



(19) KG (11) 1844 (13) C1  
(51) G01V 3/38 (2016.01)  
G01V 3/40 (2016.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИЙ  
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)**

(21) 20150055.1

(22) 18.05.2015

(46) 31.03.2016, Бюл. № 3

(76) Верзунов С. Н. (KG)

(56) Nowozynski K., Ernst T., Jankowski J., Adaptive smoothing method for computer derivation of K-indices // Geophys. J. Int. № 104, 1991, P. 85-93

**(54) Способ определения К-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети**

(57) Изобретение относится к геофизике, а именно к способам, предназначенным для определения параметров магнитного поля Земли, а также способам обработки геофизических данных для их анализа с целью мониторинга геомагнитного поля.

Задачей изобретения является разработка способа определения К-индекса геомагнитной активности, позволяющего обеспечить адаптивную аппроксимацию нестационарной Sq-вариации, оперативность и точность определения К-индекса.

Задача решается тем, что в способе определения К-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети что измеряют D и H компоненту геомагнитного поля не менее чем за трехчасовой интервал времени, затем аппроксимируют Sq-вариацию по D компоненте геомагнитного поля, после этого находят наибольшее отклонение D компоненты геомагнитного поля от найденной Sq-вариации за каждый трехчасовой интервал мирового времени и геомагнитную широту обсерватории по известным географическим координатам, затем определяют по таблице К-индекс по D компоненте геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, аналогично определяют К-индекс по H компоненте геомагнитного поля, при этом К-индекс определяют как максимальный индекс по D и H компонентам геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, причем аппроксимацию Sq-вариации получают с помощью полиморфной вейвлет-сети из 10-40 вейвлетов по формуле:

$$\hat{S}_D(t) = c + t \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k, p_k}(t),$$

где:  $c$  - постоянная составляющая,

$t$  - время,

$K$  - количество вейвлетов,

$w_k$  - весовые коэффициенты,

при этом параметры сети  $w_k$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $p_k$  и  $c$  настраивают градиентным методом с оптимальной величиной шага градиентной процедуры на протяжении 20-200 эпох.

1 н. п. ф., 4 табл., 2 фиг.

Изобретение относится к геофизике, а именно к способам, предназначенным для определения параметров магнитного поля Земли, а также способам обработки геофизических данных для их анализа с целью мониторинга геомагнитного поля.

К-индекс - это квазилогарифмический индекс (увеличивается на единицу при увеличении возмущенности приблизительно в два раза), вычисляемый по данным конкретной обсерватории

как величина отклонения от регулярной солнечносуточной Sq-вариации за трехчасовой интервал времени и представляет собой значения от 0 до 9 для каждого трехчасового интервала (0-3, 3-6, 6-9 и т. д.) мирового времени UT (Universal Time), которые отражают уровень возмущенности геомагнитного поля.

Конкретно для каждой обсерватории соответствие между значением  $K=9$  и амплитудой возмущения было получено при рассмотрении исключительно сильного геомагнитного возмущения, которое наблюдалось 16 апреля 1938 г. Принято, что в этот день с 6 до 9 ч UT  $K$ -индекс всех обсерваторий равнялся 9 баллам, а максимальное значение амплитуды возмущения за этот интервал было взято за нижний предел амплитуды балла  $K=9$ . Необходимо отметить, что для обсерваторий, созданных после 1938 г., нижний предел амплитуды  $K=9$  должен выбираться в консультации с IAGA (рабочей группой по индексам геомагнитной активности). Верхний предел амплитуды для балла 0 получается путем умножения нижнего предела амплитуды балла  $K=9$  на коэффициент 0,01. Верхние пределы амплитуд от 1 до 7 баллов получаются путем умножения верхнего предела амплитуды балла  $K=0$  на множители: 2, 4, 8, 16, 24, 40, 64 (Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности. - М.: ЛКИ, 2007. - С. 88).

Солнечно-суточная Sq-вариация, на основании которой вычисляется  $K$ -индекс, это вариация с периодом 24 ч, которая проявляется в виде плавного изменения всех элементов ГМП (Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности. - М.: ЛКИ, 2007. - С. 88). В ночные часы  $H$ ,  $D$ ,  $Z$  компоненты ГМП остаются почти неизменными, а в утренние, дневные и вечерние часы по местному времени достигают максимальных значений.

Известен ручной метод определения  $K$ -индекса (Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности. - М.: ЛКИ, 2007. - С. 88) в котором по магнитограммам, полученным за декаду, визуально выбирают пять магнитоспокойных дней. На одну из выбранных магнитограмм накладывают сверху лист кальки, на которую переносят записи суточного хода  $D$  и  $H$  элементов магнитного поля. Затем на этот же лист кальки переносят суточный ход всех выбранных магнитограмм так, чтобы часовые разметки на кальке совпали с часовыми разметками на магнитограммах, а вычерченный на листе кальки суточный ход данного элемента совпал, возможно, с большим числом точек с кривыми записи того же элемента на магнитограммах. На основании всех вычерченных на кальке кривых, графически получают среднюю кривую, которая и будет спокойным суточным ходом Sq-вариации. От вычерченного на листе кальки среднего спокойного суточного хода (балл  $K$ -индекса равен 0) вычерчивается ряд параллельных ему суточных ходов на расстояниях, равных пределам шкалы  $K$ -индекса. Полученная таким образом палетка накладывается на магнитограмму таким образом, чтобы их часовые метки совпадали. Нулевую кривую суточного хода данного элемента за взятый трехчасовой интервал подводят к записи этого же элемента на магнитограмме до соприкосновения снизу. Самая верхняя точка записи укажет искомый балл  $K$ -индекса. Максимальное значение балла  $K$ , полученное по данным  $D$  и  $H$  элементов магнитного поля, будет окончательным значением  $K$ -индекса.

Недостатком данного метода является его большая трудоемкость, низкая оперативность, а так же то, что в настоящее время в геомагнитных обсерваториях данные получаются в цифровом виде, а значит и обработку этих данных предпочтительнее выполнять цифровыми способами. К настоящему времени известны различные автоматические способы определения  $K$ -индекса, основанные на математической обработке вариаций компонентов геомагнитного поля.

Попрежнему известного способа (Nowozynski K., Ernst T., Jankowski J., Adaptive smoothing method for computer derivation of  $K$ -indices // *Geophys. J. Int.* № 104, 1991, P. 85-93) сглаживания по методу наименьших квадратов, широко используемого в настоящее время в геомагнитных обсерваториях и являющегося прототипом предложенного способа, связаны с изменчивостью формы Sq-кривой с течением времени.

Недостатком этого способа является отсутствие адаптации к периодам влияния токовой системы  $DP0$ , постоянно существующей в высоких широтах и генерируемой процессами квазивязкого обтекания магнитосферы солнечным ветром. В случае попадания возмущенных дней в этот период форма Sq-вариации подвергается искажениям и это влияет на результат ее определения, особенно в дневные часы. Кроме того, в этом способе необходимо вручную для каждой обсерватории подобрать несколько параметров сглаживания, что требует довольно много времени.

Таким образом, анализ известных способов определения  $K$ -индекса активности ГМП выявил, что все они обладают серьезными недостатками, а именно: их применение не обеспечивает оперативного определения  $K$ -индекса или не учитывает того что форма Sq-вариации под-

вержена сильному изменению во времени, вследствие процессов происходящих в магнитосфере, что приводит к неудовлетворительной точности определения К-индекса.

Задачей изобретения является разработка способа определения К-индекса геомагнитной активности, позволяющего обеспечить адаптивную аппроксимацию нестационарной Sq-вариации, оперативность и точность определения К-индекса.

Задача решается тем, что в способе определения К-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети измеряют D и H компоненту геомагнитного поля не менее чем за трехчасовой интервал времени, затем аппроксимируют Sq-вариацию по D компоненте геомагнитного поля, после этого находят наибольшее отклонение D компоненты геомагнитного поля от найденной Sq-вариации за каждый трехчасовой интервал мирового времени и геомагнитную широту обсерватории по известным географическим координатам, затем определяют по таблице К-индекс по D компоненте геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, аналогично определяют К-индекс по H компоненте геомагнитного поля, при этом К-индекс определяют как максимальный индекс по D и H компонентам геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, причем аппроксимацию Sq-вариации получают с помощью полиморфной вейвлет-сети из 10-40 вейвлетов по формуле:

$$\hat{S}_D(t) = c + t \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k, p_k}(t),$$

где:  $c$  - постоянная составляющая,

$t$  - время,

$K$  - количество вейвлетов,

$w_k$  - весовые коэффициенты,

при этом параметры сети  $w_k$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $p_k$  и  $c$  настраивают градиентным методом с оптимальной величиной шага градиентной процедуры на протяжении 20-200 эпох.

Сущность предлагаемого способа заключается в следующем: измеряют H компоненту геомагнитного поля в нТл и D компоненту в миллиминутах дуги (min/10) с помощью цифрового трехкомпонентного магнитометра не менее чем за трехчасовой интервал времени с точностью не хуже 1 нТл.

Далее используя аналого-цифровой преобразователь с частотой дискретизации не менее 100 МГц полученный аналоговый сигнал переводят в цифровую форму. Затем полученный цифровой сигнал проходит первичную обработку, заключающуюся в выделении 1-минутной медианы временного ряда.

В полученном временном ряду аппроксимируют Sq-вариацию по D компоненте геомагнитного поля.

Затем находят наибольшее отклонение D компоненты геомагнитного поля от найденной Sq-вариации за каждый трехчасовой интервал мирового времени (далее UT - Universal Time).

Далее находят геомагнитную широту обсерватории по известным географическим координатам. Зная геомагнитную широту обсерватории и максимальные отклонения D компоненты геомагнитного поля, определяют по таблице К-индекс по D компоненте геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени UT. Точно также определяют К-индекс по H компоненте геомагнитного поля. Искомый К-индекс определяют как максимальный индекс по D и H компонентам геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал суток по мировому времени UT.

В предлагаемом способе Sq-вариация по D и H компонентам аппроксимируется полиморфными вейвлет-сетями, которые являются современными модификациями сети радиальных базисных функций, где в качестве базисных используются вейвлет-функции. Аппроксимации представляются как линейные комбинации набора дочерних вейвлетов  $h_{a,b,p}(t)$ , которые получаются путем растяжения и сдвига материнского вейвлета Морле  $h(t, p)$ :

$$h_{a,b,p}(t) = h\left(\frac{t-b}{a}, p\right) = \cos(p\tau) e^{-0.5\tau^2} \quad (1)$$

где  $a > 0$  - масштаб, характеризующий растяжение материнского вейвлета;  $b$  - величина сдвига материнского вейвлета,  $p$  - дополнительный настраиваемый параметр, изменяющий частоту материнского вейвлета,

$$\tau = \frac{t - b}{a}$$

Аппроксимация Sq-вариации по D компоненте полиморфной вейвлет-сетью может быть представлена как:

$$\hat{S}_D(t) = c + t \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k, p_k}(t) \quad (2)$$

где  $c$  - постоянная составляющая (параметр смещения),  $K$  - количество вейвлетов,  $w_k$  - весовые коэффициенты.

Одно из отличий вейвлет-сети от многослойной нейронной сети заключается в том, что в многослойной сети все веса пересчитываются на каждой итерации и являются действующими для некоторого текущего отсчета времени, тем самым воздействие весовых коэффициентов на результат аппроксимации имеет глобальную природу и приводит к размыванию деталей локальной структуры Sq-вариации. Это замедляет скорость обучения и приводит к попаданию функции энергии ошибки в локальный минимум. Напротив, в вейвлет-сети только маленькое подмножество весов является действующим в каждом отсчете времени. Обучение сети для этого момента времени не портит результат обучения в более удаленных временных областях. То есть, в вейвлет-сети функция выхода хорошо локализована во временной области. От уже известной вейвлет-сети (Lekutai, G Adaptive Self-Tuning Neuro Wavelet Network Controllers // Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, P. 42-45) полиморфная вейвлет-сеть отличается наличием дополнительного настраиваемого параметра базового вейвлета  $p$  и постоянной составляющей  $c$ . При этом дополнительный параметр  $p$  позволяет лучше учесть изменение формы Sq-вариации с течением времени, а параметр  $c$  – изменение день ото дня уровня Sq-вариации. В предлагаемом способе используется от 10 до 40 вейвлетов.

Для определения K-индекса требуется аппроксимировать D и H составляющие геомагнитного поля. Аппроксимации Sq-вариации по этим составляющим можно обозначить  $\hat{S}_D(t)$  и  $\hat{S}_H(t)$ , соответственно. Параметры вейвлет-сети  $w_k$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $p_k$  и  $c$  настраиваются при помощи метода наименьших квадратов путем минимизации функции энергии ошибки  $E$  на всем множестве отсчетов времени  $t$ . Таким образом, обозначая функцию ошибки в момент  $t$  как:

$$e(t) = S(t) - \hat{S}_D(t) \quad (3)$$

функция энергии ошибки записывается как:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T e^2(t) \quad (4)$$

Для минимизации  $E$  используется метод наискорейшего спуска, который требует градиенты  $\frac{\partial E}{\partial w_k}$ ,  $\frac{\partial E}{\partial a_k}$ ,  $\frac{\partial E}{\partial b_k}$ ,  $\frac{\partial E}{\partial p_k}$  и  $\frac{\partial E}{\partial c}$  для последовательного изменения каждого конкретного параметра  $w_k$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $p_k$  и  $c$ :

$$\frac{\partial E}{\partial w_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) h(\tau, p_k) t \quad (5)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_k} = -\sum_{t=1}^T e(t) t w_k \tau \frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial b_k} = \tau \frac{\partial E}{\partial b_k}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k} = -\sum_{t=1}^T e(t) t w_k \frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial b_k} \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial p_k} = -\sum_{t=1}^T e(t) t w_k \frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial p_k} \quad (8)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c} = -\sum_{t=1}^T e(t) \quad (9)$$

Для вейвлета Морле:

$$\frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial b_k} = \frac{1}{a_k} [p_k \sin(p_k \tau) e^{-0.5 \tau^2} \tau h(\tau)] ,$$

$$\frac{\partial h(\tau, p_k)}{\partial p_k} = \frac{\partial \cos(p_k \tau) e^{-0.5 \tau^2}}{\partial p_k} = -\sin(p_k \tau) \tau e^{-0.5 \tau^2}$$

Направление спуска определяется вектором антиградиента:

$$\left[ \Delta w = -\frac{\partial E}{\partial w}; \Delta b = -\frac{\partial E}{\partial b}; \Delta a = -\frac{\partial E}{\partial a}; \Delta p = -\frac{\partial E}{\partial p}; \Delta c = -\frac{\partial E}{\partial c} \right]$$

Таким образом, вектора параметров сети изменяются по правилам:

$$\begin{aligned} \bar{w}(n+1) &= \bar{w}(n) + \mu \Delta \bar{w}, \\ \bar{a}(n+1) &= \bar{a}(n) + \mu \Delta \bar{a}, \\ c(n+1) &= c(n) + \mu \Delta c, \\ \bar{b}(n+1) &= \bar{b}(n) + \mu \Delta \bar{b}, \\ \bar{p}(n+1) &= \bar{p}(n) + \mu \Delta \bar{p}. \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\mu$  – параметр скорости обучения, шаг градиентной процедуры.

Наилучшее  $r$  значение параметра  $\mu$  находится на каждой эпохе обучения при помощи процедуры поиска оптимального шага. В предлагаемом способе поиск оптимальной скорости обучения осуществляется с помощью метода Давидона, аппроксимирующего функцию ошибки  $E$  кубическим полиномом. Для кубической интерполяции в этом методе используются значения функции ошибки и ее производной, вычисленные в двух точках  $p=0$  и  $q$ :

$$\begin{aligned} E(p) &= E_p, \quad E(q) = E_q, \\ \frac{dE}{d\mu}(p) &= G_p, \quad \frac{dE}{d\mu}(q) = G_q. \end{aligned}$$

Строится кубический полином:

$$a + b\mu + c\mu^2 + d\mu^3,$$

который аппроксимирует функцию  $E(\mu)$ . Уравнения, определяющие  $a, b, c, d$ , записываются так:

$$\begin{aligned}
a &= E_p, \\
a + bq + cq^2 + dq^3 &= E_q, \\
b &= E_p, \\
b + 2cq + 3dq^2 &= E_q.
\end{aligned}$$

Эти уравнения имеют следующее решение:

$$a = E_p, b = G_p, c = -\frac{(G_p + z)}{q}, d = \frac{G_p + G_q + 2z}{3q^2},$$

где

$$z = \frac{3(E_p - E_q)}{q} + G_p + G_q.$$

Точки перегиба кубического полинома являются решением уравнения:

$$G_p - 2(G_p + z)\frac{\mu}{q} + (G_p + G_q + 2z)\left(\frac{\mu}{q}\right)^2 = 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned}
\frac{r}{q} &= \frac{(G_p + z) \pm [(G_p + z)^2 - G_p(G_p + G_q + 2z)]^{1/2}}{G_p + G_q + 2z} = \\
&= \frac{G_p + z \pm w}{G_p + G_q + 2z}
\end{aligned} \tag{11}$$

где

$$w = (z^2 - G_p G_q)^{1/2}.$$

Если выбрать положительный знак, то при

$$\frac{h}{q} = \frac{G_p + z + w}{G_p + G_q + 2z}$$

вторая производная будет равна:

$$\begin{aligned}
\frac{d^2(a + b\mu + c\mu^2 + d\mu^3)}{d\mu^2} &= -\frac{2(G_p + z)}{z} + \\
&+ \frac{2(G_p + G_q + 2z)}{q^2} \cdot \frac{q(G_p + z + w)}{(G_p + G_q + 2z)} = \\
&= \frac{1}{q}(-2G_p - 2z + 2G_p + 2z + 2w) = \frac{2w}{q} > 0.
\end{aligned}$$

Откуда

$$\frac{r}{q} = \frac{G_p + z + w}{G_p + G_q + 2z}.$$

Если  $G_p < 0$ , то  $q$  выбирается положительным, т. е. нужно сделать шаг в направлении убывания функции  $E(\mu)$ , в противном случае значение  $q$  следует выбрать отрицательным. Значение  $q$  должно быть таким, чтобы интервал  $(0, q)$  содержал минимум. Это справедливо, если  $E_q > E_p$  или если  $G_q > 0$ . Если ни одно из этих условий не выполнено, то значение  $q$  удваивается до тех пор, пока указанный интервал не будет содержать минимум. Начальное значение  $q$  выбирается исходя из условия Вольфе:

$$q = (E_m - E_p) / (\rho G_p) \quad (12)$$

где  $E_m$  - оценка наименьшего значения истинного минимума  $E(\mu)$ . Параметры  $\rho$ ,  $E_m$  в формуле (12) в предлагаемом способе приняты равными 0,001 и 0, соответственно. В предложенном способе вейвлет-сеть обучается на протяжении 20-200 эпох.

Затем находят наибольшее отклонение D компоненты геомагнитного поля от Sq-вариации за каждый трехчасовой интервал суток мирового времени UT. Находят геомагнитную широту  $\Phi$  обсерватории по известным географическим координатам  $\phi$ ,  $\lambda$  следуя известной из сферической геометрии формуле:

$$\cos \Phi = \cos \phi_0 \cos \phi + \sin \phi_0 \sin \phi \cos(\lambda - \lambda_0) \quad (13)$$

где  $\phi_0$ ,  $\lambda_0$  - географические координаты северного геомагнитного полюса по модели Международное геомагнитное аналитическое поле (IGRF - International Geomagnetic Reference Field). По табл. 1 находят год, ближайший к заданному, и подставляют найденные значения координат магнитного полюса в формулу (13).

Зная геомагнитную широту обсерватории и максимальные отклонения D компоненты геомагнитного поля, определяют по специальной таблице К-индекс по D компоненте ГМП за каждый трехчасовой интервал мирового времени UT. В случае если, найденная геомагнитная широта соответствует нескольким шкалам табл. 2, то используется шкала с меньшим номером. Точно также, используя формулы (1)-(12) определяют К-индекс по H компоненте ГМП. Искомый К-индекс определяют как максимальный индекс по D и H компонентам геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал UT.

Для подтверждения возможности осуществления предложенного способа вычисления К-индекса, использованы минутные осреднения геомагнитных вариаций по D и H компонентам за 26-28 декабря 1985 года из обсерватории Бельск, полученные при помощи сервиса SPIDR (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/>). На фиг. 1 показан результат аппроксимации Sq-вариации полиморфной вейвлет-сетью из 22 вейвлетов Морле.

Для сравнения на фиг. 2 показан результат аппроксимации Sq-вариации традиционным адаптивным методом сглаживания Новозинского (Nowozynski K., Ernst T., Jankowski J., Adaptive smoothing method for computer derivation of K-indices // Geophys. J. Int. № 104, 1991, P. 85-93), который является прототипом предложенного способа.

В таблице 2 показано соответствие между отклонением величины D и H компонент ГМП от Sq-вариации, определенной при помощи полиморфной вейвлет-сети для геомагнитной широты Бельска (50.02° с. ш., 151.45° в. д.). Используя эту шкалу, переводят макси-

13

имальные отклонения D и H компонент геомагнитного поля от Sq-вариации в баллы К-индекса геомагнитной активности за каждый трехчасовой интервал 27 декабря 1985 года (таблица 3).

Для сравнения в табл. 4 приведены значения отклонений от Sq-вариации по компонентам ГМП и К-индекс, определенные по методу Новозинского, а также К-индекс, определенный по методу Бартельса (Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности. - М.: ЛКИ, 2007. - С. 88), который принимается в качестве эталонного.

Можно видеть, что предложенный метод очень хорошо согласуется с ручным методом Бартельса. Различия составляют всего один балл на интервале 3-6 часов по D компоненте геомагнитного поля, что меньше, чем расхождения между методом Бартельса и методом Новозинского.

Это даёт основания говорить, что предложенный метод лучше согласуется с эталонным методом Бартельса, по сравнению с методом Новозинского. Кроме того, в методе Новозинского необходимо вручную для каждой обсерватории подобрать несколько параметров сглаживания, что требует достаточно большого количества времени и квалификации.

Таблица 1

Положение северного географического полюса для различных эпох

Год	$\phi_0$	$\lambda_0$
-----	----------	-------------

1900.0	70.46	-96.19
1905.0	70.66	-96.48
1910.0	70.79	-96.72
1915.0	71.03	-97.03
1920.0	71.34	-97.39
1925.0	71.79	-98.00
1930.0	72.27	-98.69
1935.0	72.80	-99.34
1940.0	73.30	-99.87
1945.0	73.93	-100.24
1950.0	74.64	-100.86
1955.0	75.18	-101.41
1960.0	75.30	-101.03
1965.0	75.63	-101.34
1970.0	75.88	-100.98
1975.0	76.15	-100.64
1980.0	76.91	-101.68
1985.0	77.40	-102.61
1990.0	78.09	-103.68
1995.0	79.09	-105.42
2000.0	80.97	-109.64
2005.0	83.19	-118.24
2010.0	85.02	-132.84
2015.0	86.29	-160.06
2020.0	86.39	169.80

Таблица 2

## Шкалы К-индекса геомагнитной активности

Шка- ла	К-индекс										Ф
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0-25	25-50	50-100	100-200	200-350	350-600	600-1000	1000-1650	1650-2500	>2500	64-90
2	0-20	20-40	40-80	80-160	160-280	280-480	480-800	800-1300	1300-2000	>2000	65-80
3	0-18	18-36	36-72	72-144	144-252	252-432	432-720	720-1188	1188-1800	>1800	80
4	0-15	15-30	30-60	60-120	120-210	210-360	360-600	600-1000	1000-1500	>1500	60-83
5	0-12	12-25	25-50	50-100	100-175	175-300	300-500	500-825	825-1250	>1250	62
6	0-10	10-20	20-40	40-80	80-140	140-240	240-400	400-660	660-1000	>1000	60-83
7	0-8	8-15	15-30	30-60	60-105	105-180	180-300	300-500	500-750	>750	58-62
8	0-6	6-12	12-25	24-48	48-85	85-145	145-240	240-400	400-600	>600	55-58
9	0-5	5-40	10-20	20-40	40-70	70-120	120-200	200-330	330-550	>550	48-54
10	0-5	5-10	10-20	20-40	40-70	70-120	120-200	200-330	330-500	>500	36-57
11	0-4	4-8	8-16	16-30	30-50	50-85	85-140	140-230	230-350	>350	31-47
12	0-3	3-6	6-12	12-24	24-40	40-70	70-120	120-220	200-300	>300	0-40



Таблица 3

К-индекс, определенный с помощью полиморфной вейвлет-сети								
Время, ч	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
Максимальное отклонение по D компоненте	6.2	10.7	9.5	15.6	11.9	19.	103.5	39.1
К-индекс по D компоненте	1	2	1	2	2	2	5	3
Максимальное отклонение по H компоненте	4.8	6.3	6.6	6.2	4.6	6.2	12.5	13.6
К-индекс по H компоненте	0	1	1	1	0	1	2	2
К-индекс	1	2	1	2	2	2	5	3

Таблица 4

К-индекс, определенный с помощью традиционных методов								
Время, ч	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
Максимальное отклонение по D компоненте	8.2	12.4	8.6	11.3	9.9	7.8	89.1	23.4
К-индекс по D компоненте	1	2	1	2	1	1	5	3
Максимальное отклонение по H компоненте	9.0	11.0	11.	13.2	10.3	12.1	23.6	20.0
К-индекс по H компоненте	1	2	2	2	2	2	3	3
К-индекс, определенный по методу Новозинского	1	2	2	2	2	2	5	3
Эталонный К-индекс, определенный вручную по методу Бартельса	1	1	1	2	2	2	5	3

### Формула изобретения

Способ определения К-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети, включающий измерение D и H компонент геомагнитного поля не менее чем за трехчасовой интервал времени, затем аппроксимацию Sq-вариации по D компоненте геомагнитного поля, нахождение наибольшего отклонения D компоненты геомагнитного поля от найденной Sq-вариации за каждый трехчасовой интервал мирового времени и геомагнитной широты обсерватории по известным географическим координатам, затем определение по таблице К-индекса по D компоненте геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, затем определение К-индекса по H компоненте геомагнитного поля, при этом К-индекс определяют как максимальный индекс по D и H компонентам геомагнитного поля за каждый трехчасовой интервал мирового времени, отличающийся тем, что аппроксимацию Sq-вариации получают с помощью полиморфной вейвлет-сети из 10-40 вейвлетов по формуле:

$$\hat{S}_D(t) = c + t \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k, p_k}(t),$$

где:  $c$  - постоянная составляющая,

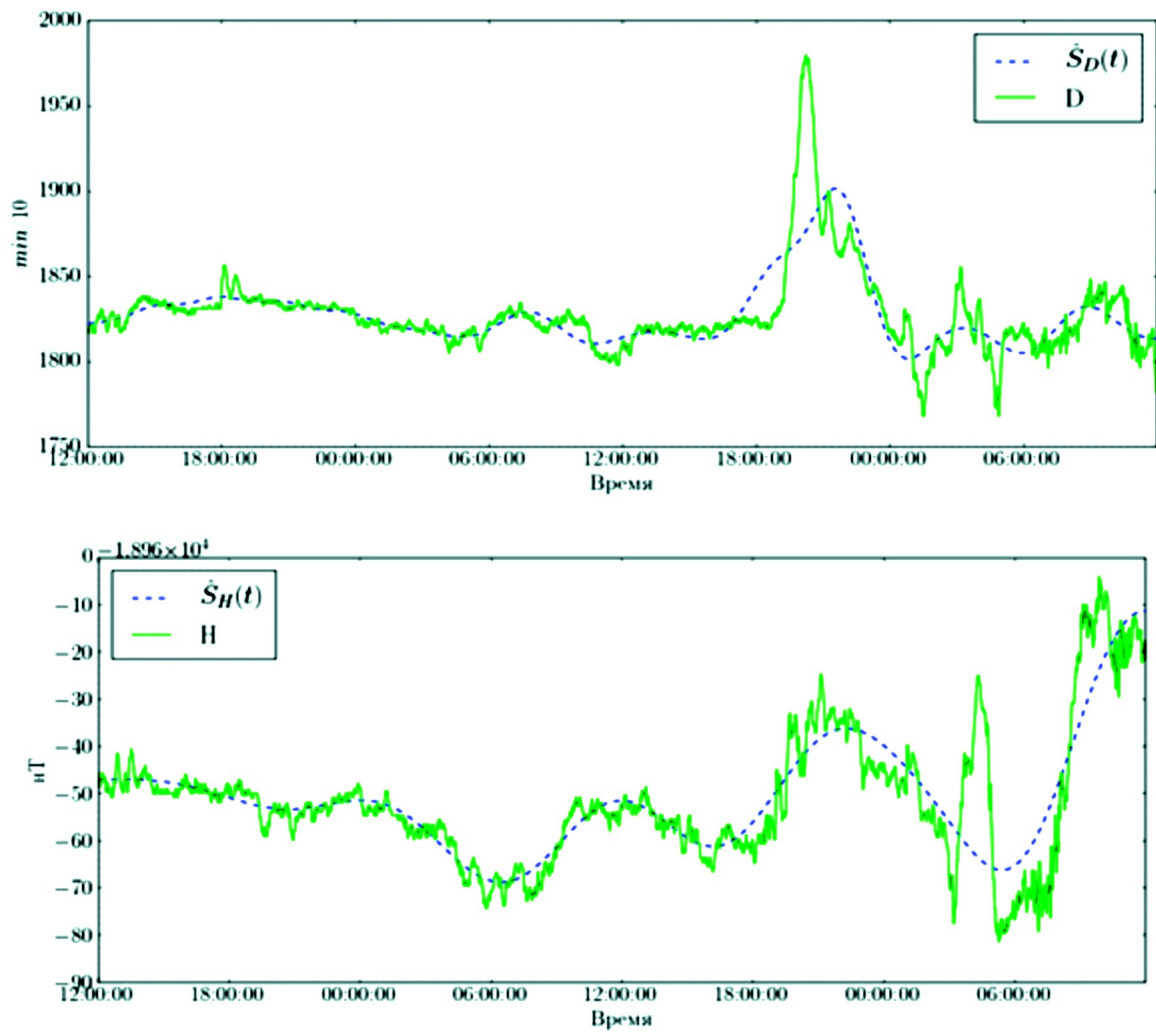
$t$  - время,

$K$  - количество вейвлетов,

$w_k$  - весовые коэффициенты,

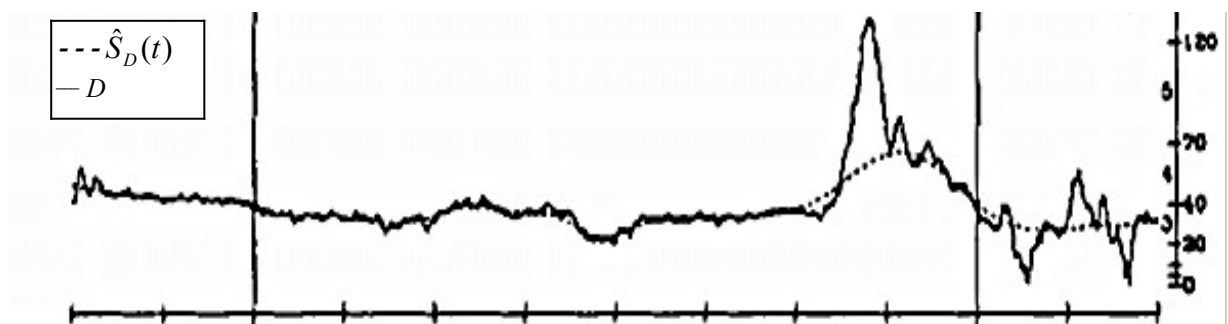
при этом параметры сети  $w_k$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $p_k$  и  $c$  настраивают градиентным методом с оптимальной величиной шага градиентной процедуры на протяжении 20-200 эпох.

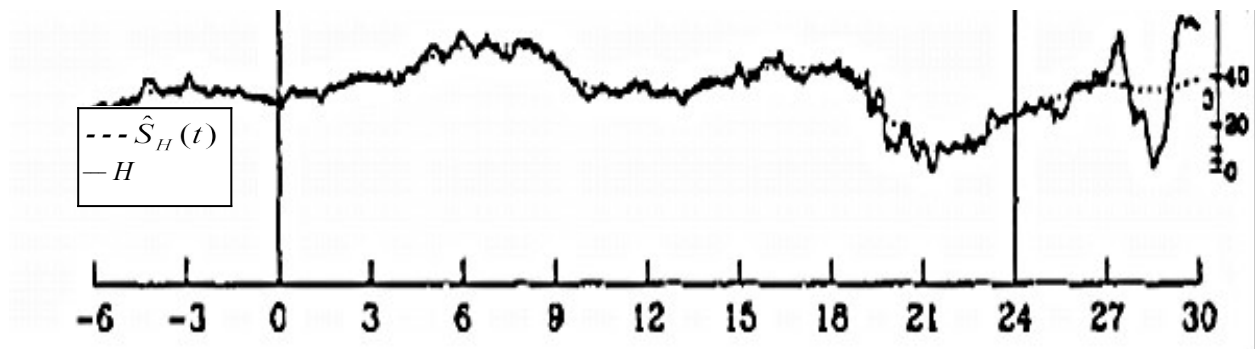
Способ определения К-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети



Фиг. 1. Результаты аппроксимации с помощью полиморфной вейвлет-сети Sq-вариации по D и H компонентам ГМП 26-28 декабря 1985 в обсерватории Бельск (время дано в UT)

Способ определения K-индекса геомагнитной активности с помощью полиморфной вейвлет-сети





Фиг. 2. Результаты аппроксимации методом Новозинского Sq-вариации по D и H компонентам ГМП 26-28 декабря 1985 в обсерватории Бельск (время дано в UT)

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,  
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03