индекса было равно 4 ($K=4$ - слабые возмущения) или было равно или превышало 5 ($K \geq 5$ - сильные возмущения). Ниже приводятся данные анализа за два типичных года (2011 и 2015).

Для того, чтобы оценить вклад в значение Кр индекса данных измерений на станциях, по которым проводится его оценка, на рис.1 и 2 в качестве примера приведены графики для Кр-индекса и числа трехчасовых интервалов в месяц, когда значение станционного индекса К для пяти станций из таблицы 1 было равно 4 (верхняя панель) или ≥ 5 (нижняя панель) за 2011 и 2015 г.г. Можно видеть, что и Кр, и станционные К индексы отражают максимумы активности ГМП в период

равноденствий и минимумы в период солнцестояний, однако поведение индексов на разных станциях весьма сильно отличается. Поэтому вопрос о соотношении станционного К индекса и планетарных индексов представляется правомерным.

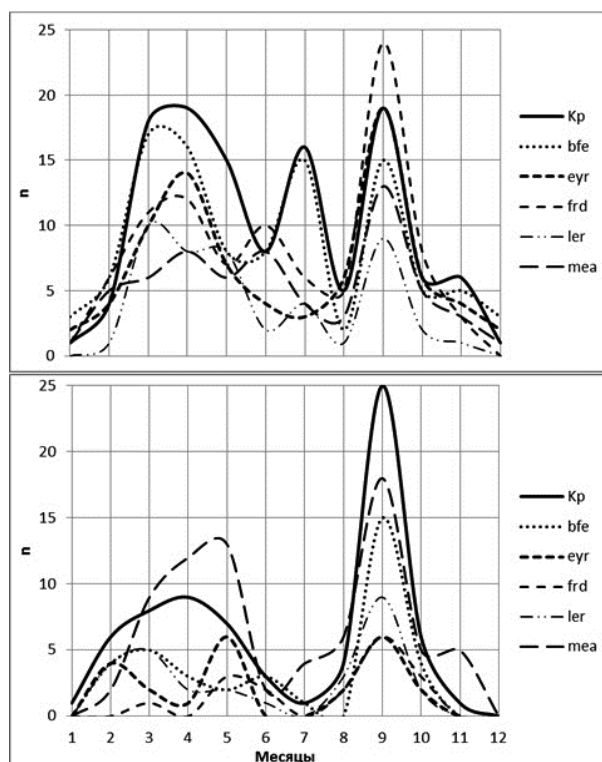


Рис.1. Число трехчасовых интервалов в месяц, когда значение индекса с $K = 4$ (верхняя панель) и $K \geq 5$ (нижняя панель), за 2011 г. для Кр-индекса и станционных индексов для пяти станций из таблицы 1.

Сравним поведение станционного индекса Михнева К и Кр-индекса за те же годы (рис. 3, 4). Очевидно, что корреляция поведения К и Кр для слабых геомагнитных возмущений низкая. Для событий с $K > 5$ характер изменения двух индексов более близок. Очевидно, что привлечение для анализа геофизических среднеширотных событий планетарного Кр индекса возможно только при сильных возмущениях ГМП. Попутно отметим, что июньский подъем значения всех индексов в 2015 г. обусловлен мощными магнитными бурями, которые наблюдались 17–25 июня. Летом 2011 года также наблюдалась повышенная геомагнитная активность (рис.1, 3), однако она была обусловлена бурями с Кр не более 4 и не отразилась на поведении индексов с $K > 5$.

Сравним измерение станционного К индекса обсерватории Михнево с индексами АЕ и АL. На рис. 5,6 приведены результаты их сравнения за те же 2011 и 2015 гг. В 2015 г. характер изменения АЕ близок к поведению К Михнева. Оба индекса отработали два равноденственных максимума, хотя в АЕ индексе осенний максимум оказался смещен с сентября на август. В 2011 году на изменении АЕ индекса вообще не отразился максимум в период весеннего равноденствия. В то же время, сравнение михневского К индекса с индексом АL показывает, что характер их изменения был близок в оба анализируемых года.

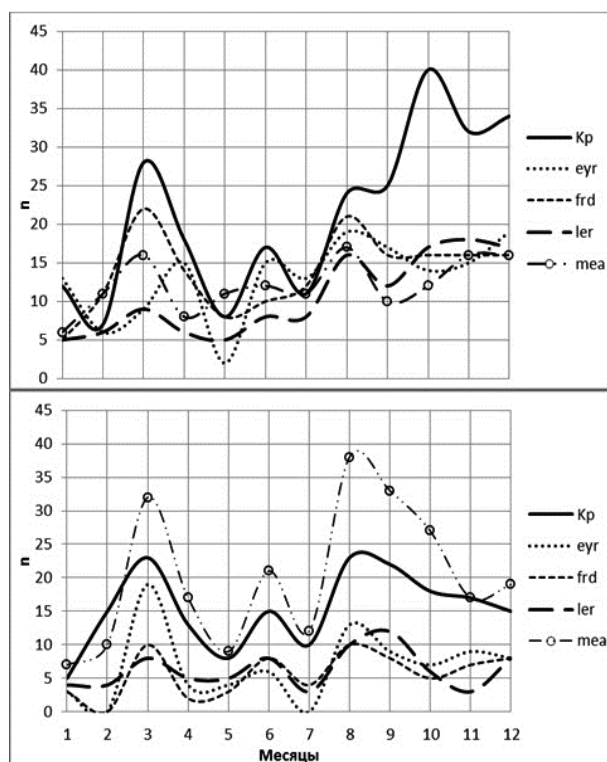


Рис. 2. Число трехчасовых интервалов в месяц, когда значение индекса с $K = 4$ (верхняя панель) и $K \geq 5$ (нижняя панель), за 2015 г. для Кр-индекса и станционных индексов для четырех станций из таблицы 1.

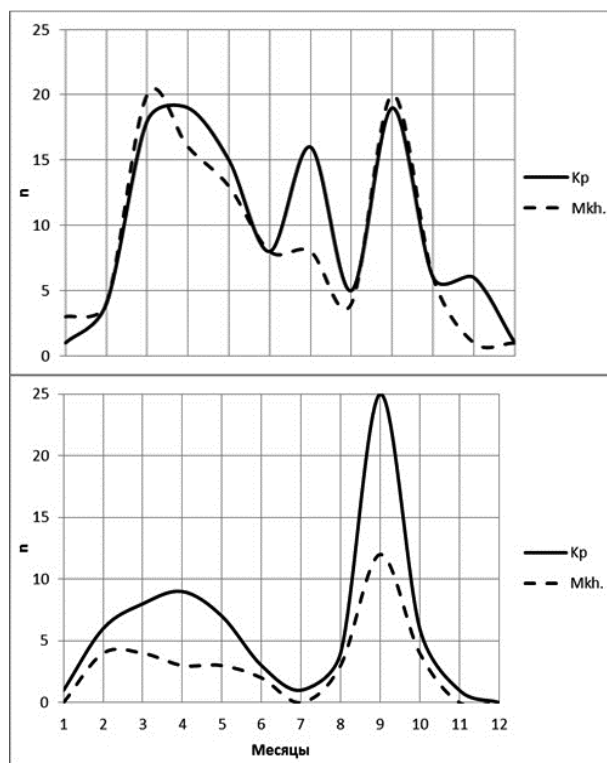


Рис. 3. Число трехчасовых интервалов в месяц, когда значение индекса с $K = 4$ (верхняя панель) и $K \geq 5$ (нижняя панель), за 2011 г. для Кр-индекса и станционного индекса для обсерватории Михнево

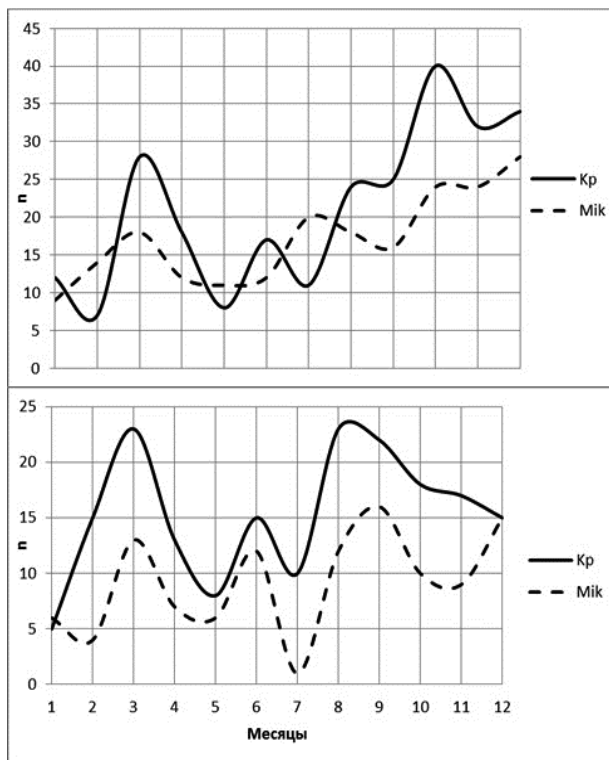


Рис.4. Число трехчасовых интервалов в месяц, когда значение индекса с $K = 4$ (верхняя панель) и $K \geq 5$ (нижняя панель), за 2015 г. для Kp-индекса и стационарного индекса для обсерватории Михнево

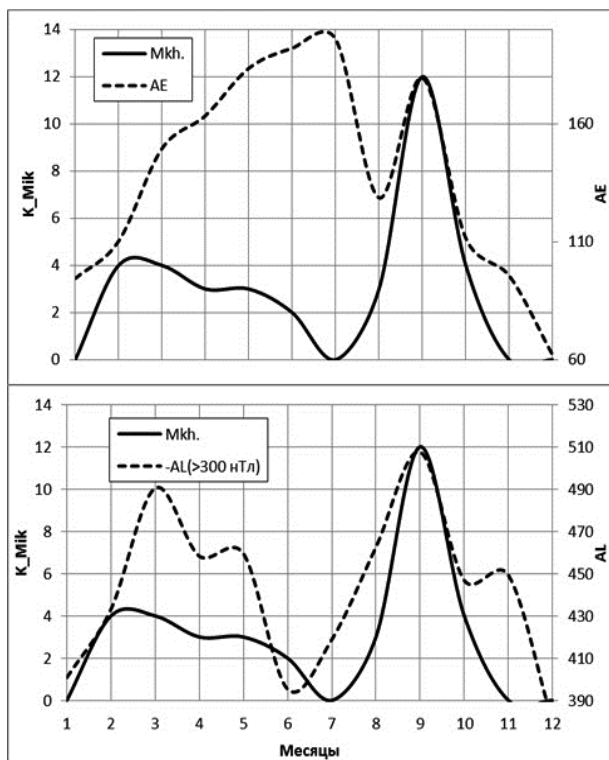


Рис.5. Стационарный K индекс обсерватории Михнево, индекс авральной активности AE (верхняя панель) и индекс AL (нижняя панель) за 2011 г.

Наконец, на рис. 7 приводится результат сравнения поведения стационарного индекса Михнева с Dst индексом за те же годы. В 2011 году подъем Dst наблюдался с августа по октябрь, а в сентябре его значение даже понизилось. В 2015 году Dst индекс вообще не заметил осеннего равноденствия. Очевидно, что использование индекса Dst для анализа среднеширотных геофизических явлений имеет ограниченный характер.

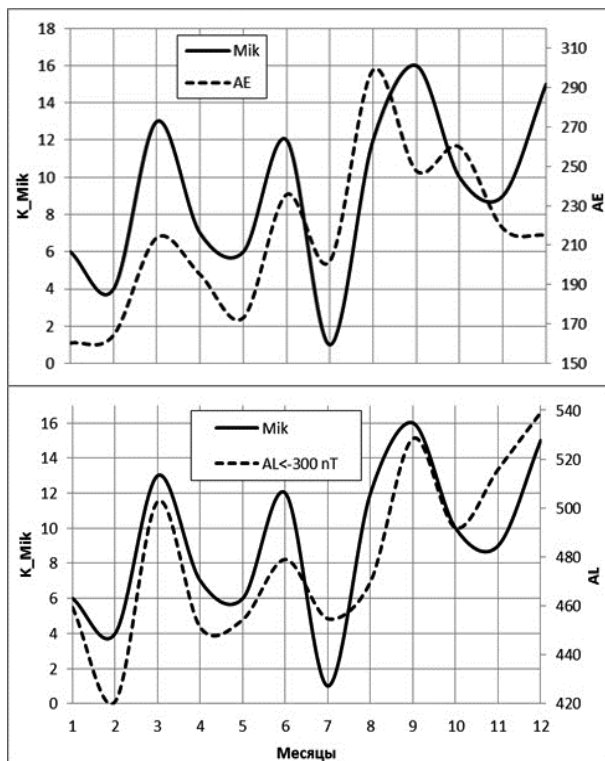


Рис. 6. Стационарный К индекс обсерватории Михнево, индекс авральной активности AE (верхняя панель) и индекс AL (нижняя панель) за 2015 г.

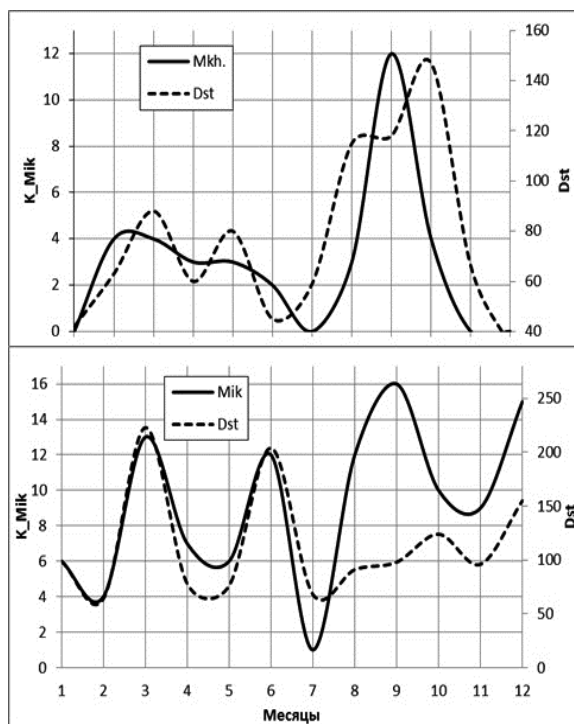


Рис. 7. Стационарный К индекс обсерватории Михнево и Dst индекс за 2011 г. (верхняя панель) и за 2015 г. (нижняя панель)

ВЫВОДЫ

При анализе взаимосвязи возмущений геомагнитного поля Земли с ионосферными возмущениями, изменениями приземных электрических полей и токов, параметров электромагнитных волн и другими геофизическими явлениями встает вопрос о том, какие параметры ГМП необходимо учитывать. Часто используются планетарные индексы геомагнитной активности, однако их применение не всегда является корректным..

Планетарные AE, AL, Ap, Kp, Dst индексы используются даже в тех случаях, когда анализируются геофизические явления, имеющие локальный или региональный характер. В Институте динамики геосфер РАН данные обсерватории «Михнево» часто используются совместно с данными мировых геофизических сетей. Правомерность такого сопоставления и рассмотрена в работе.

Исследования показали, что вариации ГМП по данным Kp индекса значительно отличаются от данных локального K индекса по крайней мере для слабых или средних возмущений. Это хорошо видно уже при сравнении вариаций поля на станциях, по которым планетарный индекс и рассчитывается. Сравнение поведения Kp индекса со стационарным индексом ГФО «Михнево» показывает ту же тенденцию. Лишь для событий с $K > 5$ применение планетарного индекса оправдано.

AE индекс рассчитывается с минутным разрешением, и поэтому очень привлекателен для оценки как короткоживущих событий, так и для полугодовых и годовых вариаций ГМП. Однако, как было показано в [4] и подтверждено нашими результатами, для оценки сезонных среднеширотных вариаций надежные результаты дает только AL индекс.

Очевидно, что для анализа среднеширотных геофизических явлений использование индекса Dst также имеет ограниченный характер. Интенсивность кольцевого тока, и, следовательно, значение Dst индекса не зависит от суббуревой активности [5]. Суббури, которые в значительной степени влияют на среднеширотные геомагнитные вариации, не являются источником энергии для кольцевого тока.

Наиболее надежные результаты при поиске корреляций ГМП с другими локальными геофизическими параметрами должно обеспечить применение стационарных индексов геомагнитной активности, определяемых в обсерваториях, расположенных в одной широтно-долготной зоне со средствами измерений других геофизических параметров. Применимость планетарных индексов должна рассматриваться с учетом их влияния на локальные вариации ГМП и длительность исследуемых событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левитин А.Е., Громова Л.И., Громов С.В., Дремухина Л.А. Как нам реорганизовать расчет геомагнитной активности // *Physics of Auroral Phenomena*. 2013. Proc. XXXVI Annual Seminar. Apatity. P.41-44.
2. Davis T.N., M. Sugiura. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations // *J. Geophys. Res.* 1966. V.71. P.785-801.
3. Kamide Y., Rostoker G. What is the physical meaning of the AE index? // *EOS*. 2011. Vol.85. N.19. P.188.
4. Lyatsky W., Newel P.T., Hamza A. Solar Illumination as Cause of the Equinoctial Preference for Geomagnetic Activity // *Geophysical Research Letters*. 2001. V.28. N.12. P.2353-2356.
5. Grafe A., Feldstein Y.I. About the relationship between auroral electrojets and ring currents // *Annales Geophysicae*. 2000. V.18. N.8. P.874-886.

THE APPLICABILITY OF THE STATION AND THE PLANETARY GEOMAGNETIC ACTIVITY INDICES

B.G. Gavrilov, I.E. Markovich, A.N. Lyakhov, I.A. Ryakhovskiy, D.V. Egorov

At the analysis of the physical mechanisms of different geophysical parameters the data of geomagnetic field variations are used as one of the key factors of the helio-geophysical environment. They use both planetary geomagnetic indices (AE, AL, Ap, Kp, Dst and others), and station K indices, that describe variations of geomagnetic field by the data of one geomagnetic observatory. This paper devoted to comparative analysis of variations of geomagnetic activity from the data of planetary and station indices.

KEYWORDS: GEOMAGNETIC FIELD, GEOMAGNETIC ACTIVITY, AURORAL ACTIVITY, ELECTROJET, MID LATITUDE GEOMAGNETIC VARIATIONS. PLANETARY, STATION INDICES