

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА GEOLOGY AND GEOPHYSICS

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-1-89-99>
УДК 537.67



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

КОРРЕКТИРОВКА ШКАЛ ЛОКАЛЬНЫХ К-ИНДЕКСОВ ДЛЯ ВЫСОКОШИРОТНЫХ МАГНИТНЫХ СТАНЦИЙ

*А.В. ФРАНК-КАМЕНЕЦКИЙ**, В.Д. НИКОЛАЕВА, Н.А. СТЕПАНОВ, А.С. КАЛИШИН

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия*

**al_frank@aari.ru*

Резюме

Для оценки уровня геомагнитной возмущенности в каждом пункте магнитных наблюдений рассчитывается собственный К-индекс. Нижняя граница балла $K = 9$ — это значение амплитуды вариации горизонтальной компоненты магнитного поля, при превышении которой К-индексу присваивается максимальное значение, равное 9. Эта граница подбирается индивидуально для каждой станции в зависимости от ее геомагнитной широты. Последний раз шкалы К-индексов для российских станций были установлены в середине прошлого века и с тех пор не корректировались. Существенное расхождение К-индексов, вычисленных по этим шкалам, с планетарным Кр-индексом показывает, что они нуждаются в уточнении, а в некоторых случаях их необходимо определять заново. Составлена таблица шкал локальных К-индексов для пунктов магнитных наблюдений в Российской Арктике, и получена зависимость нижнего значения балла $K = 9$ от геомагнитной широты пункта наблюдений. Новые шкалы К-индексов могут быть использованы при оперативной работе на сети высокоширотных станций магнитных наблюдений Росгидромета.

Ключевые слова: авроральная зона, геомагнитные возмущения, геофизические наблюдения, К-индекс, магнитное поле.

Для цитирования: Франк-Каменецкий А.В., Николаева В.Д., Степанов Н.А., Калишин А.С. Корректировка шкал локальных К-индексов для высокоширотных магнитных станций // Проблемы Арктики и Антарктики. 2021. Т. 67. № 1. С. 89–99. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-1-89-99>.

Поступила 27.10.2020

После переработки 29.01.2021

Принята 02.02.2021

LOCAL K-INDEX SCALES CORRECTION FOR THE HIGH-LATITUDE MAGNETIC STATIONS

ALEKSANDR V. FRANK-KAMENETSKY, VERA D. NIKOLAEVA, NIKITA A. STEPANOV,
ALEKSEY S. KALISHIN*

*State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute,
St. Petersburg, Russia*

**al_frank@aari.ru*

Summary

To assess the magnetic activity, various indices (numerical characteristics of the planetary and local disturbance of the Earth's magnetic field) are used. Most widely used for various purposes are the planetary Kp-index and the local K-index, proposed by Bartels. The K-index characterizes the Earth's magnetic field disturbance in a 3-hour interval (0–3, 3–6, etc. UTC) and is defined in a range from 0 to 9 by the amplitude of the horizontal component deviation from the quiet level. K = 0 indicates the absence of geomagnetic activity, and K = 9 corresponds to a strong geomagnetic storm. The lower limit of K = 9 is the amplitude of magnetic field horizontal component variation above which the K-index is assigned the maximum value of 9. This limit is selected individually for each station, depending on its geomagnetic latitude. The latest scales of the K-indices boundaries for the Russian Arctic stations were determined in the middle of the last century and have not been corrected since then. The significant discrepancy between the K-indices calculated using these scales and the planetary Kp-index shows that they had to be refined, and in some cases, they must be re-selected. The local indices lower boundaries (K = 9) for stations in the Arctic Russian sector were determined. K-indices lower boundaries were received for the strong magnetic storm according to the IAGA procedure. It is shown that for different magnetic field horizontal component variation values K-indices for different observation points practically coincide with the Kp-index. The lower value K = 9 dependence on the observation point geomagnetic latitude is presented. This relation can be used to obtain the lower boundary of K = 9 for any magnetic station. A table with local K-index scales for Russian Arctic magnetic stations has been compiled.

Keywords: auroral zone, geomagnetic disturbances, geophysical observations, K-index, magnetic field.

For Citation: Frank-Kamenetsky A.V., Nikolaeva V.D., Stepanov N.A., Kalishin A.S. Local K-index scales correction for the high-latitude magnetic stations. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2021, 67 (1): 89–99. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-1-89-99>.

Received 27.10.2020

Revised 29.01.2021

Accepted 02.02.2021

ВВЕДЕНИЕ

Влияние магнитных возмущений на погоду и климат, биологические объекты, электронику и многое другое в настоящее время не вызывает сомнений. Для оценки магнитной активности используются различные индексы, представляющие собой численную характеристику как планетарной, так и локальной степени возмущенности магнитного поля Земли. Согласно требованиям Международной ассоциации геомагнетизма и аэронавтики (МАГА) [1], каждый из международных индексов должен быть наглядным и простым в применении, а также получаться в оперативном режиме. Наиболее распространенными и часто используемыми в различных целях являются планетарный Kp-индекс и локальный K-индекс, предложенные Бартельсом [2, 3]. K-индекс характеризует возмущенность магнитного поля Земли в 3-часовом интервале мирового времени (0–3, 3–6, и т. д. UTC, в дальнейшем 3-часовая амплитуда), определяется в баллах от 0 до 9 по величине амплитуды вариации с учетом спокойного уровня одной из двух горизонтальных компонент магнитного поля (H или D) в течение трех часов и рассчитывается во всех пунктах наблюдений. Значение индекса K = 0 говорит об отсутствии геомагнитной активности, а K = 9 означает сильную геомагнитную бурю. Нижняя граница K = 9 — это значение амплитуды вариации горизонтальной компоненты магнитного поля, при превышении которой K-индексу присваивается максимальное значение, равное 9. Нижняя граница для K = 9 подбирается индивидуально для каждой станции в зависимости от ее геомагнитной широты, а верхний предел амплитуды для балла K = 0 получается путем

умножения нижней границы на коэффициент 0,01. Верхние пределы для амплитуд от 1 до 7 баллов получаются путем умножения верхнего предела амплитуды балла $K = 0$ на множители: 2, 4, 8, 16, 24, 40, 64 соответственно [4].

Планетарный Кр-индекс, характеризующий глобальную возмущенность магнитного поля Земли, определяется как среднее значение уровней возмущения горизонтальных составляющих геомагнитного поля на 13 магнитных обсерваториях, расположенных между 44 и 60 градусами северной и южной геомагнитных широт. Для определения Кр-индекса используются стандартизированные значения локальных К-индексов (K_s) этих обсерваторий [2, 3].

К и Кр-индексы используются для описания текущей геомагнитной обстановки, прогноза космической погоды и как входной параметр для различных моделей [5, 6, 7, 8].

Геомагнитные бури регистрируются, как правило, на всей поверхности Земли и могут продолжаться до нескольких суток. Это обуславливает появление сильных геомагнитных возмущений и, соответственно, высоких значений К-индекса по всему земному шару. Ввиду того, что амплитуда вариаций зависит от геомагнитной широты точки наблюдения, для получения единообразной оценки магнитной активности для каждого пункта наблюдений, вне зависимости от расположения станции, вводится своя шкала границ К-индекса. Последние данные о границах К-индексов для российских станций приведены в [9], для высокоширотных станций в [10] и использовались до последнего времени. Существенное расхождение К-индексов, вычисленных по этим шкалам, с планетарным Кр-индексом показывает, что они нуждаются в уточнении, а в некоторых случаях их необходимо подбирать заново. Аналогичные результаты приведены в [11].

Согласно [4], значению $K = 9$ соответствует возмущение, большее 2500 нТл в зоне полярных сияний и большее 300 нТл в низких широтах (исключая экватор). Нижние пределы для $K = 9$ были введены без учета особенностей развития магнитных возмущений в высоких широтах. В связи с этим значения К-индексов для высокоширотных станций в ряде случаев значительно отличаются от значений индексов средне- и низкоширотных станций для одних и тех же периодов времени. Таким образом, современное состояние исследований с использованием индексов геомагнитной активности указывает на необходимость уточнения, а в некоторых случаях нового подбора шкал для локальных К-индексов.

Целью работы является определение нижней границы $K = 9$ локальных К-индексов для высокоширотных пунктов наблюдений на основе данных станций российского сектора Арктики и станций, входящих в расчет планетарного Кр-индекса.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

В работе использованы данные магнитных наблюдений, полученные на высокоширотных станциях Росгидромета. Все использованные данные хранятся в базе данных Полярного геофизического центра отдела геофизики ААНИИ. На рис. 1 показано расположение пунктов магнитных наблюдений. Их географические и исправленные геомагнитные координаты, рассчитанные на 1 января 2020 г. [12], приведены в табл. 1.

Для вычисления К-индексов использовалась горизонтальная составляющая магнитного поля (временное разрешение 1 минута) с учетом спокойного уровня — долговременных трендов, не связанных с солнечной активностью. Методика определения спокойного уровня взята из [13], где кривая суточного хода магнитного поля,



Рис. 1. Расположение российских арктических пунктов магнитных наблюдений

Fig. 1. Location of Russian Arctic magnetic observation stations

Таблица 1

Географические и исправленные геомагнитные координаты российских высокоширотных станций

Table 1

Geographic and corrected geomagnetic coordinates of Russian high-latitude stations

Код	Пункт наблюдения	Географические координаты		Исправленные геомагнитные координаты	
		Широта	Долгота	Широта	Долгота
GRK	Горьковская	60,27	29,38	56,74	105,55
SAH	Салехард	66,52	66,67	63,04	141,69
LOZ	Ловозеро	68,00	35,02	64,67	113,47
PBK	Певек	70,03	170,92	65,83	-126,77
AMD	Амдерма	69,60	60,20	66,04	136,48
TIK	Тикси	71,35	128,54	66,65	-160,40
DIK	Диксон	73,52	80,68	69,59	156,42
IZV	о. Известий ЦИК	75,95	82,93	71,74	158,92
BRN	м. Баранова	79,17	101,37	74,61	174,35
VIZ	о. Визе	79,29	76,58	74,92	154,88
BBG	Баренцбург	78,04	14,13	75,65	105,99
HES	о. Хейса	80,62	58,05	76,37	142,08

не связанная с магнитосферными возмущениями, определяется в виде среднего значения магнитного поля в спокойные периоды за предыдущие 30 дней. Магнитно-спокойный период определяется двумя условиями:

– максимальное изменение геомагнитного поля мало на 20-минутном отрезке $\max(dB/dt[t, t + 20]) < \gamma$;

– вариация геомагнитного поля на 20-минутном интервале $B[t, t + 20]$ слабо отличается от линии тренда B_T , полученной при помощи локально-взвешенной регрессии [14] с 3-часовым окном $\max|(B[t, t + 20]) - (B_T[t, t + 20])| < \beta$.

Подбор γ и β индивидуален для каждого дня. Начальные значения ($\gamma = 2$, $\beta = 2$) последовательно увеличиваются, пока каждый час суточного интервала не будет содержать минимум 120 значений для вычисления спокойного уровня. Эта методика [13] позволяет рассчитывать кривую спокойного уровня в режиме реального времени для каждой станции.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенностью российских высокоширотных магнитных станций является то, что они расположены в зонах, существенно различающихся по физике происходящих там явлений. Российские высокоширотные станции можно условно разделить на три группы. К первой группе относятся субавроральные станции, к группе 2 — станции, расположенные в авроральной зоне, и к группе 3 — станции, находящиеся в области полярной шапки. Во время магнитных возмущений все, как высокоширотные, так и средне- и низкоширотные, станции должны давать примерно одинаковую величину К-индекса.

Для определения границ К-индексов по методике, утвержденной МАГА, был проведен анализ геомагнитных возмущений во время нескольких мировых магнитных бурь.

На рис. 2 представлены вариации Dst и Kp-индексов во время одной из рассматриваемых мировых бурь 16–18 марта 2015 г. 15–16 марта наблюдались незначительные магнитные вариации, преимущественно в авроральной зоне. 17 марта

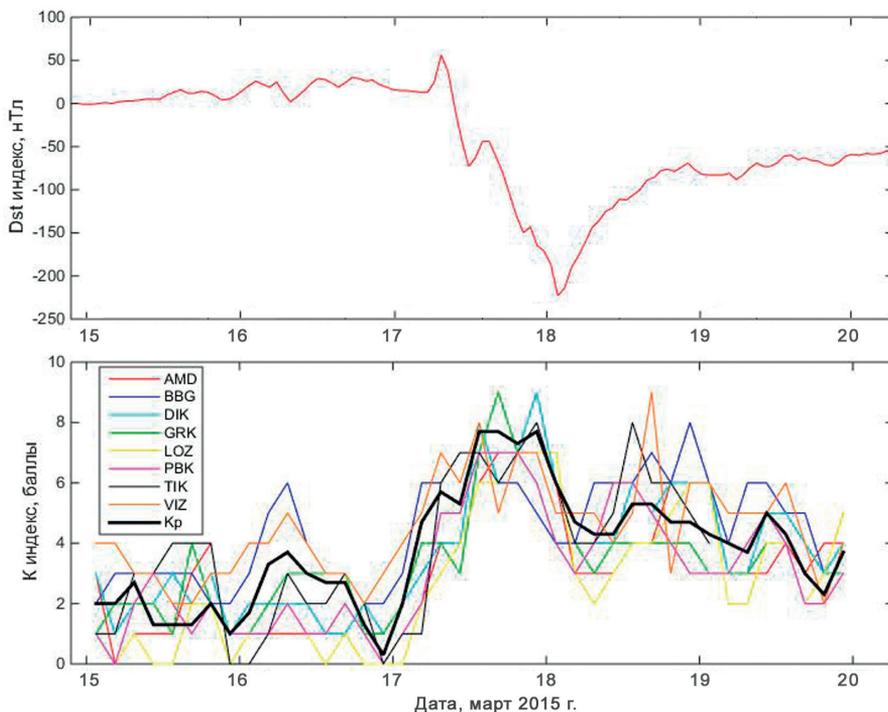


Рис. 2. Сопоставление локальных К-индексов с планетарным индексом Kp в период с 15 по 20 марта 2015 г.

Fig. 2. Comparison of local K-indices with the planetary Kp-index in the period 15–20 March 2015

началась магнитная буря (максимум индекса Dst — 220 нТл) с фазой восстановления 18–19 марта (рис. 2, верхняя панель).

Были рассмотрены данные восьми станций: Горьковская (GRK), Амдерма (AMD), Баренцбург (BBG), Диксон (DIK), Ловозеро (LOZ), Тикси (TIK), о. Визе (VIZ) и Певек (PBK). Для этих станций были подобраны такие нижние пределы балла $K = 9$, чтобы локальные K -индексы были максимально приближены к K_p .

Наибольшая амплитуда возмущения ($\Delta H = 2526$ нТл) наблюдалась в центре авроральной зоны, где расположена станция Диксон. Для этой станции нами был принят нижний предел балла $K = 9$, равный 2500 нТл, который ранее применялся для большинства высокоширотных станций, вне зависимости от их положения. Для остальных станций нижний предел балла $K = 9$ был пересмотрен таким образом, чтобы рассчитанные локальные индексы находились в наилучшем согласии с планетарным индексом K_p (рис. 2, нижняя панель). Данные пределы балла $K = 9$ позволяют получать адекватное распределение величин локальных K -индексов для высокоширотных станций.

На рис. 3 приведена зависимость нижнего значения балла $K = 9$ от исправленной геомагнитной широты пункта наблюдений для станций Российской Арктики и для станций Северного полушария, используемых при расчете K_p -индекса. Эта зависимость в приведенном широтном диапазоне аппроксимирована полиномом 6-й степени. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9898$. На этом же рисунке показаны значения $K = 9$ из [15]. Значения нижних пределов балла $K = 9$, географические и исправленные геомагнитные координаты станций K_p -индекса, расположенных выше 50° исправленной геомагнитной широты, приведены в табл. 2.

На рис. 4 и 5 представлены результаты рассчитанных, с учетом новых границ, значений K -индексов во время магнитных бурь 27 мая — 1 июня 2017 г. и 24 августа — 3 сентября 2018 г. Видно, что во время фазы роста и на главной фазе наблюдается хорошее соответствие K и K_p -индексов. Однако на фазе восстановления локальные K -индексы, как правило, превышают K_p , что обусловлено развитием в это время авроральных возмущений, что является нормальным широтным распределением геомагнитной активности [16].

Таблица 2

Географические и исправленные геомагнитные координаты обсерваторий K_p -индекса Северного полушария и их нижние пределы для балла $K = 9$

Table 2

Geographic and corrected geomagnetic coordinates of observatories K_p -index of the Northern hemisphere and their lower limits for $K = 9$

Пункт наблюдения	Страна	Географические координаты		Исправленные геомагнитные координаты		$K = 9$ (нТл)
		широта	долгота	широта	долгота	
Lerwick	Шотландия	60,13°	358,82°	57,42°	79,81°	1000
Meanook	Канада	54,62°	246,67°	61,29°	-50,24°	1500
Sitka	США	57,05°	224,67°	59,46°	-76,00°	1000
Eskdalemuir	Шотландия	55,32°	356,80°	51,89°	76,40°	750
Uppsala	Швеция	59,90°	17,35°	56,45°	95,00°	600
Ottawa	Канада	45,40°	284,45°	53,99°	3,46°	750
Brorfelde	Дания	55,62°	11,67°	51,74°	88,79°	600

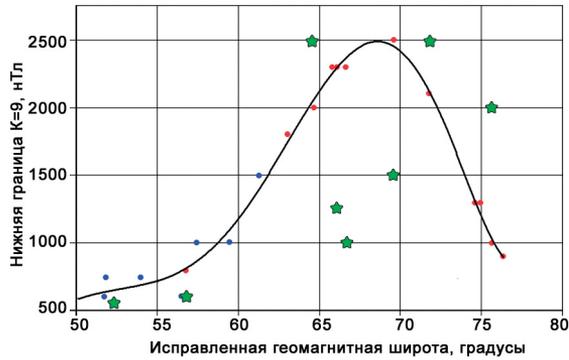


Рис. 3. Зависимость величины нижней границы $K = 9$ от исправленной геомагнитной широты. Красные точки — российские высокоширотные пункты наблюдений; синие точки — пункты наблюдений, используемые при расчете K_p -индекса Северного полушария; зеленые звездочки — прежние нижние границы $K = 9$ для российских высокоширотных станций согласно [10]

Fig. 3. Dependence of the lower boundary $K = 9$ value on the corrected geomagnetic latitude. The red dots — Russian high-latitude observation points; the blue dots — observation points used in calculating the Northern hemisphere K_p -index; the green asterisks are the previous lower boundaries $K = 9$ for Russian high-latitude stations according to [10]

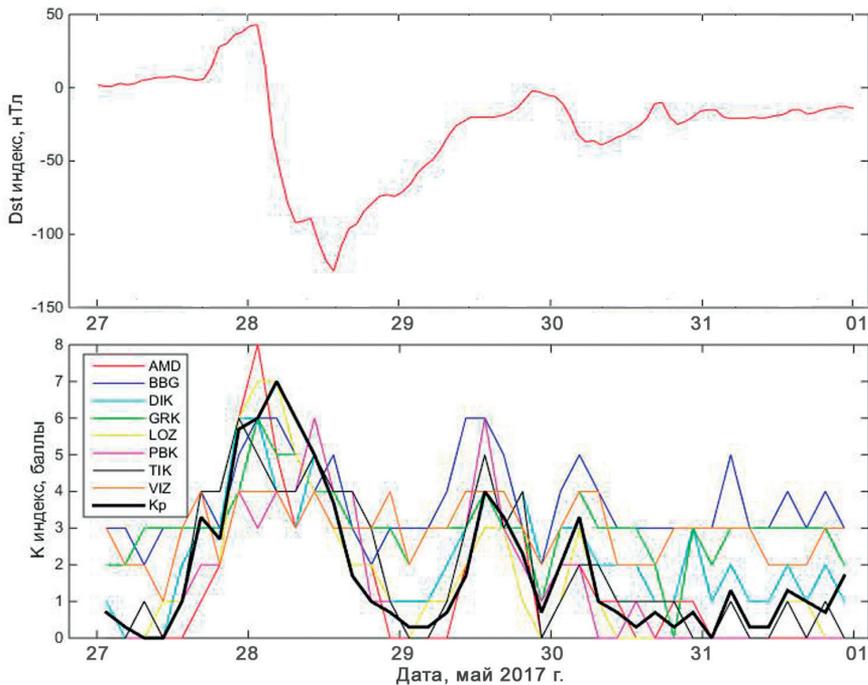


Рис. 4. Сопоставление локальных K -индексов с планетарным индексом K_p в период с 27 мая по 1 июня 2017 г.

Fig. 4. Comparison of local K -indices with the planetary K_p -index in the period from May 27 to June 1, 2017

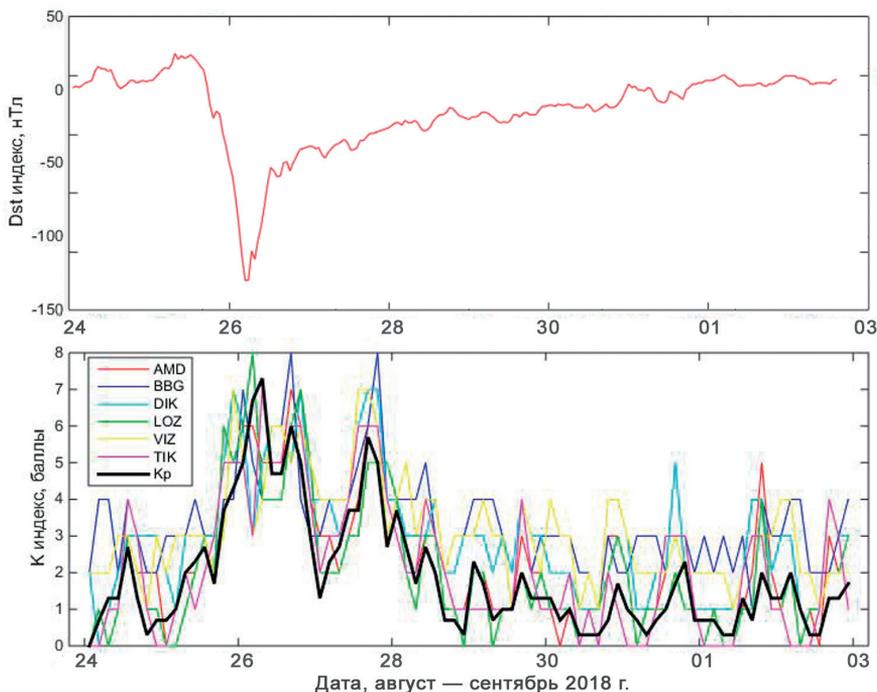


Рис. 5. Сопоставление локальных К-индексов с планетарным индексом К_p в период с 24 августа по 3 сентября 2018 г.

Fig. 5. Comparison of local K-indices with the planetary K_p-index in the period from August 24 to September 3, 2018

В результате проведенного анализа была составлена таблица нижних границ $K = 9$ для пунктов наблюдений в Российской Арктике (табл. 3). При значении максимальной 3-часовой величины амплитуды вариации с учетом спокойного уровня магнитного поля (γ), больше или равной приведенной в табл. 3, величина локального К-индекса будет равна 9.

Таблица 3

Нижняя граница балла К = 9 для российских высокоширотных станций.

γ — 3-часовая амплитуда вариации с учетом спокойного уровня горизонтальной составляющей магнитного поля, нТл

Table 3

Lower K=9 boundary for Russian high-latitude stations.

γ — 3-hour amplitude variation of the magnetic field horizontal component, nT

Код	GRK	SAH	LOZ	PBK	AMD	TIK	DIK	IZV	BRN	VIZ	BBG	HES
γ для К = 9	800	1800	2000	2300	2300	2300	2500	2100	1300	1300	1000	900

ВЫВОДЫ

Проведена корректировка нижней границы балла К = 9 локальных К-индексов для высокоширотных пунктов наблюдений на основе данных станций российского сектора Арктики. Значения границ К-индексов были получены при анализе большой

магнитной бури 16–18 марта 2015 г. согласно методике МАГА. Показано, что при существенно различной амплитуде вариаций горизонтальной составляющей магнитного поля величины К-индексов для различных пунктов наблюдений практически совпадают и соответствуют временному ходу К_p-индекса. Построена зависимость нижнего значения балла К = 9 от геомагнитной широты пункта наблюдений. Данная зависимость может быть использована для получения нижней границы К = 9 для любых пунктов магнитных наблюдений. Составлена таблица нижних границ балла К = 9 для пунктов магнитных наблюдений в Российской Арктике.

Полученные шкалы локальных К-индексов используются при оперативной работе на сети высокоширотных пунктов магнитных наблюдений Росгидромета.

Конфликт интересов. Авторы статьи не имеют конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета, п. 6.1. «Развитие и модернизация технологий мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации и Арктики».

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам российских высокоширотных станций, Российского научного центра на архипелаге Шпицберген и Высокоширотной арктической экспедиции за помощь в подготовке и проведении геомагнитных наблюдений.

Competing interests. The authors have no competing interests.

Funding. The work was performed within the framework of the RI Roshydromet research and technological working plan, p. 6.1. “Development and modernization of technologies for the geophysical situation monitoring over the Russian Federation and the Arctic territory”.

Acknowledgments. The authors are grateful to the staff of Russian high-latitude stations, the Russian Scientific Center on the Spitsbergen Archipelago and the High-Latitude Arctic Expedition for their help in preparing and carrying out the geomagnetic observations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Association of Geomagnetism and Aeronomy. URL: <http://www.iaga-aiga.org> (дата обращения 18.12.2020).
2. Bartels J., Heck N.H., Johnston H.F. The three-hour-range index measuring geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 1939. V. 44. Iss. 4. P. 411–454. doi:10.1029/TE044i004p00411.
3. Bartels J. The standardized index K_s, and the planetary index K_p // IATME Bull. 1949. № 12b. P. 97–120.
4. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности. М.: Гидрометеиздат, 1977. 59 с.
5. Rourke G.F. K Index of magnetic activity in the Antarctic // Geomagnetism and Aeronomy: Studies in the Ionosphere, Geomagnetism and Atmospheric Radio Noise, A. H. Waynick (Ed.). 1965. V. 4. P. 123–157. doi:10.1029/AR004p0123.
6. Hardy D. A., Gussenhoven M. S., Holeman E. A statistical model of auroral electron precipitation // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. A5. P. 4229–4248. doi:10.1029/JA090iA05p04229.
7. Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. A12. P. 1468. doi: 10.1029/2002JA009430.

8. *Bilitza D., Altadill D., Truhlik V., Shubin V., Galkin I., Reinisch B., Huang X.* International Reference Ionosphere 2016: From ionospheric climate to real-time weather predictions // *Space Weather*. 2017. V. 15. P. 418–429. doi:10.1002/2016SW001593.
9. Справочник по переменному магнитному полю СССР / Под ред. В.И. Афанасьевой. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 258 с.
10. *Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 592 с.
11. *Петров В.Г.* Индексы геомагнитной активности и их роль в исследовании солнечно-земных связей. *Астрономия-2018*. Т. 2: Солнечно-земная физика — современное состояние и перспективы / Под ред. В.Н. Обридко. М., 2018. С. 186–189. doi: 10.31361/eaas.2018-2.047.
12. Пересчет координат AAGGM-v2. URL: http://sdnet.thayer.dartmouth.edu/aacgm/aacgm_calc.php#AACGM (дата обращения 18.12.2020)
13. *Janzhura A.S., Troshichev O.A.* Determination of the running quite daily geomagnetic variation // *J. Atmos. Sol-Terr. Phys.* 2008. V. 70. P. 962–972. doi:10.1016/j.jastp.2007.11004.
14. *Cleveland W. S.* Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots // *J. Amer. Statist. Assoc.* 1979. V. 74. Iss. 368. P. 829–836. doi: 10.1080/01621459.1979.10481038.
15. Список обсерваторий геомагнитного индекса Kp. URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/> (дата обращения 18.12.2020).
16. *Kotikov A.L., Bolotynskaya B.D., Gizler V.A., Troshichev O.A., Pashin A.B., Tagirov V.R.* Structure of auroral zone phenomena from the data of meridional chains of stations: magnetic disturbances in the nighttime auroral zone and auroras // *J. of Atm. and Terr. Phys.* 1991. V. 53. Iss. 3–4. P. 265–274. doi:10.1016/0021-9169(91)90110-S.

REFERENCES

1. International Association of Geomagnetism and Aeronomy. Available at: <http://www.iaga-aiga.org/>. (accessed 18.12.2020).
2. *Bartels J., Heck N.H., Johnston H.F.* The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.* 1939, 44 (4): 411–454. doi:10.1029/TE044i004p00411.
3. *Bartels J.* The standardized index Ks, and the planetary index Kp. *IATME Bull.* 1949, 12b: 97–120.
4. *Zabolotnaia N.A.* *Indeksy geomagnitnoi aktivnosti.* Geomagnetic activity indices. Moscow: Gidrometeoizdat, 1977: 59 p. [In Russian].
5. *Rourke G.F.* K Index of magnetic activity in the Antarctic. *Geomagnetism and Aeronomy: Studies in the Ionosphere, Geomagnetism and Atmospheric Radio Noise*, A.H. Waynick (Ed.). 1965, 4: 123–157. doi:10.1029/AR004p0123.
6. *Hardy D.A., Gussenhoven M.S., Holeman E.* A statistical model of auroral electron precipitation. *J. Geophys. Res.* 1985, 90, A5: 4229–4248. doi:10.1029/JA090iA05p04229.
7. *Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C.* NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues. *J. Geophys. Res.* 2002, 107, A12: 1468. doi: 10.1029/2002JA009430.
8. *Bilitza D., Altadill D., Truhlik V., Shubin V., Galkin I., Reinisch B., Huang X.* International Reference Ionosphere 2016: From ionospheric climate to real-time weather predictions. *Space Weather*. 2017, 15: 418–429. doi:10.1002/2016SW001593.
9. *Spravochnik po peremennomu magnitnomu polju SSSR. Pod red. V.I. Afanas'evoy.* Reference book on the alternating magnetic field of the USSR. Edited by V.I. Afanas'eva. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1954: 258 p. [In Russian].
10. *Janovskij B.M.* *Zemnoj magnetizm.* Terrestrial magnetism. Leningrad: Leningrad State University, 1978: 592 p. [In Russian].

11. *Petrov V.G. Indeksy geomagnitnoj aktivnosti i ih rol' v issledovanii solnechno-zemnyh svyazej. Astronomy-2018. T. 2: Solar-Terrestrial Physics - Current State and Prospects / Ed. V.N. Obridko. M., 2018: 186–189. doi: 10.31361/eaas.2018-2.047. [In Russian].*
12. AACGM-v2 Coordinate Transformations. Available at: URL: http://snet.thayer.dartmouth.edu/aacgm/aacgm_calc.php#AACGM (accessed 18.12.2020).
13. *Janzhura A.S., Troshichev O.A. Determination of the running quite daily geomagnetic variation. J. Atmos. Soil-Terr. Phys. 2008, 70: 962–972. doi:10.1016/j.jastp.2007.11004.*
14. *Cleveland W.S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. J. Amer. Statist. Assoc., 1979, 74 (368): 829–836. doi: 10.1080/01621459.1979.10481038.*
15. List of geomagnetic Kp Index observatories. Available at: URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/> (accessed 18.12.2020).
16. *Kotikov A.L., Bolotynskaya B.D., Gizler V.A., Troshichev O.A., Pashin A.B., Tagirov V.R. Structure of auroral zone phenomena from the data of meridional chains of stations: magnetic disturbances in the nighttime auroral zone and auroras. J. of Atm. and Terr. Phys. 1991, 53, 3–4: 265–274. doi:10.1016/0021-9169(91)90110-S.*