

УДК 550.386.6

Вычисление К-индексов геомагнитной активности в режиме реального времени

С. В. Анисимов¹, Э. М. Дмитриев¹, А. В. Гурьев¹, В. А. Филиппов¹

Разработка методов вычисления индексов геомагнитной активности в режиме реального времени является актуальной задачей, в частности, в связи с развитием мониторинга и прогноза космической погоды. В работе дано краткое описание существующих методов компьютерного вычисления К-индексов геомагнитной активности и показано, что они не могут быть непосредственно применены для вычисления К-индексов в режиме реального времени. Рассмотрен метод вычисления К-индексов по данным геомагнитных наблюдений в режиме реального времени, используемый на Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН. Метод воспроизводит оригинальную методику Бартельса с вычислением суточной солнечно-спокойной вариации по магнитоспокойным дням, которые определяются по К-индексам, рассчитанным ранее. Результаты применения данного метода сравниваются с К-индексами, полученными с помощью наиболее распространенных в настоящее время компьютерных методов их вычисления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: К-ИНДЕКС, ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

ВВЕДЕНИЕ

Под геомагнитной активностью понимают возмущения геомагнитного поля, возникающие при взаимодействии магнитосферы с корпускулярным излучением Солнца [1, 2]. Количественной мерой геомагнитной активности являются индексы геомагнитной активности, которых в настоящее время насчитывается более двадцати разновидностей, причем их число непрерывно растет по мере роста наших знаний о солнечно-земных связях. Наиболее распространенным индикатором геомагнитной активности, определяемым по данным обсерваторских геомагнитных наблюдений, служит К-индекс геомагнитной активности [3, 4], являющийся мерой размаха отклонений минутных значений геомагнитного поля от его значений в магнитоспокойных условиях на последовательных трехчасовых интервалах.

Следует подчеркнуть, что возмущения геомагнитного поля вызываются не только корпускулярным излучением Солнца. В частности, имеет место регулярное возмущение геомагнитного поля волновым электромагнитным излучением Солнца с периодом 24 ч (S_q -вариация), которое связано с суточным вращением Земли в магнитном поле ионосферной токовой системы, формируемой волновым излучением Солнца (S_q -токовая система). Амплитуда S_q -вариации геомагнитного поля зависит от геомагнитной широты места наблюдения и изменяется в пределах 5–100 нТл, достигая максимальных значений на магнитном экваторе и в средних широтах. Существует и сезонный ход S_q -вариации. Более слабой (амплитудой 1–5 нТл) является лунно-суточная вариация геомагнитного поля (L -вариация) с периодом, совпадающим с продолжительностью лунных суток (≈ 24 ч 50 мин), которая обусловлена магнитным полем вихревых электрических токов, индуцируемых приливными силами в нижних слоях ионосферы. Наиболее трудной задачей при определении индексов геомагнитной активности является выделение соответствующих геомагнитных возмущений на фоне квазипериодических геомагнитных вариаций, не связанных с корпускулярным излучением Солнца.

Наиболее простым и надежным подходом к решению данной задачи, применяемым к результатам геомагнитных наблюдений с 1930-х годов, является использование определяемых по результатам обсерваторских геомагнитных наблюдений магнитоспокойных дней с пренебрежимо малой геомагнитной активностью. Вариация геомагнитного поля, полученная усреднением данных наблюдений за несколько (как правило — пять) магнитоспокойных дней, рассматривается в качестве фоновой суточной солнечно-спокойной вариации геомагнитного поля (S_R -вариации) в методах получения индексов геомагнитной активности для магнитовозмущенных дней. Длительные обсерваторские наблюдения показали, что вычисляемая таким образом средняя S_R -вариация изменяется достаточно

¹ Анисимов Сергей Васильевич, директор, ГО «Борок» ИФЗ РАН, (48547)246-63, e-mail: director@borok.yar.ru

¹ Дмитриев Эльдар Михайлович, ученый секретарь, ГО «Борок» ИФЗ РАН, (48547)241-96, e-mail: eldar@borok.yar.ru

¹ Гурьев Алексей Владимирович, инженер-исследователь, ГО «Борок» ИФЗ РАН, (48547)243-61, e-mail: sodar@borok.yar.ru

¹ Филиппов Василий Андреевич, инженер, ГО «Борок» ИФЗ РАН, (48547)243-61, e-mail: invite@borok.yar.ru

медленно. В практике советских геомагнитных обсерваторий [5] индексы геомагнитной активности рассчитывались один раз в декаду. При этом результаты измерений элементов геомагнитного поля регистрировались самописцами на бумажных магнитограммах со стандартной скоростью записи приблизительно 20 мм в час. Пять магнитоспокойных дней для построения средних S_R -вариаций элементов геомагнитного поля выбирались оператором по магнитограммам, полученным за истекшую декаду, либо, если этого не удавалось сделать, использовались и магнитограммы за предыдущую декаду. Аналогичные процедуры применялись при вычислении индексов геомагнитной активности и на зарубежных обсерваториях [6].

К концу 70-х годов был накоплен большой объем данных обсерваторских наблюдений геомагнитного поля на протяжении длительного времени. Анализ результатов спутниковых геомагнитных измерений позволил получить качественно новые научные знания о солнечно-земных связях, магнитосферно-ионосферных процессах, характере изменений геомагнитного поля и влияющих на него факторах. С развитием электронного оборудования и компьютерных технологий начался постепенный переход к использованию новых цифровых технологий в сборе и обработке данных геомагнитных наблюдений. Появление магнитных вариометров с цифровой регистрацией и доступных персональных компьютеров стимулировало поиск компьютерных методов вычисления индексов геомагнитной активности с автоматическим определением S_R -вариации без участия оператора. При всем обилии методов компьютерного вычисления S_R -вариации, разработанных в 1980–1990-х гг., все эти методы используют два основных подхода: 1) S_R -вариация рассчитывается по традиционной методике усреднения магнитограмм ближайших магнитоспокойных дней [7–10], 2) S_R -вариация рассчитывается путем сглаживания текущей магнитограммы [11–16].

При первом, традиционном, подходе главной проблемой является выбор магнитоспокойных дней для получения средней S_R -вариации. Эти дни выбираются либо оператором [8], либо алгоритмом, оценивающим степень геомагнитной активности для каждого дня [7, 10, 17]. Оригинальный алгоритм вычисления индексов геомагнитной активности основанный на методе Бартельса с автоматическим вычислением средней по магнитоспокойным дням S_R -вариации применяется на Геофизической обсерватории «Борок» (ГО «Борок» ИФЗ РАН) [9].

На основе второго подхода, когда S_R -вариация находится путем сглаживания текущей суточной магнитограммы, был разработан ряд компьютерных методов для вычисления индексов геомагнитной активности [12–16]. Отметим, что данные методы априори являются приближенными, поскольку не воспроизводят полностью первоначальной методики вычисления индексов геомагнитной активности. Четыре таких метода были аккредитованы и одобрены рабочей группой «геофизические индексы» Международной ассоциации геомагнетизма и аэронавтики (IAGA) на Венской генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза (IUGG) в 1991г. Анализ этих методов определения S_R -вариаций и вычисления индексов геомагнитной активности [18–21] показал, что результаты, получаемые с помощью традиционной ручной обработки магнитограмм, достаточно хорошо воспроизводятся методом адаптивного сглаживания [12, 16] и методом линейного исключения [14, 15].

Модификации обоих этих методов, в настоящее время, являются фактически стандартными для вычисления индексов геомагнитной активности и применяются на большинстве магнитных обсерваторий. К основным достоинствам этих методов относятся их оперативность, надежность и доступность программного обеспечения. Однако, они не могут быть непосредственно применены для вычисления индексов геомагнитной активности в режиме реального времени, что является насущной потребностью, в частности, для развития мониторинга и прогноза космической погоды [7, 22–26]. Для вычисления индексов геомагнитной активности одновременно с получением и обработкой результатов обсерваторских геомагнитных измерений необходимо оценивать суточную S_R -вариацию до истечения текущих суток. Цель данной работы состоит в представлении метода вычисления К-индексов в режиме реального времени разработанного на ГО «Борок» ИФЗ РАН. Особенность метода заключается в том, что дни спокойного геомагнитного поля, по которым вычисляется S_R -вариация, выбираются из числа 30 дней, предшествующих текущим суткам, на основе ранее рассчитанных К-индексов. В данной статье приведены результаты сравнения метода ГО «Борок» ИФЗ РАН с наиболее употребительными в настоящее время компьютерными методами вычисления К-индексов геомагнитной активности.

К-ИНДЕКС И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ЕГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

Индексы геомагнитной активности можно условно разделить на три группы [5]: 1) индексы локальной геомагнитной активности (C , K , a_K , r_H , Q), 2) индексы планетарной геомагнитной активности (C_i , C_p , K_p , K_m , K_s , K_n , a_p , A_p , a_m , A_m , a_a , A_a), 3) индексы активности отдельных источников магнитного поля (D_{st} , AE , PC). Требования, выдвигаемые при определении индекса геомагнитной активности: 1) четкий физический смысл, 2) наглядность и простота употребления, 3) подробность описания геомагнитной активности по амплитуде, 4) подробность описания геомагнитной активности по времени, 5) оперативность получения, 6) длительность временных рядов. В настоящее время не существует индексов, удовлетворяющих всем этим требованиям в одинаковой степени, однако наиболее универсальными, наглядными, распространенными, оперативно и длительно регистрируемыми являются К-индексы геомагнитной активности, введенные в практику магнитных обсерваторских наблюдений в 1939г. [3, 4]. К-индекс характеризует геомагнитную активность, зарегистрированную на конкретной обсерватории, для 3-часовых интервалов времени, начиная с 00ч 00мин UT. К-индекс выражается в баллах и принимает значения от 0 до 9. Значение $K = 9$ соответствует геомагнитному возмущению, превышающему 2500 нТл в зоне полярных сияний и 300 нТл в низких широтах. Для каждой конкретной обсерватории значение амплитуды возмущения, соответствующее $K = 9$, было получено из рассмотрения геомагнитного возмущения, наблюдавшегося 16.04.1938 с 6 ч до 9 ч UT, когда для всех обсерваторий К-индекс был принят равным 9 баллам. Максимальное значение амплитуды геомагнитного возмущения в этом интервале было взято в качестве нижнего предела амплитуды балла $K = 9$. Для обсерваторий, созданных после 1938 г. нижний предел амплитуды для $K = 9$ устанавливается после консультаций с рабочей группой IAGA по индексам геомагнитной активности.

Таблица 1. Шкалы предельных значений амплитуд вариаций компонент геомагнитного поля, применяемые для вычисления К-индексов, и соответствующие им геомагнитные широты Φ [5].

№	К [баллы]										Φ [°]
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	25	50	100	200	350	600	1000	1650	2500	>2500	64–90
2	20	40	80	160	280	480	800	1300	2000	>2000	65–80
3	18	36	72	144	252	432	720	1188	1800	>1800	80
4	15	30	60	120	210	360	600	1000	1500	>1500	60–83
5	12	25	50	100	175	300	500	825	1250	>1250	62
6	10	20	40	80	140	240	400	660	1000	>1000	60–83
7	8	15	30	60	105	180	300	500	750	>750	58–62
8	6	12	24	48	85	145	240	400	600	>600	55–58
9	5	10	20	40	70	120	200	330	550	>550	48–54
10	5	10	20	40	70	120	200	330	500	>500	36–57
11	4	8	16	30	50	85	140	230	350	>350	31–47
12	3	6	12	24	40	70	120	220	300	>300	0–40

Верхний предел амплитуды для балла 0 получается умножением нижнего предела амплитуды балла $K = 9$ на коэффициент 0,01. Верхние пределы амплитуд от 1 до 7 баллов получаются умножением верхнего предела амплитуды балла $K = 0$ на коэффициенты: 2, 4, 8, 16, 24, 40, 64. Таким образом, шкала К-индекса является квазилогарифмической. Всего существует 12 различных шкал с разными нижними пределами амплитуды для $K = 9$. В табл. 1 приведены эти 12 шкал и указаны приблизительно геомагнитные широты, на которых употребляют ту или иную шкалу.

Исправленные геомагнитные координаты ГО «Борок» ИФЗ РАН для эпохи 2014г.: широта — 54,46 градуса, долгота — 113,70 градуса. Таким образом, для определения К-индексов на ГО «Борок» ИФЗ РАН пригодна шкала № 10 таблицы 1 (нижний предел амплитуды балла $K = 9$ равен 500 нТл).

Как уже отмечалось выше, основной трудностью при компьютерном вычислении К-индексов является получение фоновой солнечно-спокойной вариации геомагнитного поля (S_R -вариации). Наиболее распространенными в практике геомагнитных обсерваторий методами вычисления К-индексов в настоящее время являются метод адаптивного сглаживания [12, 16] и метод линейного исключения

[14–15]. Вычисление S_R -вариации для обоих методов основан на сглаживании текущих магнитограмм.

Метод адаптивного сглаживания аккредитован рабочей группой «геофизические индексы» Международной ассоциации геомагнетизма и аэронавтики (IAGA) на Венской генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза (IUGG) в 1991 г. и рекомендован для использования в компьютерных программах автоматического вычисления К-индексов. В настоящее время с помощью этого метода рассчитываются К-индексы большинства обсерваторий, входящих в международную сеть магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ. Регулярно обновляемое программное обеспечение для вычисления К-индексов по методу адаптивного сглаживания находится в открытом доступе на веб-сайте программы ИНТЕРМАГНЕТ (<http://www.intermagnet.org/publication-software/software-eng.php>).

Эффективность метода линейного исключения доказана многочисленными сравнениями К-индексов полученных вручную и рассчитанных с помощью данного метода [21, 27]. Программное обеспечение для вычисления К-индексов по методу линейного исключения поддерживается группой разработчиков Финского метеорологического института (<http://space.fmi.fi/image/software/>).

Нами были рассчитаны К-индексы для ГО «Борок» ИФЗ РАН с помощью обоих методов за период 2005–2013 гг. Для вычислений использовались данные обсерваторских геомагнитных наблюдений, проводимых на ГО «Борок» ИФЗ РАН в рамках программы INTERMAGNET. Данные получены с web-сайта программы INTERMAGNET (www.intermagnet.org) в виде окончательных минутных значений трех компонент геомагнитного поля (X, Y и Z), учитывающих результаты абсолютных магнитных измерений. Гистограммы распределений разности К-индексов, рассчитанных по методу адаптивного сглаживания (K_{ASM}) и по методу линейного исключения (K_{FMI}), отдельно для магнитоспокойных (K < 5) и магнитовозмущенных (K > 4) дней представлены на рис. 1.

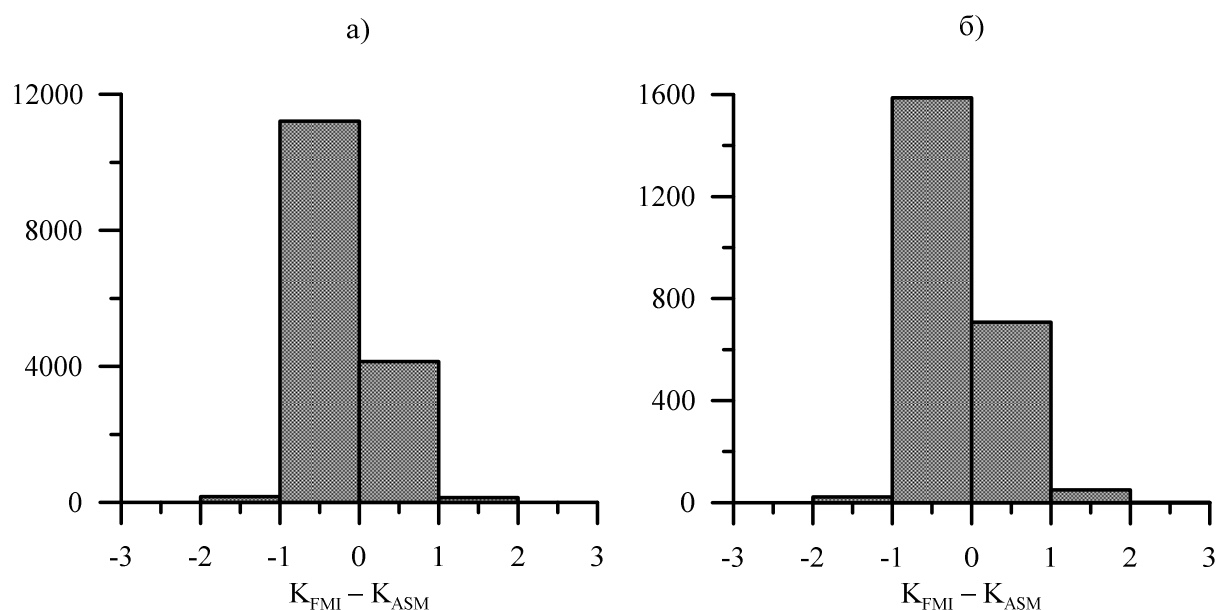


Рис. 1. Гистограммы распределений разностей К-индексов, рассчитанных по методу адаптивного сглаживания (K_{ASM}) и по методу линейного исключения (K_{FMI}). (а) — для магнитоспокойных дней 2005–2013 гг. (K < 5). (б) — для магнитовозмущенных дней 2005–2013 гг. (K > 4).

Вид распределения разностей соответствующих К-индексов практически не зависит от геомагнитной активности, хотя метод линейного исключения и дает несколько меньшие значения К-индексов, чем метод адаптивного сглаживания, причем как для магнитоспокойных, так и для магнитовозмущенных дней. Таким образом, значения К-индексов, полученные обоими методами, оказываются достаточно близкими, отличаясь не более чем на 1, в крайне редких случаях — на 2 балла.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ К-ИНДЕКСА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

На ГО «Борок» ИФЗ РАН для оценки К-индекса геомагнитной активности в режиме реального времени применяется метод, основанный на методике Бартельса с автоматическим вычислением средней по магнитоспокойным дням S_R -вариации [9]. В качестве входных данных для вычисления К-

индексов используются суточные файлы результатов измерений трех компонент геомагнитного поля. Полученный К-индекс для текущего трехчасового интервала заносится в месячный файл индексов геомагнитной активности.

Для каждых суток определяется мера геомагнитной активности, в качестве которой используется размах суточных отклонений горизонтальных компонент геомагнитного поля от солнечно-спокойной S_R -вариации, выраженный в физических величинах. Рассчитанные значения меры геомагнитной активности за каждые сутки сохраняются в специальном файле геомагнитной активности в базе данных обсерватории.

При вычислении К-индексов в режиме реального времени из числа тридцати дней предшествовавших текущему дню выбираются пять дней с наименьшими мерами геомагнитной активности, отмеченными в файле геомагнитной активности. Усреднением горизонтальных компонент геомагнитного поля по эти пяти дням получается оценка солнечно-спокойной S_R -вариации для текущего дня. Далее вычисляется размах суточных отклонений горизонтальных компонент геомагнитного поля от солнечно-спокойной S_R -вариации на текущем трехчасовом интервале. Полученная величина пересчитывается в баллы К-индекса, как описано в предыдущем разделе. Таким образом, одна и та же мера геомагнитной активности используется как для определения магнитоспокойных дней, так и для вычисления К-индексов в реальном времени.

Алгоритм вычисления индексов геомагнитной активности для текущих суток выглядит следующим образом.

1. Прочитать файл геомагнитной активности. Из 30 дней, предшествовавших текущим суткам, выбрать пять наиболее магнитоспокойных дней, для которых значения меры геомагнитной активности минимальны.

2. Прочитать результаты измерений за каждый из пяти наиболее магнитоспокойных дней. Вычислить солнечно-спокойные S_R -вариации как значения горизонтальных компонент геомагнитного поля, усредненные по этим пяти наиболее магнитоспокойным дням.

3. Прочитать результаты геомагнитных измерений на текущий момент времени. Найти разность между максимумом и минимумом отклонения измеренных горизонтальных компонент геомагнитного поля от солнечно-спокойных S_R -вариаций на текущем трехчасовом интервале. Записать наибольшее из полученных значений в файл геомагнитной активности в качестве меры суточной геомагнитной активности, если оно превышает меру суточной геомагнитной активности, ранее отмеченную в файле геомагнитной активности для текущих суток.

4. Перевести полученные на предыдущем шаге значения отклонений горизонтальных компонент геомагнитного поля от солнечно-спокойной S_R -вариации в К-индексы геомагнитной активности согласно квазилогарифмической шкале (табл. 1).

Если в файле геомагнитной активности не содержатся оценки для каких-либо из 30 дней, предшествовавших текущему дню, то на первом шаге алгоритма наиболее магнитоспокойные пять дней выбираются как дни с наименьшими суточными значениями глобальных K_p -индексов. Подобная ситуация может возникнуть, когда в соответствующие дни геомагнитные измерения не проводились. Для непрерывных обсерваторских наблюдений эта ситуация имеет место только на первом месяце наблюдений, когда вычисление К-индексов по описываемому алгоритму принципиально невозможно. Выбор пяти магнитоспокойных дней для первого месяца наблюдений по суточным значениям глобальных K_p -индексов согласуется с дальнейшим определением меры геомагнитной активности согласно рассматриваемому алгоритму.

Таким образом, данный метод обеспечивает как отслеживание изменения спокойно-солнечной S_R -вариации, так и вычисление индексов геомагнитной активности в режиме реального времени. При этом дни спокойного геомагнитного поля, по которым вычисляется S_R -вариация, определяются на основе ранее полученных данных.

В настоящее время на ГО «Борок» ИФЗ РАН для вычисления К-индексов в режиме реального времени используются представленные в цифровом виде результаты непрерывных обсерваторских измерений геомагнитного поля, проводимых с помощью трехкомпонентного феррозондового магнитометра LEMI-004. Тактовая частота сбора данных магнитометра составляет 1 Гц. Цифровые данные геомагнитных измерений через локальную сеть сбора данных поступают на сервер базы данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок», где сохраняются в виде текстовых часовых файлов [28]. Программное обеспечение сервера базы данных автоматически рассчитывает К-индексы геомагнитной активности для текущих суток [29]. Графики изменений индексов за текущий месяц

отображаются в соответствующем разделе поддерживаемого ГО «Борок» ИФЗ РАН Интернет-ресурса по направлению атмосферного электричества и геомагнетизма (<http://geodata.borok.ru>).

Нами были рассчитаны К-индексы по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН и по методу линейного исключения с использованием данных обсерваторских геомагнитных наблюдений, полученных на ГО «Борок» ИФЗ РАН по программе INTERMAGNET за период 2005–2013 гг. На рисунке 2 представлены среднесуточные К-индексы, рассчитанные обоими методами, для двух лет, в которые наблюдалась максимальная и минимальная солнечная активность: 2005 г. и 2008 г. соответственно. Видно, что К-индексы, рассчитанные по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН, согласуются с К-индексами, рассчитанными по методу линейного исключения, хотя и несколько превышают их по величине, особенно для магнитоспокойных дней. Этот вывод подтверждает и сравнение гистограмм распределений К-индексов, рассчитанных по обоим методам, для всех дней 2005–2013 гг., а также для магнитоспокойных дней, за которые принимались дни с К-индексом менее 5, и для магнитовозмущенных дней, за которые принимались дни с К-индексом 5 и более (рис. 3).

Незначительные отличия в К-индексах, рассчитанных по методу линейного исключения и по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН, обусловлены разными алгоритмами получения солнечно-спокойных вариаций элементов геомагнитного поля. Примеры регистрограмм горизонтальных компонент геомагнитного поля и их солнечно-спокойных вариаций (рис. 4) демонстрируют сходство солнечно-спокойных вариаций, рассчитанных обоими методами, для магнитоспокойных дней и их расхождение для дней магнитовозмущенных. При этом, в дни геомагнитных бурь (рис. 4. а) при вычислениях по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН используется одна и та же солнечно-спокойная вариация, а при вычислениях по методу линейного исключения генерируются различные солнечно-спокойные вариации, значительно изменяющиеся от дня ко дню. В магнитоспокойные дни (рис. 4. б) солнечно-спокойные вариации, рассчитанные по методу линейного исключения, также меняются от дня ко дню сильнее, чем рассчитанные по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН. Ввиду квазилогарифмической зависимости К-индекса от амплитуды геомагнитных возмущений, изменения от дня ко дню солнечно-спокойных вариаций, рассчитанных по методу линейного исключения, больше сказываются на значениях К-индексов именно для магнитоспокойных дней.

Отметим, что в ряде работ [18–21] было показано, что К-индексы геомагнитной активности, получаемые методом линейного исключения, хорошо воспроизводят К-индексы, получаемые с помощью ручной обработки магнитограмм. Сравнение К-индексов, рассчитанных с помощью метода ГО «Борок» ИФЗ РАН, и К-индексов, полученных вручную, выходит за рамки данной работы. Однако, по-видимому, следует ожидать их хорошего соответствия ввиду показанной выше близости К-индексов, рассчитанных методом ГО «Борок» ИФЗ РАН, и К-индексов, рассчитанных методом линейного исключения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модификация метода оценки К-индексов геомагнитной активности, успешно применяемая на ГО «Борок» ИФЗ РАН для вычислений в режиме реального времени, дает результаты, соответствующие полученным при помощи наиболее распространенных в настоящее время компьютерных методов вычисления К-индексов. Данный метод отличается большей простотой по сравнению с другими и не использует дополнительных параметров и предположений относительно суточной вариации геомагнитного поля, обеспечивая преемственность и воспроизводимость получаемых К-индексов.

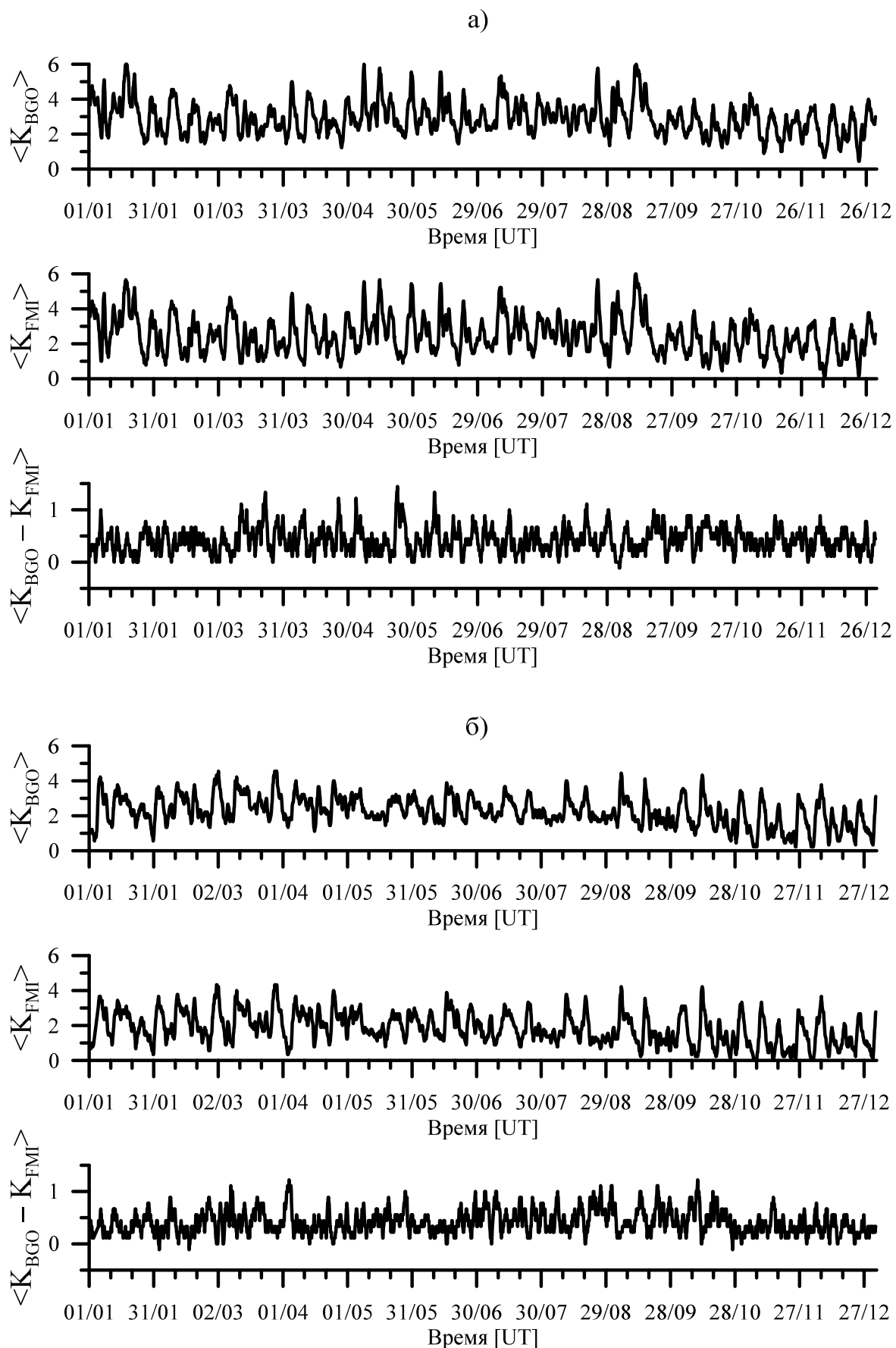


Рис. 2. Среднесуточные К-индексы, рассчитанные по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН ($\langle K_{BGO} \rangle$) и по методу линейного исключения ($\langle K_{FMI} \rangle$), и их разности ($\langle K_{BGO} - K_{FMI} \rangle$). (а) — 2005 г. (б) — 2008 г.

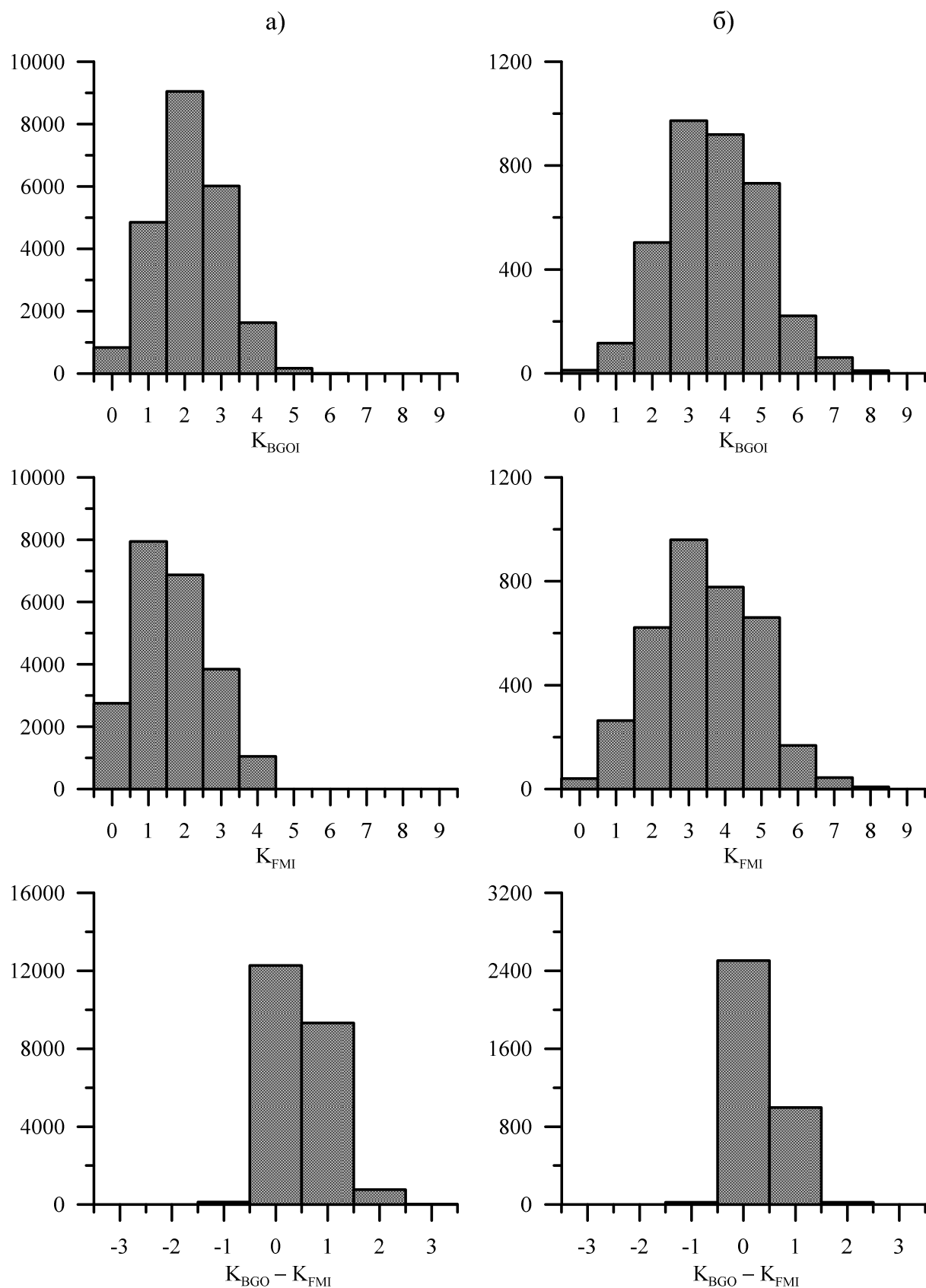


Рис. 3. Гистограммы распределений К-индексов, рассчитанных по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН (K_{BGO}) и по методу линейного исключения (K_{FMI}), и их разностей ($K_{BGO} - K_{FMI}$). (а) — для магнитоспокойных дней 2005–2013 гг. ($K < 5$). (б) — для магнитовозмущенных дней 2005–2013 гг. ($K > 4$).

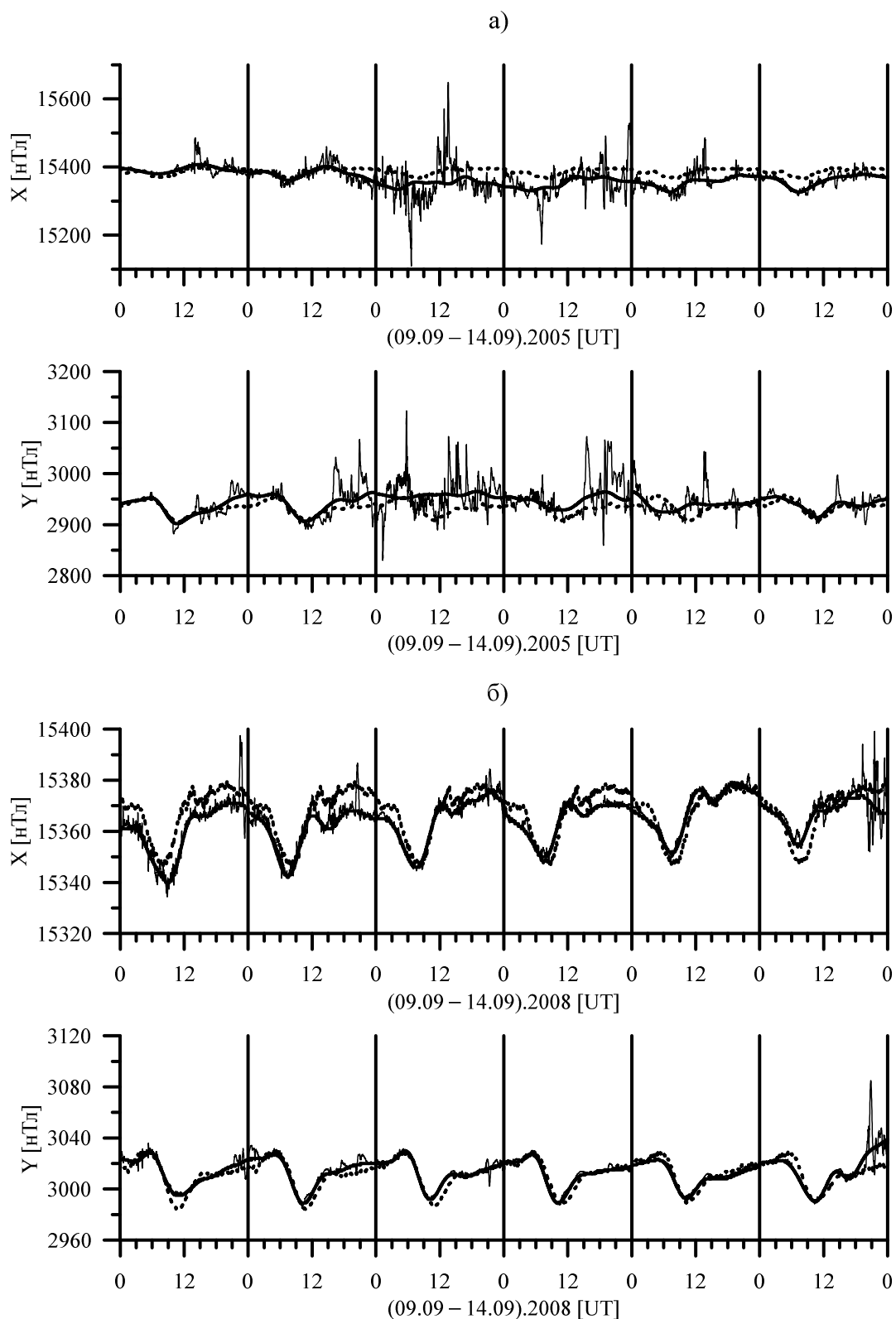


Рис. 4. Регистрограммы компонент X и Y (тонкая линия) и их солнечно-спокойные вариации, рассчитанные по методу линейного исключения (жирная линия) и по методу ГО «Борок» ИФЗ РАН (пунктир). (а) — для 9–14 сентября 2005 г. (б) — для 9–14 сентября 2008 г.

Calculations of geomagnetic activity K-indices in real time

S. V. Anisimov, E. M. Dmitriev, A. V. Guriev, V. A. Philippov

Development of methods to calculate geomagnetic activity indices in real time is an actual problem especially in space weather monitoring and forecast. In the paper the short description of the existing methods of computer calculation of geomagnetic activity K-indices is given. It is shown that they can't be directly applied to calculation of K-indices in real time. The method of K-indices calculation in real time used in Borok geophysical observatory is considered. The method reproduces an original technique of Bartels to calculate of a daily regular variation by non-disturbed days which are determined by the earlier calculated K-indices. Results of this method are compared to the K-indices obtained by the most prevalent computer methods.

KEYWORDS: K-INDEX, GEOMAGNETIC ACTIVITY, COMPUTER CALCULATIONS, REAL TIME

ЛИТЕРАТУРА

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Учеб. пособие. Изд. 4-е, перераб. и дополн. Ред. В.В. Металлова // Л.: изд-во Ленингр. ун-та. 1978. 592 с.
2. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм // пер. с англ. М.: Мир. 1986. 528 с.
3. Bartels J. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern // Zeitschrift für Geophysik. 14:68–78. 1938. P. 699–718.
4. Bartels J., Heck N.H., Johnson H.F. The three-hour-range index measuring geomagnetic activity // Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity. 44. 1939. P. 411–454.
5. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. Изд. 2-е // М.: Изд-во ЛКИ. 2007. 88 с.
6. Mayaud P.N. Atlas des indices K // IAGA Bull. 21. IUGG. Paris. 1967. 113pp.
7. Takahashi K., Toth B.A., Olson J.V. An automated procedure for near-real-time Kp estimates // Journal of Geophysical Research. 106. 2001. P. 21017–21032.
8. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений // Иркутск: Ин-т географии СО РАН. 2006. 140 с. ISBN 5-94797-093-7.
9. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Алгоритм расчета индексов геомагнитной активности // V международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений» Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. 2010. С. 110–113.
10. Мандрикова О.В., Смирнов С.Э., Соловьев И.С. Метод определения индекса геомагнитной активности на основе вейвлет-пакетов // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 52. №1. 2012. С. 117–127.
11. Hopgood P.A. On the computer generation of geomagnetic K-indices from digital data // Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. 38 (9). 1986. P. 861–871.
12. Jankowski J.A., Ernst T., Sucksdorff C., Pirjola R., Ryno J. Experiences of a filter method and a standard curve method for determining K-indices // Annales Geophysicae. 6 (6). 1988. P. 589–594.
13. Головков В.П., Папиташвили В.О., Папиташвили Н.Е. Автоматизированное вычисление K-индексов с использованием метода естественных ортогональных составляющих // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 29. № 4. 1989. С. 667–670.
14. Pirjola R., Ryno J., Sucksdorff C. Computer production of K-indices by a simple method based on linear elimination // In: Kauristie K., Sucksdorff C., Nevanlinna H. (Ed.), Proc. International Workshop on Observatory Data Acquisition and Processing. Geophysical Publications №°15. Finnish Meteorological Institute, Helsinki. 1990. P. 136–146.
15. Sucksdorff C., Pirjola R., Häkkinen L. Computer production of K-indices based on linear elimination // Geophysical Transactions. 36 (3–4). 1991. P. 335–345.
16. Nowozynski K., Ernst T., Jankowski J.A. Adaptive smoothing method for computer derivation of K-indices // Geophysical Journal International. 104. 1991. P. 85–93.
17. Stankov S., Stegen K., Warnant R. K-type geomagnetic index nowcast with data quality control // Annals of Geophysics. 54 (3). 2011. P. 285–295.
18. Van Wijk A.M., Nagtegaal D. K measurements by computer // Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. 39. 1977. P. 1447–1450.
19. Riddick J.C., Stuart W.F. The generation of K-indices from digitally recorded magnetic data // Geophysical Surveys. 6 (3–4). 1984. P. 439–456.
20. Wilson L.R. An evaluation of digitally derived K-indices // Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. 39. 1987. P. 97–109.
21. Menvielle M., Papitashvili N., Häkkinen L., Sucksdorff C. Computer production of K indices: review and comparison of methods // Geophysical Journal International. 123 (3). 1995. P. 866–886.
22. Della-Rose D. J., Sojka J. J., Zhu L. Resolving geomagnetic disturbances using «K-like» geomagnetic indices with variable time intervals // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 61. 1999. P. 1179–1194.
23. Andonov B., Muhtarov P., Kutiev I. Analogue model relating Kp index to solar wind parameters // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 66 (11). 2004. P. 927–932.
24. Wing S., Johnson J.R., Jen J., Meng C.-I., Cibeck D.G., Bechtold K., Freeman J., Costello K., Balikhin M., Takahashi K. Kp forecast models // Journal of Geophysical Research. 110. A04203. 2005. doi: 10.1029/2004JA010500.
25. Viljanen A., Pulkkinen A., Pirjola R. Prediction of the geomagnetic K index based on its previous value // Ge-

- ophysica. 44 (1–2). 2008. P. 3–14.
26. Du D., Xu W.Y., Zhao M.X., Chen B., Lu J.Y., Yang G. L. A sensitive geomagnetic activity index for space weather operation // *Space Weather*. 8. S12006. 2010. doi: 10.1029/2010SW000609.
 27. Bitterly M., Menvielle M., Bitterly J., Berthelier A. A Comparison Between Computer Derived (FMI Method) and Hand Scaled K Indices at Port aux Francais and Port Alfred French Observatories // *Proc. VI-th International Workshop on geomagnetic observatory instruments, data acquisition and processing*. Dourbes, Belgium. 1994. P. 144–147.
 28. Anisimov S.V., Chulliat A., Dmitriev E.M. Information-measuring complex and database of mid-latitude Borok Geophysical Observatory // *Russian Journal of Earth Sciences*. 10. 2008. doi: 10.2205/2007ES000227.
 29. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Геоинформационные технологии геомагнитных наблюдений на Геофизической обсерватории «Борок» // *Российский журнал наук о Земле*. Т. 11. 2009. doi: 10.2205/2009ES000401.