



УДК 550.386.6

ОЦЕНКА ПЛАНЕТАРНОГО ИНДЕКСА ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРНЫХ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ СЕТИ INTERMAGNET С ПРИМЕНЕНИЕМ СОБСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Д.Д. Вишняков¹, Д.А. Арутюнян¹, А.Д. Шклярчук¹¹Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия

В статье приведено сравнение оценок, полученных при использовании программного обеспечения (ПО) собственной разработки, и значений К_p-индекса, официально публикуемого центром Гельмгольца в Потсдаме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ (МПЗ), МАГНИТОСФЕРА, ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ИНДЕКСЫ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ, К_p-ИНДЕКС

DOI 10.5425/2304-7380_2022_38_40

<https://elibrary.ru/lcyiff>

1. ВВЕДЕНИЕ

К-индекс – квазилогарифмический трехчасовой индекс, характеризующий изменение геомагнитной активности на конкретной обсерватории в трехчасовых интервалах времени, начиная с 00 ч всемирного времени (UT), и выражается в баллах. Впервые был введен Юлиусом Бартельсом в 1939 году [1]. К-индекс принимает значения от 0 (спокойное магнитное поле) до 9 (сильное геомагнитное возмущение).

Конкретно для каждой обсерватории соответствие между значением К=9 и амплитудой возмущения было получено при рассмотрении исключительно сильного геомагнитного возмущения, которое наблюдалось 16 апреля 1938 г. Приняли, что в этот день с 6 до 9 ч UT К-индекс всех обсерваторий равнялся 9 баллам, а максимальное значение амплитуды возмущения за этот интервал времени было взято за нижний предел амплитуды балла К=9. Для всех обсерваторий, созданных после 1938 г., нижний предел амплитуды К=9 выбирается в консультации с сотрудниками V отдела IAGA [2]. Верхний предел амплитуды для К=0 получается путем умножения нижнего предела амплитуды К=9 на коэффициент 0,01. Верхние пределы амплитуд от 1 до 7 получаются путем умножения верхнего предела амплитуды К=0 на множители: 2, 4, 8, 16, 24, 40, 64, соответственно. Учитывая, что амплитуда геомагнитного возмущения зависит от широты места наблюдения, значению К=9 соответствует возмущение большее 2500 нТл в зоне полярных сияний и большее 300 нТл в низких широтах (исключая

Электронная почта авторов для переписки:

Вишняков Дмитрий Дмитриевич, e-mail: d.vish@mail.ru
Арутюнян Давид Артурович, e-mail: david-20.97@mail.ru
Шклярчук Алексей Дмитриевич, e-mail: alexsh9898@yandex.ruАдрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru<https://elibrary.ru/lcyiff>

экватор). Для всех других обсерваторий, расположенных в авроральной зоне и средних широтах, значению $K=9$ соответствуют возмущения меньше 2500 нТл, но больше 300 нТл [3].

Кр-индекс – планетарный индекс, характеризующий глобальную возмущенность магнитного поля Земли в трехчасовом интервале времени. Введён Юлиусом Бартельсом в 1949 г. [4]. Индекс Кр определяется как среднее значение уровней возмущения двух горизонтальных компонент геомагнитного поля, наблюдаемых на 13 отобранных магнитных обсерваториях (рис. 1), расположенных в субавроральной зоне между 48° и 63° градусами северной и южной геомагнитных широт [3]. Трёхбуквенный идентификатор обсерватории — код IAGA, страна, город, координаты в географической системе WGS-84 и нижний предел амплитуды геомагнитного возмущения для $K=9$ приведены в таблице 1.

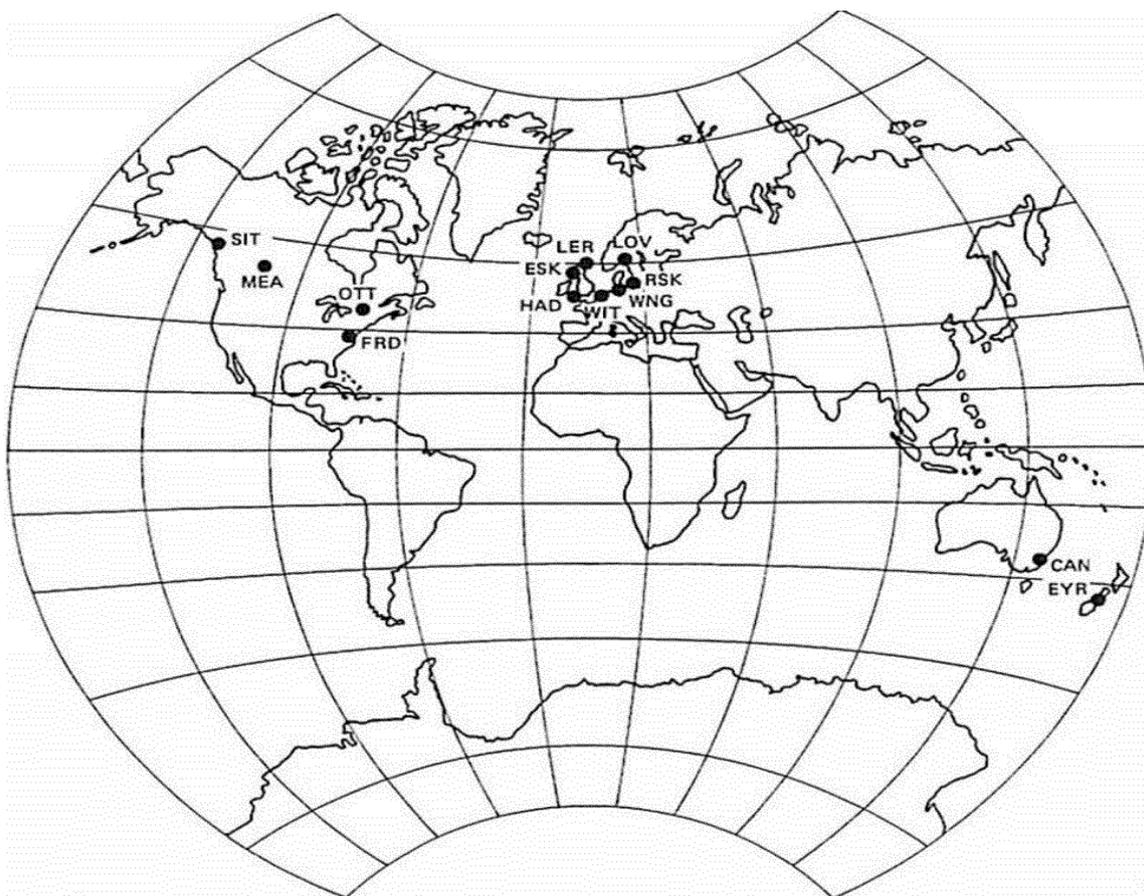


Рис. 1. Пространственное положение отобранных станций сети INTERMAGNET

Таблица 1. Обсерватории, предоставляющие данные для расчёта Кр-индекса

| № п/п | IAGA | Город | Страна | Широта | Долгота | $K=9$ (нТл) |
|-------|------|-------------|-----------|----------------|-----------------|-------------|
| 1 | LER | Лервик | Шотландия | $60^\circ 08'$ | $358^\circ 49'$ | 1000 |
| 2 | MEA | Меанук | Канада | $54^\circ 37'$ | $246^\circ 40'$ | 1500 |
| 3 | SIT | Ситка | Аляска | $57^\circ 03'$ | $224^\circ 40'$ | 1000 |
| 4 | ESK | Эскдалемуир | Шотландия | $55^\circ 19'$ | $356^\circ 48'$ | 750 |
| 5 | UPS | Упсала | Швеция | $59^\circ 54'$ | $17^\circ 21'$ | 600 |
| 6 | OTT | Оттава | Канада | $45^\circ 24'$ | $284^\circ 27'$ | 750 |
| 7 | BFE | Брорфельде | Дания | $55^\circ 37'$ | $11^\circ 40'$ | 600 |
| 8 | HAD | Хартленд | Англия | $50^\circ 58'$ | $355^\circ 31'$ | 500 |
| 9 | WNG | Вингст | Германия | $53^\circ 45'$ | $9^\circ 04'$ | 500 |
| 10 | NGK | Нимегк | Германия | $52^\circ 04'$ | $12^\circ 41'$ | 500 |

| № п/п | IAGA | Город | Страна | Широта | Долгота | K=9 (нТл) |
|-------|------|---------------|----------------|----------|----------|-----------|
| 11 | FRD | Фредериксбург | США | 38° 12' | 282° 38' | 500 |
| 12 | CNB | Канберра | Австралия | -35° 18' | 149° 00' | 450 |
| 13 | EYR | Эйрюэлл | Новая Зеландия | -43° 25' | 172° 21' | 450 |

Начиная с 1949 года оценки Kp-индекса традиционно рассчитываются и публикуются центром Гельмгольца в Потсдаме [5]. Однако, с 2011 года центр прогнозирования космической погоды национального управления океанических и атмосферных исследований США (NCEI NOAA) предлагает свою альтернативную оценку планетарной геомагнитной активности [6]. Индекс NCEI NOAA носит название «планетарный K-индекс» и рассчитывается по 8 станциям из приведённого списка, при этом наилучшим образом отражая геомагнитную активность в пределах континентов Северной и Южной Америки.

Kp-индекс может использоваться как параметр мониторинга силы магнитосферной конвекции. Kp-индекс применяется при расчёте вариаций плотности атмосферы, что очень важно для оценки торможения спутников, при вычислении положения магнитопаузы и для моделей аврорального высыпания электронов внешнего радиационного пояса Земли [7], а также используется для изучения и прогнозирования распространения высокочастотных радиосигналов в ионосфере [8].

Геомагнитные бури при значениях $K_p = 5$ или выше не оказывают прямого влияния на распространение радиоволн, однако они искажают F-слой ионосферы, особенно в средних и высоких географических широтах, вызывая так называемую ионосферную бурю, которая ухудшает распространение радиосигналов, снижая максимальную полезную частоту на 50% [9].

С развитием современных технологий измерений и обработки измерительной информации становится актуальной задача локализации моделирования геофизических процессов с повышением точности аппроксимации в пределах отдельных территорий. Появляется необходимость более точного прогнозирования и анализа геомагнитной обстановки непосредственно для территорий Российской Федерации. В настоящее время при моделировании указанных параметров используются зарубежные данные.

Для решения этой задачи требуется получение независимых решений по оценке параметров геомагнитной активности. При актуальном состоянии Российской сети магнитных обсерваторий и программно-аппаратном обеспечении данного направления существуют риски получения неудовлетворительных результатов по расчёту Kp-индекса, а следовательно, и всех перечисленных моделей.

В настоящее время Гелиогеофизическая служба ФГБУ «ИПГ» предоставляет значения индекса A_{pMos} , который формируется как среднее из восьми трехчасовых значений A_{pMos} -индекса, получаемого как среднее из a_k -индексов на каждой из среднеширотных магнитных обсерваторий Евразийского региона (Москва, Подкаменная Тунгуска, Магадан, Паратунка, Санкт-Петербург, Новосибирск, Шамбон, Вингст, Какиока) [10]. При этом оценка планетарного индекса геомагнитной активности в ФГБУ «ИПГ» до сегодняшнего дня не была реализована.

2. СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Важным этапом для обеспечения независимых решений моделирования геофизических процессов является разработка собственного ПО для расчёта K_p -индекса. В данной статье приведено сравнение оценок, публикуемых центром Гельмгольца в Потсдаме и результатов, полученных с применением собственного программного обеспечения.

Для расчёта значений K_p -индекса использованы окончательные минутные данные в формате IAGA 2002 с 13 станций (табл. 1) сети INTERMAGNET [11] в период с 01.01.2011 по 31.12.2011. Ниже приведены графики значений 3-х часового K_p -индекса (рис.2 – рис.13), полученные с применением экспериментального ПО (K_{p_IPG}) и архивных значений K_p -индекса Немецкого исследовательского центра геонаук GFZ [12] (K_{p_GFZ}).

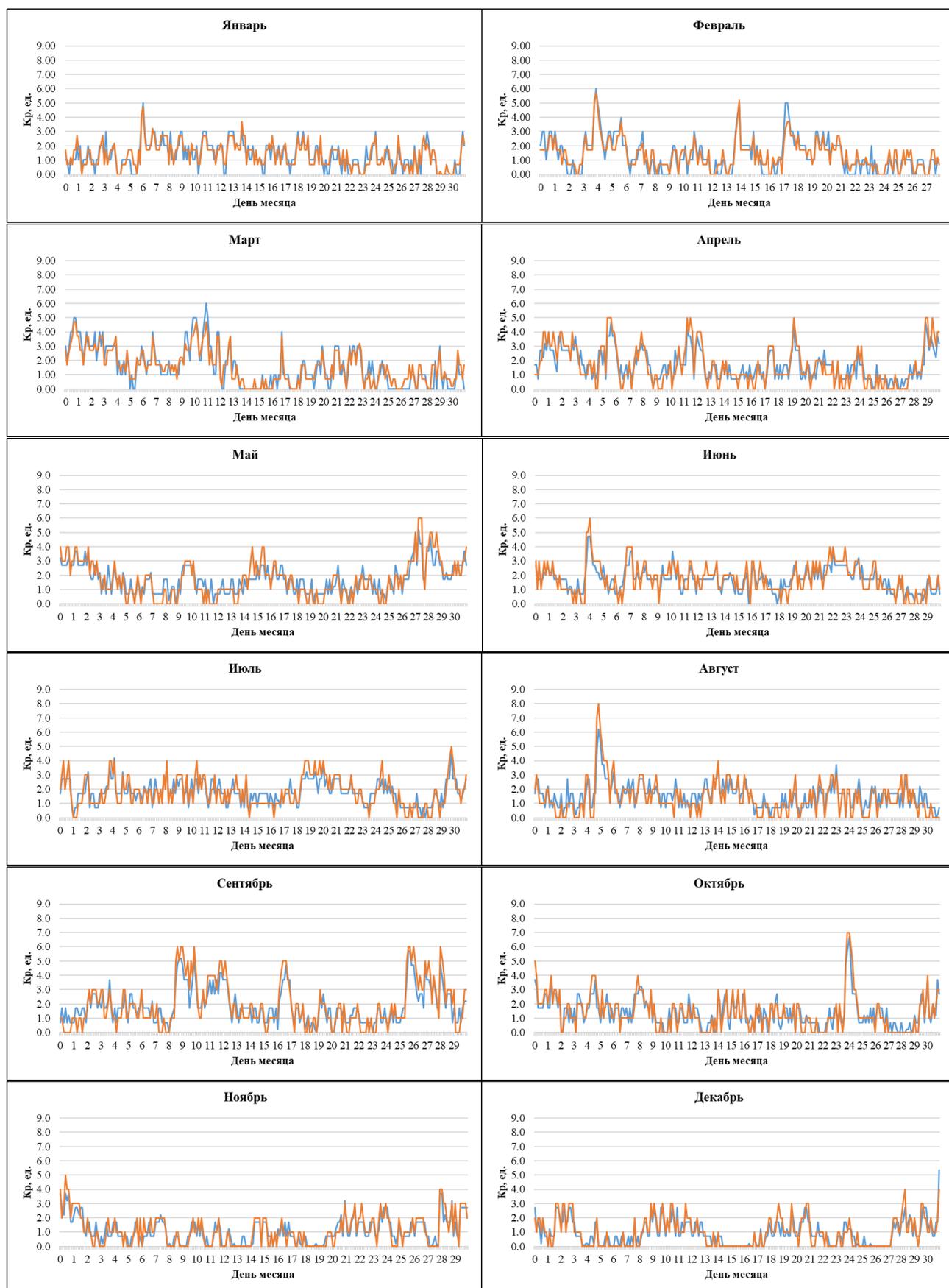


Рис. 2 – Рис. 13. Графики трёхчасовых индексов геомагнитной активности в 2011 году (оранжевым цветом показаны значения K_p -GFZ, синим – K_p -IPG)

3. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для представленных данных получена гистограмма распределения отклонений (рис. 14) и построен график разности рассчитанных значений (рис. 15).

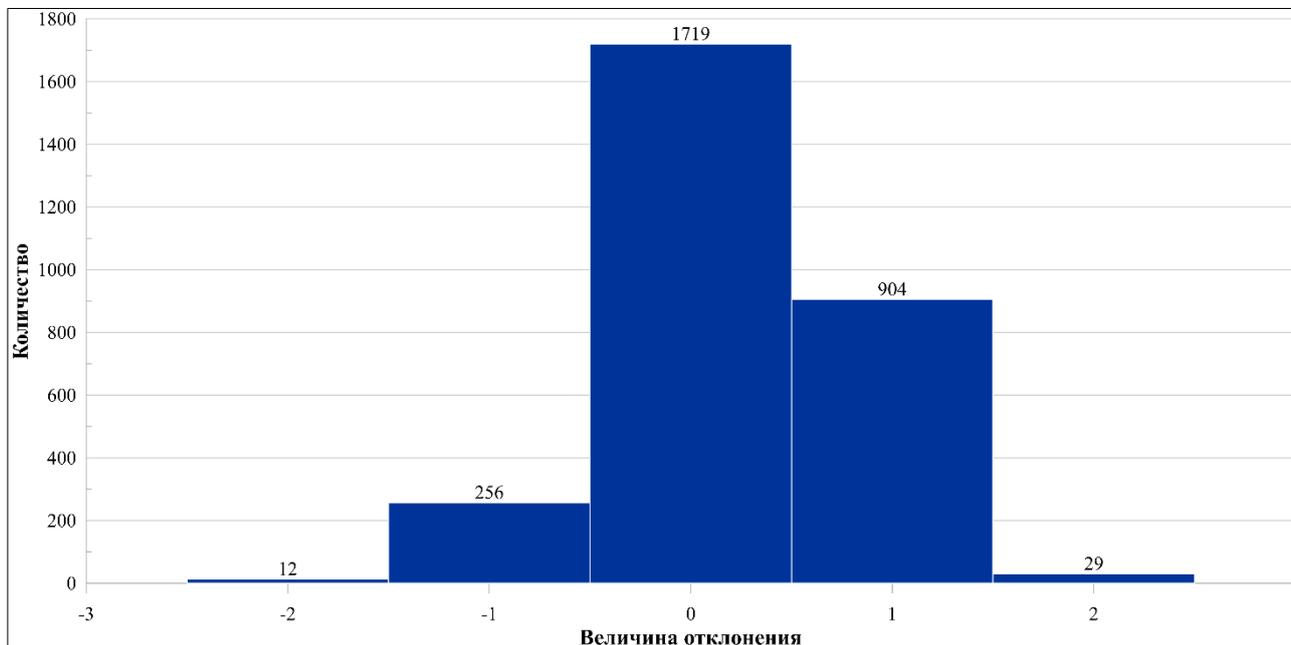


Рис. 14. Гистограмма распределения значений отклонений K_p_{IPG} от K_p_{GFZ}

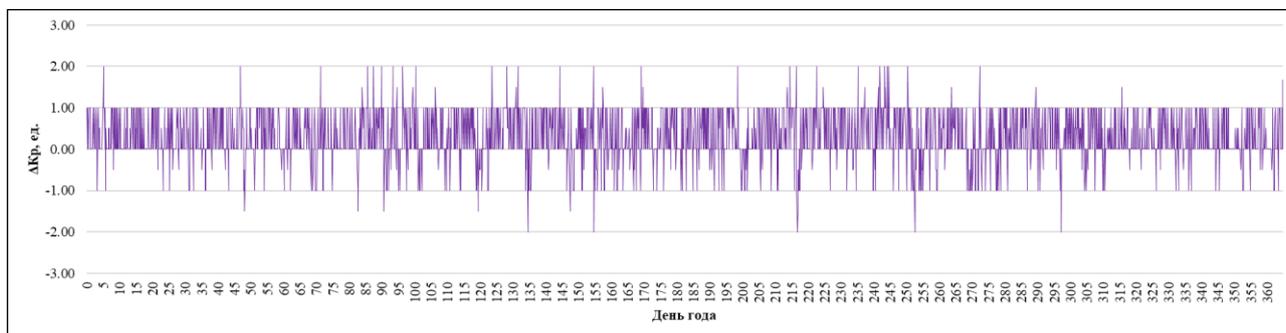


Рис. 15. График разности трёхчасовых индексов геомагнитной активности K_p_{IPG} и K_p_{GFZ} за 2011 год

По гистограмме распределения видно, что большая часть отклонений лежит на отрезке $[0; 1]$. Встречаются единичные выбросы, величина которых достигает 2. Среднеквадратическое отклонение K_p_{IPG} от K_p_{GFZ} составляет 0.49. Разность в значениях, вероятнее всего, связана с программной реализацией выделения sq -вариаций, относительно которых оцениваются геомагнитные возмущения. Кроме того использование значений нижнего предела амплитуды геомагнитного возмущения, соответствующего $K=9$, утверждено V отделом IAGA непосредственно для алгоритма, используемого в Немецком исследовательском центре геонаук GFZ, а значит в эти значения необходимо вводить поправочные коэффициенты, учитывающие разницу между указанными алгоритмами.

Учёт этих особенностей теоретически может привести к улучшению полученных результатов, однако в настоящий момент была поставлена и решена задача реализации алгоритма расчёта K_p -индекса с входными параметрами идентичными используемым в GFZ.

4. ВЫВОДЫ

По результатам эксперимента можно сделать следующие ключевые выводы:

1. Полученные оценки свидетельствуют об удовлетворительном результате работы по созданию алгоритма расчёта K_p -индекса. Данный алгоритм может лечь в основу программно-аппаратного комплекса ФГБУ «ИПГ» по обеспечению независимого мониторинга геомагнитной активности.
2. Полученный алгоритм может быть использован при расчётах K_p -индекса для обеспечения моделей ионосферы, вариаций плотности атмосферы и т.п.
3. Необходима модернизация алгоритма расчёта K_p -индекса геомагнитной активности с фокусом на использование данных российских магнитных обсерваторий для обеспечения полной независимости решений оценки геомагнитной активности, а также для повышения точности и дискретизации получаемых оценок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bartels, Julius et al.* «The three-hour-range index measuring geomagnetic activity» *Journal of Geophysical Research* 44 (1939): 411-454 pp.
2. IAGA Working Group V-DAT [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vdat/> (дата обращения: 23.03.2023)
3. Мировой центр данных по Солнечно-Земной физике, Москва, Россия [Электронный ресурс] // URL: http://www.wdcb.ru/stp/geomag/indices_description.ru.html (дата обращения: 23.03.2023)
4. *Bartels J.* «The standardized index K_s , and the planetary index K_p ». *IATME Bull., No. 12b, Geomagnetic Indices K and C.* (1949): 97-120 pp.
5. Download Geomagnetic and solar indices (K_p , a_p , A_p , SN , $F10.7$) [Электронный ресурс] // URL: <https://kp.gfz-potsdam.de/en/data> (дата обращения: 23.03.2023)
6. Current space weather conditions on NOAA Scales [Электронный ресурс] // URL: <https://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index> (дата обращения: 23.03.2023)
7. *Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А. и др.* // Динамика K_p -индекса геомагнитной активности для семи солнечных циклов (в период 1932 – 2014 годов). Сезонные вариации / Вопросы электромеханики, Труды ВНИИЭМ. — 2018. — Т. 167, № 6. — С. 48–56.
8. РД 52.26.900-2020. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть II. Магнитные наблюдения.
9. Геомагнитная обстановка за прошедшую неделю [Электронный ресурс] // URL: <http://ipg.geospace.ru/passed-week-geomagnetic-forecast.html> (дата обращения: 23.03.2023)
10. *Jacobs G. and Cohen T.J.* «A new guide to shortwave propagation» Hicksville, New York: CQ Publishing. pp. 1.14. ISBN 0-943016-11-8. (1997).
11. Международная сеть магнитных обсерваторий реального времени INTERMAGNET [Электронный ресурс] // URL: <https://intermagnet.github.io/> (дата обращения: 23.03.2023)
12. GFZ German Research Centre for Geosciences [Электронный ресурс] // URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/> (дата обращения: 23.03.2023)

ASSESSMENT OF THE PLANETARY INDEX IN GEOMAGNETIC ACTIVITY FROM DATA OF STATIONARY MAGNETIC OBSERVATORIES OF THE INTERMAGNET NETWORK USING PROPRIETARY SOFTWARE

Vishnyakov D.D., Arutyunyan D.A., Shklyaruk A.D.

The article compares the estimates obtained using proprietary software with the K_p -index officially published by the Helmholtz Center in Potsdam.

KEYWORDS: GEOMAGNETIC ACTIVITY, EARTH MAGNETIC FIELD (EMF), MAGNETOSPHERE, MAGNETIC FIELD VARIATIONS, GEOMAGNETIC DISTURBANCES, GEOMAGNETIC ACTIVITY INDICES, K_p -INDEX