

ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕЙВЛЕТНЫХ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛИОКОСМИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ И ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ МИРОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА. ЧАСТЬ 3

Алексеев Валерий Иванович

доктор технических наук, профессор,

независимый исследователь

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: alekseev_1941@internet.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью установления истинных причин и закономерностей изменений гидрометрических характеристик мирового водного баланса в целом и ее составляющих, природных сред на Земле.

Цель исследования: установление закономерностей и причин изменений составляющих мирового водного баланса на Земле: тенденций приращения запасов водных масс, динамики водного баланса Южных морей Европы, Черного моря, динамики уровней Индийского океана, Западного и Центрального Тихого океанов, Восточного Тихого и Атлантического океанов, колебаний уровня Мирового океана, изменений ледовитостей морей, ресурсов рек, водохранилищ, изменчивости уровней морей Северного Ледовитого океана по наблюдениям на прибрежных станциях, изменений баланса масс льдов в ледниковых районах, изменений межсезонных протаиваний в криолитозонах континента.

Объекты исследования: временные ряды гелиокосмических, климатических переменных, гидрометрических характеристик 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 наблюдений с вычислением фазо-частотных и фазо-временных характеристик в равных интервалах времени; сравнительный анализ изменений полученных фазовых характеристик групп переменных с вычислением их матриц согласованностей и построением графиков в частотной и временной областях.

Основные результаты исследования: в наблюдаемых интервалах времени в тенденции периодических изменений запасов водных масс (ледников, подземных вод, озер, водохранилищ) в частотной области наблюдаются значительные отрицательно однонаправленные влияния изменений гелиокосмических и разнонаправленные влияния климатических переменных; на изменения запасов Мирового океана больше влияют разнонаправленные изменения климатических факторов по сравнению с однонаправленными влияниями гелиокосмических; полосы частот изменений запасов водных масс меньше полос частот гелиокосмических факторов, обусловленные влиянием климатических факторов; изменчивость запасов водных масс на Земле существенно и однонаправленно согласована с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше, разнонаправленно с изменениями облачности на континентах. Аналогичные закономерности наблюдаются в изменениях водного баланса Южных морей в Европе, Черного моря, ледовитостей морей, ресурсов рек, водохранилищ на суше, балансов масс льдов в ледниковых районах, межсезонных протаиваниях в криолитозонах континента. В динамике уровней Индийского, Западного и Центрального Тихого, Восточного Тихого и Атлантического, колебаний уровня Мирового океанов наблюдаются существенные разнонаправленные изменения уровней в частотной области на воздействия гелиокосмических переменных с наибольшими влияниями солнечной активности и многолетней солнечной инсоляции, Ар-индекса геомагнитной активности, параметра β – отношения плазменного дав-

ления к магнитному солнечного ветра, изменений озонового слоя в ионосфере, изменений скорости вращения Земли, существенны влияния климатических переменных в частотной области с наибольшими влияниями солнечной радиации, осадков, атмосферных процессов, РТВ. В изменчивости уровней морей Северного Ледовитого океана по наблюдениям на прибрежных станциях характерна значительная разнонаправленность изменений в частотной области влияниями гелиокосмических и климатических факторов, разнонаправленность взаимных согласованностей составляющих уровней морей океана, обусловленные аномальными изменениями магнитного поля Земли в районах Северного полушария. 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 CLIMATIC VARIABLES AND CHANGES IN THE COMPONENTS OF THE WORLD WATER BALANCE. PART 3

Valeriy I. Alekseev

Doctor of Technical Sciences, Professor

Independent Researcher

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: alekseev_1941@internet.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 global water balance as a whole and its components, natural environments on Earth.

Purpose of research: to establish patterns and causes of changes in the components of the global water balance on Earth: trends in the increase in water mass reserves, dynamics of the water balance of the South Seas of Europe, the Black Sea, dynamics of levels of the Indian Ocean, Western and Central Pacific Ocean, Eastern Pacific and Atlantic Oceans, level fluctuations of the World Ocean, changes in sea ice cover, river resources, reservoirs, variability of sea levels in the Arctic Ocean according to observations at coastal stations, changes in the balance of ice masses in glacial areas, changes in interseasonal thawing in the permafrost zones of the continent.

Objects of research: time series of heliocosmic, climatic variables, hydrometric characteristics of the components of the global water balance.

Methods of research: developed by the author, a method for interaction of observations of a variable or variables with groups of specified heliocosmic and climatic factors in the frequency and time domains, obtained using wavelet transformations of observations with the calculation of phase-frequency and phase-time characteristics 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 the construction of graphs in the frequency and time domains.

Main results of research: in the observed time intervals, in the trend of periodic changes in the reserves of water masses (glaciers, groundwater, lakes, reservoirs) in the frequency domain, significant negative unidirectional influences of changes in heliocosmic and multidirectional influences of climatic variables are observed; changes in the reserves of the World Ocean are more influenced by multidirectional changes in climatic factors compared to the unidirectional influences of heliocosmic factors; the frequency bands of changes in water mass reserves are less than the frequency bands of heliocosmic factors, due to the influence of climatic factors; The variability of water mass reserves on Earth is significantly and unidirectionally consistent with changes in evaporation,

evaporation and precipitation on land, and in different directions with changes in cloudiness on the continents. Similar patterns are observed in changes in the water balance of the South Seas in Europe, the Black Sea, sea ice cover, river resources, reservoirs on land, ice mass balances in glacial areas, and interseasonal thawing in the permafrost zones of the continent. In the dynamics of the levels of the Indian, Western and Central Pacific, Eastern Pacific and Atlantic, fluctuations in the level of the World Ocean, significant multidirectional changes in levels in the frequency domain are observed on the effects of heliocosmic variables with the greatest influences of solar activity and long-term solar insolation, the Ap-index of geomagnetic activity, the parameter β – the ratio of plasma pressure to magnetic solar wind, changes in the ozone layer in the ionosphere, changes in the speed of rotation of the Earth, the influence of climate variables in the frequency domain with the greatest influences of solar radiation, precipitation, atmospheric processes, PTV is significant. The variability of sea levels in the Arctic Ocean, as observed at coastal stations, is characterized by significant multidirectional changes in the frequency domain due to the influence of heliocosmic and climatic factors, multidirectional mutual consistency of the component levels of the ocean seas, caused by anomalous changes in the Earth's magnetic field in areas of the Northern Hemisphere. In changes in the phase-time characteristics of groups of factors, lattice structures of differently and unidirectional changes in variables are observed, characterizing the cyclical nature of climate change on Earth.

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

Введение

Статья является продолжением исследований автора по изучению изменчивости мирового водного баланса влияниями гелиокосмических и климатических факторов с использованием вейвлетного фазового анализа. Исследуются: тенденции приращения запасов водных масс по наблюдениям в 1900-1975 годы, динамика водного баланса Южных морей Европы, составляющих водного баланса Черного моря по наблюдениям 1925,2-1995,7 годов, уровней Индийского океана, Западного и Центрального Тихого океана, Восточного Тихого и Атлантического океана, колебаний уровня Мирового океана и их вейвлетные фазовые отклики, изменения ледовитостей морей, ресурсов рек, водохранилищ, изменчивости уровней морей Северного Ледовитого океана по наблюдениям на прибрежных станциях по наблюдениям в 1953,2-2010,7 годы, изменений баланса масс льдов в ледниковых районах, изменений межсезонных протаиваний в криолитозонах континента по наблюдениям в 1948,2-1991,3 годы.

Результаты и обсуждение

Тенденции приращения запасов водных масс по наблюдениям в 1900-1975 гг.

В группу взаимодействующих факторов включены: гелиокосмические: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CH_2 , CO_2 , N_2O ; климатические: Srad1, Srad2, расчетные изменения тепловых и водных ресурсов на суше (испарение (Isparenie), испаряемость (Ispar-most), атмосферные осадки (Osadky)); облачности на территориях Америки, Австралии и Европы, явление El-Nino, TPV, YMO, Temp.global; и составляющие тенденций приращений запасов водных масс: ледников (Prirost_Lednicov), подземных вод (Prirost podzem.vod), озер (Prirost ozer), водохранилищ (Prirost. vodochranilisch) и Мирового океана (Prirost Mirov.ocn) [1].

На рисунке 1 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы и откликов составляющих тенденций приращений запасов водных масс на воздействия гелиокосмических и климатических переменных.

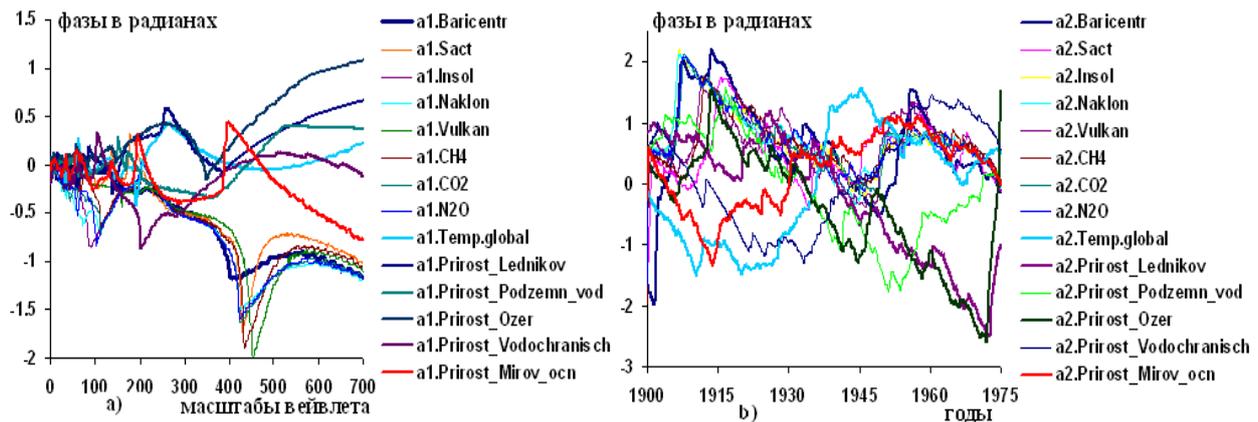


Рисунок 1 – Графики вейвлетных: а) и б) фазо-частотных $\varphi_{f_i}(a, \bar{b})$ и фазо-временных $\varphi_{f_i}(\bar{a}, b)$

характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CH_2 , CO_2 , N_2O), климатической переменной (Temp.global) и тенденций приращений запасов водных масс: ледников, подземных вод, озер, водохранилищ и Мирового океана по наблюдениям в 1900-1975 годы

В работах [2-5] обсуждаются движения, изменения водных масс и их влияния на природные среды. В вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных откликах тенденций приращений запасов водных масс на воздействия гелиокосмических и глобальных климатических факторов, представленных на графиках а и б рисунка 1 и в вычисленных матрицах корреляций, обнаруживаются следующие закономерности: 1) Смещенность спектров частотных характеристик тенденций приращений запасов водных масс на Земле и климатических переменных относительно частотных характеристик гелиокосмических переменных и изменений Мирового океана в меньшую сторону, характеризующее изменчивость этой группы влиянием климатических факторов. 2) В фазо-частотной области в изменениях тенденций приращений запасов водных масс на Земле наблюдается сильная однонаправленная согласованность с изменениями гелиокосмических переменных с $k = -0,55 (0,14)$ (изменения Мирового океана согласованы с $k = 0,23 (0,08)$); в фазо-временной области изменения этих переменных согласованы с $k = 0,15 (0,25)$ (изменения Мирового океана согласованы с $k = -0,52 (0,34)$). 3) Наблюдаются разнонаправленные значительные влияния изменений климатических переменных на изменчивость запасов водных масс с $k = |0,10-0,90|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,13-0,86|$ в фазо-временной области; в фазо-частотной области на изменчивость запасов водных масс наибольшее влияние оказывают изменения солнечной радиации, испарений, испаряемости и осадков на суше, облачность территории Австралии, РТВ, явления Эль-Ниньо. 4) Изменчивость запасов водных масс на Земле существенно однонаправленно согласована с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше с $k = -0,61 (0,12)$ в фазо-частотной области; (изменения запасов Мирового океана согласованы с $k = 0,26 (0,08)$); в фазо-временной области переменные согласованы разнонаправленно с $k = |0,10-0,69|$. 5) Изменчивость приращений водных масс на Земле разнонаправленно согласована с изменениями облачностей на континентах с $k = |0,04-0,57|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,16-0,80|$ в фазо-временной области. 6) На графиках б фазо-временных характеристик рисунка 1 наблюдается направленность изменений тенденций приращений запасов водных масс Мирового океана на Земле изменениями гелиокосмических переменных, отражаемое и в матрице корреляций. 7) В изменениях вейвлетных фазо-временных характеристик переменных на графиках б рисунка 1 наблюдается решетчатая структура, обусловленная изменениями их фазо-частотных характеристик в заданном интервале времени, на которых проявляется разделение переменных на два класса, цикличность и хаотичность изменений запасов водных масс на Земле.

Периодичности изменений водохранилищ и Мирового океана в годах составляют: 27,4, 16,1 (4,8), 10,2 (2,1), 8,4 (1,9), 3,8 (0,8), 1,7 (0,3); при этом колебания уровня Мирового океана происходят с периодами в годах (по наблюдениям в 1862-2010,3 годы): 58,1, 41,5 (8,4), 26,7 (9,2), 17,5 (3,1), 12,9 (1,9), 6,0 (1,3), 3,7 (1,0), 1,9 (0,6).

Динамика водного баланса Южных морей Европы

В группу взаимодействующих факторов и переменных включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol), климатические (Srad1, Srad2, TPO, YMO, E/N, Temp.prizemn), тепловые и водные ресурсы на суше (Isparene, Isparayemost, Osadky) [6], составляющие водного баланса южных морей Европы: Каспийское море (Kaspy), Азовское море (Azov.more), пролив Босфора (pr.Bosfor), Керченский пролив (pr.Kerch), Гибралтарский пролив (pr.Gibraltar) [7]. На рисунке 2 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных по наблюдениям в 1947,7-1964,4 годы.

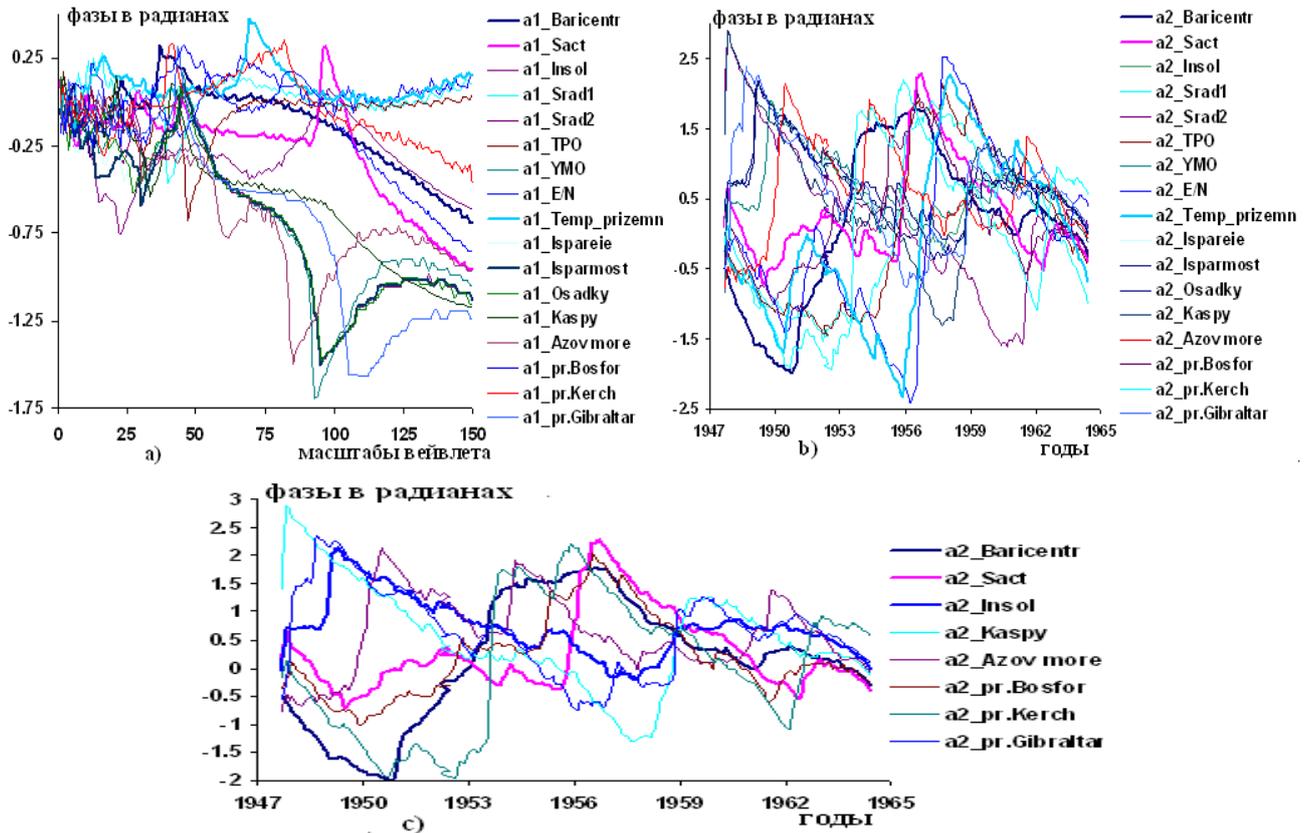


Рисунок 2 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик групп взаимодействующих факторов и переменных: гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol), климатических (Srad1, Srad2, TPO, YMO, E/N, Temp.prizemn), тепловых и водных ресурсов на суше (Isparene, Isparayemost, Osadky), составляющих водного баланса южных морей Европы (Kaspy, Azov.more, pr.Bosfor, pr.Kerch, pr.Gibraltar); в) вейвлетных фазо-временных характеристик гелиокосмических переменных и составляющих водного баланса южных морей Европы по наблюдениям в 1947,7-1964,4 годы

В работах [8-12] обсуждаются источники глобальных связей между элементами водного баланса. В откликах составляющих водного баланса южных морей Европы в виде вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик на воздействия гелиокосмических и глобальных климатических переменных по наблюдениям в 1947,7-1964,4 гг. проявляются следующие характеристики: 1) на их изменения сильное влияние оказывают изменения гелиокосмических переменных с $k = 0,68$ (0,17) в фазо-частотной области и с $k = |0,13-0,83|$ разнонаправленно в фазо-временной области; 2) климатические переменные влияют разнонаправленно с $k = |0,09-0,84|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,09-0,77|$ в фазо-временной области; при этом существенны влияния уровня Мирового океана (УМО) с $k = |0,33-0,84|$ в фазо-частотной области по сравнению влияний других климатических переменных с $k = |0,09-0,44|$; 3) значительны, с $k = |0,06-0,91|$ и $k = |0,03-0,81|$ взаимные согласованности изменений фазовых характеристик южных морей и проливов Европы; 4) значительны влияния измене-

ний испарений, испаряемости и осадков на суше на однонаправленную изменчивость южных морей Европы с $k = 0,68$ (0,20) в фазо-частотной области и с разнонаправленными изменениями с $k = |0,08-0,81|$ в фазо-временной области; 5) на графиках с рисунка 3 приведены изменения фазо-временных характеристик гелиокосмических переменных, южных морей и проливов Европы, характеризующие взаимосогласованность, направленность и организованность изменений переменных в наблюдаемом интервале времени, ведущими из которых являются изменения гелиокосмических переменных; при этом в спектре периодичностей изменений барицентрических движений Солнца содержатся периоды в годах: 52,2, 38,6, 32,6 (6,2), 19,5 (1,6), 12,7 (3,3), 4,6 (1,0), 2,2 (0,6); в спектре колебаний Каспийского моря: 71,6, 35,3 (2,4), 17,2 (3,3), 11,3 (2,7), 9,3 (1,9), 3,6 (0,70), 2,0 (0,6) в интервале времени 1839-1998,6 годы.

Динамика составляющих водного баланса Черного моря по наблюдениям в 1925,2-1995,7 гг.

В группе взаимодействующих факторов использованы: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan), климатические: Srad1, srad2, явление Эль-Ниньо (E/N), TPV, YMO, Temp.priземn и переменные, характеризующие колебание уровня Черного моря [13]: испарения (Isparenie), атмосферные осадки (Atm.osadky), баланс пресных вод (Presn.vody), изменчивости обмена Керченского пролива Kerch.obmen), межгодовые колебания ниже- и верхнебосфорских течений, колебание уровня моря в районе Севастополя (Urov.Chern.more), колебания стока Дуная,

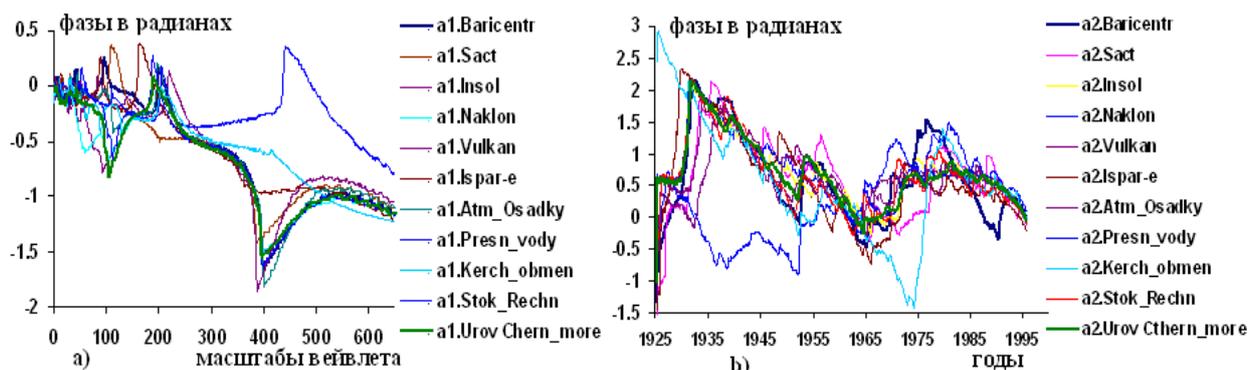


Рисунок 3 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan), климатических переменных (Isparenie, Atm.osadky) и составляющих водного баланса и уровня Черного моря: Presn.vody, Kerch.obmen, Stok.rechn, Urov.Chern.more по наблюдениям в 1925,2-1995,7 годы

В полученных графиках изменений фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных и в вычисленных матрицах согласованностей изменений фазовых характеристик наблюдаются следующие закономерности: 1) значительная согласованность однонаправленных изменений составляющих водного баланса и уровня Черного моря с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,91$ (0,07) в фазо-частотной области и с $k = 0,68$ (0,24) в фазо-временной области; при этом изменения пресных вод согласованы с $k = 0,12$ (0,02) в фазо-частотной области и с $k = -0,38$ (0,10) в фазо-временной области, характеризующее физические особенности круговорота пресных вод в природе; 2) значительно и разнонаправленно согласованы изменения составляющих водного баланса и уровня Черного моря с изменениями климатических факторов с $k = |0,05-0,83|$ в фазовых областях, при этом наблюдается преимущественные влияния на изменчивость составляющих водного баланса Черного моря уровня YMO, явления Эль-Ниньо (E/N) и солнечной радиации Srad2 в фазо-частотной области; 3) наблюдаются высокие взаимосогласованные изменения составляющих водного баланса и уровня Черного моря с $k = 0,81$ (0,27) и с $k = 0,61$ (0,44) в фазовых областях за исключением изменений пресных вод с $k = 0,31$ (0,32) и с $k = -0,16$ (0,52) в фазовых областях; 4) на графиках а и б рисунка 3 проявляются значительные согласованные изменения гелиокосмических переменных, составляющих водного баланса и уровня Черного моря в

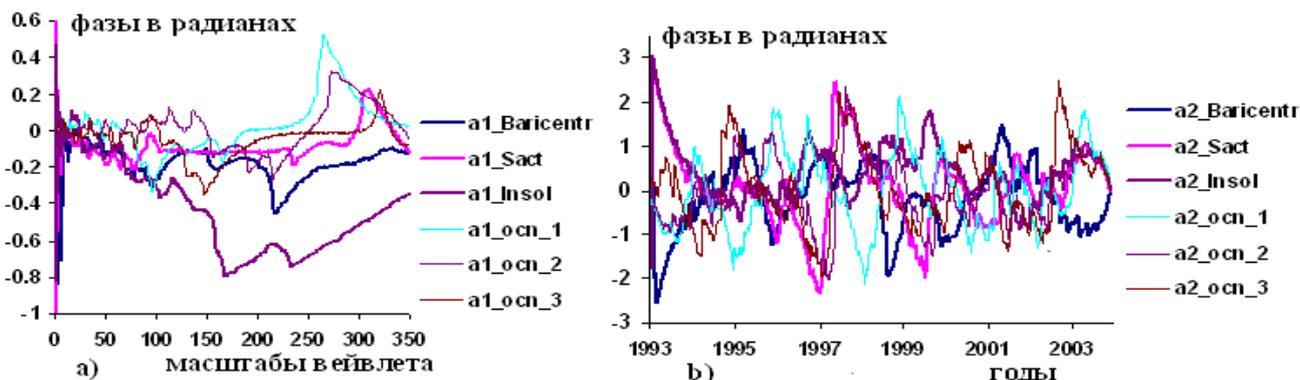
частотных и временных областях в интервале времени 1925,2-1995,7 годы; в частотной и временной областях проявляется отличие отклика составляющей изменений пресных вод Черного моря на воздействия гелиокосмических и климатических факторов, характеризующие особенности изменений пресных вод в природе; по наблюдениям в 1925,2-1973,5 годы установлено, что изменения пресных вод значительно согласованы с изменениями подземных и грунтовых вод с $k = |0,41-0,98|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,29-0,73|$ в фазо-временной области; 5) характерно то, что в фазо-частотной области по наблюдениям 1881,8-1961,3 гг. среднегодовые значения стока реки Днестра с $k = -0.37 (0,07)$ согласованы с изменениями стоков рек Днепра и Дуная, с $k = 0.34 (0,09)$ влияниями гелиокосмических переменных; в фазо-временной области изменения стоков трех рек согласованы с $k = -0.43 (0,21)$; характерно и то, что изменения стоков рек разнонаправленны влияниями климатических факторов с $k \approx |0,05-0,35|$ в фазовых областях; взаимосогласованности стоков рек разнонаправленны в фазо-частотной области с $k = |0,05-0,86|$ и с $k = |0,11-0,70|$ в фазо-временной области; 6) по наблюдениям 1945,4-1996,7 гг. колебания ниже- и верхнебосфорского течений, колебания уровней Керченского пролива и Черного моря в фазо-частотной области значительно с $k = 0,81 (0,15)$ согласованы с изменениями гелиокосмических переменных, в фазо-временной области с $k = 0,66 (0,33)$; эти же переменные согласованы с изменениями климатических факторов с $k = 0,08 (0,41)$ в фазо-частотной области и с $k = 0,15 (0,46)$ в фазо-временной области; взаимосогласованности изменений составляющих баланса Черного моря в фазо-частотной области составляют $k = 0,57 (0,54)$, в фазо-временной области с $k = 0,64 (0,36)$, характеризующие главенствующую роль гелиокосмических переменных в колебании уровней составляющих баланса и уровня Черного моря.

Вычислены спектры колебаний Дуная с периодичностями в годах: 27,2, 20,8 (2,6), 14,8 (2,8), 8,4 (1,7), 3,9 (0,7), 2,3 (0,5) по наблюдениям в 1866,1-1981,9 гг. и Черного моря в годах: 86,3, 43,4, 27,1 (4,2), 21,2 (5,0), 17,2 (6,2), 12,7 (2,0), 6,2 (1,7), 3,6 (0,7), 1,7 (0,5) по наблюдениям в 1875,4-2004,4 годы.

Динамики уровней Индийского океана, Западного и Центрального Тихого океанов, Восточного Тихого и Атлантического океанов, колебаний уровня Мирового океана и их вейвлетные фазовые отклики

В группу исследуемых переменных введены изменения переменных: гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, озонового слоя (Ozon) в ионосфере, хода среднегодовых относительных отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной величины (dP_otkl) [14], индекса геомагнитной активности), климатических (Sact1, Sact2, PTV, YMO, E/N, Temp.prizemn, осадков в Австралии [15], количества ежегодных торнадо [16], количества сильных торнадо [17], теплосодержания океана в 700-метровом слое [18]), и океанов: Индийского, Западного и Центрального Тихого (ocn1), Восточного Тихого и Атлантического (ocn2) и Мирового океана (ocn3) [19].

На рисунке 4 приведены графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик океанов на воздействия гелиокосмических и глобальных климатических переменных по наблюдениям в 1993,2-2003,9 гг.



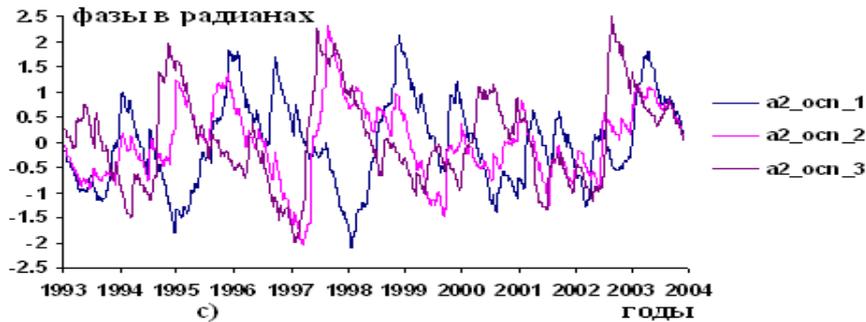


Рисунок 4 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-временных и фазо-частотных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol) и уровней океанов: Индийского, Западного и Центрального Тихого (осн_1), Восточного Тихого и Атлантического (осн_2), Мирового (осн_3); в) фазо-временных характеристики океанов: осн_1, осн_2, осн_3 по наблюдениям в 1993-2003,9 гг.

В изменении уровней океанов при их взаимодействии с группами гелиокосмических и климатических факторов наблюдаются следующие закономерности: 1) существенные разнонаправленные изменения уровней океанов в фазо-частотной области на воздействия гелиокосмических переменных с $k = |0,05-0,54|$ с наибольшими влияниями солнечной активности и многолетней солнечной инсоляции [20], Ар-индекса геомагнитной активности [21, 22], параметра β – отношения плазменного давления к магнитному солнечного ветра, изменений озонового слоя в ионосфере и dP_{otkl} ; существенны влияния климатических переменных с $k = |0,09-0,59|$ в частотной области с наибольшими влияниями солнечной радиации, осадков, атмосферных процессов, РТV, YMO, E/N; в фазо-временной области с $k = |0,10-0,46|$ с наибольшим влиянием солнечной активности; 2) изменения уровней океанов в фазо-частотной области значительно и разнонаправленно согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,07-0,78|$ с наибольшими влияниями солнечной радиации, осадков и интенсивностей торнадо на континентах, РТV, YMO, E/N; в фазо-временной области изменения уровней океанов согласованы с изменениями климатических факторов с $k = |0,10-0,49|$ с наибольшим влиянием солнечной активности; 3) изменения уровней океанов в фазо-частотной области взаимосогласованы с $k=0,27-0,47$ и с $k=|0,09-0,53|$ в фазо-временной области. Полученные результаты показывают, что на изменчивость уровней трех условно введенных океанов, пространственно расположенных на огромных территориях земного шара, оказывают значительные влияния изменчивости гелиокосмических, климатических, геомагнитных факторов, изменчивости атмосферных процессов.

Изменения ледовитостей морей, ресурсов рек, водохранилищ, составляющих мирового водного баланса

В группу взаимодействующих факторов включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan, CH_2 , CO_2 , N_2O), климатические (Srad1, Srad2, TPO, YMO, E/N, Temp.prizemn) переменные, изменения количества землетрясений на Земле [23] и изменения составляющих водного баланса: ледовитостей Татарского пролива и Охотского моря, ресурсов Волги [24, 25], притоков Байкала, уровня Братского водохранилища [26, 27], обобщенного уровня Мирового океана [28].

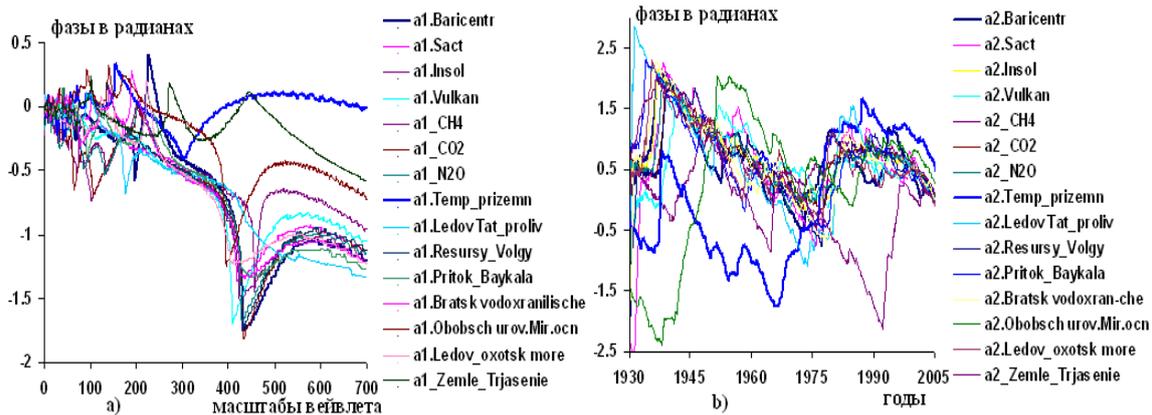


Рисунок 5 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan, CH_4 , CO_2 , N_2O), климатической приземной температуры (Temp.prizemn) и составляющих водного баланса: ледовитостей Татарского пролива (Ledov Tat.proliv) и Охотского моря (Ledov oxotsk more), ресурсов Волги (Resursy Volgy), притоков Байкала (Pritok Baykala), уровня Братского водохранилища (Bratsk vodoxranilische), обобщенного уровня Мирового океана (Obobsch urov.Mir.ocn) по наблюдениям за переменными в 1930,2-2005,4 гг.

На графиках а и б рисунка 5 откликов составляющих водного баланса: ледовитостей Татарского пролива и Охотского моря, ресурсов Волги, притоков Байкала, уровня Братского водохранилища, обобщенного уровня Мирового океана на воздействия гелиокосмических и климатических переменных, представленных в вейвлетных частотной и временной областях и на матрицах корреляций этих откликов, проявляются следующие закономерности: 1) наблюдается компактная область расположения частотных характеристик гелиокосмических переменных и составляющих водного баланса на воздействия гелиокосмических и климатических переменных на высоких периодах их изменений. 2) Изменения составляющих водного баланса: однонаправленно и значительно, с $k = 0,90$ (0,6) в частотной области согласованы с изменениями гелиокосмических переменных; во временной области согласованы разнонаправленно, с $k = 0,36$ (0,44); 3) с изменениями тектонических процессов, динамикой землетрясений на Земле, с $k = 0,28$ (0,08) в частотной области и с $k = 0,24$ (0,34) во временной области; 3) составляющие водного баланса существенно и разнонаправлены согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,05-0,81|$ в частотной области с наибольшими влияниями E/N, YMO, Srad2 (разности радиации [29], приходящей в экваториальную и полярные области Земли): во временной области с $k = |0,05-0,68|$ с наибольшими влияниями Srad1, TPO, YMO; 4) изменения составляющих водного баланса значительно и однонаправленно с $k = 0,91$ (0,07) взаимосогласованы в частотной области и разнонаправленно с $k = 0,27$ (0,68) в фазо-временной области; 5) на графиках б рисунка 5 фазо-временных характеристик переменных наблюдаются согласованные изменения составляющих водного баланса и гелиокосмических переменных в наблюдаемом интервале времени, в 1930,2-2005,4 годы, характеризующее существование единой движущей силы, гелиокосмических переменных, ведущим из которых являются барицентрические движения Солнца с $k = 0,87-0,95$ в фазо-частотной области. На графиках наблюдаются изменения количества землетрясений и обобщенного уровня мирового океана, которые в некоторых интервалах времени отличаются от изменений переменных “в среднем”, характеризующие отличия в условиях изменений переменных, изменений силы влияний взаимодействующих переменных; на графиках и в матрицах корреляций фазовых характеристик наблюдаются изменения всех переменных за изменениями барицентрических движений Солнца.

Спектры периодичностей изменений барицентрических движений Солнца в годах составляют: 46,7, 20,1, 14,3 (3,3), 9,0 (1,9), 4,7 (1,1), 2,1 (0,5); уровня Братского водохранилища: 48,6, 24,3, 15,6 (2,0), 10,7 (2,8), 4,0 (1,1), 2,1 (0,5) по наблюдениям 1930,2-2005,5 гг.; наблюда-

ется приближенное совпадение периодов колебаний барицентрических движений Солнца и Братского водохранилища.

Изменчивости уровней морей Северного Ледовитого океана по наблюдениям на прибрежных станциях по наблюдениям в 1953,2-2010,7 годы

В группе гелиокосмических переменных анализированы кривые: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, концентрации озона в ионосфере (Aroza); в группе климатических переменных кривые: E/N, Srad1, Srad2, TPV, YMO, Temp. prizemn (глобальной температуры), температуры в Арктике; использованы данные измерений уровней морей (в скобках указаны станции, на которых велись регулярные измерения) [30, 31]: Гренландского (Баренбург), Норвежского (Олесунн), Баренцева (Мурманск), Карского (Усть-Кара, О. Диксон, О-ва Известий ЦИК, ГМО им. Г.К. Федорова), Лаптевых (О-ва Дунай, О. Котельный, Пр. Санникова), Восточно-Сибирского (Певек); использован график изменения магнитного поля Земли [22].

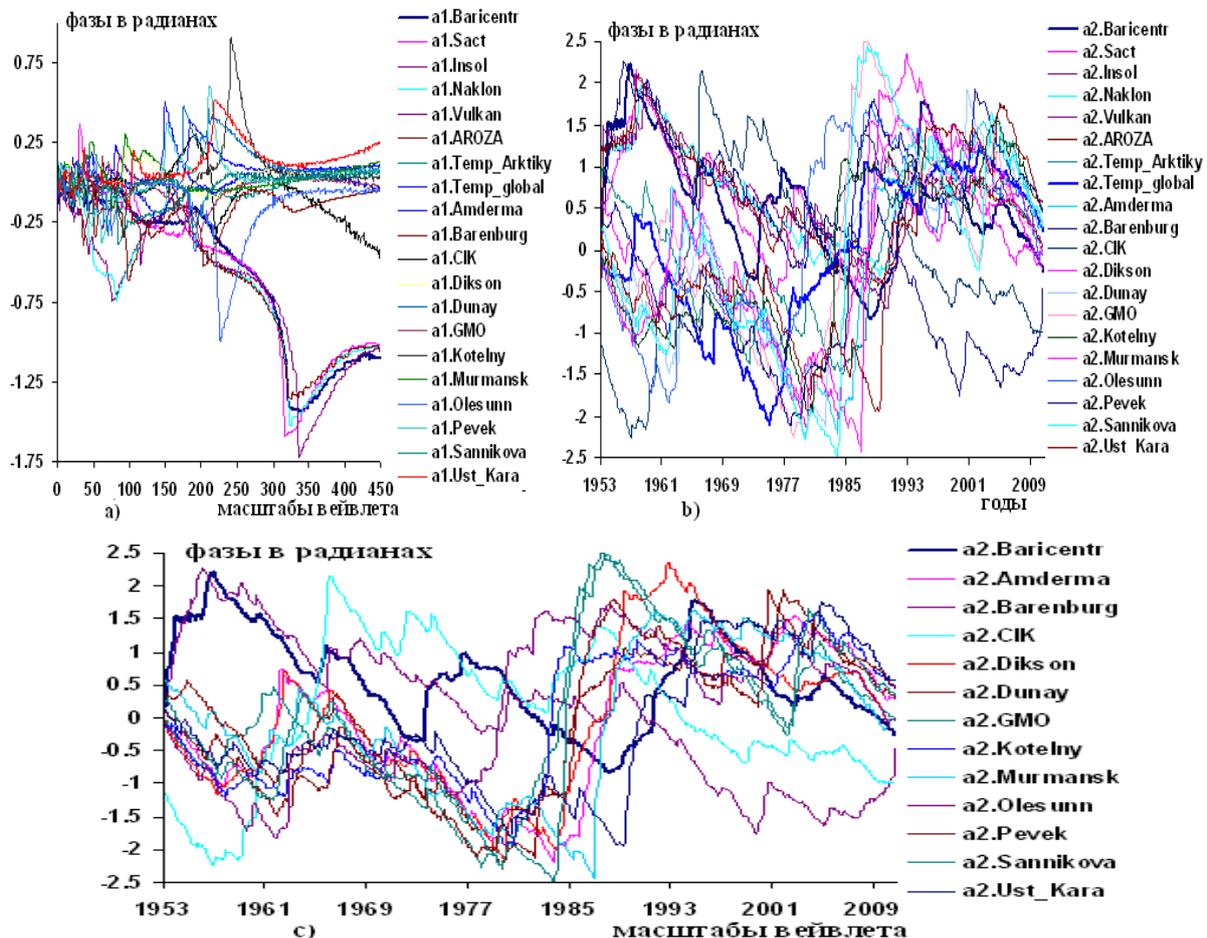


Рисунок 6 – Графики вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, Aroza), климатических (Temp.Arktiky, Temp.global) и составляющих уровней Северного Ледовитого океана по данным измерений в прибрежных станциях океана: Amderma, Barenburg, CIK, Dikson, Dunay, GMO, Kotelny, Murmansk, Olesunn, Pevek, Sannikova, Ust Kara; в) вейвлетные фазовые характеристики барицентрических движений Солнца (Baricentr) и составляющих уровней Северного Ледовитого океана по данным измерений в прибрежных станциях океана по наблюдениям в 1953,2-2010,7 гг.

На графиках рисунка 6 и в матрицах корреляций фазовых характеристик переменных наблюдаются следующие закономерности: 1) разделение частотных характеристик группы на подгруппы: а) гелиокосмических и б) климатических и составляющих уровней Ледовитого океана; смещенность частотных характеристик гелиокосмических переменных относительно климатических и составляющих уровней Ледовитого океана в правую сторону роста масштабов вейвлета (роста периодов изменений переменных); 2) характерна разнонаправленность из-

менений фазо-частотных характеристик климатических переменных и составляющих уровней Ледовитого океана в точках наблюдений как влияниями гелиокосмических факторов с $k = |0,05-0,57|$, так и влияниями климатических с $k = |0,03-0,59|$, влиянием магнитного поля Земли с $k = |0,03-0,37|$; разнонаправленность взаимных согласованностей составляющих уровней Ледовитого океана с $k = |0,03-0,78|$, характеризующие, что в изменении уровня Северного Ледовитого океана почти в равных мерах участвуют два фактора: гелиокосмический и климатический, изменения которых разнонаправленно согласованы с $k = |0,10-0,94|$ в фазо-частотной области; 3) разнонаправленность изменений фазо-частотных характеристик уровня Ледовитого океана в разных точках наблюдений является характеристикой существенных природно-климатических отличий, имеющих место в пунктах наблюдений, аномалии магнитного поля Земли в Северном полушарии; 4) на графиках с рисунка 6 фазо-временных характеристик барицентрических движений Солнца и составляющих уровней Ледовитого океана отражаются согласованности циклических изменений группы в интервале наблюдений, интервалы согласованных убываний и ростов переменных (решетчатая структура), следующих за изменениями барицентрических движений Солнца с периодами в годах: 23,6, 20,6, 13,8 (4,3), 7,9 (0,7), 4,3 (1,3), 2,6 (0,5).

Вейвлетный анализ изменений баланса масс льдов в ледниковых районах

Исследованы изменения групп факторов: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , CH_2 , N_2O), климатические (Srad1, Srad2, TPV, YMO, E/N, Temp.global) и их влияния на изменчивость балансовых масс ледников [32-34]: массы льдов в Антарктике [35], суммарного баланса морских льдов в Северном полушарии, балансов ледников: Джанкуата, Шпицбергена, Кавказа, Альп, Аляски, Бреггера Восточного, Ловена Среднего.

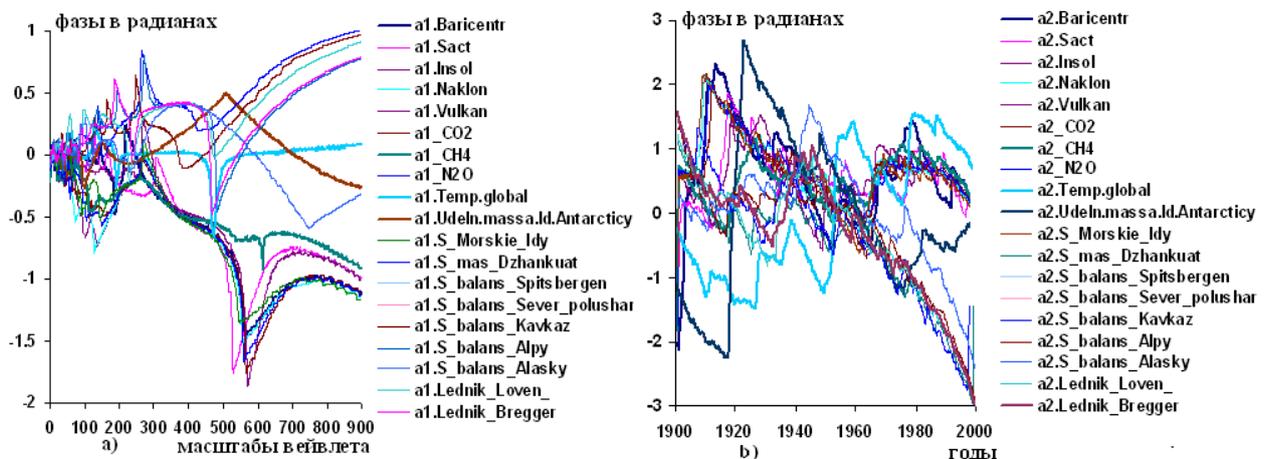


Рисунок 7 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , CH_2 , N_2O) климатической переменной Temp.global и балансов масс льдов в ледниковых районах: удельной массы льдов в Антарктике (Udeln.mass.I.dov.Antarktiky), суммарного баланса морских льдов в Северном полушарии (S.mass.Sever.polushar), балансов ледников: Джангитая (mass.Dzhankuat), Шпицбергена (balans.Spitsberger), Кавказа (balans.Kavkaz), Альп (balans.Alpy), Аляски (balans.Alasky) Ловена Среднего (Lednik.Loven), Бреггера Восточного (Lednik.Bregger) по наблюдениям в 1900,8-1999,6 гг.

Во взаимодействии гелиокосмических, климатических переменных и массивов ледников в Антарктике, морских льдов в Северном полушарии, Кавказа, Альп и Аляски в наблюдаемом интервале времени, представленных на графиках рисунка 7, наблюдаются закономерности: 1) на графиках фазо-частотных характеристик переменных рисунка наблюдается разделение группы на две подгруппы, в первой находятся изменения гелиокосмических переменных, массивов морских льдов, льдов Северного полушария и Антарктики, во второй, – изменения балансов масс ледников Кавказа, Альп, Шпицбергена, Алатау, смещенных друг от друга по спектрам частот и направленностям изменений по фазе; 2) в частотной области наблюдается

разнонаправленная согласованность изменений массивов ледников в ледниковых районах с $k = \sim |0,06-0,95|$ с изменениями гелиокосмических и с $k = \sim |0,06-0,84|$ с изменениями климатических переменных; 3) во временной области это проявляется в разнонаправленных сходящихся в изменениях графиков в интервале времени 1940-1960 гг. с последующим их расхождением после 1960 года, характеризующее начало глобального потепления в современности; при этом изменения составляющих первой подгруппы, глобальной температуры и морских льдов находятся в фазе роста, изменения балансов масс ледников в ледниковых районах в фазе убывания; изменения удельной массы льдов в Антарктике происходят синхронно с изменениями барицентрических движения Солнца до 1967 года, с 1977 года наблюдается положительная фаза роста удельной массы льдов в Антарктике с флуктуациями; 4) на графиках проявляется весьма высокая чувствительность изменений балансов масс ледников к изменениям к действующим факторам, к изменениям температурных переменных и можно утверждать, что графики на рисунке 7 являются моделью изменений климата на Земле в наблюдаемом интервале времени в современности.

Спектр колебаний площади морских льдов состоит из составляющих: 85,4, 42,4, 27,8 (6,4), 17,6 (4,2), 11,8 (3,0), 8,2 (1,4), 4,3 (1,0), 2,2 (0,4) лет по наблюдениям в 1870-1999,9 годы.

Вейвлетный анализ изменений межсезонных протаиваний в криолитозонах континентов по наблюдениям в 1948,2-1991,3 гг.

В группе исследуются взаимодействия гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , OCO_Aroza) и климатических переменных (Srad1, Srad2, El_Nino, YMO, TPV, Temp.global) с некоторыми примерами межсезонных оттаиваний грунтов в криолитозонах континента: мощности сезонно-мерзлотного слоя (СМС) на метеостанции Тобольска (SMS.Tobolsk), на 10 метеостанциях Западной Сибири (SMS.Zap.Sibiry), мощности мерзлых толщ в районе перевала Жусалы-кезен, хребта Заилийский Алатау (Merzl.porod.Alatay) и мерзлот в Якутии (Merzloty. Jakutia) [36], магнитного поля Земли (M.pole.Zemly) [37], индекса геомагнитной активности АА (Ind.AA.geomagn) [37], солнечного ветра (Sunn.Veter) [39].

На графиках рисунка 8 представлены изменения вейвлетных фазовых характеристик групп взаимодействующих переменных.

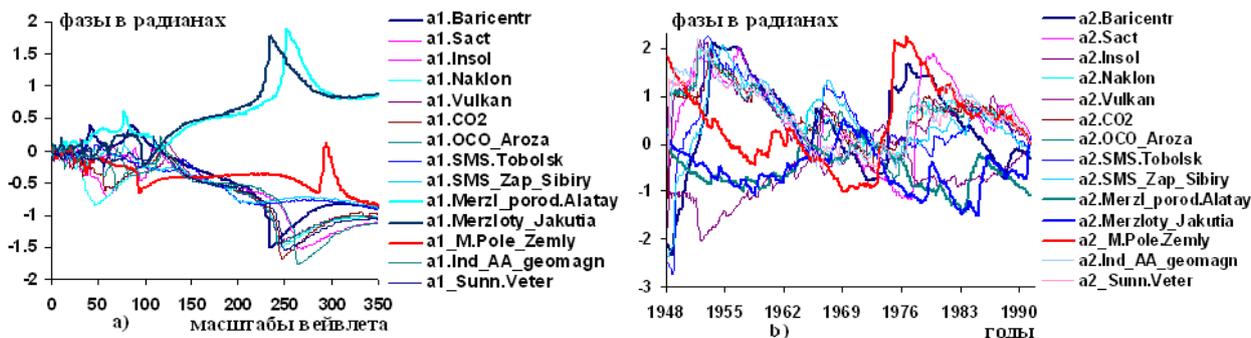


Рисунок 8 – Графики изменений вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , OCO_Aroza) и некоторых составляющих межсезонных оттаиваний грунтов в криолитозонах континента: мощности сезонно-мерзлотного слоя (СМС) на метеостанции Тобольск (SMS.Tobolsk), на 10 метеостанциях Западной Сибири (SMS.Zap.Sibiry), мощности мерзлых толщ в районе перевала Жусалы-кезен, хребта Заилийский Алатау (Merzl.porod.Alatay) и мерзлот в Якутии (Merzloty. Jakutia), магнитного поля Земли (M.pole.Zemly), индекса геомагнитной активности АА (Ind.AA.geomagn), солнечного ветра (Sunn.Veter)

Гидрологические, экологические, криосферные особенности изменений климата в арктической зоне обсуждаются в работах [40-42].

В изменениях составляющих межсезонных оттаиваний грунтов в криолитозонах континента, откликах на воздействия гелиокосмических и климатических факторов, наблюдаются закономерности: 1) отклики группы составляющих межсезонных оттаиваний грунтов в крио-

литозонах континента на воздействия гелиокосмических и климатических факторов представляются двумя подгруппами, изменяющихся в противофазах; в первую подгруппу входят изменения мощности СМС грунтов на метеостанциях Тобольска и Западной Сибири, во вторую подгруппу входят мощности СМС грунтов хребта Заилийского Алатау и мерзлот грунтов в Якутии; 2) Изменения составляющих подгрупп согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k_1 = 0,83 (0,06)$ и $k_2 = -0,90 (0,05)$ в фазо-частотной области и с $k_1 = 0,36 (0,35)$ и $k_2 = -0,30 (0,33)$ в фазо-временной области; 3) Изменения подгрупп согласованы с изменениями климатических переменных с $k_1 = |0,02-0,84|$ и $k_2 = |0,06-0,93|$ в фазо-частотной области с наибольшими влияниями переменных S_{rad2} , E/N , YMO и с $k_1 = |0,05-0,36|$ и $k_2 = |0,01-0,53|$ в фазо-временной области; 4) Изменения подгрупп криолитических переменных значительно взаимосогласованы с $k_1 = |0,75-0,98|$ в фазо-частотной области, характеризующее, что изменения переменных на действующие факторы происходят посредством изменений элементного и структурного составов переменных [35], с последующим изменением их частотных составов; 5) на графиках фазовых характеристик группы переменных рисунка 8 наблюдается разнонаправленность изменений переменных по фазе, полученных в пунктах наблюдений в Тобольске (SMS.Tobolsk) и Западной Сибири (SMS. Zap.Sibiry) и кривых СМС, полученных на метеостанциях Заилийского Алатау (Alatay) и Якутии (Jakutia); аналогичные результаты получены при анализе кривых индекса протаивания и толщины сезонно-талого слоя за 1972-1999 гг. на Надымском стационаре для естественных и нарушенных грунтов [36], характеризующие значительную зависимость толщины сезонных протаиваний вечномерзлых грунтов влияниями климатических и гелиокосмических переменных, зависящих от их физических характеристик; 6) наблюдается значительная и разнонаправленная изменчивость индекса протаивания и толщины сезонно-талого слоя с $k = |0,04-0,93|$ в частотной и временной областях в пунктах наблюдений, согласованные с изменениями магнитного поля Земли и солнечного ветра.

Спектр периодических изменений мощности СМС в Западной Сибири по наблюдениям в 1948,2-1991,3 годы состоит из составляющих: 38,6, 27,4, 13,8, 12,9, 8,2 (1,5), 3,2 (0,5), 2,3 (0,5) лет.

Заключение и выводы

В работе анализ изменчивости гидрометрических характеристик мирового водного баланса производится с использованием вейвлетного фазового метода, состоящего из последовательности действий: а) выбор составов групп анализируемых (гелиокосмических и климатических переменных); б) вычисление фазо-частотных и фазо-временных характеристик групп переменных в равных интервалах времени с выбранным комплексным вейвлетом и масштабом вейвлета; в) построение графиков вейвлетных характеристик групп переменных в двух системах координат; г) вычисление двух матриц корреляций групп переменных (мер согласованностей изменений групп графиков вейвлетных характеристик в наблюдаемом интервале времени), позволяющие установить закономерности изменений гидрологических характеристик водного баланса, климата на Земле.

Выявлены следующие закономерности:

1. В изменении гидрометрических характеристик Мирового водного баланса, определяющих климат на Земле, участвуют две группы факторов: гелиокосмические (барицентрические движения Солнца, солнечная активность, солнечная инсоляция, элементы орбиты Земли, вулканические извержения, концентрация озонового слоя в ионосфере, парниковые газы в атмосфере, характеристики солнечно-земных связей, электромагнитные характеристики Земли) и климатические (солнечная радиация, испарения и испаряемости водных масс и земной поверхности, атмосферные процессы, уровень мирового океана, явление Эль-Ниньо и др.), обусловленные изменениями гелиокосмических переменных, ведущим из которых являются барицентрические движения Солнца.

2. На графиках изменений фазо-частотных характеристик гелиокосмических, климатических и составляющих гидрометрических параметров Мирового водного баланса наблюда-

ется смещенность полос частот климатических переменных и составляющих гидрометрических параметров Мирового водного баланса в меньшую сторону относительно полос частот гелиокосмических переменных.

3. Доли и направленности влияний гелиокосмических и климатических переменных на изменения составляющих гидрометрических параметров Мирового водного баланса определяются физическими характеристиками составляющих водного баланса, полноты учета действующих факторов и временного интервала наблюдений. При этом наблюдается преимущественная однонаправленность изменений частотных характеристик составляющих водного баланса на воздействия гелиокосмических факторов и их разнонаправленная изменчивость влияниями климатических переменных.

4. На графиках фазо-временных характеристик групп переменных отображаются решетчатые структуры расходящихся и сходящихся или однонаправленных изменений переменных, обусловленные изменениями фазо-частотных характеристик групп переменных, отображающие изменчивость и периодичность изменений составляющих Мирового водного баланса, климата на Земле.

5. В тенденции приращений запасов Мирового океана, балансов и уровней Южных морей Европы, Каспийского и Черного морей значительны согласованности изменений переменных с изменениями гелиокосмических переменных, уровня Мирового океана и явления Эль-Ниньо в частотной области.

6. В разнонаправленных изменениях уровней Индийского океана, Западного и Центрального Тихого океанов, Восточного Тихого и Атлантического океанов, колебаний уровня Мирового океана значительны вклады изменений гелиокосмических и климатических переменных с наибольшими влияниями солнечной активности, геомагнитных процессов, теплового разогрева океана по глубине, осадков, явления Эль-Ниньо.

7. Изменения ледовитостей Татарского пролива и Охотского моря, ресурсы Волги и притоков Байкала, уровня Братского водохранилища и обобщенного уровня Мирового океана в фазо-частотной области существенно согласованы с наибольшими влияниями гелиокосмических переменных, солнечной радиации S_{rad2} (разности радиации, приходящей в экваториальную и полярные области Земли), уровня и разогревности Мирового океана, явления Эль-Ниньо.

8. В изменчивости уровней морей Северного Ледовитого океана по наблюдениям в прибрежных пунктах, расположенных в береговой зоне Российской Арктики, в фазо-частотной области наблюдается характерная разнонаправленная и существенная согласованность изменений уровней морей Ледовитого океана с изменениями гелиокосмических и климатических переменных примерно в равных долях, неравномерное влияние изменений магнитного поля Земли в частотной области.

9. На графиках изменений фазо-временных характеристик балансов масс ледников в ледниковых районах, гелиокосмических переменных и глобальной приземной температуры наблюдаются переходные процессы подготовки и начала глобального потепления в современности примерно с 1960 годов.

10. Межсезонные протаивания грунтов в криолитозонах континента происходят влияниями двух факторов: гелиокосмических, включая геомагнитные вариации и солнечного ветра, и климатических с преимущественным и интенсивным влиянием первых; наблюдается разнонаправленность и изменение интенсивности протаиваний грунтов в зависимости от их физических состояний.

Литература

1. Клиге, Р. К. Изменения мирового водного баланса / Р. К. Клиге, Л. С. Евсева. – Текст : непосредственный // Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – С. 269–278.

2. Influence of Water Masses on the Biodiversity and Biogeography of Deep-Sea Benthic Ecosystems in the North Atlantic / Puerta P., Johnson C., Carreiro-Silva M., Henry L.A., Kenchington E., Morato T., Kazanidis G., Rueda J.L., Urra J., Ross S., Wei C. L, González-Irusta J. M., Arnaud-Haond S., Orejas C. // Published in *Frontiers in Marine Science*. 2020. – URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/Influence-of-Water-Masses-on-the-Biodiversity-and-Puerta-Johnson/72674ba572f0335c2a69a1053df1e11e78409aa7> (data of application: 10.03.2022).
3. Impact of Stomatal Density and Morphology on Water-Use Efficiency in a Changing World / Bertolino L. T., Caine R. S., Gray J. E. // *Frontiers in Plant Science*. 2019. – URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00225/full> (data of application: 10.03.2022).
4. Rare Atmospheric River Caused Record Floods across the Middle East. /Dezfuli A., More V. // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2019. V.101. № 4, pp. 394–400.
5. Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. / Hamed Y., Hadji R., Redhaounia B., Zighmi K., Bâali F., Gayar A.E. // *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2018. V. 3. № 25. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Climate-impact-on-surface-and-groundwater-in-North-Hamed-Hadji/2148a794fb7e59334a1e51af5820808e476eb5a3> (data of application: 10.03.2022).
6. Клиге, Р. К. Изменения мирового водного баланса / Р. К. Клиге, Л. С. Евсева. – Текст : непосредственный // *Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – С. 246–269..*
7. Клиге, Р. К. Изменения мирового водного баланса / Р. К. Клиге, Л. С. Евсева. – Текст : непосредственный // *Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – С. 233–245.*
8. The Balance and Abnormal Increase of Global Ocean Mass Change From Land Using GRACE / Jin T., Li X., Shum C.K., Ding H., Xu X. // *Earth and Space Science*. 2020. V. 4. № 5. – URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Balance-and-Abnormal-Increase-of-Global-Ocean-Jin-Li/122462da41499b00e48389c267d76ad065cbe9b5> (data of application: 10.03.2022).
9. Driving forces of land surface temperature anomalous changes in North America in 2002–2018. / Yan Y., Mao K., Shi J., Piao S., Shen X., Dozier J., Liu Y., Ren H., Bao Q. // *Scientific Reports*. 2020. V. 10, № 6931. – URL : https://www.researchgate.net/publication/340901679_Driving_forces_of_land_surface_temperature_anomalous_changes_in_North_America_in_2002-2018 (data of application: 10.03.2022).
10. Vulnerability of the Caspian Sea shoreline to changes in hydrology and climate to cite this article / Akbari M., Baubekova A., Roozbahani A., Gafurov A., Shiklomanov A., Rasouli K., Ivkina N., Kløve B., Haghghi A. T. // *Environmental Research Letters*. 2020. V. 15. № 11. – URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaad8> (data of application: 10.03.2022).
11. Geyer W.R. Where the Rivers Meet the Sea. Wood hole Oceanographic Instituton. 2019. – URL: <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/where-the-rivers-meet-the-sea> (data of application: 10.03.2022).
12. Ocean Acidification and Other Ocean Changes // *Climate Science Special report*. 2017 URL.: <https://science2017.globachange.gov> (data of application: 10.03.2022).
13. Горячкин, Ю.Н. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / Ю. Н. Горячкин, В. А. Иванов ; под ред. В.Н. Еремеева. – Текст : непосредственный // *Национальная Академия Наук Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2006. – 210 с.*
14. Sidorenkov N.S. The interaction between Earth’s rotation and geophysical processes. – Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009. – 317 p.
15. Australian climate variability & change. 2020. – URL: <http://www.bom.gov.au/climate/change/#tabs=Tracker&tracker=timeseries> (data of application: 10.03.2022).
16. Tornado Graphs.2019. URL:<https://www.wether.gov./gld/tornado-tornadographs> (data of application: 10.03.2022).
17. Perry M. J. Inconvenient weather fact for Earth Day: the frequency of violent tornadoes fell to record low in 2018. 2019. – URL:<https://www.aei.org/carpe-diem/inconvenient-weather-fact-for-earth-dey-the-frequency-of-violent-tornadoes-fell-to-record-low-in-2018/> (data of application: 10.03.2022).

18. Time series of global annual ocean heat content (1022 J for the 0-700 m). 2020. – URL: https://www.researchgate.net/publication/341205527_Global_Linkages_-_A_graphic_look_at_the_changing_Arctic/link/5eb3eb5e92851cbf7fadcff0/download (data of application: 10.03.2022).
19. Когда начался “глобальный энергетический скачок”? 2018. URL: <https://studfile.net/preview/7011506/page:19/> (data of application: 10.03.2022).
20. Федоров, В. М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата / В. М. Федоров. – Текст : непосредственный // Успехи физических наук. – 2019. – Т. 189, № 1. – С. 33–46.
21. Зотов, О. Д. Влияние параметра β солнечного ветра на статистические характеристики A_p -индекса в цикле солнечной активности / О. Д. Зотов. – Текст : непосредственный // Солнечно-земная физика. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 55–63.
22. The Earth’s Magnetic Field: An Overview. British Geological Survey. 2020. URL: www.geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html (data of application: 10.03.2022).
23. Хаин, В. Е., Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа / В. Е. Хаин, Э. Н. Халилов. – М. : Научный мир, 2009. – 520 с. – Текст : непосредственный.
24. Межгодовая динамика аномалий ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2018 г. / В. М. Пищалкин, Д. В. Дорофеева, И. Г. Минервин, И. В. Шумилов, И. В. Никулина. – Текст : непосредственный // Известия ТИНРО (Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр). – 2019. – Т. 196. – С. 114–122.
25. Шикломанов, А. Гидрологические изменения в Северной Евразии: современные тенденции и оценки на будущее. 2016 / А. Шикломанов. – Текст : электронный. – URL : http://www.scert.ru/enviromis/2016/presentation/Presentation/Conference/Session_1/Invited_lectures/3-Shiklomanov.pdf (data of application: 10.03.2022).
26. Особенности временной изменчивости притока к озеру Байкал и водохранилищам Ангарского каскада ГЭС / М. В. Болгов, Е. А. Коробкина, И. А. Филиппова // Водное хозяйство России. 2018. № 4. С. 6–19.
27. Риски маловодных и многоводных периодов для озера Байкал / В. М. Никитин, Н. В. Абасов, Т. В. Бережных, Е. Н. Осипчук. – Текст : непосредственный // География и природные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 29–38.
28. Роль эндогенного фактора в изменении уровня мирового океана за последние 140 лет / В. В. Орленок. – Текст : непосредственный // Вестник Балтийского федерального университета им. И.Канта. – 2009. – № 1. – С. 8–17.
29. Fedorov V. M. Trends of the changes in sea ice extent in the northern hemisphere and their causes. / Kriosphera Zemli. 2015. Vol. XIX. № 3, pp. 46-57.
30. Global Linkages – A graphic look at the changing Arctic. / Schoolmeester T., Alfthan B., Elaine Baker E., Kurvits T., Fabres J. // UN Environment and GRID-Arendal, 2019. – URL : https://www.researchgate.net/publication/341205527_Global_Linkages_-_A_graphic_look_at_the_changing_Arctic/link/5eb3eb5e92851cbf7fadcff0/download (data of application: 10.03.2022).
31. Тенденции многолетней изменчивости уровня моря на прибрежных станциях Северного Ледовитого океана / В. А. Меркулов, И. М. Ашик, Л. А. Тимохов. – Текст : непосредственный // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – № 3 (113). – С. 51–66.
32. Вековые тенденции в ледовых ресурсах Шпицбергена / В. М. Федоров, Б. Р. Мавлюдов, Л. М. Саватюгин. – Текст : непосредственный // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 2. – С. 139–146.
33. Анализ изменений ледовых ресурсов Центрального Кавказа / В. М. Федоров, А. М. Залиханов. – Текст : непосредственный // Труды Карадакской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника Российской академии наук. – 2018. – Вып. 3 (7). – С. 68–83.
34. Федоров, В. М. Прогноз изменения общего баланса ледяной массы в северных районах Северного полушария / В. М. Федоров. – Текст : непосредственный // Кriosфера Земли. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 55–64.

35. Antarctic sea ice extent from 1960s to present. 2018. – URL: https://diabloanquasia.wordpress.com/2018/09/13/Antarctic_sea_ice_1960s_2018/ (data of application: 10.03.2022).
36. Кинищев, В. Н. Современные тенденции развития криолитозоны / В. Н. Кинищев. – Текст : непосредственный // Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. – Т. 1. – М. : Научный мир, 2006. – С. 489–506.
37. The Earth's Magnetic Field: An overview. British Geological Survey. Geomagnetism. 2019. URL:www.geomag.bgs.ac.uk/education/eathmag.html (data of application: 10.03.2022).
38. Geomagnetism during cycle 23: Characteristics. / Serbo Jean-Louis, Amory-Mazaudier C., Ouattara F. // Journal of Advanced Research. 2013 (4), pp. 265-274.
39. Global solar wind variation over the last four centuries / Owens M. J., Lockwood M., Riley P. // Scientific reports 7. 2017. – URL : <https://nature.com/articles/step41548> (data of application: 10.03.2022).
40. Yang D., Kane D.L. Arctic, Hydrology, Permafrost and Ecosystems. Springer link. 2021 P. 914.
41. Simulated Historical (1901-2010). / Gou D., Wang H. // Changes in the Permafrost Extend and active Layer Thckness in the Northern Hemisphere /JGR Atmospheres. 2017. V. 122, Issue 22. pp. 12.285-12.295.
42. Permafrost dynamics impacts over the Russian arctic Drainage Basin. / Kang W., Tinquum Z., Yanqing D. // Advances in Climate Change Research. 2021 V.12. issue 4. pp. 482-498.