

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ
ВЕЙВЛЕТНЫХ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГЕЛИОКОСМИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ
И ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ МИРОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА.
ЧАСТЬ 1**

Алексеев Валерий Иванович

*доктор технических наук,
профессор кафедры цифровых технологий
Института цифровой экономики,
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: v_alekseev@ugrasu.ru*

Актуальность исследования обусловлена необходимостью установления истинных причин и закономерностей изменений гидрометрических характеристик мирового водного баланса, определяющие глобальный климат на Земле.

Цель исследования: установление закономерностей и причин изменений переменных мирового водного баланса на Земле: обеспеченности грунтовых и подземных вод, стоков рек на континентах, на суше, составляющих водного баланса Мирового океана в аномалиях, изменений в режиме атмосферы, уровня озер, Каспия, горных ледников, облачности и других природных сред, заданных в виде временных рядов, обусловленные изменениями гелиокосмических и климатических факторов под влиянием барицентрических движений Солнца, определяющие климат на Земле.

Объекты исследования: временные ряды гелиокосмических и глобальных климатических переменных, гидрометрических составляющих мирового водного баланса.

Методы исследования: разработанный автором метод взаимодействия наблюдений переменной или переменных с группами задаваемых гелиокосмических и климатических факторов в частотной и временной областях, полученных с использованием вейвлетных преобразований с вычислением фазо-частотных и фазо-временных характеристик наблюдений в равных интервалах времени; сравнительный анализ изменений полученных фазовых характеристик групп переменных с вычислением их матриц согласованности и построением графиков в частотной и временной областях.

Результаты исследования: в циклическом изменении климата на Земле, гидрометрических характеристик мирового водного баланса, природных сред, участвуют две группы переменных: гелиокосмические (барицентрические движения Солнца, солнечная активность, многолетняя солнечная инсоляция, вулканические извержения и парниковые газы, концентрация озона в ионосфере, элементы орбиты Земли, геомагнитное поле, магнитное поле Солнца) и глобальные температурные климатические переменные, обусловленные изменениями гелиокосмических факторов, ведущим из которых является барицентрические движения Солнца. Анализом вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы гидрометрических характеристик мирового водного баланса, гелиокосмических и климатических переменных в фазо-частотном и фазо-временном областях установлены зависимости изменений гидрометрических характеристик мирового водного баланса изменениями гелиокосмических и климатических переменных в фазо-частотной и фазо-временной областях. Эти зависимости представлены на двух рисунках со многими графиками и двумя матрицами корреляций. Они характеризуют изменчивость составляющих мирового водного баланса изменениями гелиокосмическими и климатическими переменными в двух областях в наблюдаемом интервале времени и являются отражениями изменений в самоорганизующейся климатической системе. В изменениях фазо-временных характеристик групп факторов

наблюдаются решетчатые структуры разно и однонаправленных изменений переменных, характеризующие цикличность изменений климата на Земле

Ключевые слова: самоорганизующаяся климатическая система, гелиокосмические и климатические переменные, временные ряды составляющих мирового водного баланса, вейвлетные фазо-частотные и фазо-временные характеристики переменных, матрицы корреляций группы фазовых характеристик

**INVESTIGATION OF THE CONSISTENCY OF CHANGES
IN THE WAVELET PHASE CHARACTERISTICS
OF HELIOCOSMIC AND CLIMATE VARIABLES
AND CHANGES IN THE COMPONENTS OF THE WORLD WATER BALANCE.
PART 1**

Valery I. Alekseev

*Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Digital Technologies,
Institute of Digital Economy,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: v_alekseev@ugrasu.ru*

The relevance of research is due to the need to establish the true causes and patterns of changes in the hydrometric characteristics of the world water balance, which determine the global climate on Earth.

The purpose of research: to establish the patterns and causes of changes in the world water balance variables on Earth: the availability of ground and groundwater, river flows on continents, on land, components of the World Ocean water balance in anomalies, changes in the atmospheric regime, the level of lakes, the Caspian Sea, mountain glaciers, clouds and other natural environments, given in the form of time series, due to changes in heliocosmic and climatic factors under the influence of the barycentric movements of the Sun, which determine the climate on Earth.

The objects of research: time series of heliocosmic and global climate variables, hydrometric components of the world water balance.

The methods of research: a method developed by the author for the interaction of observations of a variable or variables with groups of given heliocosmic and climatic factors in the frequency and time domains, obtained using wavelet transforms with the calculation of phase-frequency and phase-time characteristics of observations in equal time intervals; comparative analysis of changes in the obtained phase characteristics of groups of variables with the calculation of their consistency matrices and plotting in the frequency and time domains.

Results: two groups of variables are involved in cyclic climate change on Earth, hydrometric characteristics of the world water balance, natural environments: heliocosmic (barycentric motions of the Sun, solar activity, long-term solar insolation, volcanic eruptions and greenhouse gases, ozone concentration in the ionosphere, elements of the Earth's orbit, geomagnetic field, magnetic field of the Sun) and global temperature climatic variables due to changes in heliocosmic factors, the leading of which is the barycentric motion of the Sun. By analyzing the wavelet phase-frequency and phase-time characteristics of the group of hydrometric characteristics of the world water balance, heliocosmic and climatic variables in the phase-frequency and phase-time domains, the dependences of changes in the hydrometric characteristics of the world water balance by changes in heliocosmic and climatic variables in the phase-frequency and phase- temporary areas. These dependencies are presented in two figures with many graphs and two correlation matrices. They characterize the variability of the components of the world water balance by changes in heliocosmic and climatic variables in two areas in the observed time interval and are reflections of changes in the self-organizing climate system. In changes in the phase-time characteristics of groups of fac-

tors, lattice structures of differently and unidirectional changes in variables are observed, which characterize the cyclical nature of climate changes on Earth.

Keywords: self-organizing climate system, heliocosmic and climatic variables, time series of global water balance components, wavelet phase-frequency and phase-time characteristics of variables, correlation matrices of the group of phase characteristics

Введение

Вода в виде пара, капель жидкой влаги, кристаллов льда находится в земной атмосфере, вода в жидком и твердом состоянии находится на поверхности Земли, в подземных водах в жидком, твердом и химически связанном состоянии в процессе круговорота воды в природе. Воды гидросферы Земли являются основой всех процессов, протекающих на поверхности Земли, в ее недрах, они играют основополагающую роль в геологической истории Земли, в формировании физической и химической среды, климата и погоды, в возникновении жизни на Земле и ее развитии [1,2]. В этих состояниях количество воды в определенных объемах атмосферы, на поверхности Земли и в ее глубинах залегания циклически изменяются с определенными периодичностями: изменяются уровни морей и океанов, озер [3], стоки рек, водохранилищ [4], площади льдов на поверхности морей и океанов [5]. С изменениями атмосферных и гидросферных процессов на Земле тесно согласованы и возникновение опасных природных явлений и лесных пожаров, наносящие огромные потери [6]. В научной литературе в качестве причин крупных изменений гидросферы указываются тектонические процессы и эволюцию континентов, планетарные трансгрессии и регрессии, человеческая деятельность, связанная с использованием углеродных и водных ресурсов, климатическими изменениями [2]; отсутствуют публикации, связанные с анализом влияния барицентрических движений Солнца на изменчивость гелиокосмических и климатических переменных, составляющих мирового водного баланса, климата на Земле.

Цель исследования – установление закономерностей и причин изменений гидрометрических характеристик мирового водного баланса на Земле: грунтовых и подземных вод, уровня мирового океана и толщины льда, уровня озер, стоков рек, атмосферных процессов, горных ледников, облачности, как наиболее подвижных составляющих литосферы, природных сред, обусловленные изменениями гелиокосмических и климатических факторов под влиянием барицентрических движений Солнца, определяющих климат на Земле.

Результаты и обсуждение

Исходные данные

Решение задачи производится анализом графиков изменений гелиокосмических, климатических переменных и природных сред, публикуемых в научной литературе. В качестве таких переменных использованы графики изменений барицентрического движения Солнца, солнечной активности, многолетней инсоляции Солнца, климатических переменных, балансов водных ресурсов, изменений других природных сред и процессов. Точностные характеристики измеренных переменных определяются характеристиками использованных при этом датчиков [7].

Исследования основаны на использовании вейвлетного фазового метода, изложенного в [8–10], основанного на использовании вейвлетного преобразования [8, 11] с вычислением фазо-частотных $\varphi_{f_i}(a, \bar{b})$ и фазо-временных $\varphi_{f_i}(\bar{a}, b)$ характеристик группы сравниваемых переменных $f_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ в равных интервалах времени $tn \div tk$, построением графиков характеристик на двух рисунках и вычислением двух матриц корреляций между характеристиками, анализа результатов.

Формулы вейвлетных преобразований [8,11]:

$$W_{\psi}(a, b) = \int_{tn}^{tk} f(t) \psi_{ab}(t) dt,$$

вычисление коэффициентов вейвлет-преобразования функции $f(t)$, заданной во временном интервале (tn, tk) наблюдения с использованием комплексного вейвлета $\psi_{ab}(t) = 'cgau5'$ с параметрами вейвлета: a – задаваемый исследователем масштаб вейвлета в виде $a=1:k$ (выбор максимального значения k масштаба вейвлета, определяющего полосы частот сигналов, производится экспериментально с вычислением фазо-частотных характеристик сигналов; зависит от временного интервала наблюдения), b – временной сдвиг;

$$\varphi_{f_i}(a, b) = \arctg \frac{\text{Im}[W_{\psi}(a, b)]}{\text{Re}[W_{\psi}(a, b)]} - \text{фазо-временная функция (матрица) в Matlab}$$

однозначно вычисляется процедурой $\varphi_f(a, b) = \text{angle}(W(a, b))$; вновь введенные $\varphi_{f_i}(a, \bar{b}), \varphi_{f_i}(\bar{a}, b)$ – фазо-частотная и фазо-временная характеристики исследуемой функции $f(t)$ в текущие моменты времени; \bar{a} и \bar{b} – знаки усреднений в матрице $\varphi_f(a, b)$. Они однозначно вычисляются программно усреднением матрицы $\varphi_f(a, b)$ по столбцам (дискретам времени b) и строкам (дискретам масштаба вейвлета a) соответственно с использованием элементарных операций усреднения. $a1 = \varphi_{f_i}(a, \bar{b})$ – фазо-частотная характеристика переменной $f(t)$ определяет изменение фазы отклика сигнала при изменении его частоты влияниями множества факторов в исследуемом интервале времени $tn \div tk$, на графиках которых отображаются особенности (экстремумы) изменений фазы, бифуркации частот, характеризующие особенности, смену направленностей действий фактора (ов). $a2 = \varphi_{f_i}(\bar{a}, b)$ – фазо-временная характеристика переменной $f(t)$ определяет изменение фазы (направленности изменения) сигнала $f(t)$ по времени на действующие факторы; фазовые характеристики сигналов изменяются в интервале $\pm \pi$. Графики изменений характеристик группы переменных по наблюдениям в равных интервалах времени $tn \div tk$ отражают отличия, особенности, закономерности изменений фазо-частотных характеристик, принадлежность к той или иной группе; и изменений фаз переменных по времени на графиках фазо-временных характеристик на действия факторов среды: гелиокосмических и климатических, – отражают новизну и преимущества метода по сравнению с известными методами [12–14], не позволяющие производить удобное сравнение и анализ переменных. Известные методы анализа данных не позволяют извлечь из исходных сигналов всю полезную составляющую фазо-частотных изменений, обусловленные взаимодействием природных сред с гелиокосмическими и климатическими переменными.

В системе координат масштабы вейвлета – фазы, представленных на графиках, масштабам вейвлета соответствуют частоты сигнала [8]; по этой причине графики на рисунках названы фазо-частотными.

Вейвлетные фазовые характеристики отобранной исследователем группы составляющих водного баланса, природных сред являются откликами, реакциями на воздействия гелиокосмических и климатических факторов, отбираемых также исследователем, закономерностями, особенностями, отличительными откликами на воздействия. Матрицы корреляций, и графики фазовых характеристик группы исследуемых переменных на двух рисунках отражают основные свойства (относительные изменения фаз по частотам и фаз по времени) отобранной группы переменных к изменениям гелиокосмических и климатических факторов в равных интервалах наблюдений; позволяют разделить изменения переменных на группы по действующим факторам. Матрица фазо-частотных характеристик группы переменных характеризует согласованность изменений фаз составляющих группы по частотам в среднем, матрица фазо-временных характеристик, – согласованность изменений фаз переменных группы по времени с учетом направленностей изменений (фаз) составляющих характеристик; матрицы корреляций характеризуют согласованность изменений графиков фазовых характеристик переменных в наблюдаемых интервалах времени в среднем.

Изменения обеспеченности уровня грунтовых и подземных вод

В исследуемую группу введены подгруппы переменных: гелиокосмические (брицентрические движения Солнца (Baricentr) [15], солнечная активность (Sact) [16], многолетняя инсоляция Солнца (Insol), вулканические извержения (Vulkan), концентрации в атмосфере парниковых газов: метана (CH_4), двуокиси углерода (CO_2), оксида азота (N_2O) [8, 9]; климатические переменные: солнечная радиация [17] (Srad1), разность радиации (Srad2), приходящей в экваториальную и полярные области Земли (относительно средних для периода 1961-1990 гг), аномалии температуры воздуха над сушей (PTV) [18] и над океаном (TPO) [19], уровень мирового океана (YMO) [20], приземная температура (Temp.prizemn) [21]; обеспеченности уровня грунтовых вод [4]: на территории бывшего СССР (Grunt1), ЕТС (Grunt2), Казахстана и Средней Азии (Grunt3), США (Grunt4), обобщающей для континентов (Grunt5); уровня подземных вод [4]: обеспеченности (Podzemn1), приращение его от года к году (Podzemn2), приращения общего объема подземных вод (Podzrm3).

На рисунке 1 приведены графики вейвлетных фазовых характеристик $a1_{\varphi_f(a, \bar{b})}$ и $a2_{\varphi_f(\bar{a}, b)}$, где \bar{a} и \bar{b} – знаки вычислений средних, усреднений по параметрам вейвлетного преобразования $\varphi_f(a, b)$, – времени наблюдения b и масштабу вейвлета $a=1:350$.

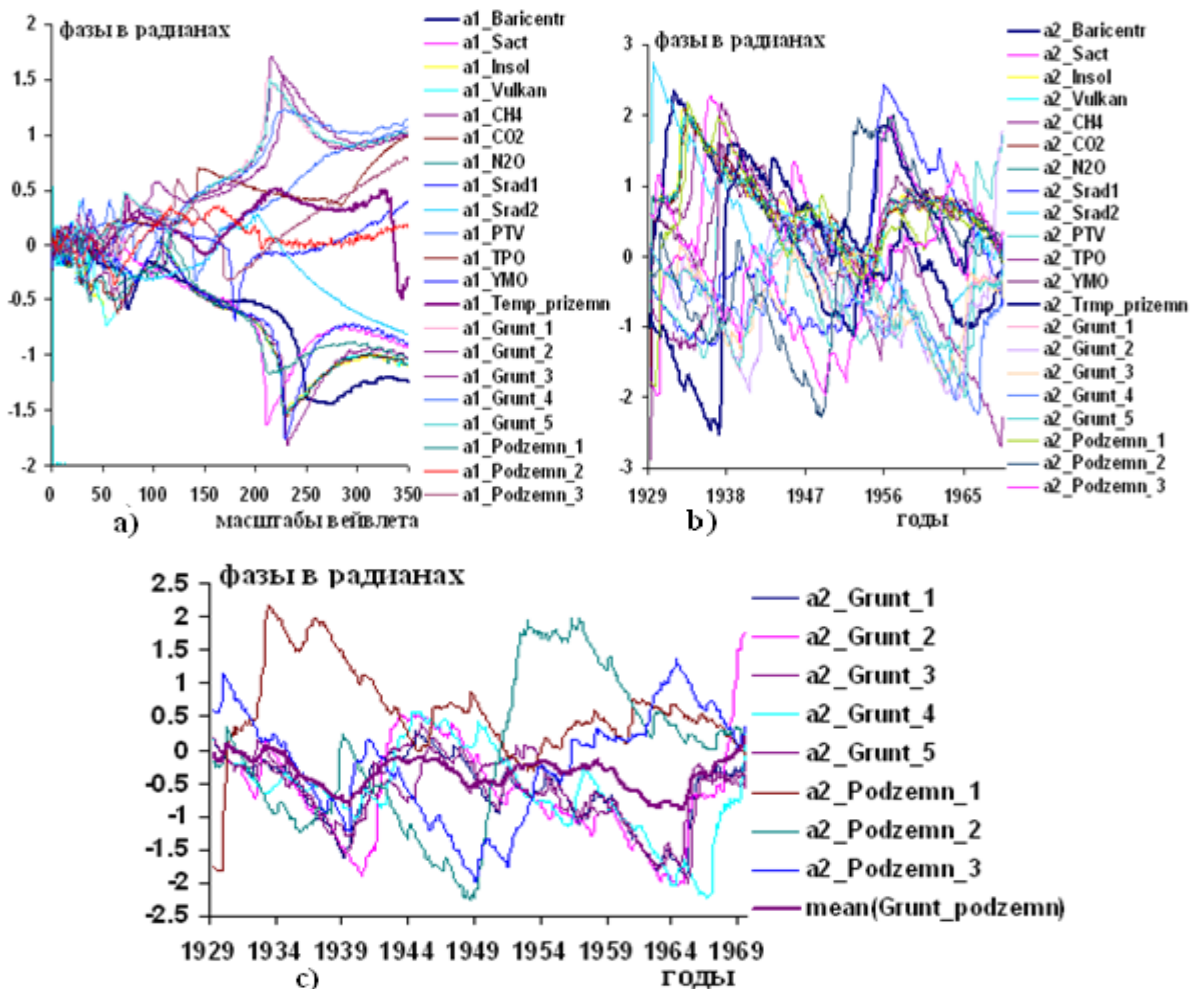


Рисунок 1 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$ и фазо-временных $a1 = \varphi_f(\bar{a}, b)$ характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатических (Srad1, Srad2, PTV, TPO, YMO, Temp.prizemn) переменных и составляющих водного баланса грунтовых (Grunt1, ..., Grunt5) и подземных вод (Podzemn1, ..., Podzemn3); в) вейвлетных фазо-временных характеристик грунтовых и подземных вод и усредненной характеристики уровней грунтовых и подземных вод (mean(grunt_podzemn)) в интервале наблюдений 1929,3–1969,6 гг.

Изменения уровней грунтовых и подземных вод описываются в работах [22–24]. На графиках а и б рисунка 1 приведены закономерности изменений фаз сигналов при изменении их частотных составов и фаз переменных по времени в интервале наблюдений 1929,3-1969,6 трех групп переменных: гелиокосмических, климатических, уровней подземных и грунтовых вод на континентах. На графиках наблюдаются отличия и схожести изменений групп переменных в фазо-частотной и фазо-временной областях. Отметим, что близость изменений переменных в фазо-частотной области с высоким коэффициентом корреляции является признаком близости фазо-частотных изменений этих переменных в наблюдаемом интервале времени.

- 1) На графиках а и б рисунка 1 отображаются закономерности распределений взаимодействий группы переменных в фазо-частотной и фазо-временной областях в наблюдаемом интервале времени.
- 2) Выявляется, что изменения уровней грунтовых и подземных вод за исключением обеспеченности грунтовых вод Podzemn_1, происходят в противофазе с изменениями гелиокосмических переменных с высокой согласованностью $k = 0,73-0,95$ в фазо-частотной области и с $k=|0,10-0,37|$ в фазо-временной области.

3) На изменчивость уровней грунтовых и подземных вод существенны и влияния климатических переменных, в особенности РТВ, ТРО, УМО и приземной температуры f_3 с $k=|0,49-0,92|$ в фазо-частотной области, характеризующее близость частотных составов переменных. 4) На изменения уровней грунтовых вод существенны изменения обеспеченности подземных вод с $k = - (0,73-0,98)$ в фазо-частотной области. 5) На изменения гелиокосмических и климатических переменных более чувствительны изменения уровней грунтовых вод и обеспеченность грунтовых вод Podzemn_1 в фазо-частотной области с $k=|0,49-0,96|$ по сравнению с изменениями приращений подземных вод с $k=|0,10-0,61|$. 6) Изменения грунтовых вод, значительно, с $k = - 0,92 (0,03)$, изменения подземных вод с $k=|0,10-0,96|$ согласованы с изменениями осадков, испарений и испаряемости на суше в фазо-частотной области; в фазо-временной области эти подгруппы согласованы с $k = - 0,11 (0,03)$ и с $k=|0,20-0,72|$ соответственно. 3) Графики с на рисунке 1 отражают цикличность изменений уровней грунтовых и подземных вод по наблюдениям за переменными в 1929,3-1969,6 годы с периодичностями: 24,2, 12,3 (0,8), 8,3 (1,6), 3,9 (0,6), 1,8 (0,4) лет. Периодичности переменных вычислены с построением изображения вейвлетной фазо-временной функции $\varphi_f(a,b)$ усредненной переменной $\text{mean}(\text{Grunt_podzemn})$; на графиках с рисунка 1 (в скобках указаны стандартные отклонения σ оценивания среднего), на которых наблюдаются переходы однонаправленных изменений переменных к разнонаправленным, временные интервалы перестроек всей группы переменных в изменении климата.

Изменения стока рек на континентах

В группу исследуемых переменных включены подгруппы: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатические (Srad1, Srad2, РТВ, УМО, Temp.prizemn), стоки рек на континентах (Енисей (Enisey), Яны (Jana), Лены (Lena), Оби (Oby), Урала (Ural), Меконга (Mekong), Ориноко (Orinoco), Параны (Parana), Сан-Франциску (S.Frantis)) [4].

На рисунке 2 представлены графики изменений вейвлетных фазо-частотных $\varphi_f(a,\bar{b})$ и фазо-временных $\varphi_f(\bar{a},b)$ характеристик группы взаимодействующих переменных, вычисленных при масштабах вейвлета $a=1:400$ по наблюдениям в интервале 1939–1983,6 гг.

Характеристик групп гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатических (Srad1, Srad2, РТВ, УМО, Temp.prizemn) переменных и стоков рек на континентах (Енисей (Enisey), Яны (Jana), Лены (Lena), Оби (Oby), Урала (Ural), Меконга (Mekong), Ориноко (Orinoco), Параны (Parana), Сан-Франциску (S.Frantis)) по наблюдениям в

1939-1983,6 гг; с) вейвлетных фазо-временных характеристик стоков рек и их усредненных изменений $\text{mean}(\text{Stok_Rek})$ в интервале наблюдений 1939–1983,6 гг.

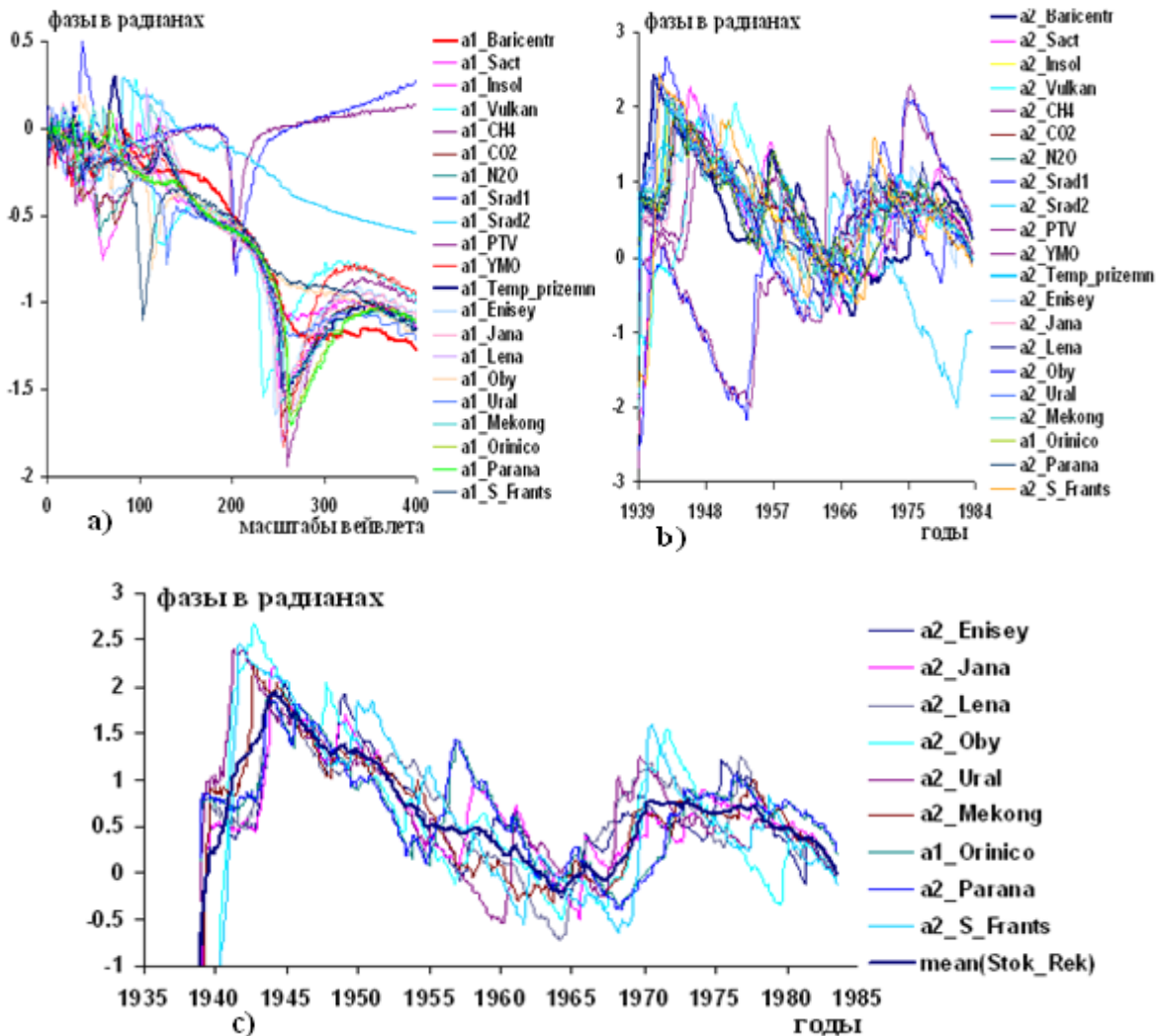


Рисунок 2 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных

В работах [25–28] приводятся характеристики изменчивости речных русел, использованных водных ресурсов и проблемах их доступности в мире. На графиках а и б рисунка 2 отражаются высокие согласованности изменений стоков рек на континентах с изменениями гелиокосмических факторов f_1 и f_2 , – барицентрических движений Солнца $Rbar$ и солнечной активности $Sact$, многолетней инсоляции $Insol$, вулканических извержений $Vulkan$ и парниковых газов CH_4 , CO_2 , N_2O ; глобальных климатических переменных: солнечной радиации $Srad1$ и $Srad2$, приповерхностной температуры воздуха PTV , уровня мирового океана YMO , приземной глобальной температуры f_3 . 1) На графиках а и б рисунка 2 отражаются особенности изменений фаз переменных при изменениях их частотных составов, изменений фаз переменных по времени по наблюдениям за переменными в 1939-1983,6 годы. На графиках четко проявляются распределения изменений переменных на две группы, отличающиеся по спектрам частот. К одной группе относятся изменения солнечной радиации $Srad1$, $Srad2$ и изменение приповерхностной температуры воздуха PTV , ко второй группе относятся изменения гелиокосмических переменных f_1 , f_2 , $Insol$, $Vulkan$, CH_4 , CO_2 , N_2O , уровень мирового океана YMO , приземная температура f_3 и стоки рек; спектры частот групп переменных смещены относительно друг от друга. 2) На графиках б фазо-временных характеристиках

наблюдается значительная согласованность изменений солнечной радиации $Srad1$ и приповерхностной температуры воздуха PTV на всем интервале наблюдений с $k = 0,94$. При этом изменения составляющих второй группы в фазо-частотной области согласованы в среднем с $k = 0,74-0,97$, в фазо-временной области с $k=|0,10-0,88|$; изменения составляющих первой группы в фазо-частотной области согласованы с $k=|0,10-0,86|$, в фазо-временной области согласованы с $k=|0,23-0,54|$. Изменения стоков рек на континентах согласованы также с изменениями климатической переменной $Srad2$, – разности солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярные области Земли [17], приповерхностной температуры воздуха PTV , уровня мирового океана УМО и приземной глобальной температуры f_3 с $k=|0,42-0,98|$ в фазо-частотной области и с $k=|0,34-0,84|$ в фазо-временной области.

3) На графиках фазовых изменений переменных наблюдается значительная обусловленность изменений стоков крупных рек на континентах изменениями гелиокосмических факторов, изменениями барицентрических движений Солнца с $k = 0,89 - 0,96$ в фазо-частотной области, характеризующие согласованность изменений частотного состава стоков крупных рек на континентах и барицентрических движений Солнца; 4) Изменения стоков крупных рек, значительно, с $k = 0,95 (0,02)$ в фазо-частотной области и с $k = 0,74 (0,23)$ в фазо-временной области, согласованы с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше по наблюдениям в 1936,5–1975 годы.

На графиках *b* рисунка 2 наблюдаются структуры разно и однонаправленных изменений фазо-временных характеристик переменных, характеризующие цикличность согласованностей изменений переменных, перестройку в климатических изменениях с изменениями барицентрических движений Солнца; на графиках *c* рисунка 2 приводятся кривые изменений стоков рек на континентах и их усредненных значений в интервале времени наблюдений 1939–1983,6 годы, на которых наблюдается значительная согласованность изменений стоков рек, расположенных на разных континентах и отличающиеся по фазам, указанных и в [1]; периодичности изменений составляющих усредненной кривой: 30,3, 27,9, 14,1, 8,9 (1,6), 6,6 (1,7), 2,7 (0,7) лет, вычисленные по изображению фазо-временной характеристики $\varphi_f(a,b)$ усредненной переменной $mean(Stok\ Rek)$, приведенной на графиках *c* рисунка 2.

Изменение стока воды на суше

В группу исследуемых переменных включены подгруппы: гелиокосмические ($Baricentr$, $Sact$, $Insol$, $Vulkan$, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатические ($Srad1$, $Srad2$, PTV , УМО, явление Эль-Ниньо (E/N), $Temp.prizemn$), стоки вод на суше [4] (поверхностный сток в целом ($Stok1$), стоки внутренних областей ($Stok2$), поверхностный и подземный сток континентов ($Stok3$), сток с островов в океан ($Stok4$) по наблюдениям в 1900–1974,3 гг.

На рисунке 3 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных $\varphi_f(a,\bar{b})$ и фазо-временных $\varphi_f(\bar{a},b)$ характеристики группы переменных, вычисленных при масштабе вейвлета $a=1:700$ по наблюдениям в интервале 1900–1974,3 гг.

На графиках *a* и *b* рисунка 3 приведены вейвлетные фазо-частотные и фазо-временные характеристики группы, состоящей из гелиокосмических факторов, климатических переменных, содержащих составляющие стока рек на суше: поверхностного стока в целом, стоков внутренних областей, поверхностного и подземного стока континентов и стока с островов в океан [1]. Фазо-частотные характеристики каждого из переменных на графике характеризуют частотный состав переменных в наблюдаемом интервале времени и их изменения по фазе в интервале $\pm \pi$; такие характеристики группы переменных в одной системе координат: масштабы вейвлета (по абсциссе) и фазы (по ординате) отражают относительные изменения частот сигналов и фаз составляющих группы, их отличительные особенности, закономерности изменений подгрупп на действующие факторы. 1) По графикам *a* и *b* изменения переменных удобно разделить на подгруппы; к первой относятся изменения: $Baricentr$, $Sact$, $Insol$, $Vulkan$, CH_4 , CO_2 , N_2O - гелиокосмические переменные, к второй относятся: $Srad1$, $Srad2$,

PTV, YMO, E/N, Temp.prizemn, Stok1,...,Stok4 – климатические переменные, обусловленные изменениями переменных первой группы, – гелиокосмических переменных.

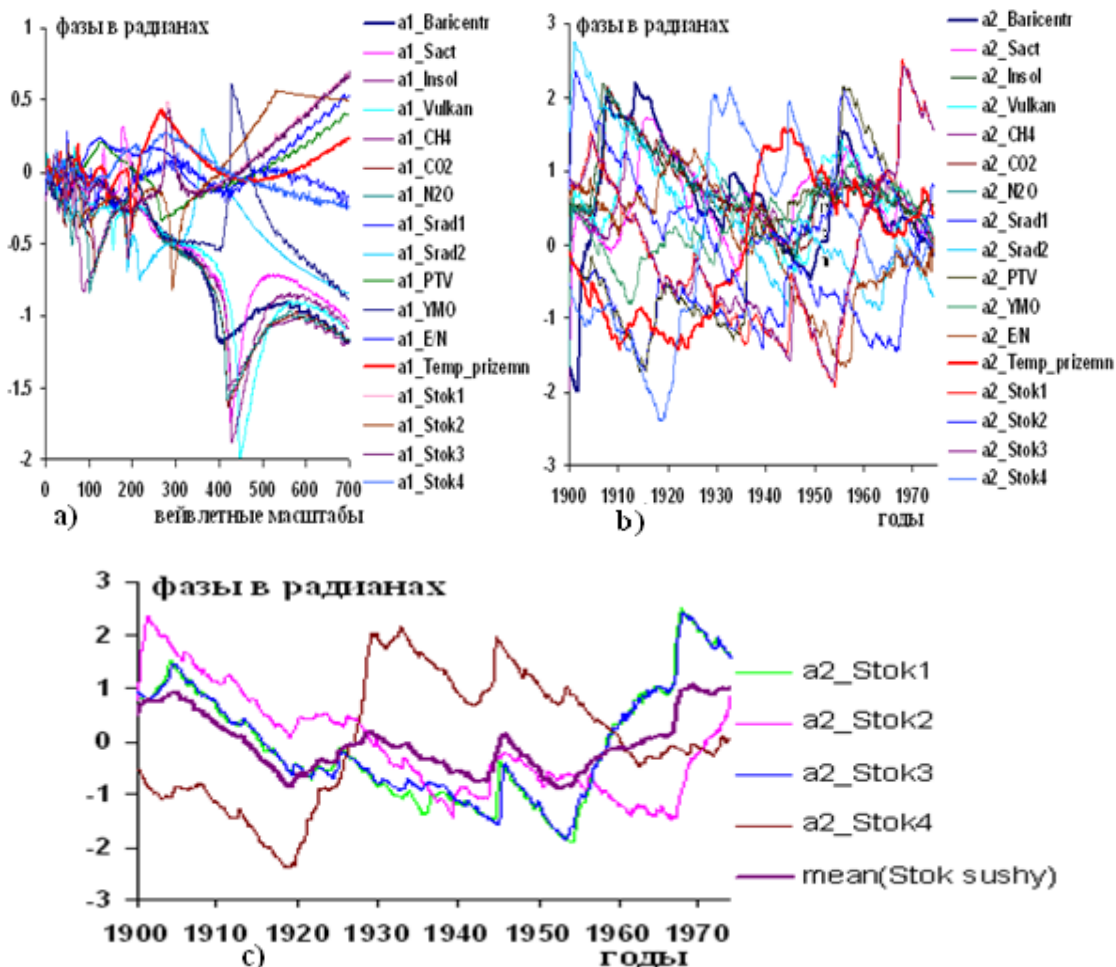


Рисунок 3 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных: f_1 , f_2 , *Insol*, *Vulkan*, CH_4 , CO_2 , N_2O , *S.rad1*, *S.rad2*, *PTV*, *YMO*, *El – Nino* (E/N), f_3 ; в) фазо-временных характеристик изменений стоков рек на суше: *Stok1*, *Stok2*, *Stok3*, *Stok4* и усредненных значений этих переменных *mean(stok sushy)* в интервале наблюдений 1900–1974,3 гг.

2) Изменения стоков вод на суше в фазо-частотной области согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = |0,41-0,73|$, с изменениями климатических переменных, – с $k = |0,10-0,82|$; в фазо-временной области изменения стоков вод на суше согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = |0,10-0,66|$, с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,87|$. 3) Изменения стоков вод на суше в фазо-частотной области взаимосогласованы с $k = |0,66-0,95|$, в фазо-временной области, с $k = |0,36-0,99|$. 4) Установлено, что изменения поверхностного стока вод на суше в целом, поверхностного и подземного стока вод на суше континентов в фазовых областях изменений почти идентичны, графики изменений фазовых характеристик переменных на всем интервале наблюдений почти совпадают, наблюдаемые на графиках а и б рисунка 3 с $k = 0,95$. Наблюдается, что на изменения стоков вод на суше большее влияние оказывают изменения климатических переменных: изменения приземной глобальной температуры, уровня и энергетических характеристик океана, обусловленные изменениями гелиокосмических переменных, барицентрического движения Солнца. На изменчивость стоков рек на суше существенны влияния испарений, испаряемости и осадков на суше с $k = -0,62$ (0,07) в фазо-временной области, при этом

стоки с островов в океан происходят в фазе с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше; наблюдается разнонаправленная изменчивость стоков рек на суше изменениями облачности на континентах с $k = |0,10-0,73|$ в фазо-частотной и с $k = |0,10-0,45|$ в фазо-временной областях. 5) На графиках в рисунков 2 и 3 изменений фазо-временных характеристик стоков рек на континентах и стока воды на суше наблюдаются существенные отличия в разбросанности изменений кривых относительно условного среднего, обусловленное с преимущественным влиянием гелиокосмических факторов в изменении стоков рек и преимущественным влиянием климатических факторов в изменении стоков вод на суше.

Установлено, что периодичности изменений стоков воды на суше по наблюдениям за переменными в 1900–1974,3 годы влияниями гелиокосмических и климатических факторов составляют: 35,7, 21,2 (2,3), 11,2 (0,9), 6,0 (1,3), 3,6 (0,9), 1,8 (0,5) лет; в скобках указаны стандартные отклонения оценок средних. Периодичности усредненной переменной $mean(Stok\ sushy)$, приведенной на графиках с рисунка 3, получены с использованием ее фазо-временного изображения $\varphi_f(a,b)$. [8].

Изменения составляющих водного баланса Мирового океана в аномалиях

В группе исследованы гелиокосмические, климатические переменные и составляющие водного баланса Мирового океана в аномалиях: испарений (dZ_ocn), осадков (dX_ocn), речного и ледникового стоков (dY_ocn), годового приращения вод океана (dQ_ocn) [4].

На рисунке 4 приведены изменения вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных по наблюдениям в 1881,1-1975 гг

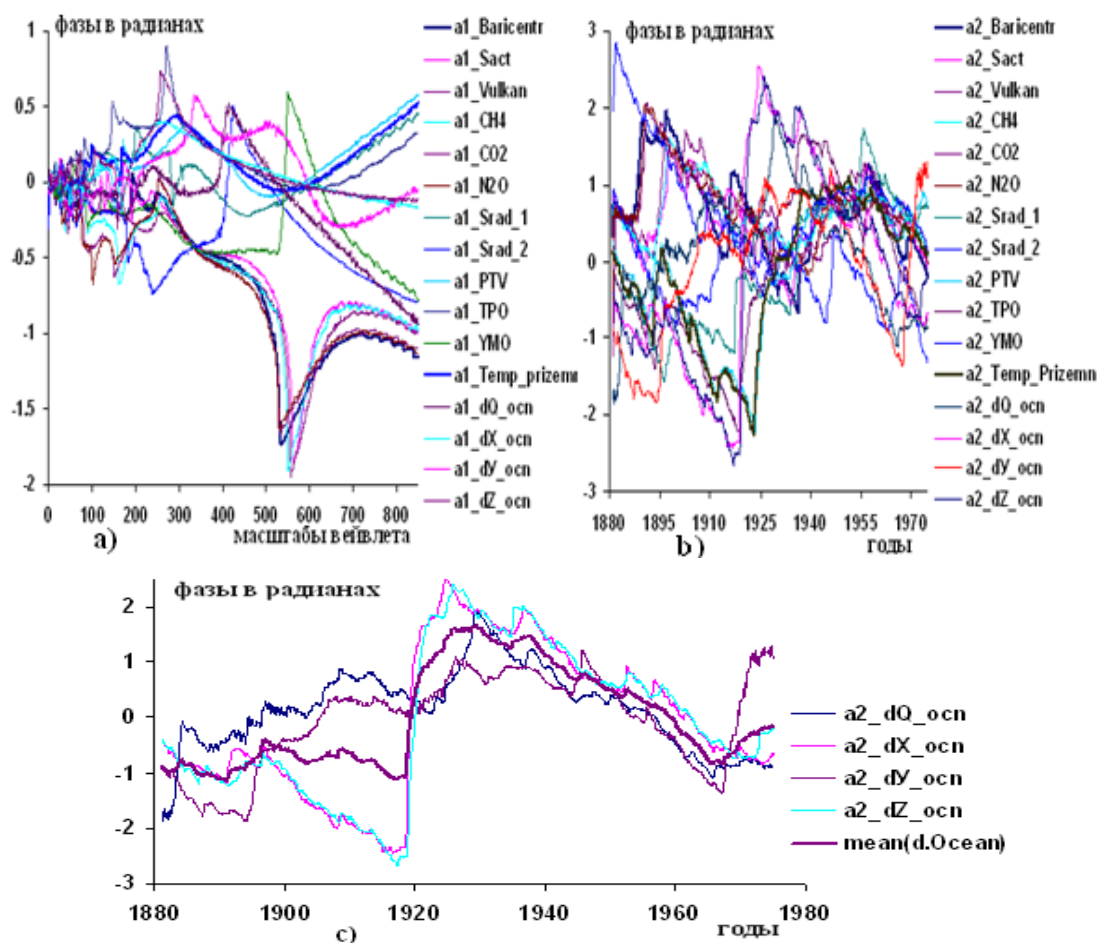


Рисунок 4 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Vulkan, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатических (Srad1, Srad2, PTV, TPO, YMO, Temp.prizemn), составляющих Мирового водного баланса океана в аномалиях (dQ_ocn , dX_ocn , dY_ocn , dZ_ocn); в) вейвлетных фазо-временных характеристик

составляющих водного баланса Мирового океана в аномалиях dQ, dX, dY, dZ и их усредненной кривой $\text{mean}(d.ocean)$ в интервале наблюдений 1881,1–1975 годы

В работе [28] дается описание проблемы загрязнения Мирового океана. Отклики составляющих водного баланса Мирового океана на изменения гелиокосмических и климатических переменных в интервале времени 1881,1–1975 гг. в виде графиков фазо-частотных и фазо-временных характеристик, представлены на рисунках а и б и таблицами корреляций вейвлетных фазовых характеристик переменных. Из них следуют такие особенности и закономерности: 1) в фазо-частотной области изменения составляющих водного баланса Мирового океана с широкой полосой частот в области верхних частот смещены относительно компактно изменяющихся составляющих гелиокосмических переменных в меньшую сторону в противофазе; изменения этих переменных согласованы в среднем с $k = 0,41$; 2) в фазо-временной области, на графике б, изменения этих групп переменных происходят в среднем в противофазах и согласованы с $k = -0,36$; характерно то, при изменении двух групп переменных, гелиокосмических переменных и составляющих водного баланса Мирового океана, наблюдаются циклические структуры ромбовидной формы, уменьшающиеся по площади, характеризующие закономерность изменения климата; 3) в фазовых областях группы климатических переменных $Srar1, Srad2, TPV, TPO, YMO, f_3$ и составляющих водного баланса Мирового океана dQ, dX, dY, dZ , представленных на графиках, изменяются в среднем в противофазах с согласованностью $k = 0,02$ в фазо-частотной области и с $k = 0,12$ в фазо-временной области; в изменениях этих групп переменных в фазо-временной области в наблюдаемом интервале времени также наблюдаются ромбовидные структуры; 4) изменения составляющих водного баланса Мирового океана в фазо-частотной области взаимосогласованы с $k = |0,66-0,95|$, в фазо-временной области с $k = |0,36-0,99|$, т.е. составляющие группы в некоторых интервалах времени изменяются в противофазах; в этой группе изменения составляющих dX и dZ (осадков и испарений) в фазовых областях согласованы с $k = 0,94-0,95$; 5) в изменениях составляющих водного баланса Мирового океана наблюдается преимущественная направленность влияния гелиокосмических переменных с $k = 0,41$ в фазо-частотной области и с $k = -0,36$ в фазо-временной области по сравнению с влиянием климатических переменных с $k = 0,02$ в фазо-частотной области и с $k = 0,12$ в фазо-временной области. 6) цикличность изменений водного баланса Мирового океана в среднем происходит с периодичностями: 41,4, 26,7 (2,3), 15,3 (1,9), 12,0 (2,6), 7,0 (1,8), 1,7 (0,4) лет, вычисленные на фазо-временном изображении усредненной переменной mean , приведенной на графике с рисунка 4; 7) на графиках б рисунка 4 изменений фазо-временных характеристик группы переменных наблюдаются временные интервалы перестроек изменений климата на Земле.

Изменения в режиме атмосферы

В группе взаимодействующих переменных использованы гелиокосмические, климатические факторы и составляющие водного баланса в режиме атмосферы: колебания площади Алеутской депрессии ($Atm1$), возникновение тропических штормов в Северной Атлантике ($Atm2$), развитие глубоких циклонов в Европе ($Atm3$), увеличение тропических штормов на севере Тихого океана ($Atm4$) [29–31].

На рисунке 5 приведены графики откликов составляющих режима атмосферы в виде изменений фазо-частотных и фазо-временных характеристик на воздействия гелиокосмических и климатических переменных в наблюдаемых интервалах времени 1908,5–1988,5 и 1963,3–1988,5 годы.

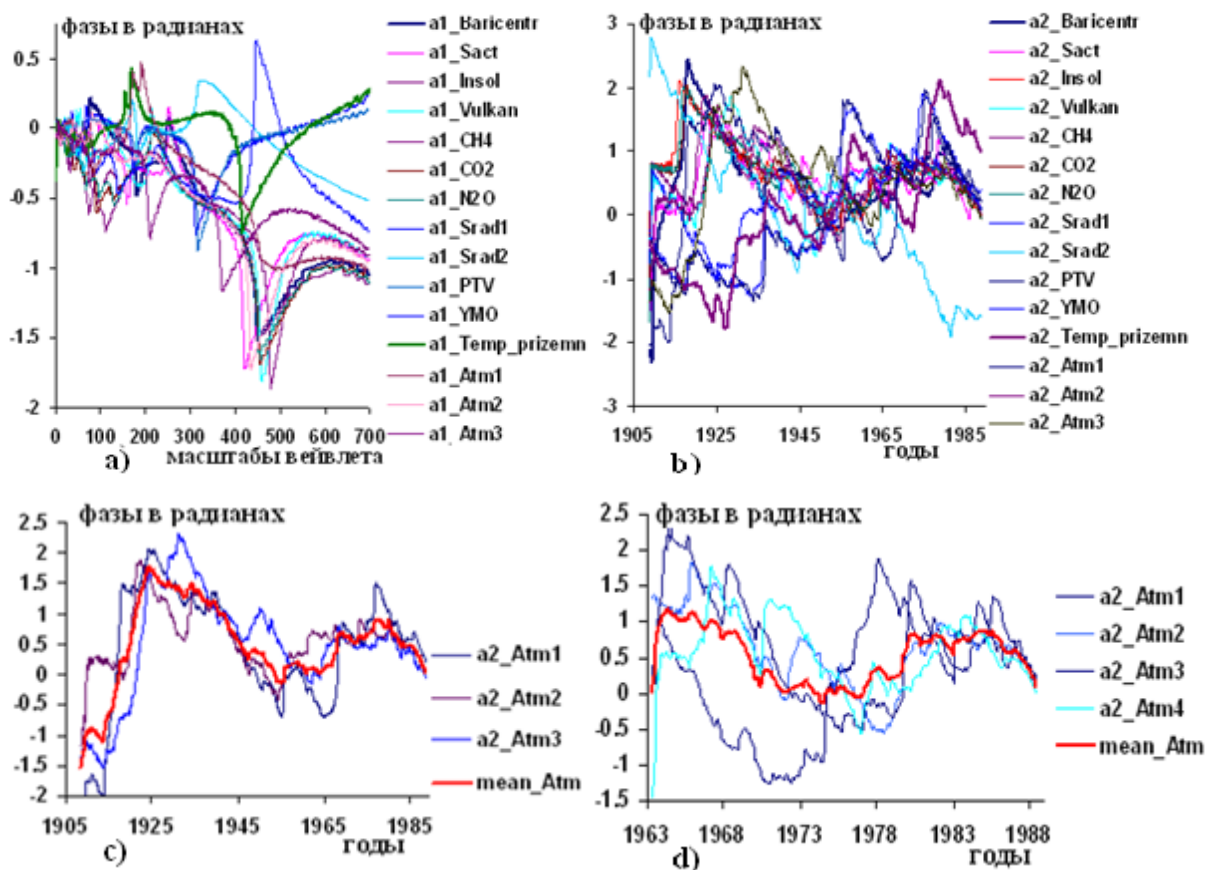


Рисунок 5 – Графики изменений в режиме атмосферы: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических, климатических переменных и составляющих режимов атмосферных процессов (Atm1,...,Atm4) в интервале времени 1908,5–1988,5 годы; с) и d) фазо-временные характеристики изменений режимов атмосферных процессов и их усредненные кривые в интервалах времени 1908,5–1988,5 и 1963,3–1988,5 годы

Примечание: приведенные в работе коэффициенты корреляции $r > |0,10|$ значимы по критерию Стьюдента [13] с уровнем доверия 0,95 при объеме выборки $n > 400$, при $n > 200$ значимы $r > |0,15|$.

Режимы изменений динамики атмосферы сопровождаются циклонами, штормами, ураганами в разных частях земного шара, рост числа этих явлений указаны в работах. Графики а и б вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик действующих факторов, гелиокосмических и климатических переменных и откликов атмосферных процессов на эти воздействия, характеризуют относительные изменения, смещенности переменных в частотной и временной областях в наблюдаемом интервале времени. При этом проявляются следующие закономерности: 1) в фазо-частотной области составляющие атмосферных процессов откликаются на согласованные изменения гелиокосмических переменных с вероятностью $k = 0,80$, в фазо-временной области с $k = 0,43$; 2) эти же атмосферные процессы согласованы с изменениями климатических переменных $Srad1, Srad2, PTV, YMO, f_3$ с $k = 0,10$ в фазо-частотной области и с $k = 0,21$ в фазо-временной области; 3) изменения атмосферных процессов взаимосогласованы с вероятностью с $k = 0,65-0,82$ в фазо-частотной области и с $k = 0,54-0,70$ в фазо-временной области; 4) наблюдается управление изменениями атмосферных процессов гелиокосмическими переменными $f_1, f_2, Insol, Vulkan, CH_4, CO_2, N_2O$ в наблюдаемом интервале времени 1908,7–1988,5 гг; 5) установлена значительная однонаправленная изменчивость атмосферных процессов на континентах с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше с $k = 0,83 (0,10)$ в фазо-частотной области и с $k = 0,39 (0,23)$ в фазо-временной области; атмосферные процессы разнонаправленно изменяются с изменениями облачности с $k = |0,16-0,53|$ в

фазо-частотной области и с $k = |0,01-0,65|$ в фазо-частотной области; 5) циклические изменения атмосферных процессов, представленные на графиках с рисунка 5 происходят в среднем с периодичностями: 66,9, 53,3, 48,8, 45, 17,0 (0,8), 11,8 (3,2), 8,8 (1,2), 4,1 (1,0), 2,3 (0,6) лет.

Заключение и выводы

В изменении климата на Земле, составляющих мирового водного баланса, участвуют две группы факторов: гелиокосмические и климатические. В работе в составе гелиокосмических факторов использованы изменения: барицентрических движения Солнца f_1 , солнечной активности f_2 , многолетней солнечной инсоляции *Insol*, вулканических извержений *Vulkan*, парниковых газов CH_4 , CO_2 , N_2O , изменения магнитных полей Солнца и Земли, в составе климатических переменных использованы изменения переменных: солнечной радиации *Srad1*, *Srad2*, приповерхностной температуры воздуха *PTV*, температуры на поверхности океана ТРО, уровня Мирового океана УМО, глобальной температуры f_3 , зависящие от изменений гелиокосмических факторов.

Вейвлетные фазо-частотные и фазо-временные характеристики составляющих Мирового водного баланса, как отклики на воздействия гелиокосмических и глобальных климатических переменных, представленные на графиках рисунков с их отличительными признаками, характеризуются следующими закономерностями изменений в наблюдаемых интервалах времени:

- 1) В изменении грунтовых и подземных вод в 1929,3–1969,5 гг. наблюдается преимущественное влияние гелиокосмических переменных с $k=|0,73-0,96|$ в фазо-частотной области по сравнению с влиянием климатических факторов с $k=|0,10-0,92|$; при этом в фазовых областях изменений переменных изменения грунтовых вод и составляющая обеспеченности подземных вод происходят в противофазе с изменениями гелиокосмических переменных за исключением интервала времени 1943,8–1954,2 гг., в которой переменные изменяются преимущественно однонаправлено; значительны взаимные корреляции изменений грунтовых вод и обеспеченность подземных вод с $k=|0,91-0,99|$ в фазо-частотной области и с $k=|0,12-0,97|$ в фазо-временной.
- 2) По наблюдениям за переменными в 1900–1974,3 гг. на изменения стоков рек на континентах преимущественное влияние оказывают изменения гелиокосмических факторов с $k = 0,77 - 0,95$ в фазо-частотной области и с $k=|0,15-0,93|$ в фазо-временной; влияния глобальных климатических переменных, соответственно, имеют коэффициенты согласий $k=|0,10-0,87|$ и $k=|0,10-0,78|$ в фазовых областях. В фазовых областях взаимные корреляции стоков рек на континентах влиянием общих факторов составляют: $k = 0,84-0,98$ и $k = 0,61-0,94$.
- 3) В изменении стоков рек на суше наблюдается преимущественное влияние изменений климатических переменных с $k=|0,10-0,82|$ в фазо-частотной области и с $k=|0,10-0,87|$ в фазо-временной области по сравнению с влиянием гелиокосмических факторов с $k=|0,41-0,73|$ в фазо-частотной области и с $k=|0,10-0,66|$ в фазо-временной; значительны взаимосогласованности изменений стоков рек на суше влиянием общих факторов с $k=|0,66-0,95|$ в фазо-частотной области и с $k=|0,36-0,99|$ в фазо-временной; фазы изменений поверхностного и подземного стока противоположны фазам изменений других составляющих стока воды на суше, обусловленные сложной природой взаимодействий этих процессов.
- 4) В изменении составляющих водного баланса Мирового океана по наблюдениям в 1881,1–1975 гг. более интенсивны влияния гелиокосмических факторов с $k=0,41$ в фазо-частотной области и с $k=-0,36$ в фазо-временной области по сравнению с влиянием климатических переменных с $k=0,02$ в фазо-частотной области и с $k=0,12$ в фазо-временной области; изменения составляющих водного баланса Мирового океана в фа-

- зо-частотной области взаимосогласованы с $k = |0,66 - 0,95|$, в фазо-временной области, с $k = |0,36 - 0,99|$, т.е. составляющие группы в некоторых интервалах времени изменяются в противофазах; в этой группе изменения составляющих dX и dZ (осадков и испарений) в фазовых областях согласованы с $k = 0,94 - 0,98$.
- 5) В фазо-частотной области составляющие атмосферных процессов откликаются на согласованные изменения гелиокосмических переменных с вероятностью $k = 0,80$, в фазо-временной области, – с $k = 0,43$; эти же атмосферные процессы согласованы с изменениями климатических переменных с $k = 0,10$ в фазо-частотной области и с $k = 0,21$ в фазо-временной области; изменения атмосферных процессов взаимосогласованы с вероятностью с $k = 0,65-0,82$ в фазо-частотной области и с $k = 0,54-0,70$ в фазо-временной области.
- 6) Наблюдаются разнонаправленные изменения фазовых характеристик гелиокосмических и климатических переменных с образованием циклически изменяющихся ромбовидных структур на графиках фазо-временных характеристик переменных, определяющие циклическую изменчивость составляющих мирового водного баланса и перестройку климатических изменений на Земле.
- 7) На графиках фазо-частотных характеристик групп переменных наблюдается значительная согласованность изменений гелиокосмических факторов с изменениями барицентрических движений Солнца с $k = 0,61-0,97$ и составляющих мирового водного баланса с барицентрическими движениями Солнца с $k = |0,47-0,93|$ в наблюдаемых интервалах времени, характеризующие близость частотных составов переменных и их изменчивость по фазе.
- 8) Показано, что используемый вейвлетный фазовый метод с вычислением фазо-частотных и фазо-временных характеристик исследованных групп переменных позволяет утверждать, что основной движущей силой изменений составляющих гидрометрических характеристик мирового водного баланса являются изменения гелиокосмических и климатических переменных, лучистая энергия Солнца и гравитационные силы, обусловленные изменениями барицентрических движений Солнца.

Литература

1. Современные глобальные изменения природной среды : в 2 томах / под редакцией Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – Москва : Научный мир, 2006. – Т. 1. – 696 с. – Текст : непосредственный.
2. Клиге, Р. К. Особенности формирования вод Земли / Р. К. Клиге. – Текст : непосредственный // Современные глобальные изменения природной среды : в 2 томах. – Москва : Научный мир, 2006. – Т. 1. – С. 210–222.
3. Клиге, Р. К. Уровень океана в геологическом прошлом / Р. К. Клиге. – Москва : Наука, 1980. – 110 с. – Текст : непосредственный.
4. Клиге, Р. К. Аномалия режима вод на суше / В. К. Клиге, Л. С. Евсеева. – Текст : непосредственный // Современные глобальные изменения природной среды : в 2 томах. – Москва : Научный мир, 2006. Т. 1. – С. 246–269.
5. Lindsey, R. Climate Change: Global Sea / R. Lindsey // NOAA Climate.gov. – 2021. – URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level> (data of application: 10.03.2022).
6. Pippa, S. Climate change is fueling wildfires in the West, ravaging local economies / S. Pippa // CNBC. – 2020. – URL: <https://www.cnbc.com/2020/09/17/climate-change-fuels-wildfires-in-the-west-ravaging-local-economies.html> (data of application: 10.03.2022).
7. Фрейдин, Я. Современные датчики : справочник / Я. Фрейдин. – Москва : ТЕХНО-СФЕРА, 2021. – 800 с. – Текст : непосредственный.

8. Алексеев, В. И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 1 / В. И. Алексеев. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 238–250.
9. Алексеев, В. И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 2 / В. И. Алексеев. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 8. – С. 99–111.
10. Алексеев, В. И. Применение вейвлетного фазового метода исследований сигналов к анализу асимметричных барицентрических движений Солнца и изменений процессов, происходящих на Солнце, околоземном пространстве и в недрах Земли / В. И. Алексеев. – Текст : непосредственный // Вестник Югорского университета. – 2020. – № 3 (58). – С. 7–35.
11. Дьяконов, В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. – Москва : Солон-Пресс. 2010. – 400 с. – Текст : непосредственный.
12. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Ш. Кремер. – Москва : Юрайт, 2018. – 259 с. – Текст : непосредственный.
13. Luman, R. An Introduction to Statistical Methods & Data Analysis / R. Luman, M. Longnecker. – 7th Edition. – Amazon book clubs, 2021. – 1157 p.
14. Meyer, M. C. Probability and Mathematical Statistics: Theory, Applications, and Practice in R / R. Luman. – SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics), 2019. – 719 p.
15. Охлопков, В. П. Основные периодичности движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и солнечная активность / В. П. Охлопков. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2011. – № 6. – С. 138–142.
16. Hady A. A. Solar Magnetic Cycles 1700-2024 // ResearchGate. – 2020. – URL: <https://www.researchGate.net/figure/Time-series-of-the-sunspot-number-illustrating-the-weak-solar-cycles-series> (data of application: 10.03.2022).
17.]17. Fedorov, V. M. Trends of the changes in sea ice extent in the northern hemisphere and their causes / V. M. Fedorov // Kriosphera Zemli. – 2015. – Vol. XIX, № 3. – P. 46–57.
18. Федоров, В. М. Анализ пространственных откликов приповерхностной температуры воздуха на многолетнюю изменчивость инсоляции Земли / В. М. Федоров. – Текст : непосредственный // Жизнь Земли. – 2017. – № 39 (3). – С. 245–262.
19. Федоров, В. М. Тенденции изменения температуры поверхности мирового океана и их причины / В. М. Федоров. – Текст : непосредственный // Сложные системы. – 2015. – № 2 (15). – С. 45–56.
20. Sea Level // Global climate change. – 2020. – URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> (data of application: 10.03.2022).
21. Rohde, R. Global Temperature Report for 2018 / R. Rohde // Berkeley Earth. – 2019. – URL: <https://berkeleyearth.org/2018-temperatures-new> (data of application: 10.03.2022).
22. Coseismic changes in groundwater level during the 2018. Hokkaido Eastern Iwate earthquake Earth / T. Shibata, R. Takahashi, H. Takahashi, T. Kagoshima [et al.]. – DOI:10.1186/s40623-020-01152-y // Planets and Space. – 2020. – Vol. 72, № 23. – URL: <https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-020-01152-y> (data of application: 10.03.2022).
23. Characterizing groundwater/surface-water interaction using hydrograph-separation techniques and groundwater-level data throughout the Mississippi Delta, USA / C. D. Killian, W. H. Asquith, J. R. Barlow [et al.] // Hydrogeology Journal. – 2019. – Vol. 27, № 6. – P. 2167–2179.

24. Multi-model approach to quantify groundwater-level prediction uncertainty using an ensemble of global climate models and multiple abstraction scenarios / S. M. Mustafa, M. M. Hasan, A. K. Saha [et al.] // *Hydrology And Earth System Sciences*. – 2019. – Vol. 23, № 5. – P. 2279–2303.

25. Lessons learnt from checking the quality of openly accessible river flow data worldwide / L. Crochemore, K. Isberg, R. I. Pimentel [et al.] // *Journal des Sciences Hydrologiques*. – 2019. – Vol. 65, № 5. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/1080/02626667.2019.1659509> (data of application: 10.03.2022).

26. Slater, L. J. River channel conveyance capacity adjusts to modes of climate variability / L. J. Slater, A. Khouakhi, R. L. Wilby // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, № 12619. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-48782-1> (data of application: 10.03.2022).

27. Msofe, K. Land Use Change Trends and Their Driving Forces in the Kilombero Valley Floodplain, Southeastern Tanzania / K. Msofe, L. Sheng, J. Lyimo // *Open Access Journal*. – 2019. – Vol. 11, № 2. – P. 1–25.

28. The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water / World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP). – 2018. – 139 p.

29. Breitburg, D. The Ocean is losing its breath: declining oxygen in the world's ocean and coastal waters-summary for policy makers / D. Breitburg, M. Gregore, K. Isensee // UNESCO intergovernmental Oceanographic Commission. – 2018. – № 137. – URL: <https://www.oceanactionhub.org/ocean-losing-its-breath-declining-oxygen-world's-ocean-and-coastal-waters--summaru-policy-makes> (data of application: 10.03.2022).

30. Halpert, M. S. Climate Assessment for 1996 / M. S. Halpert, G. D. Bell // *Bulletin American Meteorological Society*. – 1997. – Vol. 78, № 5. – P. 1–50.

31. Whitney, L. D. The Relationship Between Sea Surface Temperatures and Maximum Intensities of Tropical Cyclones in the Eastern North Pacific Ocean / L. D. Whitney, J. S. Hobgood // *Journal Climate*. – 1997. – Vol. 10. – P. 2921–2930.