

УДК 551.590

Пространственно-временные связи в структуре 80-летнего временного ряда наблюдений локальных приземных температур воздуха

Г.С. Курбасова¹, С.П. Корсакова², М.Н. Рыбалова¹, Г.Н. Шликатьев¹

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, АР Крым, Научный
gskurb@gmail.com

² “Никитский сад” РЦГМ в АРК, Украина

Поступила в редакцию 11 ноября 2011 г.

Аннотация. Земля непрерывно получает от Солнца почти неизменный поток энергии, обеспечивающий наблюдаемый уровень освещенности и среднюю температуру ее поверхности. Солнечная энергия, поступающая на поверхность Земли, распределяется неравномерно, что зависит, прежде всего, от положения Земли на орбите, скорости ее вращения, локальных и региональных условий.

Резкое возрастание глобальной приземной температуры воздуха за последние 30 лет сопровождалось соответствующими изменениями локальных климатических характеристик, что существенно сказалось на состоянии природной среды и экономики.

В настоящей работе обсуждаются результаты анализа 80-летнего временного ряда наблюдений локальных приземных температур воздуха в п. “Никитский сад” РЦГМ в АРК с целью установления пространственно-временных связей с глобальными геофизическими, атмосферными и гелиофизическими процессами.

Построена модель, приближающая экспериментальные измерения приземных температур воздуха в п. “Никитский сад” за время 1930–2010 гг. с относительной погрешностью приближения 9.8 %. Обсуждаются результаты экстраполяции среднегодовых температур.

SPATIO-TEMPORAL RELATIONSHIPS IN THE STRUCTURE OF THE 80-YEAR TIME SERIES OF OBSERVATIONS OF LOCAL SURFACE AIR TEMPERATURES, *by G.S. Kurbasova, S.P. Korsakova, M.N. Rybalova, G.N. Shlikar*. Earth continuously receives from the Sun an almost constant stream of energy providing the observed level of illumination and the average temperature of its surface. Solar energy coming to the Earth's surface is uneven and depends primarily on the Earth's position in orbit, the speed of its rotation, the local and regional conditions.

The sharp increase in global surface air temperature over the past 30 years has been accompanied by the corresponding changes in local climate characteristics that significantly affected the state of the environment and the economy.

In this paper we discuss results of the analysis of the 80-year time series of observations of local surface air temperatures to establish spatial and temporal relationships with the global geophysical, atmospheric and heliophysical processes (Source: “Nikita Garden” RCGM in the AR Crimea).

A model is constructed, approximating the experimental measurements of surface air temperatures in the section “Nikita Garden” during the 1930–2010, concerning the approximation error is 9.8 %. We discuss the results of extrapolation of average temperatures.

Ключевые слова: Земля, радиация, колебания, цикл, температура

1 Введение

Состояние климатических характеристик, к которым относится приземная температура воздуха, определяется динамикой атмосферы, физико-химическими процессами в ней и ее взаимодействием с поверхностью Земли и с космическим пространством, а также с процессами, определяемыми собственной внутренней энергетикой атмосферы и поверхности Земли.

Несмотря на то, что источником приходящего на Землю тепла является Солнце, изменения светимости Солнца недостаточно для объяснений наблюдаемых колебаний климата и, по существующим оценкам, эти изменения не совпадают по знаку с наиболее значительными колебаниями глобальной температуры за последние годы (Борисенков, Пасецкий, 1988).

Тем не менее существует тесная связь между солнечной активностью и температурой. Этот факт позволяет допустить существование некоего физического механизма, связывающего изменения глобальной температуры с изменениями солнечной активности.

На изменчивость приземной температуры воздуха, кроме солнечной активности, влияют астрономические и геофизические факторы, которые определяют циклический характер ее изменений. В основе детерминированного подхода к эволюции глобальных характеристик климата лежат периодические изменения параметров земной орбиты вследствие гравитационного взаимодействия Земли с Солнцем, Луной и другими планетами Солнечной системы (Миланкович, 1939). Неравномерное вращение Земли вокруг оси и геофизические процессы глобального и регионального происхождения (вулканы, землетрясения, явление Эль-Ниньо, аномалии гравитационного и геомагнитного полей и пр.) порождают вариации климатических характеристик на обозримых интервалах времени. В то же время периоды климатических циклов длиной около 100 тыс. лет отражают колебания эксцентриситета орбиты Земли, 40 тыс. лет – изменение наклона оси вращения планеты, 20 тыс. лет – эффект предварения равноденствий, 11-летние и квазидвухлетние циклы – изменение характера солнечной активности, выражаемое числом пятен на диске Солнца. Проявление циклов осложняется их наложением друг на друга и воздействием других климатообразующих факторов (тектоника, изменение соотношения суши и моря, хозяйственная деятельность человека и пр.).

Система “Земля – атмосфера” функционирует как единая саморегулирующая система, включающая физический, химический, биологический и антропогенный компоненты. Между этими компонентами существуют сложные взаимодействия и обратные связи. Они характеризуются нелинейностью и многоуровневой пространственно-временной изменчивостью (Кондратьев и др., 2003). Механизм этих связей неизвестен, поэтому многопараметрические физико-статистические модели описывают некоторый усредненный процесс эволюции климатических характеристик в предположении их плавных изменений и нечувствительны к возросшим за последнее время экстремальным гидрометеорологическим процессам. В своих работах Н.С. Сидоренков полагает, что “. . . нараставшая в последние годы частота экстремальных гидрометеорологических процессов обусловлена не только глобальным потеплением климата, но и наблюдавшимся в 2007 году максимумом изменчивости приливных сил” (Сидоренков, 2008).

Для выявления особенностей климата, как типичных, так и редконаблюдаемых, необходимы многолетние ряды метеорологических наблюдений. В умеренных широтах обычно используются 25–50-летние ряды. Статистический многолетний режим погоды – одна из основных географических характеристик той или иной местности.

В настоящей работе обсуждаются результаты анализа статистической связи изменений параметров вращения Земли, солнечной активности и локальных измерений приземной температуры воздуха в районе агрометеорологической станции “Никитский сад” (Южный берег Крыма, Никитский ботанический сад) за период 1930–2010 гг. На основе выделенных стационарных и квазистационарных колебаний построена модель.

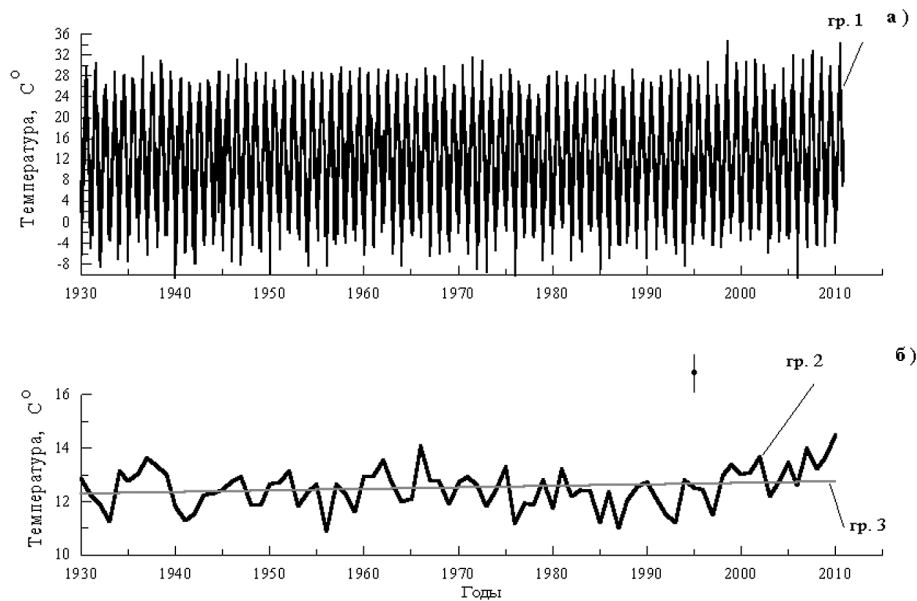


Рис. 1. Исходные данные: а) гр. 1 – среднесуточная температура; б) гр. 2 – среднегодовая температура; гр. 3 – линейный тренд

2 Исходные данные

Для анализа использовался временной ряд T среднемесячных величин приземной температуры воздуха, полученных на агрометеорологической станции “Никитский сад” Регионального центра по гидрометеорологии в Автономной Республике Крым за 1930–2010 годы. Погрешность единичного измерения составляет ± 0.05 °C. Чтобы избежать влияния на результаты анализа нарушений однородности ряда наблюдений как во времени, так и в пространстве, проведено осреднение. Период осреднения равен одному году.

Линейный тренд (рис. 1, гр. 3) вычислен по формуле:

$$T = 12.2896 + 0.0057 \cdot t, \quad (1)$$

где t – интервал времени в годах от начала отсчета, T °C. Стандартное отклонение относительно линейного тренда составляет ± 0.73 °C. Для сравнительного анализа использовались данные: LOD – среднегодовые величины отклонений длительности суток от стандартных (<http://hpiers.obspm.fr/>); GLT – среднегодовые величины, вычисленные на основе измерений аномалий приземной температуры воздуха по данным наземных метеорологических станций, базовый период 1951–1980 гг. (Data.GISS: GISS Surface Temperature AGP.htm); W – среднегодовые относительные значения солнечных пятен (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/). SSC – внезапные начала магнитных бурь (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/).

3 Двухканальный спектральный анализ

Проведенный нами авторегрессионный (АР) анализ спектральной плотности мощности (СПМ) указывает на когерентность отдельных подобных вариаций в среднегодовых данных о приземной температуре воздуха в Никитском ботаническом саду и изменениях длительности суток за 1930–2010 годы. Результаты анализа показаны на рис. 2а. Значимость когерентности определяется величиной квадрата модуля когерентности (КМК) (Марпл, 1990). График КМК (рис. 2б) указывает на когерентность колебаний с периодами 57 г., 20 г., 5 г., 3 г.

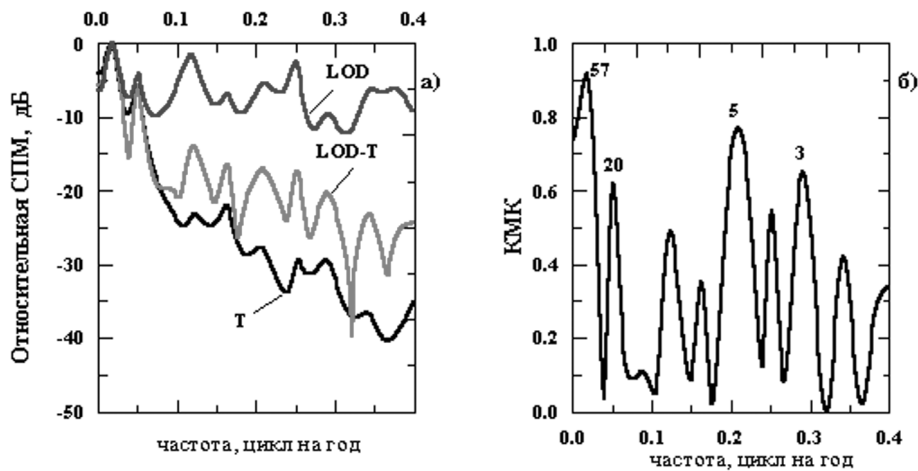


Рис. 2. Двухканальный спектральный анализ: а) LOD – автоспектр данных об отклонениях длительности суток от стандартных (86400 сек.), Т – автоспектр данных о среднегодовых величинах приземной температуры воздуха, LOD-T – график взаимного спектра данных LOD и Т; б) график квадрата модуля когерентности

Колебания с периодом 57 г. в данных LOD принято относить к неприливающим, генерируемым на границе ядро-мантия (Хайд, Дикей, 1991). Энергетические обменные процессы между приземной частью атмосферы и поверхностью Земли обеспечивают высокую когерентность подобных колебаний в обеих средах даже в предположении различных механизмов их генерации. В основе когерентности колебаний с периодом 20 лет лежит связь периодических циклов изменения параметров вращения Земли и глобальных параметров атмосферы.

Пространственные изменения температуры, помимо тех же причин, что и изменения временные, связаны с географическим расположением агрометеостанции и локальными природными и антропогенными факторами. Это приводит к тому, что в тенденциях изменений локальной и глобальной температуры (как и других синоптических параметров) наблюдаются различия, характерные для данного места и определяющие локальный климат. Вместе с тем наблюдается высокая когерентность отдельных колебаний в наблюдениях локальной и глобальной температур.

На рис. 3а приведены автоспектры данных Т и GLT и график функции когерентности, показывающих на подобие двух сравниваемых процессов. На графике функции КМК (рис. 3б) отмечена высокая когерентность глобальных колебаний, связанных с механизмом общей циркуляции атмосферы. При этом отличие состоит в относительном сдвиге фаз подобных колебаний. Максимальный относительный сдвиг фаз определяется для колебаний с периодом 73 года: колебания с этим периодом глобальной температуры опережают на 11 лет подобные колебания локальной температуры, что может указывать на особенность влияния солнечной активности на процесс генерации колебаний температуры с периодом 73 года на различных широтах.

Вопрос о том, каков был механизм и величина влияния солнечной активности на изменение приземной температуры на рассматриваемом нами 80-летнем интервале времени остается открытым. Хотя активность Солнца в первой половине XX века была самой большой за последние 8000 лет, но в последние 20–25 лет эта активность оставалась практически постоянной и, стало быть, никак не могла вызвать то глобальное потепление, которое именно в эти годы особенно ускорилося.

Периодические изменения солнечной активности проявляются подобными вариациями параметров атмосферных процессов. Обнаружение и учет когерентности подобных вариаций солнечной активности и приземной температуры необходим для построения прогноза изменения температуры в будущем.

Цикличность солнечной активности и ее влияние на атмосферу носят глобальный характер. Однако проявление этой связи на различных широтах имеет свои особенности, которые должны учитываться при составлении локального прогноза.

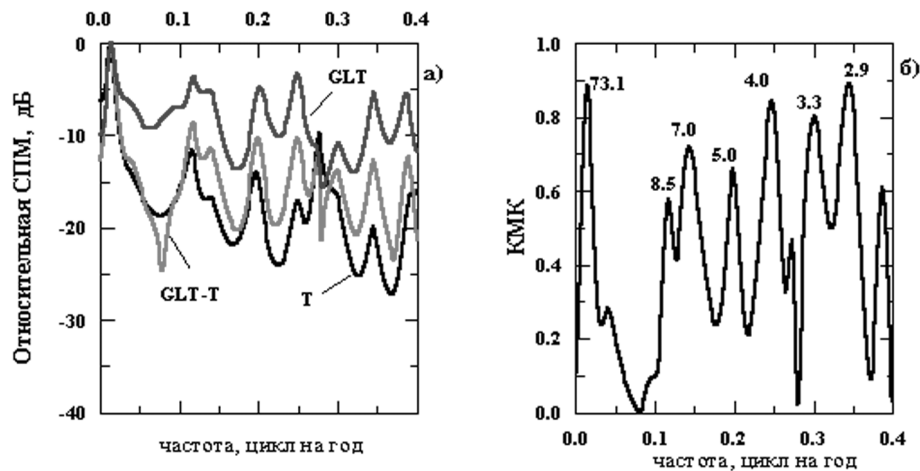


Рис. 3. Двухканальный спектральный анализ: а) GLT – автоспектр данных об аномалии глобальной приземной температуры, T – автоспектр данных о среднегодовых величинах приземной температуры воздуха, GLT-T – график взаимного спектра данных GLT и T; б) график квадрата модуля когерентности

На рис. 4а приведены автоспектры W и T и взаимный спектр данных W–T. Величины периодов наиболее когерентных колебаний (КМК > 60 %) приведены на рис. 4б.

Высокая степень когерентности подобных вариаций в проведенном спектральном анализе указывает на влияние цикличности солнечной активности на периодические процессы в атмосфере.

Двухканальный AP-анализ данных SSC и T обнаруживает циклический характер возмущений геомагнитного поля (см. рис. 5).

Периоды наиболее когерентных колебаний приведены на рис. 5б.

4 Квазиполиномиальная модель данных T

Численный (гидродинамический) метод прогноза погоды основан на математическом решении системы полных уравнений гидродинамики и получении прогностических полей давления, температуры на определенные промежутки времени. Вычислительные центры Москвы, Вашингтона, Токио, Рейдинг (европейский прогностический центр) используют различные численные схемы развития крупномасштабных атмосферных процессов. Точность численных прогнозов зависит от скорости расчета вычислительных систем, от количества и качества информации, поступающей с метеостанций. Чем больше данных, тем точнее расчет. Сложное пространственно-временное поведение общей циркуляции атмосферы обладает огромным числом степеней свободы. Поэтому поведение отдельных характеристик ее не могут быть смоделированы достаточно точно даже при учете максимального количества параметров системы.

Однако описание изменений отдельных характеристик атмосферы (например, приземной температуры воздуха) может быть выполнено посредством иного подхода, основанного на наблюдении за их поведением. В нашем случае такое описание дает временной ряд наблюдений приземной температуры воздуха T. Если наблюдения достаточно точно описать с помощью математических функций (аппроксимация), то появляется возможность с большой точностью произвести оценку будущих значений временного ряда. Причем, эта оценка представляет собой функцию только от предыдущих значений ряда. Методы теории вероятности в этом случае из-за малой выборки данных менее точны.

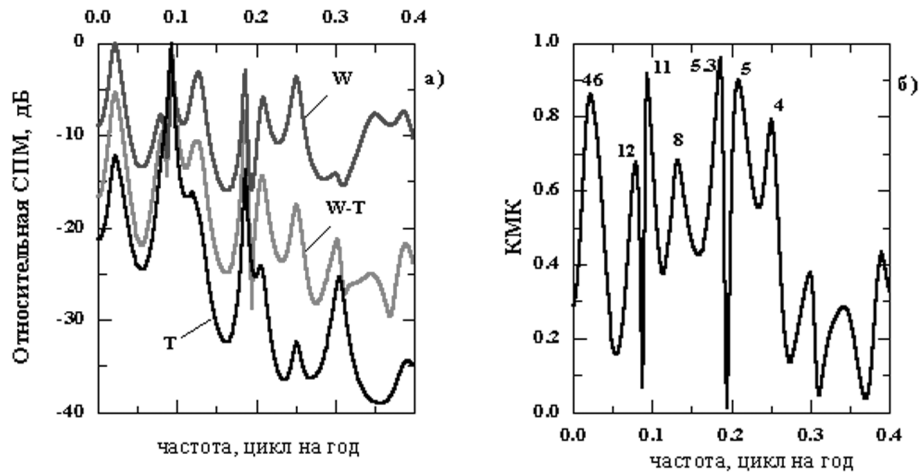


Рис. 4. Двухканальный спектральный анализ: а) W – автоспектр среднегодовых данных о числах солнечных пятен (числа Вольфа), T – автоспектр данных о среднегодовых величинах приземной температуры воздуха, W-T – график взаимного спектра данных W и T; б) график квадрата модуля когерентности

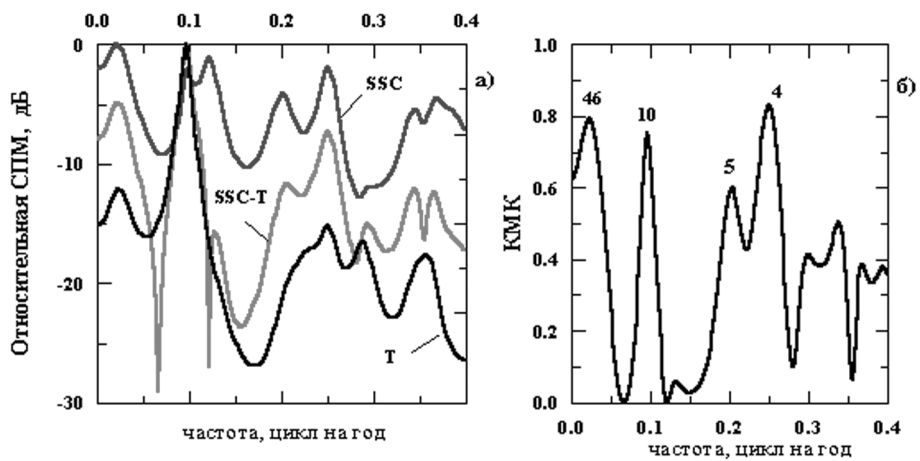


Рис. 5. Двухканальный спектральный анализ: а) SSC – автоспектр данных о внезапных началах магнитных бурь, T – автоспектр данных о среднегодовых величинах приземной температуры воздуха, SSC-T – график взаимного спектра данных SSC и T; б) график квадрата модуля когерентности

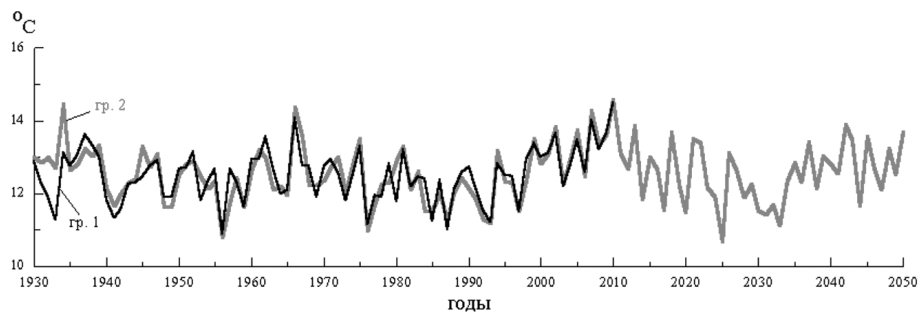


Рис. 6. Среднегодовые величины приземной температуры воздуха: гр. 1 – исходные данные T; гр. 2 – величины температуры, вычисленные с помощью модели, после 2010 года – прогнозируемые величины

Исходя из сказанного выше, нами была построена квазиполиномиальная модель наилучшего приближения в виде:

$$\mathbf{S}(t) = \sum_{m=1}^n \left(\sum_{l=0}^{k_i-1} a_{ml} \cdot t^l \cdot \exp(z_m t) \right), \quad (2)$$

где $n \geq 1$, $k_l \geq 1$ – целые числа, z_m – некоторые несовпадающие комплексные числа. При вещественных коэффициентах a_{ml} и вещественном аргументе t квазиполином $\mathbf{S}(t)$ принимает вещественные значения (Библиотека программ “LIDA-2”, 1983).

Линейный тренд вычислен по формуле:

$$\mathbf{T} = 12.41 + 0.0022 \cdot t, \quad (3)$$

где t – интервал времени в годах от начала отсчета.

Структура модели (2) временного ряда \mathbf{T} представляет собой сумму постоянного смещения, равного 12.5°C , 23 стационарных и 4 квазипериодических колебаний. Относительная погрешность приближения данных этой моделью составляет 9.8 % на всем интервале (81 год) и 2.8 % – в средней точке.

Параметры стационарных колебаний приведены ниже в таблице.

Таблица 1. Параметры стационарных колебаний в метеорологических наблюдениях агрометеостанции “Никитский сад”

№ п/п	Период, Амплитуда,		Нач. фаза
	P , год	A , °C	φ , угл. градус
1	2.14	0.2234	131.9
2	2.66	0.2163	23.1
3	2.72	0.2850	2.3
4	2.73	0.2405	5.5
5	2.92	0.2575	309.9
6	3.39	0.1515	38.8
7	3.99	0.2929	50.3
8	4.27	0.0987	265.4
9	4.68	0.2684	186.5
10	5.02	0.0993	78.4
11	5.50	0.2072	187.9
12	6.82	0.1331	291.1
13	6.97	0.2434	16.6
14	7.43	0.2013	93.0
15	9.43	0.2315	297.2
16	10.82	0.0579	272.4
17	13.26	0.1063	64.6
18	15.30	0.1227	27.4
19	19.19	0.1751	147.5
20	32.14	0.1159	270.0
21	34.15	0.1595	345.6
22	40.97	0.4063	135.5
23	80.49	0.2560	81.2

5 Выводы

1. Установлена значимая когерентность между изменениями приземной температуры воздуха (среднегодовые данные T) и:
 - а) отклонениями длительности суток от стандартных (среднегодовые данные LOD) для колебаний с периодами 57 г., 20 г., 5 г., 3 г.;
 - б) среднегодовыми величинами аномалий глобальной приземной температуры воздуха для колебаний с периодами 73 г., 8 г., 7 г., 5 г., 4 г., 3.3 г., 3 г.;
 - в) среднегодовыми данными о числах солнечных пятен (числа Вольфа) для колебаний с периодами 46 г., 12 г., 11 г., 8 г., 5.3 г., 5 г., 4 г.;
 - г) среднегодовыми величинами внезапных начал магнитных бурь для колебаний с периодами 46 г., 10 г., 5 г., 4 г.
2. Построена квазиполиномиальная модель среднегодовых наблюдений приземной температуры воздуха по данным T за период 1930–2010 гг. с погрешностью приближения равной 9.8 % на всем интервале приближения и 2.8 % – в средней точке.
3. Величина скорости линейного смещения в данных T согласно модели составляет 0.0022 °C в год.
4. Так как составленный нами прогноз представляет функцию только от предыдущих значений временного ряда температур, то оценка точности прогноза в основном зависит от нарушения стационарности колебаний в структуре модели.

Литература

- Библиотека программ "LIDA-2" // Сиб. отделение ВЦ. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. 1983.
- Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. // Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль. 1988.
- Марпл С.Л. мл. // Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир. 1990.
- Миланкович М. // Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.: ГОНТИ. 1939.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. // Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. М.: Логос. 2003.
- Сидоренков Н.С. // Природа. № 2. 2008. С. 23.
- Хайд, Дикей (Hide R., Dickey J.O.) // Earth's Variable Rotation Science. New Series. V. 253. № 5020. (Aug. 9. 1991). P. 629.