

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ И ПАЛЕОДАНЫМ В ФАЗО-ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ, СОГЛАСОВАННЫХ С ИЗМЕНЕНИЯМИ БАРИЦЕНТРИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ СОЛНЦА. ЧАСТЬ 2

Алексеев Валерий Иванович

доктор технических наук,
независимый исследователь,
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: v_alekseev_1941@internet.ru

Предмет исследования обусловлен необходимостью установления первопричин изменения климата на Земле и прогнозирования изменений гелиокосмических, климатических переменных, природных катастроф по инструментальным измерениям и палеоданным.

Цель исследования: применение вейвлетного фазового метода анализа временных рядов для установления силы влияния барицентрических движений Солнца на изменчивость гелиокосмических, климатических переменных, природных катастроф и пожаров; высокоточное прогнозирование переменных в фазо-временной области на длительные горизонты на сотни лет по инструментальным измерениям и тысячи лет по палеоданным.

Методы и объекты исследования: вейвлетный фазовый метод анализа временных рядов изменений гелиокосмических и климатических переменных, природных катастроф и пожаров, кривые изменений климатических изменений, полученных анализом ледовых кернов в Антарктике и донных отложений в Атлантике.

Основные результаты. Получены метод и алгоритм высокоточного прогнозирования переменных в фазо-временной области, основанные на использовании вейвлет-преобразования одномерных графиков измерений переменных по времени в двумерные изображения по частоте (масштабу вейвлета) и времени с последующими прогнозированиями отдельных выбранных частотных составляющих изображений переменных. При этом предполагается, что на каждой частоте фазо-частотного и временного изображения период изменения фазы в интервале прогнозирования равен среднему периоду изменения фазы в наблюдаемом интервале времени; на каждой выбранной частоте (масштаба вейвлета) разреза изображения оцениваются координаты минимумов фазы, изменяющейся пилообразно в наблюдаемом интервале времени. Прогнозируемая кривая переменной формируется как средняя арифметическая множества прогнозируемых фазовых кривых с обратным знаком, полученных для множества выбранных частот на изображении. Получены графики прогнозируемых изменений практически важных гелиокосмических, климатических переменных, природных катастроф, ураганов, лесных пожаров в ХМАО-Югре, количества и площади пожаров в Иркутской области, изменений уровня Каспийского моря и реки Амур, на которой наблюдаются катастрофические разливы реки, изменений интенсивности теплового течения Гольфстрим. Получены и построены графики согласованности изменений выбранных групп переменных в наблюдаемом и прогнозируемом интервалах времени по инструментальным измерениям. Получены графики наблюдаемых и прогнозируемых климатических переменных, орбитальных изменений Земли в интервале времени -422÷300 тыс. лет и согласованных изменений характерных групп переменных; получено, что современное глобальное потепление, отображае-

FORECASTING CHANGES IN THE EARTH'S CLIMATE SYSTEM BY INSTRUMENTAL MEASUREMENTS AND PALEODATA IN THE PHASE-TIME REGION, CONSISTENT WITH CHANGES IN THE BARYCENTRIC MOTIONS OF THE SUN. PART 2

Valery I. Alekseev

Doctor of Technical Sciences,
independent researcher,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: v_alekseev_1941@internet.ru

Subject of research is conditioned by the need to establish the root causes of climate change on the Earth and to predict changes in heliocosmic, climatic variables, natural disasters based on instrumental measurements and palaeodata.

Purpose of research: application of the wavelet phase-time method of time series analysis to establish the strength of influence of the Sun's barycentric motions on the variability of heliocosmic, climatic variables, natural disasters and fires, high-precision forecasting of variables in the phase-time domain for long horizons for hundreds of years by instrumental measurements and thousands of years by palaeodata.

Methods and objects of research: wavelet phase method of analyses of time series of changes in heliocosmic and climatic variables, natural disasters and fires, curves of changes in climatic changes obtained by analyses of ice cores in the Antarctic and bottom sediments in the Atlantic.

Main results of research. A method and algorithm for high-precision prediction of variables in the phase-time domain based on the use of wavelet transformation of one-dimensional plots of variable measurements over time into two-dimensional images over frequency (wavelet scale) and time with subsequent predictions of individual, selected frequency components of images of variables are obtained. It is assumed that at each frequency of the phase-frequency and time image the period of phase change in the prediction interval is equal to the average period of phase change in the observed time interval; at each selected frequency (wavelet scale) of the image section the coordinates of minima of the phase changing sawtooth in the observed time interval are estimated. The predicted variable curve is formed as the arithmetic mean of a set of predicted phase curves with opposite sign obtained for a set of selected frequencies in the image. Graphs of predicted changes in practically important heliocosmic, climatic variables, natural disasters, hurricanes, forest fires in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, number and areas of fires in Irkutsk Oblast, changes in the level of the Caspian Sea and the Amur River, where catastrophic river spills are observed, changes in the intensity of the warm Gulf Stream current were obtained. Consistency plots of changes in selected groups of variables in the observed and predicted time intervals by instrumental measurements were obtained and plotted. Graphs of observed and predicted climatic variables, orbital changes of the Earth in time interval -422÷300 thousand years and coordinated changes of characteristic groups of variables have been obtained; it has been obtained that modern global warming, displayed on the graphs of coordinated changes of some groups of variables, is a natural continuation of climate changes in the past and it will gradually, within 10-12 thousand years, be replaced by glaciation with subsequent warming and cooling in cyclic mode, as it was in the historical past.

Keywords: barycentric motions of the Sun, wavelet phase-frequency and time function image, sawtooth phase



мое на графиках согласованных изменений некоторых групп переменных, является естественным продолжением изменений климата в прошлом, и оно постепенно, в течение 10–12 тыс. лет, сменится оледенением с последующими потеплениями и похолоданиями в циклическом режиме, как было и в историческом прошлом.

Ключевые слова: барицентрические движения Солнца, изображение вейвлетной фазо-частотной и временной функции, модель пилообразных изменений фазы, согласованность изменений модели и наблюдений по фазе и времени, автоволны согласованности изменений групп переменных, согласованность прогнозируемой переменной с изменениями барицентрических движений Солнца.

ВВЕДЕНИЕ

В работе изучаются применение высокоточного эффективного метода и алгоритм прогнозирования переменных климатической системы Земли, основанного на использовании вейвлетных фазо-частотных и временных преобразований наблюдений, временных рядов. Прогнозирование переменных производится в фазо-временной области на длительные интервалы времени, на сотни лет по инструментальным данным и на сотни тыс. лет по палеоданным.

Работа является продолжением исследований, представленных в статье [1], в которой перечислены цели исследовательской работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм прогнозирования переменных климатической системы в фазо-временной области

Прогнозирование переменных, временных рядов в климатической системе состоит из нескольких этапов. Алгоритм основан на возможности преобразования временного ряда, функции $f(t)$ в двумерное изображение, фазо-частотную и временную функцию $\varphi_f(a, b)$ с использованием вейвлетного преобразования (1) в [1] с построением ее графического изображения, необходимого для визуального выбора значения k масштаба a вейвлета на графическом изображении $\varphi_f(a, b)$. Эта функция, вычисленная с использованием комплексного вейвлета 'cgaus5', по ординате (масштабу a вейвлета) ранжирована по частоте (периоду), большим масштабам a соответствуют большие периоды T и наоборот; по абсциссе откладывается время t или b .

В числовой матрице, функции $\varphi_f(a, b)$, в сигнале каждая строка, заданная значением k масштаба a вейвлета, характеризует изменение фазы сигнала с определенным периодом (частотой); разным значениям k масштаба вейвлета соответствуют разные периоды изменений фазы сигнала (примеры приведены

change model, consistency of changes in the model and observations in phase and time, autowaves of consistency of changes in groups of variables, consistency of the predicted variable with changes in the barycentric motions of the Sun.

на графиках $b \div d$ рисунка 1). Визуальный выбор значения масштаба k на изображении a рисунка 1 должен быть таким, чтобы периоды изменений фазы на временном разрезе были равномерно одинаковыми с малым разбросом.

В работе используется известный факт, что любой сложный сигнал может быть представлен суперпозицией простых разнопериодных функций [2], и допущение о том, что изменение периода сигнала в прогнозируемом интервале времени на заданном разрезе масштаба вейвлета равно среднему значению периода фазы сигнала, вычисляемого в наблюдаемом интервале времени.

В случае разложения сложной временной вейвлетной фазо-частотной функции (изображения) солнечной активности $Sact(t)$ как примера, представленного на рисунке 1а (построена в пакете Surfer), такими простыми периодическими функциями являются разрезы функции $\varphi_f(a, b)$ пилообразной структуры на задаваемых исследователем значениях k масштаба a вейвлета. Изображение (матрица) $\varphi_f(a, b)$, вычисляется по формулам преобразований (1). На графиках $b \div d$ рисунка 1 как примеров приведены пилообразные периодические кривые изменений фаз функции $\varphi_f(a, b)$, полученные при $k=400, \dots, 250, \dots, 60$, т. е. при $\varphi_f(400, b)$, $\varphi_f(250, b)$, $\varphi_f(60, b)$, в которых время b изменяется в интервале наблюдения 1900–2020 гг. с шагом по времени 0,1 года; фазы кривых при любых значениях k изменяются в интервале $\pm\pi$.

На изображении фазо-временной функции $\varphi_f(a, b)$ солнечной активности $Sact$, представленной на рисунке 1а, отображается весь частотный состав переменной, интервалы частотных составов (периодов), разделенные интервалами бифуркаций, полученные по наблюдениям в 1900–2020 гг. (в вейвлетном анализе изменениям масштаба a вейвлета соответствуют изменения частоты (периода) сигнала [3]); на изображении $\varphi_f(a, b)$ наблюдается 6 интервалов изменений частоты сигнала с периодами: $57,9 \div 75$, $34,4 \div 40,6$, $13 \div 18,2$, $10,8 \div 12,0$, ~ 4 и ~ 2 лет.

На графиках b-d рисунка 1 пилообразные кривые изменений фаз сигнала на разрезах состоят из двух составляющих, полученных по наблюдениям в 1900–2020 гг. и прогнозируемых до 2300 г. с периодами, усредненными в интервалах наблюдений.

Кривые темного цвета на графиках соответствуют истинным значениям изменений фаз функции $\varphi_f(a, b)$ в указанном временном интервале и заданных значениях k (на разрезах в интервале наблюдений проявляются и прогнозируемые значения кривых, часто совпадающие с их истинными значениями); периоды изменений пилообразных периодических кривых красного цвета в интервале времени 2020–2300 гг. на графиках получены усреднением периодов фаз функции на задаваемых разрезах при заданных значениях k в наблюдаемых интервалах времени.

На графиках b-e рисунка 1 темные и красные кривые характеризуют изменения истинной и прогнозированной фазы, совпадающие от начала отсчета фазы до координаты последнего минимума кривой изменений фазы на разрезе. Красная кривая является моделью изменения фазы функции $\varphi_f(a, b)$, темная линия соответствует изменению истинной фазы для заданного значения вейвлетного масштаба. Они описываются выражением

$$\psi(j) = \begin{cases} \chi_k(j), j = 1, \dots, t_1 - 1, \\ \eta_j = 0, 1, 2, \dots, N_k - 1, \\ -\pi + 2\pi / T_k \cdot \eta_j, j \geq t_1, \dots, t_{\text{прогноз}} \end{cases}, \quad (1)$$

где t_j – временная координата выбранного последнего минимума периодически изменяющейся фазы $\chi_k(j) = \varphi_f(k, b)$ на временной оси разреза при заданном значении k ; T_k – среднее значение периода фазы χ_k на разрезе; η_j – числовая последовательность $(0, 1, \dots, N_k - 1)$ с длиной периода N_k . $N_k = T_k / \Delta t$, Δt – шаг дискретизации $f(t)$. Модель изменения фазы сигнала на разрезе состоит из части $\chi_k(j)$ реального сигнала и модели (формулы (2) удобно реализовать в системе Excel). Выбор временного горизонта прогнозирования переменных $t_k = 2250$ год обусловлен выбором графика изменений барицентрических движений Солнца в 1100–2250 гг., полученным в [4], главной переменной в моделях климатических изменений Земли, с которой согласованы изменения всех других переменных, гелиокосмических и климатических.

Цифровая модель изменения фазы сигнала на разрезе при заданном k состоит из двух столбиков: второй столбик состоит из двух частей, числовой последовательности $j = 1, \dots, t_1 - 1$ и продолжающихся последовательностей η_j

до выбранного горизонта прогнозирования; первый столбик также состоит из двух частей: истинных фаз $\chi_k(j), j = 1, \dots, t_1 - 1$ и вычисленных по формуле $-\pi + 2\pi / T_k \cdot \eta_j, j \geq t_1, \dots, t_{\text{прогноз}}$ фаз (выражение прямой линии), где T_k – средний период изменения фазы на разрезе при выбранном k на изображении CO_2 . Наблюдаемая часть фазовых изменений на разрезах k используется для вычисления параметров N_k, T_k изменения фазы сигнала в прогнозируемой части.

На графике e рисунка 1, на котором прогнозируемая кривая получена усреднением конечного числа ($n=23$) прогнозируемых фазо-временных характеристик на выбранных масштабах k изображения $\varphi_f(k, b)$, отражаются изменчивости активности Солнца с ~42-летними периодами, заметны и ~11-летние периодические изменения, минимумы активности Солнца в интервале 1900÷2022 годы, флуктуации активности в последующие годы; приводится кривая аппроксимации изменений переменной в фазо-временной области и ее уравнение, характеризующие направленность и интенсивность изменений солнечной активности в прошлом и в будущем, обусловленной изменениями барицентрических движений Солнца [4]. В фазо-частотной области в интервале наблюдений кривые Varicentr и Sact согласованы с $k = 0,55$, зависящей от интервала наблюдения.

Построение модели пилообразных изменений фаз сигнала и прогнозирования фазы переменной с выбором значений k масштаба a комплексного вейвлета 'сgau5'

Алгоритм построения модели изменений фазо-временной характеристики на разрезе функции $\varphi_f(k, b)$, представленной на рисунке 1a, для заданного значения k вейвлетного масштаба состоит из последовательности действий: а) вычисление матрицы $\varphi_f(a, b)$ вейвлетной фазо-временной функции с использованием cwt-преобразования [11], описанной во введении [1]; б) построение изображения функции $\varphi_f(a, b)$ (в системе Surfer), приведенного как примера на рисунке 1a, необходимого для визуального выбора значений k масштаба вейвлета на изображении $\varphi_f(a, b)$; в) вычисление разреза $\varphi_f(k, b)$ на с построением его графика (графики b-d на рисунке 1); г) оценивание координат минимумов этой пилообразной кривой на временной оси с использованием программы локализации минимумов на разрезах; д) оценивание среднего значения периода T_k изменения фазы на разрезе; е) вычисление длины периода $N_k = T_k / \Delta t$ (Δt – шаг дискретизации сигнала $f(t)$), $\Delta t = 10$ в работе, число отсчетов между

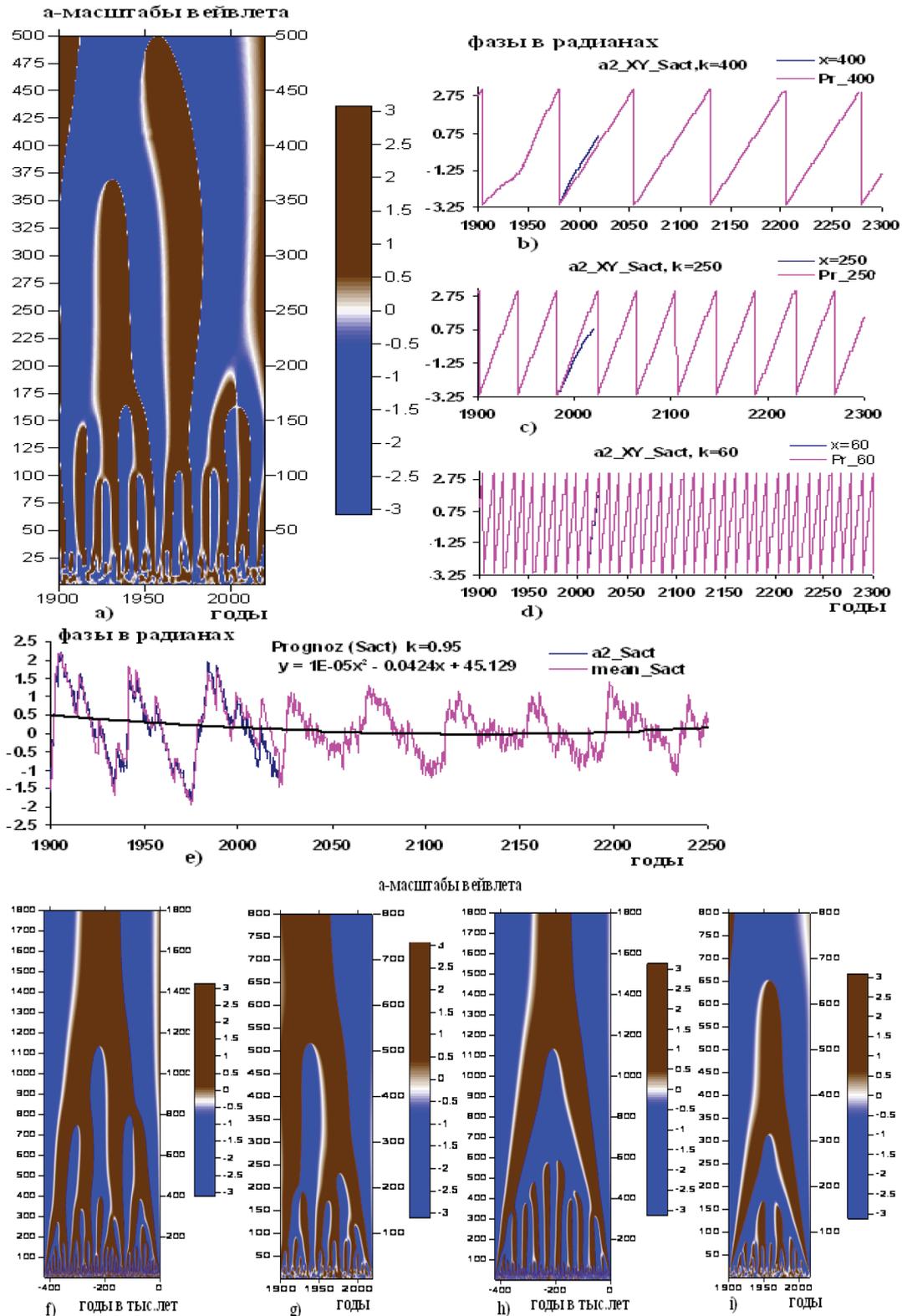


Рисунок 1. а) изображение временной вейвлетной фазо-частотной функции $\varphi_f(a,b)$ солнечной активности $f(t)=Sact(t)$ [5], полученной при $k=500$ на временном интервале 1900–2020 гг.; б) – д) графики изменений фаз функции $\varphi_f(a,b)$, полученные на ее разрезах (темные линии) при $k=400, \dots, 250, \dots, 60$ и их прогнозируемых значений (красные линии), изменяющихся в интервале $\pm\pi$ по ординате в 2020–2300 гг.; е) графики реальных (темная линия, $a2_Sact$) и прогнозируемых (красная линия, $mean_Sact$) вейвлетных фазо-временных характеристик изменений солнечной активности в интервале времени 1900–2300 гг., согласованные в наблюдаемом интервале времени 1900–2020 гг. с $k = 0,95$ с изменениями реальной временной фазовой характеристики. Прогнозируемая кривая получена усреднением прогнозируемых фазо-временных характеристик, полученных при значениях масштаба a вейвлета ($^{\circ}sgau5^{\circ}$) $k = 475, 460, 450, 425, 400, 360, 345, 325, 300, 275, 250, 225, 200, 175, 150, 140, 120, 100, 80, 60, 40, 22, 12$ на изображении а; изображения вейвлетных фазо-временных характеристик: ф), г) CO_2 – в атмосфере [6, 7] и угла наклона Земли (Naklon) [8] по наблюдениям в 422 – 0 тыс. лет в прошлом; г), и) – глобальной температуры (T.global) [9] и северо-атлантических колебаний (AMO) по наблюдениям в 1900–2020 гг. [10]

годами) и угла наклона пилообразной кривой в интервале $\pm\pi$; и) построение модели изменения фазы сигнала на разрезе в прогнозируемом интервале времени $t_n - t_x$ по формулам (2); выбор значения k масштаба вейвлета на изображении, задаваемого исследователем, зависит от структуры изображения $\varphi_f(a, b)$; примеры приведены на графиках f, \dots, i рисунка 1. При анализе исследуемых функций $\varphi_f(a, b)$ выявляются два типа изображений, представленных на графиках f, g, h, i рисунка 1 как примеров, полученных по наблюдениям в разных временных интервалах: в 422 тысячи лет и в 120 лет. Они отражают два типа откликов гелиокосмических и климатических переменных на воздействия многочисленных факторов с незначительной и значительной вариацией частот переменных между бифуркационными уровнями, что необходимо учитывать при выборе шага Δk дискретизации масштаба вейвлета в разных интервалах изменений изображения $\varphi_f(a, b)$ с целью достижения высокой точности прогнозирования переменных. Критерием точности прогнозирования переменных является значение коэффициента k согласованности между реальной и прогнозированной фазо-временной характеристикой изображения $\varphi_f(a, b)$.

На всех изображениях наблюдается ранжированное изменение периодов (частот) переменных, около 5-6 интервалов и бифуркаций частот (зависит от интервала наблюдения). На изображениях типа f и g шаги дискретизации масштаба вейвлета могут быть заданы постоянными, равными 15, 20 единицам; на изображениях типа h и i шаги дискретизации Δk масштаба задаются переменными в разных интервалах изменений масштаба вейвлета: в интервале $1100 \div 600$ на изображении h и в интервале 300–150 изображения i , $\Delta k = 10$, на других интервалах этих изображений $\Delta k = 20$ или $\Delta k = 25$. Заметим, области неравномерных изменений периодов на изображениях наблюдаются в окрестностях бифуркаций частот.

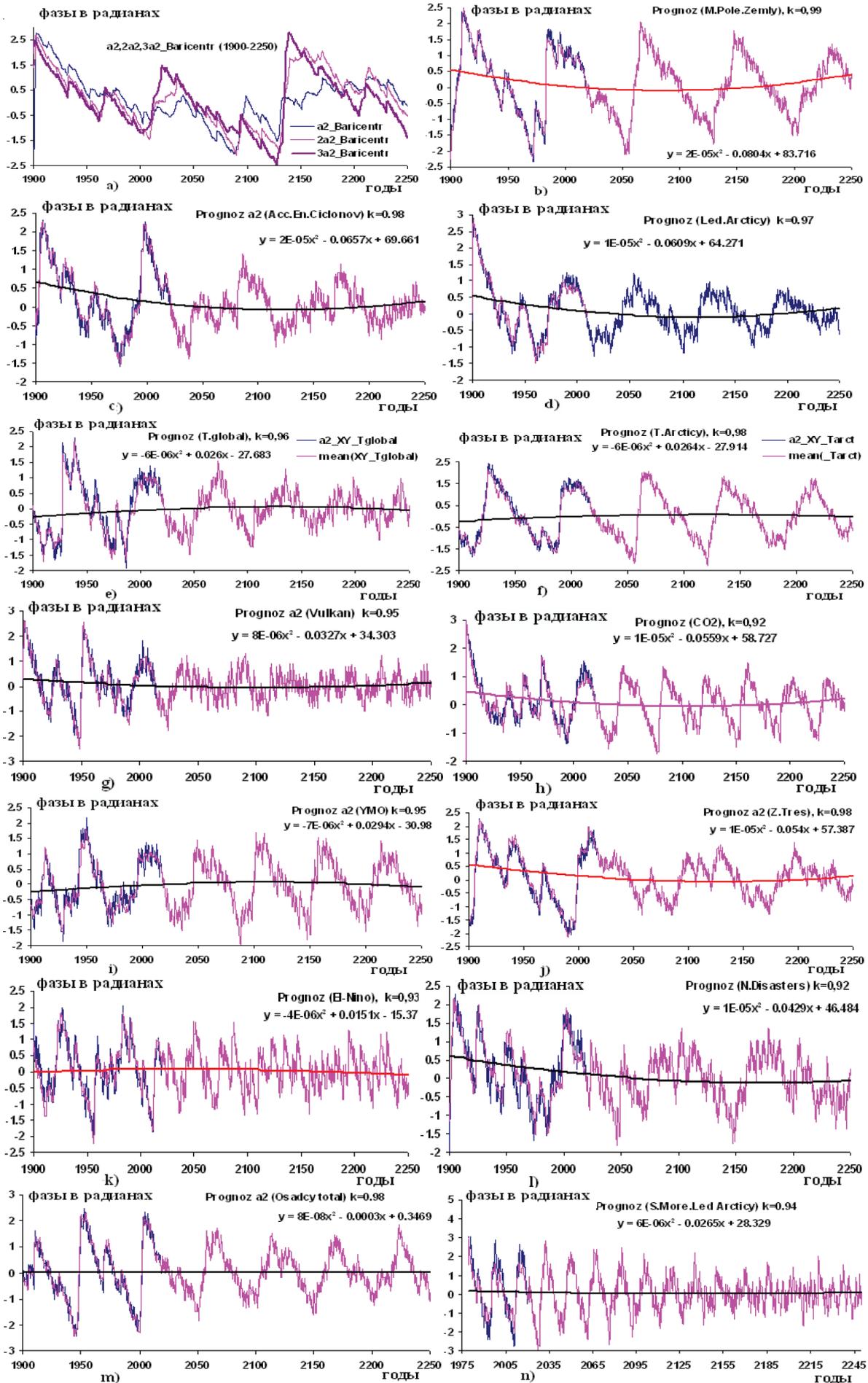
Выбор множества дискретных значений k на разрезах изображения должен быть таким, чтобы охватить весь набор основных частот, характеризующих изменение исследуемого сигнала и восстанавливающих фазо-временную характеристику сигнала (изображения) в интервале наблюдений с приемлемой точностью, удовлетворяющей теореме Котельникова – Найквиста [2].

В работе приводятся исследования прогнозирования двух типов переменных: по наблюдениям 1900–2020 гг. и наблюдениям – (422 – 0) тыс. лет в прошлом.

Исследованиями установлено: по наблюдениям в (422 – 0) тыс. лет в прошлом до современности к группе с равномерным изменением частоты сигнала в некотором частотном интервале (графики h, i на рисунке 1) относятся изменения переменных *Insol*, *Naklon*, солнечной радиации (*Srad*); по наблюдениям в интервале 1900–2020 гг. к этой группе переменных относятся также изменения солнечной радиации (*Srad*), изменения концентрации озона (*Ozon*), АМО, *CO₂* Гольфстрима (*Golfstrim*), *Insol*. В изменениях частот на изображениях $\varphi_f(a, b)$ многих других переменных: *Sact*, *Baricentr*, *Vulkan*, *MPZ*, *NMPS*, элементов орбиты Земли прецессии и эксцентриситета (*Prec*, *Ekc*), *T.global*, *Z.Tres* и т. д. – аблюдаются изменения частот на изображениях типа, представленного на графиках f и g рисунка 1 (вариации переменной между точками бифуркаций частот незначительны).

Примеры прогнозирования переменных по наблюдениям в 1900–2020 гг.

Прогнозирование переменных производилось по схеме, описанной выше. Прогнозируются вейвлетные фазо-временные характеристики переменных. Они характеризуют изменения не значений, а интенсивностей переменных в наблюдаемом и прогнозируемом интервалах времени. В качестве оценки точности прогнозирования переменной приводится значение коэффициента корреляции k между истинной и прогнозированной фазо-временной характеристикой переменной в наблюдаемом интервале времени, окрашенной на графиках темным цветом. На рисунке 2 приводятся графики изменения вейвлетной фазо-временной характеристики барицентрических движений Солнца и многих гелиокосмических и климатических переменных, важных для прогнозирования социально-экономической деятельности в прогнозируемом интервале времени 2020 – 2250 – 2300 годы, характеризующие интенсивность изменений климатических сред на Земле в этом интервале времени, фаз роста и падений переменных, обусловленных их взаимодействием и влиянием, что отражается в разношерстности и структуре изменений переменных на графиках.



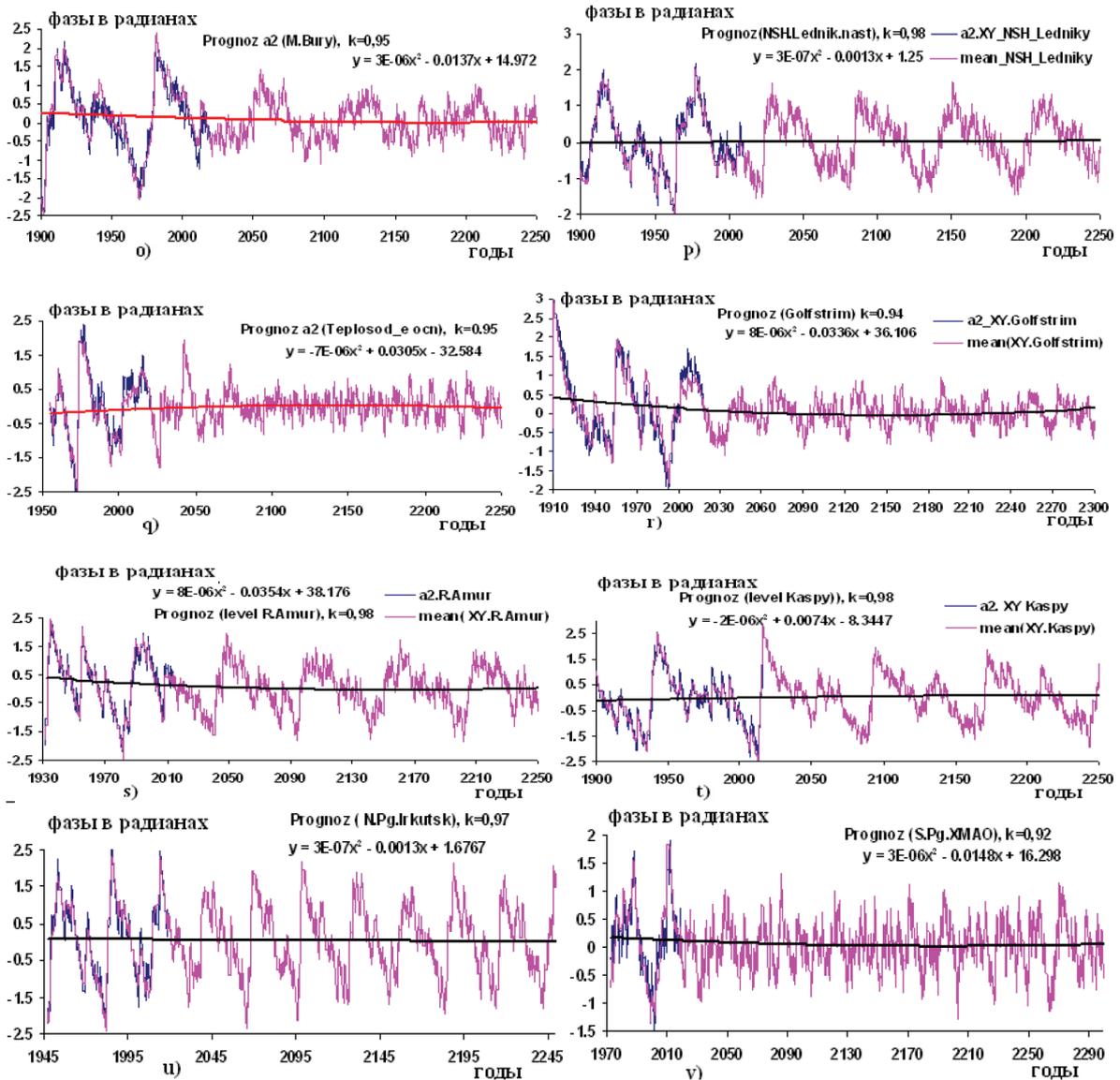


Рисунок 2. Графики изменений вейвлетных фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных в наблюдаемом (темный цвет) и прогнозируемом (красный цвет) интервалах времени от 1900 до 2250, 2300 годов: а) барицентрических движений Солнца в вариантах: $a2 = -\varphi_f(a,b)$, $2a2 = -\varphi_{a2}(a,b)$, $3a2 = -\varphi_{2a2}(a,b)$; б) магнитного поля Земли (MPZ); в) аккумулятивной энергии тропических циклонов (Acc.En.Ciclonov); д) арктических льдов (Led Arcticy); е) глобальной температуры (T.global); ф) температуры воздуха в Арктике (T.Arctiky); г) вулканические извержения (Vulkan); з) двуоксида углерода в атмосфере (CO_2); и) уровня Мирового океана (YMO); ж) землетрясений (Z.Tres); к) явление Эль-Ниньо (El-Nino); л) количества природных катастроф (N. Disasters); м) осадков на планете (Osadky total); н) площадей морских льдов в Арктике (S.more led Arctiky) примерно с 16–18-летними колебаниями в 1975–2250 гг.; о) магнитных бурь (M.bury); п) наступающих ледников в полушариях Земли (NSH Ledniky nast); q) теплосодержания в 700 м слое океана (Теплосодержание осн) в 1955–2250 гг.; р) интенсивности течения Гольфстрим (Golfstrim) в 1910–2250 гг.; с) уровня реки Амур (M.Amur) в 1932–2250 гг.; т) уровня Каспийского моря (M.Kaspy); у) количества лесных пожаров в Иркутской области (N.Pg.Irkutsk) в 1947–2250 гг.; в) площадей лесных пожаров в XMAO (S.Pg.XMAO) в 1973–2250 гг.

Приведенные графики состоят из двух составляющих: наблюдаемой и прогнозируемой. Они отличаются тем, что наблюдаемая часть вычисляется как $a2 = -\text{mean}(\varphi_f(1:k,b))$ на вычисленном изображении $\varphi_f(a,b)$ заданной временной функции $f(t)$, заданной гелиокосмической или климатической переменной $f(t)$, где $t=b$. Прогнозируемые части кривых на рисунке вычисляются только для нескольких десятков выбранных прогнозируемых

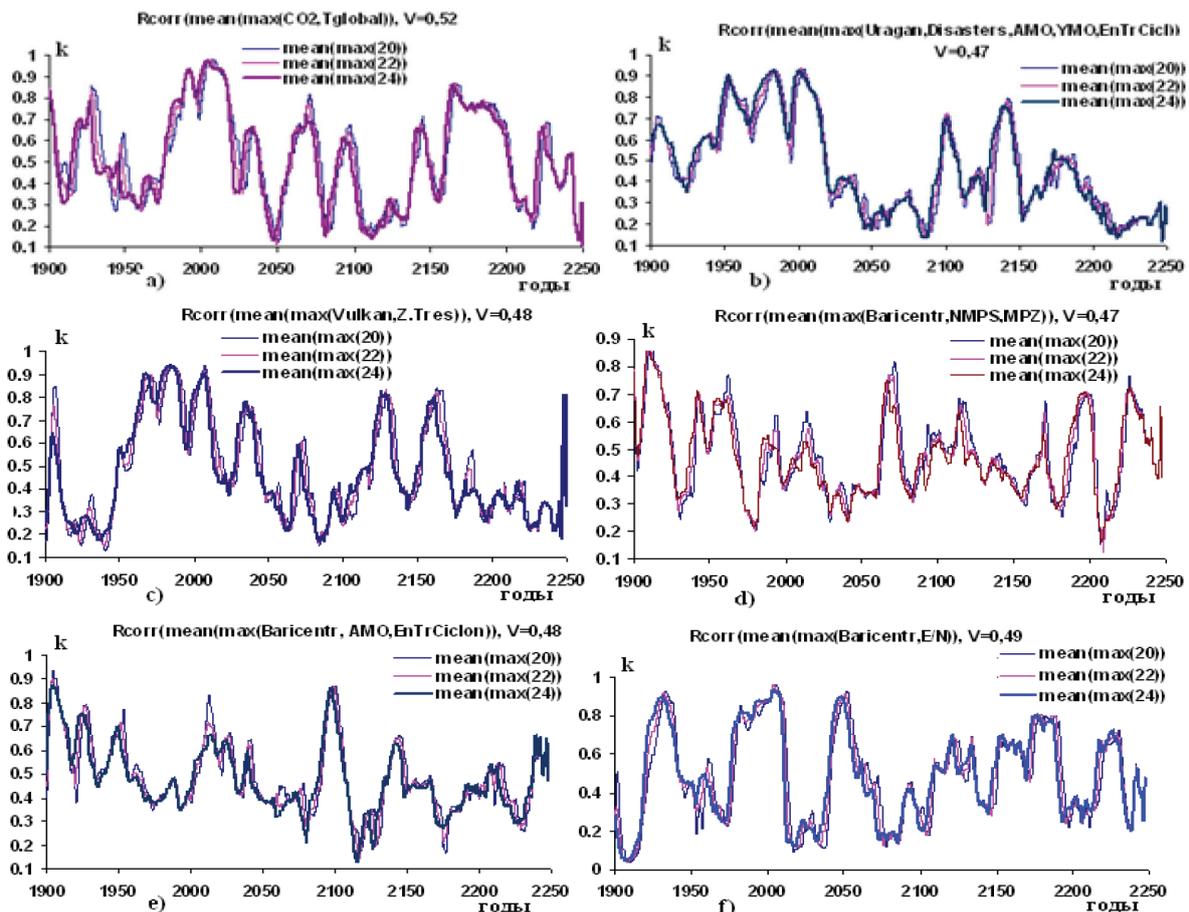
значений масштаба вейвлета k на каждом изображении $\varphi_f(a,b)$. По этой причине амплитуды кривых в наблюдаемой части на рисунке 2 более высокие по сравнению с прогнозируемой кривой (в обоих случаях вычисляются средние значения числа слагаемых).

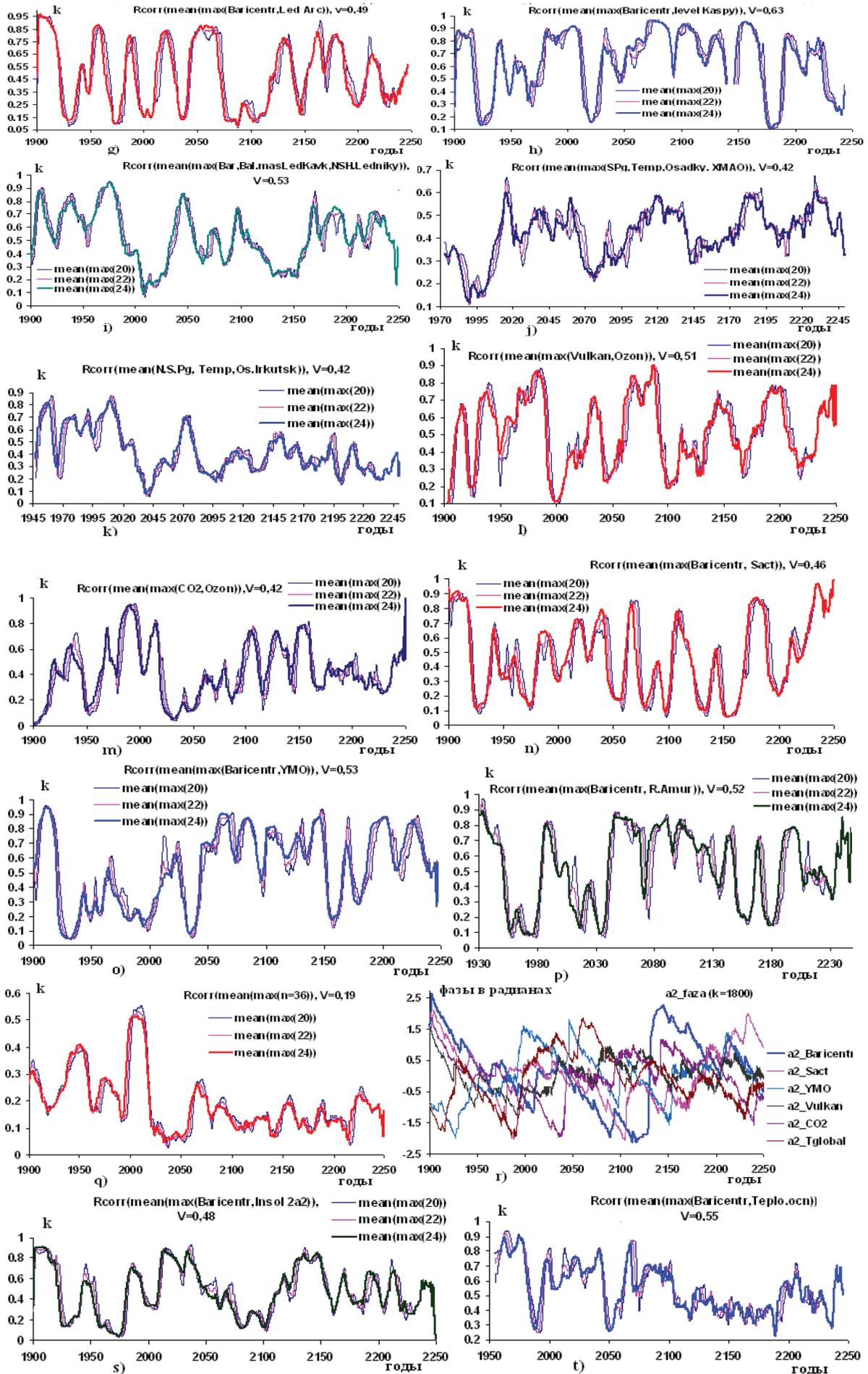
На графиках рисунка 2 проявляются следующие особенности: 1) на графиках а фазо-временных характеристик трех уровней изменений переменной Baricentr выделяются

интервалы характерных изменений исходной функции, очертания которых проявляются и в изменениях многих других переменных климатической системы (Z.Tres, TPV, TPO, M.bury, En.Tr.Ciclón, Ураган, NDisasters, T.global, T.Arct, Led.Arct, V.Zemly, LOD, Ur.Kaspy, NSH.LedNast) примерно с ~50-летними периодами, означающие существенное влияние изменений переменной Baricentr на изменения других переменных в системе; 2) на графиках а рисунка 2 наблюдается дискретное изменение фаз переменной Baricentr с циклическостью около 11 лет, скорее всего, обусловленной квантовым гравитационным воздействием крупных планет Солнечной системы на движение Солнца в системе координат Солнечной системы [12]. Аналогичные дискретные изменения фаз наблюдаются на графиках изменений фазо-временных характеристик и других переменных; 3) на графиках рисунка 2 наблюдается два типа изменений прогнозируемых вейвлетных фазо-временных характеристик переменных: с четко выраженными циклическими изменениями с периодичностями около 35, 40, 48, 58 лет (Baricentr, MPZ, TPV, AccEnCiclón, LedArct, AMO, T.Rus, T.global, T.Arct, YMO, Z.Tres, N.Uраган, N.Disasters, NSH.Led.nast, TPO Trop, Ur.Amura, N.Pg.Irkutska, Ur.Kaspy) и переменные, у которых циклы изменений нечетко выражены: Pg.XMAO, LOD,

LedArct, Teplosoderg_e, E/N, Vulkan, Naklon, Golfsrim, TPO, обусловленные содержанием в исходных вейвлетных ВФВХ дискретных высокочастотных фазовых изменений: $a_2 = -\varphi_f(a, b)$ 4) на изображениях f, g, h, i рисунка 1 наблюдаются разные типы изменений фазо-временных функций климатической системы. Эти признаки являются характеристикой того, что в различных физических средах динамика их изменений под воздействием окружающей среды климатической системы происходит дискретно и с разной интенсивностью, согласующейся с теорией квантовой теории гравитации [12].

Графики на рисунке 3 отражают физическую изменчивость сред переменных в длительных интервалах в прошлом и в предполагаемом будущем, обусловленных всевозможными воздействиями действующих факторов. Представляют интерес изменения в настоящем и будущем некоторых задаваемых взаимодействующих факторов. На графиках 3 представлены интенсивности согласованности изменений выбранных групп переменных климатической системы Земли в фазо-временной области в интервале времени 1900–2250 гг., характеризующих существенные циклические взаимовлияния групп переменных.





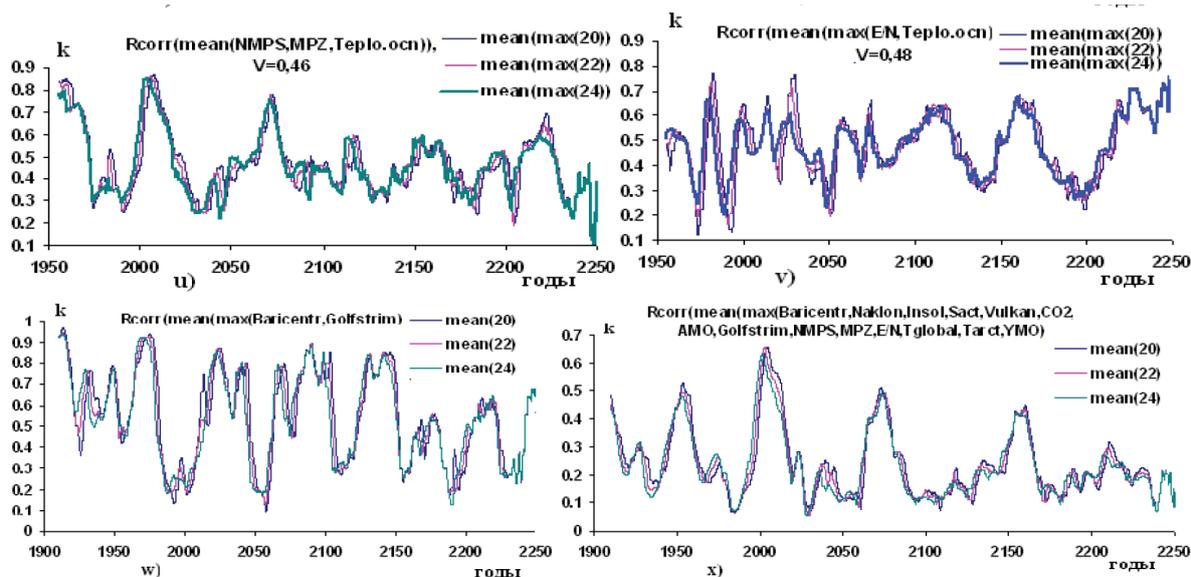


Рисунок 3. Графики согласованностей изменений групп взаимодействующих климатических переменных Земли в вейвлетной фазо-временной области в интервале 1900–2250 гг.: а) T_{global} и CO_2 парникового эффекта; б) количества ураганов, природных катастроф, северо-атлантических осцилляций (АМО), уровня Мирового океана (УМО) и аккумулируемой энергии тропических циклонов (AccTropEnCiclou); в) количества вулканов (Vulkan) и землетрясений (Z.Tres); д) барицентрических движений Солнца (Baricentr), напряженности магнитного поля Солнца и магнитного поля Земли; е) переменных Baricentr, АМО, AccTropEnCiclou; ф) Baricentr и явления Эль-Ниньо (E/N); г) Baricentr и льдов в Арктике (LedArct); х) Baricentr и уровня Каспийского моря (Kaspy); и) Baricentr, балансовой массы льдов Кавказа (BalansMassaLedKavkaz) и наступающих льдов в Северном и Южном полушариях Земли (NSH.LedNastup); ж) площадей лесных пожаров, осадков и температуры в ХМАО (SPg.TempOsXMAO) в 1973–2250 гг.; к) количества и площадей пожаров, температуры и осадков в Иркутской области (NSPg.TempOs.Irkutsk) в 1947–2250 гг.; л) количества вулканов в мире и концентрации озона в атмосфере (Vulkan, Ozon); м) CO_2 и Ozon; н) Baricentr и Sact; о) Baricentr и УМО; п) Baricentr и уровня реки Амур (R.Amur) в 1932–2250 гг.; q) согласованностей $n = 36$ прогнозируемых переменных в интервале 1900–2250 гг.; r) графики согласованных пошаговых изменений переменных: Baricentr, Sact, УМО, Vulkan, CO_2 , T_{global} в наблюдаемом и прогнозируемом интервале времени 1900–2250 гг. в фазовой области; согласованностей изменений групп: s) Baricentr и Insol в интервале 1900–2250 гг.; t) Baricentr и теплосодержание океана (Tempo.ocn) до глубины 700 м; у) УМО, TPV, TPO, TPO.Tropic (температура поверхности океана в тропической зоне), Tempo.ocn; в) E/N, Tempo.ocn в интервале 1955–2250 гг.; w) Baricentr, Golfstrim; x) Baricentr, Naklon, Insol, Sact, Vulkan, CO_2 , АМО, УМО, Golfstrim, NMPS, MPZ, E/N, T_{global} , Tarctic, УМО

На графиках рисунка 3 отражаются циклические высокосогласованные изменения сравниваемых групп переменных в фазо-временной области наблюдений в 1900–2020 гг. с интервалами подъема и падения интенсивности взаимодействий с их прогнозируемыми изменениями до 2250 года; средние силы взаимодействий групп V указаны на графиках; наблюдаются циклические с ~ 100 , 150-летними периодами взаимоусиления групп. На графиках а рисунка 3 в эпоху глобального потепления усиление парникового эффекта наблюдается в 1960 – 2050 – 2114 – 2218 гг.; потепление, начатое в 1960 гг., продолжается до 2050 гг. с переходом с меньшей интенсивностью циклических усиления в 2110–2220 гг. с $V = 0,52$. Примерно такие же циклические изменения наблюдаются на графиках а рисунка 2 переменной Baricentr и в изменениях магнитного поля Земли на рисунке 3б. На графиках взаимодействия группы Baricentr, CO_2 , T_{global} усиление парникового эффекта наблюдается в интервалах 1957 – 2040 – 2122 – 2203 гг. с $V = 0,42$.

Взаимоусиления переменных Uragan, Disasters, АМО, УМО, En.Tr.Ciclou на графиках б происходят в интервалах 1925 – 2050 – 2210 гг.; извержения вулканов и землетрясения усиливаются в 1940 – 2090 – 2200 гг. (графики с); на графиках д в интервалах времени 1900 – 2150 – 2250 гг. заметны взаимоусиления группы Baricentr, NMPS, MPZ. На графиках е отображаются циклические усиления переменных Baricentr, АМО, En.Tr.Ciclou в интервалах 1900 – 1980 – 2060 – 3220 – 2180 гг.

Усиления южных осцилляций (E/N) барицентрическими движениями Солнца в 1911 – 1963 – 2026 – 2087 – 2240 гг. приведены на графиках ф. На графиках г отображаются почти гармонические изменения с периодом 30–40 лет взаимодействий движения Солнца (Baricentr) и изменений льдов в Арктике (Led.Arct) в интервалах 1900 – 2090 – 2235 гг., заметно изменение характера взаимодействий после 2090 гг. Значительная изменчивость уровня Каспийского моря влиянием движений Солнца в 1927 – 2024 – 2146 – 2242 годы отображается на графике х.

Значительная согласованность изменений балансовой массы льдов Кавказа (BalansMassaLedKavkaz) и наступающих льдов в Северном и Южном полушариях Земли (NSH.LedNastup) в интервалах 1900 – 2016 – 2137 – 2250 гг. влиянием переменной Baricentr приводится на графиках I рисунка 3.

Циклически возрастающая изменчивость площадей лесных пожаров изменениями осадков и температуры в ХМАО в 1993 – 2077 – 2146 – 2206 – 2250 отображается на графиках j. На графиках k отображаются обусловленности изменений количества и площадей лесных пожаров в Иркутской области изменениями осадков и температуры в области в интервалах 1945 – 2040 – 2099 – 2134 – 2236 гг.

Циклическая обусловленность изменений концентрации озона в атмосфере изменениями вулканических извержений на Земле в интервалах 1900 – 2000 – 2101 – 2216 гг. приводится на графиках l рисунка 3; циклическая взаимообусловленность изменений CO_2 и озона в атмосфере в 1900 – 2034 – 2172 гг. отображается на графиках m.

Значительная циклическая обусловленность изменений солнечной активности влиянием барицентрических движений Солнца в интервалах 1900 – 1928 – 2057 – 2158 – 2250 гг. показана на графике n рисунка 3. На графике o отображается отклик изменения уровня Мирового океана на воздействие главного фактора Baricentr в интервалах 1900 – 1934 – 2036 – 2157 – 2250 гг. На графиках p рисунка 3 показана значительная изменчивость уровня реки Амур влиянием движений Baricentr в интервалах 1900 – 1974 – 2037 – 2161 – 2250 гг., на которой иногда наблюдаются катастрофические наводнения.

На графиках q на рисунке 3 отображается проявление современного глобального потепления в 1966–2040 годы даже при моделировании взаимодействия 36 гелиокосмических и климатических переменных системы.

На графиках r показано самосогласованное изменение нескольких главных переменных: Baricentr, Sact, YMO, Vulkan, Tglobal как пример взаимодействия гелиокосмических и климатических переменных в системе, «кусочка» автоволны в самоорганизующейся климатической системе планеты Земля. Заметим, что все графики на рисунке 3 являются автоволнами групп взаимодействий переменных.

На графиках s рисунка 3 отображается значительное взаимоусиление взаимодействий переменной Baricentr и инсоляции Insol_2a2, обусловленной изменениями

орбитальных элементов Земли, в интервалах 1900 – 975 – 2102 – 2227 гг., где прогнозируемая кривая Insol_2a2 получена на изображении $2a2 = -\varphi_{a2}(a,b)$.

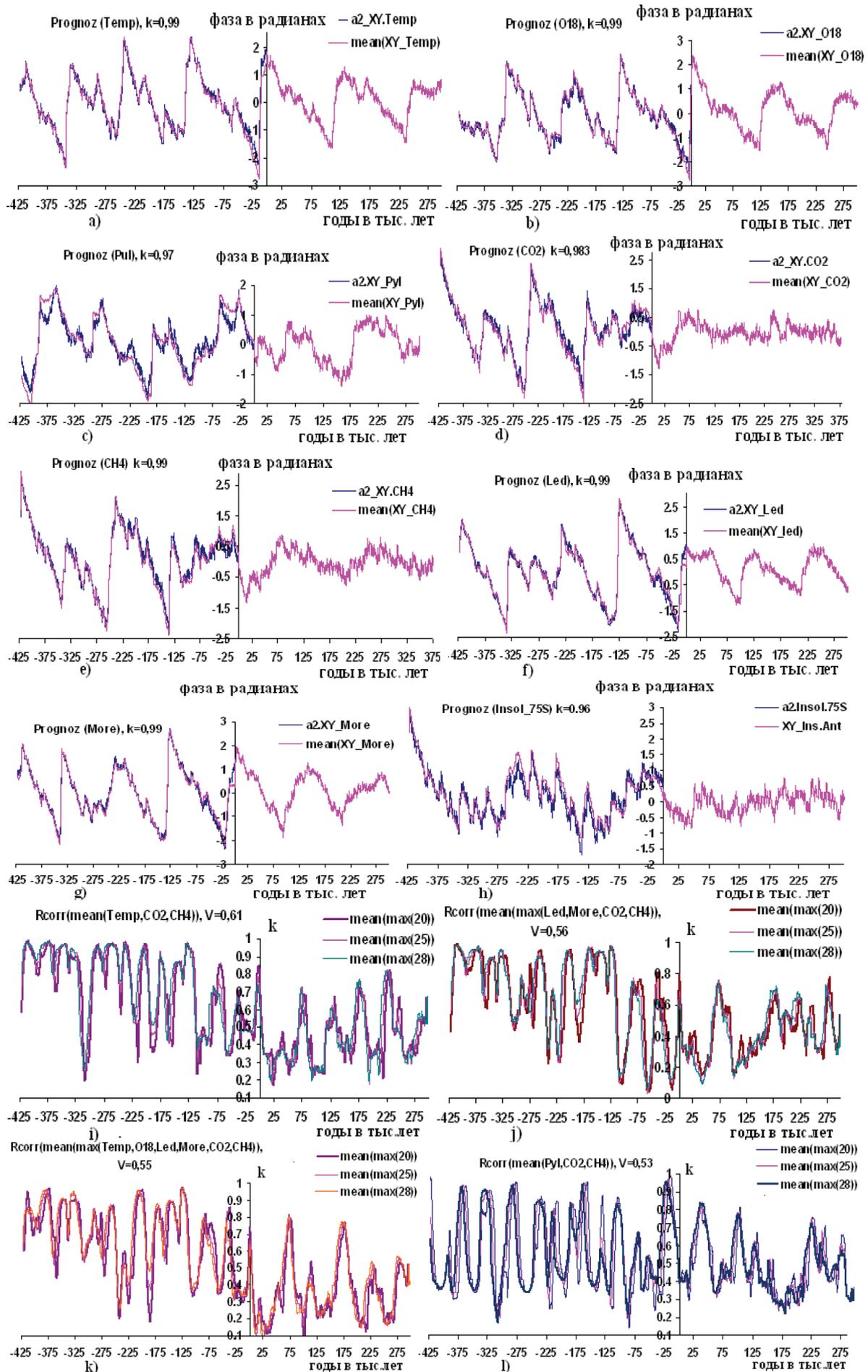
На графиках t, u, v рисунка 3 отображаются согласованности изменений теплосодержания океана до глубины 700 метров в 1955–2250 гг. на изменения: Baricentr; YMO, TPV, TPO, TPO.Tropic; E/N в вейвлетной фазо-временной области; наблюдается значительное циклическое влияние этих переменных, групп на изменчивость тепловой энергии океана во времени, колебательные изменения тепловой энергии океана с изменениями явления Эль-Ниньо (E/N) с периодом около 60 лет. В исследованиях проявляется существенная согласованность с $V=0,46$ изменений тепловой энергии океана (Терло.осп) с изменениями напряженности магнитных полей Солнца и Земли.

На графиках w проявляется главенствующая роль барицентрических движений Солнца (Baricentr) в циклических изменениях теплового течения Гольфстрим в Атлантическом океане с периодичностями около 70, 21 и 12 лет.

На графиках x и w рисунка 3 в интервалах времени 1990 – 2050 – 2110 – 2180 гг. наблюдаются значительные изменения температурных переменных Tglobal, TArctic, E/N и Golfstrim, определяющих климат на Земле, влияниями изменений гелиокосмических переменных, изменениями барицентрических движений Солнца, уровня Мирового океана (YMO).

Прогнозирование климатических изменений по данным наблюдений ледниковых кернов в Антарктике, донных отложений в Атлантике, орбитальных элементов Земли за последние 422 тыс. лет

Представляет интерес заглянуть в тысячелетнее будущее в климатических изменениях на Земле по данным, полученным анализом ледниковых кернов Антарктики [6, 7, 14], которые открыли человечеству 800-тысячелетнюю историю изменений климата на планете. Анализ долговременных изменений климатических переменных, их прогнозирование производятся методом, описанным в статье. Кривые прогнозируемых переменных в интервале времени 422 тыс. лет в прошлом до 300–375 тыс. лет в будущем приведены на рисунке 4. На рисунке 4 приведены также графики взаимодействий выделенных групп переменных, характеризующих характер и силу их взаимовлияний на временной оси.



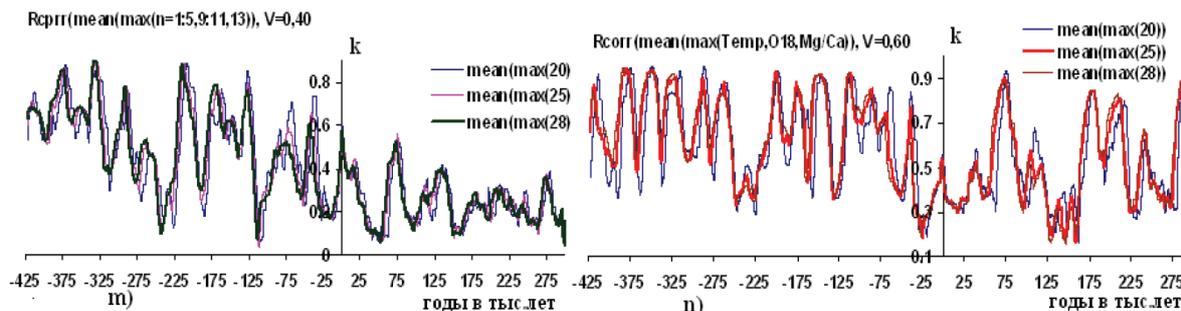


Рисунок 4. Графики изменений прогнозируемых переменных климатической системы Земли в вейвлетной фазо-временной области в $-422 \div (300-375)$ тыс. лет по данным анализа ледниковых кернов в Антарктике, донных отложений в Атлантике, орбитальных элементов Земли за последние 422 тыс. лет: а) отклонения температуры воздуха на поверхности ледника в прошлом от современной температуры (Temp); б) изотопно-кислородной кривой $\delta^{18}O$ (O18) в донных отложениях океанов и полярных льдах в значениях $\delta^{18}O$, т. е. в тысячных долях процента отклонений от стандарта [7]; в) объемной концентрации микрочастиц атмосферного аэрозоля во льду (Pyl) [6]; д) и е) объемной концентрации двуокси углерода CO_2 и метана CH_4 в атмосферном воздухе; ф) мощности антарктического ледникового покрова относительно современного уровня (Led); г) уровня Мирового океана относительно современного (More); х) инсоляции в Южном полушарии (Insol_75S); согласованности к изменений групп переменных в вейвлетной фазо-временной области: и) CO_2 , CH_4 , Temp (парниковый эффект); ж) Led, More, CO_2 , CH_4 ; к) Temp, $\delta^{18}O$, Led, More, CO_2 , CH_4 ; л) Pyl, CO_2 , CH_4 ; м) Temp, $\delta^{18}O$, Pyl, Led, More, Insol 65N, Insol75S, CO_2 , CH_4 , Mg/Ca; н) Temp, $\delta^{18}O$, Mg/Ca

На графиках рисунка 4 представлены графики прогнозируемых кривых изменений палеоклиматических рядов Temp, $\delta^{18}O$, Pyl, Led, More, CO_2 , CH_4 , Insol 75S; прогнозированы также изменения Наклон, Екс, Прес, Insol 65N. Они являются интенсивностями изменений переменных. На графиках проявляется разноциклическость изменений переменных, обусловленных разной природой изменений переменных, их взаимовлияний и одним главным действующим фактором – барицентрическими движениями Солнца. Наибольшие периоды в интервале (120 – 311) тыс. лет содержат изменения Pyl и орбитальные элементы Наклон, Прес и инсоляции Insol 75S, Insol 65N. В изменениях всех переменных содержатся периоды в окрестностях 120, 100, 41, 22, 12, 7, 4 тыс. лет. Изменения кривых в наблюдаемом интервале 422 – 0 тыс. лет в прошлом и прогнозируемые составляющие согласованы значительно с $k = 0,95 \div 0,99$, приведены на графиках. На графиках заметны локальные рассогласования кривых, исходных и прогнозируемых.

На графиках i, j, k, m, n рисунка 4 в современности, в окрестности нулевой точки во времени, в период глобального потепления наблюдаются пики согласованных изменений групп переменных с $V \sim 0,9$: парниковых газов и температуры, изменений Led, More и парниковых газов: (CO_2 , CH_4 , Temp), (Led, More, CO_2 , CH_4) (Temp, Led, More, CO_2 , CH_4). Характерно то, что пики роста кривых в современности наблюдаются при взаимодействии мощности льдов в Антарктике (Led), уровня Мирового океана (More) и приземной температуры (Temp) с изменениями парниковых газов

(CO_2 , CH_4). Нисходящие склоны пиков согласованных изменений групп переменных достигают минимумов, оледенений, в $\sim 11 \div 13$ -тысячные годы в будущем с последующими циклическими изменениями с периодами $\sim 40, 48, 55, 60$ тыс. лет. На графиках прогнозируемых переменных рисунка 4, в современности глобального потепления, в нулевой точке, в фазе роста находятся изменения переменных: Прес, Екс, Temp, $\delta^{18}O$, More, Led. Интервалы прошлых оледенений в ~ 20 тыс. годы наблюдаются на графиках i–n рисунка 4. На этих же графиках наблюдаются интервалы предполагаемых оледенений в прошлом при малых значениях k и потеплений при высоких значениях k .

На графиках l рисунка 4 отображаются согласованности изменений парниковых газов CO_2 , CH_4 и аэрозольной пыли Pyl соответственно и согласованности изменений вулканических извержений Vulkan и пыли Pyl, т. к. изменения переменных CO_2 , CH_4 и Vulkan сильно согласованы по наблюдениям в новой эре (на графиках g рисунка 2 [1]); наблюдается сильная согласованность изменений вулканических извержений и землетрясений (Z.Tres) с изменениями во вращении Земли, также показанные на графиках n и o рисунка 2 [1].

На графиках m рисунка 4 отображается согласованность изменений большой группы переменных, указанных выше. На графиках в современности в окрестности нулевой точки проявляется пик согласованности изменений переменных, соответствующий глобальному потеплению. На графике n рисунка в окрестности нулевой точки проявляется заметный

пик согласованных изменений переменных Temp, $\delta^{18}O$ с изменениями отношений изотопов Mg/Ca , полученных анализом донных отложений в Атлантике. Полученные графики отражают значительное влияние изменений парниковых газов CO_2 , CH_4 на изменчивость отношения изотопов магния и кальция Mg/Ca . В работе [13] указывается, что применение отношения изотопов Mg/Ca более предпочтительно в палеотемпературных методах исследования океана, чем использование изотопного анализа кислорода.

На графиках отражается то, что современное глобальное потепление является закономерностью изменений самосогласованных изменений множества переменных, существующих в Солнечной системе между планетами и в солнечно-земных связях в истории изменений климата в глубоком прошлом, настоящем и в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе приводятся результаты анализа множества взаимообусловленных переменных, характеризующих изменения климата на Земле в продолжительном временном интервале. Показано, что эти самоорганизованные изменения обусловлены самоорганизованными взаимодействиями планет Солнечной системы, барицентрическими движениями Солнца и солнечно-земными связями, влияющими на изменения гелиокосмических и климатических переменных Земли.

1. Разработаны высокоточный метод и алгоритм прогнозирования временных рядов, описывающих изменения гелиокосмических, климатических переменных, природных сред с использованием вейвлетных фазо-временных характеристик и функций (изображений) по инструментальным измерениям и палеоданным в 422 тыс. лет в прошлом с длительным горизонтом прогнозирования в сотни и тысячи лет; приведены многочисленные примеры прогнозируемых кривых переменных системы. Прогнозируемые переменные являются усредненными кривыми множества прогнозируемых вейвлетных фазо-временных характеристик, полученных на выбранных разрезах (частотах) вейвлетных фазо-частотно-временных изображениях.

2. На прогнозируемых кривых фазо-временных характеристик переменных по данным в новой эре наблюдаются черты изменений вейвлетных фазо-временных характеристик барицентрических движений Солнца (Baricentr) с согласованностью $k = 0,11 \div 0,37$ в интервале 1900–2250 гг. для большой группы переменных из 36 прогнозируемых.

3. На графиках согласованных изменений фазо-временных характеристик выбранных групп переменных отражены особенности, силы взаимовлияний групп переменных во времени: Baricentr, Sact; Baricentr, Insol; Baicentr, NMPS, MPZ; Temp, CO_2 (парниковый эффект) и многих других групп в интервале 1900–2250 гг. Установлено, что современное глобальное потепление, начатое в 1930-е гг. циклами, продолжалось до 1987 года с последующими циклами падений и подъемов до 2180 гг. с интервалами в 1934 – 1990 – 2050 – 2110 – 2180 годы.

4. На графиках согласованных изменений групп прогнозируемых переменных, полученных анализом ледовых кернов из Антарктики, донных отложений Атлантики и климатических орбитальных элементов Земли, установлено, что современное глобальное потепление является закономерным продолжением изменений климата на Земле в прошлом; показано, что современное глобальное потепление примерно через 11–13 тыс. лет сменится глобальным оледенением с последующими циклами потеплений и похолоданий, как было в прошлые тысячелетия. На этих же графиках наблюдаются пики потеплений, оледенений и похолоданий в прошлые тысячелетия, например в ~10-м тысячелетии в прошлом, обусловленные также взаимодействием крупных планет Солнечной системы с Солнцем и Землей.

5. Разработаны метод и комплекс программ, позволяющие моделировать изменения климата на Земле в прошлом, настоящем и будущем, исходными данными для которых являются исключительно инструментальные измерения; позволяющие точнее прогнозировать изменения в климатических переменных, потеплений и похолоданий, обусловленных взаимодействием планет Солнечной системы с Солнцем и Землей, изменениями барицентрических движений Солнца, солнечно-земными связями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В. И. Прогнозирование изменений климатической системы Земли по инструментальным измерениям и палеоданным в фазо-временной области, согласованных с изменениями барицентрических движений Солнца. Часть 1 / В. И. Алексеев // Вестник Югорского государственного университета. – 2024. – № 2 (20). – С. 74–96.
2. Юкио, С. Без паники! Цифровая обработка данных / С. Юкио. – Москва : Додэка-XXI, 2010. – 176 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2005. – 1072 с.

4. Охлопков, В. П. Основные периодичности движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и солнечная активность / В. П. Охлопков // Вестник Московского университета (ВМУ). Серия Физика. Астрономия. – 2011. – № 6. – С. 138–142.
5. International sunspot number // Yandex. – 2020. – URL: https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2F... (data of application: 20.05.2023).
6. Васильев, Н. И. Результаты бурения скважины 5Г на российской станции «Восток» и исследование кернов льда / Н. И. Васильев, А. Н. Дмитриев, В. Я. Липенков // Записки горного института. Геология. – Санкт-Петербург. – 2016. – Т. 218. – С. 161–170.
7. Липенков, В. Я. Палеоклиматические реконструкции по результатам исследований ледяного керна из глубокой скважины и шурфов на станции Восток / В. Я. Липенков, А. Н. Саламатин, А. А. Екайкин // Арктика и Антарктика. – URL: <http://antarctic.su/books/item/f00/s00/z0000026/st006.shtml> (дата обращения: 20.05.2023).
8. Большаков, В. М. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата / В. М. Большаков. – Москва : МГУ, 2003. – 256 с.
9. Rohde, R. Global Temperature Report for 2018 / R. Rohde // Berkeley Earth. – URL: <https://berkeleyearth.org/2018-temperatures/> (data of application: 20.05.2023).
10. Федоров, В. М. О возможной физической природе мультидекадного колебания в климатической системе Земли / В. М. Федоров, Д. М. Фролов // Сложные системы. – 2019. – № 1 (30). – С. 26–40.
11. Дьяконов, В. Вейвлеты. От теории к практике / В. Дьяконов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2004. – 400 с.
12. Ровелли, К. Нереальная реальность. Путешествие по квантовой петле / К. Ровелли. – Санкт-Петербург, 2020. – 304 с.
13. Дубов, А. Изотопы кальция и магния помогли уточнить температуру океана в эоцене / А. Дубов // N+1. – URL: <https://nplus1.ru/news/2018/01/24/eocene-ocean> (дата обращения: 20.05.2023).
14. Котляков, В. М. История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде / В. М. Котляков // Природа. – 2012. – № 5. – С. 3–9.