

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ
ВЕЙВЛЕТНЫХ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛИОКОСМИЧЕСКИХ
И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ И ИЗМЕНЕНИЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ МИРОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА. ЧАСТЬ 2**

Алексеев Валерий Иванович

доктор технических наук,
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
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 взаимовлияний и причин изменений составляющих мирового водного баланса на Земле: расчетных изменений тепловых и водных ресурсов на территории суши, облачности и уровней озер на континентах, Каспийского моря, арктических островов, Гренландии и горных ледников.

Объекты исследования: временные ряды гелиокосмических и глобальных климатических переменных, 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 фазовых 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: показано, что расчетные изменения тепловых и водных ресурсов на территории суши, изменения облачности и уровней озер на континентах в наблюдаемых интервалах времени значительно взаимосогласованы в фазо-частотной области, согласованы с изменениями гелиокосмических переменных, ведущим из которых является барицентрические движения Солнца. Показано, что изменение уровня озера Рудольф, расположенного в Кении, происходит в противофазе с изменениями других озер из рассмотренных в фазо-частотной области, обусловленное изменениями уровня озера в противофазе с изменениями испаряемости, испарений и осадков, – расчетных изменений тепловых и водных ресурсов на суше; подобное явление наблюдается и в изменениях озера Нейваша (Кения). Анализом данных, полученных на станции Восток в Антарктиде, донных отложений океана в 379,3-1,1 тыс. лет в прошлом, графиков изменений элементов орбиты Земли, установлена высокая согласованность изменений уровня Каспия с изменениями угла наклона, прецессии и эксцентриситета орбиты Земли; в голоцене наблюдается согласованность с изменениями солнечной активности, с изменениями землетрясений, скорости вращения Земли и продолжительности земных суток, а также с изменениями УМО и явления Эль-Ниньо, с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше в фазо-частотной области, обусловленные влияниями гелиокосмических факторов в период инструментальных измерений. Установлено, что изменения составляющих водного баланса арктических островов, Гренландии и горных ледников разделены на две подгруппы; к первой относятся изменения осадков, айсберговых и жидких стоков, к второй, – изменения результирующих балансов и приращений запасов. Составляющие первой подгруппы значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов, второй, – с изменениями климатических переменных с отрицательным знаком в

изменениях балансов арктических островов и Гренландии; вторая подгруппа в балансе горных ледников значительно согласована с изменениями гелиокосмических переменных с отрицательным знаком в фазо-частотной области в наблюдаемых интервалах времени. Наблюдается значительная вариация изменений уровней озер на континентах к изменениям магнитного поля Земли в частотной области и решетчатая структура изменений фазо-временных характеристик переменных, характеризующая 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 2**

Valeriy I. Alekseev
*Doctor of Technical Sciences,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: alekseev_1941@internet.ru*

The relevance of research: is due to the need to establish true causes and patterns of changes in the hydrometric characteristics of the global water balance as a whole and its components, natural media on Earth.

Purpose of research: Establishment of patterns of mutual influences and causes of changes in the components of world water balance on Earth: settlement changes in thermal and water resources on the territory of sushy, clouds on continents, lake levels on continents, the Caspian Sea, Arctic Islands, Greenland and mountain glaciers.

Objects: Temporary series of heliocosmic and global climatic variables constituting a global water balance.

Methods of research: the method developed by the author of the calculation of the wavelet phase-frequency and phase-temporal characteristics of the group of the studied time series specified at equal intervals of time, with the calculation of their correlation matrices and the construction of the charts of the variables in two coordinate systems, comparative analysis.

Results of research: It is shown that in cyclical climate change on land, global water balance as a whole and its components in different relative units and phase orientations, depending on the properties of components of water balance, natural environments, two groups of variables are studying: Helicomic (Baricentric Sun Movements, Solar activity, long-term solar insolation, greenhouse gases, ozone concentration in the ionosphere, elements of the Earth orbit, geomagnetic field) and global temperature climatic variables caused by changes in the helikosmic factors leading from which is the barycentric movements of the Sun. There is a variability of the water balance depending on their geographic locations on continents. It is shown that the calculated changes in thermal and water resources on the territory of the sushy, changes in clouds and levels of lakes on continents at the observed time intervals is significantly interconnected in the phase-frequency domain, coordinated with changes in the heliocosmic variables leading from which is the barycentric movements of the Sun. It is shown that the change in the level of Lake Rudolf, located in Kenya, occurs in antiphase with changes in other lakes from the phase-frequency domain due to changes in the level of the lake in antiphase with changes in evaporation, evaporation and precipitation – the calculated changes in thermal and water resources on land ; Such a phenomenon is observed in changes in Lake Neivasha (Kenya). Data analysis obtained at the East station in Antarctica, bottom sediments of the ocean, in 379.3-1.1 thousand years in the past, graphs of changes in the elements of the

Earth orbit, established high consistency of changes in the Caspian level with changes in the angle of inclination, precession and eccentricity of the Earth orbits; In Holocene, agreed with changes in solar activity; coordinated with changes in earthquakes, the speed of rotation of the Earth and the duration of the earth's day, as well as the changes in YMO and the El-Niño phenomenon, with changes in evaporation and precipitation on land in the phase-frequency domain due to the influences of heliocosmic factors. It has been established that changes in the components of the water balance of the Arctic Islands, Greenland and the mountain glaciers are divided into two subgroups; The first includes changes in precipitation and drains, to the second, – changes in the resulting and increments of balance sheets. The components of the first subgroup are strongly agreed with the changes in the heliocosmic factors, the second, – with changes in climatic variables with a negative sign in changes in the balances of the Arctic Islands and Greenland; The second subgroup in the balance of mountain glaciers is strongly agreed with changes in the heliocosmic variables with a negative sign in the phase-frequency domain in the observed inter. In changes of phase-temporal characteristics of groups of factors are observed lattice structures of differently and unidirectional changes of variables, characterizing stochastic variability in natural environments.

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 динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши, изменения уровня озер в частях света, уровня Каспийского моря в разных временных интервалах, изменения гидрологических составляющих водного баланса арктических островов, составляющих водного баланса Гренландии и горных ледников на полушариях.

Результаты и обсуждение

1. Изменения облачности в частях Земного шара и расчетных изменений динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши по наблюдениям в 1901–1970,5 гг.

В исследованиях в составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , Ozon; расчетные изменения тепловых и водных ресурсов: испаряемость, испарения и осадки; изменения облачностей: района Европы, Северной Америки и Австралии; климатических: ТРО, ТРВ, YMO и приземной температуры f_3 .

На рисунке 1 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик облачностей в некоторых частях земного шара, группы взаимодействующих переменных.

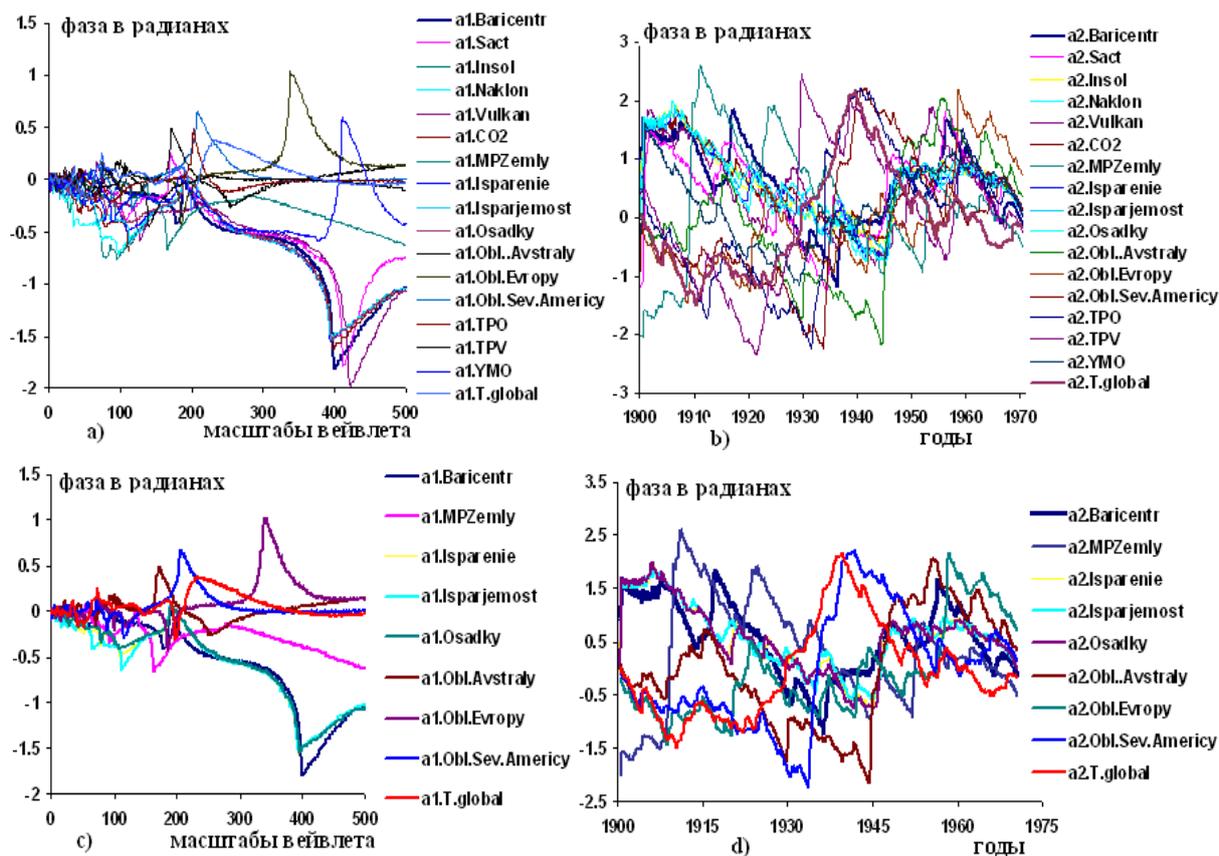


Рисунок 1 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$ и фазо-временных $a2 = \varphi_f(\bar{a}, b)$ характеристик гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 [1,2], магнитного роля Земли (MPZemly)); расчетных изменений динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши [3]: испарений (Isparenje), испаряемости (Isparjemoost), осадков (Osadky); облачностей на континентах: Австралии (Obl. Avstraly), Европы (Obl. Evropy), Северной Америки (Sev. Americy) [3–8]; климатических переменных: TPV, TPV, YMO, приземной температуры (Temp.prizemnn)[1]; с) и d) фазовых харатеристик: Baricentr, MPZemly, Isparenje, Isparjemoost, Osadky, Obl. Avstraly, Евроры Obl. Evropy, Sev. Americy Temp.prizemnn по наблюдениям интервале времени 1900,3–1970,5 гг.

На графиках изменений переменных и в матрицах корреляций фазовых характеристик обнаруживаются: 1) испаряемости, испарения и осадки на суше однонаправленно и значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов с $k = 0,89-0,97$ в фазо-частотной области и с $k = 0,56-0,97$ – в фазо-временной области без учета влияния магнитного поля Земли; 2) на изменчивость испаряемости, испарения и осадков на суше значительно влияние изменений магнитного поля Земли с $k = 0,62-0,64$ в частотной области и с $k = -(0,13-0,15)$ во временной области; 3) изменения облачностей на континентах обусловлены изменениями гелиокосмических переменных с $k = |0,04-0,47|$ в частотной области и с $k = |0,01-0,62|$ во временной области; влияние изменений магнитного поля Земли обуславливают изменение облачности с $k = -(0,02-0,60)$ в частотной области, с наибольшим изменений в Австралии, с наименьшим в Северной Америке, и с $k = |0,02-0,42|$ во временной области с наибольшими изменениями в Северной Америке и наименьшим в Австралии; 4) на изменчивость испаряемости, испарения и осадков на суше с $k = |0,04-0,57|$, облачности с $k = |0,37-0,68|$ значительны изменчивости климатических переменных в частотной области и с $k = |0,37-0,68|$, $k = |0,04-0,88|$, во временной области; 5) изменчивости этих же переменных обусловлены и изменениями магнитного поля Земли с $k = |0,04-0,27|$ в частотной области и с $k = |0,35-0,61|$ во временной области.

Коэффициенты корреляций между переменными значимы на уровне $\alpha = 0,08$ с вероятностью $p = 0,95$ по критерию Стьюдента.

Графики изменений фазо-временных усредненных характеристик облачностей на континентах, тепловых и водных ресурсов на суше содержат в своих составах составляющие, изменяющиеся с периодичностями: 27,7, 22,9, 15,6 (5,3), 7,9 (1,1), 5,7 (1,0), 2,9 (0,7) и 23,5, 14,6 (2,8), 9,4 (2,0), 5,6 (0,8), 1,8 (0,4) лет соответственно; в скобках указаны стандартные отклонения средних.

2. Изменения уровня озер в частях света

В исследованиях в составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan; уровней озер: Рудольф, Большое Соленое, Балхаш, Чад, Чаны, Мертвое, Каспий [3], Байкал [9, 10]; расчетные изменения тепловых и водных ресурсов: испаряемость, испарения и осадки; климатические: ТРО, УМО, f_3 . На графиках рисунка 2 приведены изменения вейвлетных фазо-частотных и фазо-временные характеристики гелиокосмических и климатических переменных, изменений уровней озер в частях света: Рудольф (Rudolf), Большое Соленое (B. Solenoe), Балхаш (Balhash), Чад (Chad), Чаны (Chany), Мертвое (Mertvoe), Каспий (Kaspy), Байкал (Baykal)

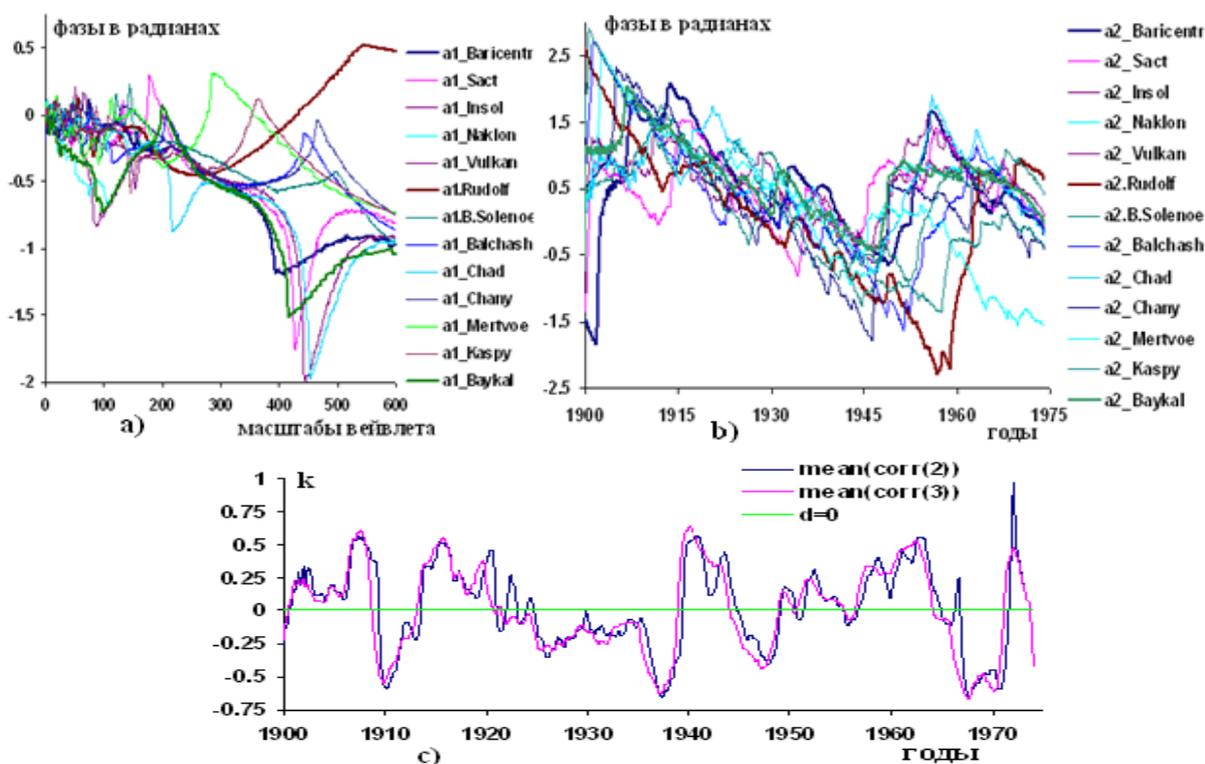


Рисунок 2 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan); в) усредненных фазо-временных характеристик коэффициентов корреляций k согласованных изменений фазо-временных характеристик переменных, приведенных на графиках б) и испарений, испаряемости, осадков, ТРВ, УМО, индекса ТДО, T_{global} ; графики получены усреднением текущих корреляций между переменными в интервалах времени 2 и 3 года (по 10 отсчетов между годами) в скользящем режиме

В работах [11–14] обсуждаются особенности колебаний озер и морей на разных континентах.

В откликах вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик озер: Рудольф, Большое Соленое, Балхаш, Чад, Чаны, Мертвое, Каспии и Байкала, расположенных на разных континентах, на действия гелиокосмических и климатических переменных: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, климатических переменных: УМО, ТРВ, глобальной приземной температуры f_3 ; расчетных изменений тепловых и водных ресурсов: испаряемости, испаре-

ний и осадков на суше *osadky* в интервале наблюдений 1900–1974 годы, приведенных на графиках а и в рисунка 2 проявляются следующие закономерности:

- 1) наблюдаются существенные отличия изменений фаз переменных в заданной спектральной области (масштаба вейвлета), характеризующие различия в условиях изменений уровней озер на разных континентах, в том числе и влиянием антропогенного фактора;
- 2) наблюдается изменчивость уровней озер преимущественным влиянием гелиокосмических факторов с $k = 0,50$ (0,43) в фазо-частотной области и с $k = 0,50$ (0,28) в фазо-временной области по сравнению с влиянием климатических факторов с $k = 0,06$ (0,27) в фазо-частотной области и с $k = -0,46$ (0,23) в фазо-временной области; изменения уровней озер взаимосогласованы с $k = 0,40$ (0,54) в фазо-частотной области и с $k = 0,65$ (0,22) в фазо-временной области, характеризующие разные уровни согласованностей изменений переменных в частотной и временных областях на действия факторов; в скобках указаны значения стандартных отклонений коэффициентов корреляций от средних.
- 3) Наблюдается значительное согласованное изменение гелиокосмических переменных с изменениями расчетных тепловых и водных ресурсов: испаряемости, испарений и осадков с $k = 0,94$ (0,03) в фазо-частотной области и с $k = 0,71$ (0,24) в фазо-временной области; изменения этих переменных в фазовых областях взаимосогласованы с $k = 0,97$ (0,03).
- 4) В изменении фазо-временных характеристик уровней озер, геокосмических переменных, приведенных на графиках в рисунка, в 1913–1947 годы проявляется согласованное однонаправленное снижение по фазе групп переменных в колебательных режимах с последующим переходом на рост по фазе с разной интенсивностью (проявляется и в изменении графиков с на рисунке 2).
- 5) В наблюдаемом интервале времени проявляется аномальное изменение уровня озера Рудольф (пустынное озеро в Кении) в фазо-частотной области с $k = -0,53$ (0,09) на действия гелиокосмических факторов, по сравнению с изменениями уровней других озер в группе с $k = 0,50$ (0,43), обусловленное, скорее всего, его географическим расположением, геомагнитными особенностями, на которой переменные (испаряемость, испарение и осадки) изменяются в отрицательном направлении (проявление снижения уровня озера с сильной испаряемостью, испарением озера и снижением осадков в регионе).
- 6) На графиках с рисунка 2 отображается цикличность согласованности изменений уровней озер на континентах на воздействия факторов с периодичностями: 18,9, 9,6 (1,7), 6,9 (0,9), 3,6 (0,7), 2,2 (0,3) лет. Графики получены как коэффициенты корреляций фазо-временных характеристик переменных, приведенных на графиках в рисунка 2, в текущих 2 и 3 – годовых интервалах усреднения в скользящем режиме.
- 7) Наблюдается сильная вариация изменений уровней озер к изменениям магнитного поля Земли в частотной области с $k = |0,01-0,79|$; наиболее чувствительны к изменениям уровни озер: Чаны, Иссык-Куль, Нейваша, Большое Солёное с $k = |0,41-0,79|$, характеризующее аномальность поля на поверхности Земного шара.

В изменении уровня Каспия обнаружены периодичности в годах: 70,4, 34,7 (3,3), 17,1 (3,2), 10,3 (1,2), 5,4 (1,4), 2,5 (0,9); они вычисляются построением изображения ее фазо-частотной функции $\varphi_f(a,b)$ по наблюдениям в 1839–1998,6 годы.

В изменении уровня озера Байкал обнаружены периодичности в годах: 83,8, 41,5, 13,6 (1,6), 11,0 (2,6), 6,3 (1,3), 3,1 (0,7) по наблюдениям в 1890–2016,1 годы.

В изменении уровня озера Арала обнаружены периодичности в годах: 23,7, 20,6, 11,5 (1,0), 8,0 (2,1), 4,8 (1,0), 1,7 (0,5) по наблюдениям в 1913,5–1991,7 годы.

3. Изменения уровня Каспийского моря по наблюдениям гелиокосмических и климатических переменных в разных временных интервалах

А. Изменения уровня мирового океана, толщины льда, парниковых газов, пыли в атмосфере по данным глубокого бурения ледниковых скважин в Антарктиде, реконструкции ко-

лебания озера Каспия, гелиокосмических и климатических переменных в 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом

На рисунке 3 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик переменных по данным 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом; графики представлены 1893 отсчетами с дискретностью по ~200 лет. гелиокосмических, глобальных климатических переменных по данным бурений ледниковых скважин в Антарктиде, реконструкции колебаний озера Каспия [7], точности реконструкций которых составляют ~1 тыс. лет.

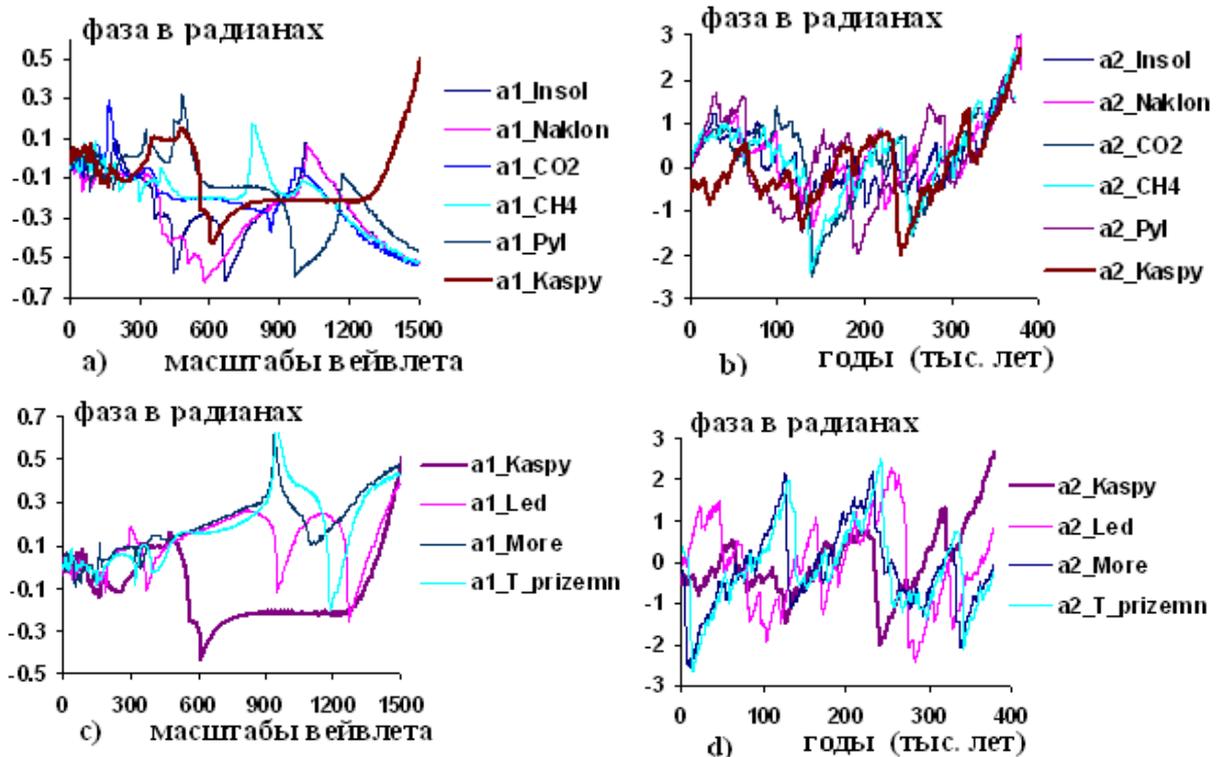


Рисунок 3 – Графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик а) и б) *Insol*, *Naklon*, CO_2 , CH_4 , *Pyl*, *Kaspy*; в) и г) *Kaspy*, *Led*, *More*, *T.prizemn* по наблюдениям 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом

В работах [15, 16] проводится анализ причин изменений уровня Каспийского моря.

В откликах вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных по длительным 379,3–1,1 тысячелетним в прошлом реконструированным наблюдениям, представленных графиками а, б, в, г рисунка 3 и вычисленных таблиц корреляций фазовых характеристик обнаруживаются следующие закономерности: 1) совокупность характеристик в фазовых областях разделяется на два класса; к первому относятся изменения: многолетней солнечной инсоляции *Insol*, элементов орбиты Земли *Naklon*, эксцентриситета *Екс*, и прецессии *Prec*, парниковых газов: CO_2 , CH_4 (на графиках б рисунка 3 фазовых характеристик переменных CO_2 и CH_4 наблюдается почти полное совпадение кривых) и атмосферной пыли *Pyl*; ко второй группе относятся изменения толщины льда моря *Led*, уровня моря *More*, глобальной приземной температуры f_3 и изменения уровня Каспия *Kaspy*; 2) в фазо-частотной области изменчивости климатических переменных согласованы с изменениями гелиокосмических переменных согласованы с $k = -0,25$ (0,34), в фазо-временной области подгруппы переменных согласованы с $k = 0,01$ (0,40); при этом изменчивость уровня Каспия согласована с изменениями гелиокосмических факторов в фазо-частотной области с $k = |0,04-0,44|$, с наибольшим влиянием на изменчивость уровня Каспия эксцентриситета Земли с обратным знаком, в фазо-временной области с $k = |0,12-0,64|$; 3) изменчивости климатических

переменных взаимосогласованы с $k = 0,40$ (0,41) в фазо-частотной области и с $k = 0,31$ (0,47) в фазо-временной области; 3) на графиках фазо-временных характеристик переменных наблюдается решетчатая структура изменений переменных, характерное в изменении климата на Земле.

Следует заметить, что изменчивости переменных в фазо-временной области являются лишь проявлением изменчивостей переменных в фазо-частотной области. Изменчивости переменных в фазо-частотной области отражают частотные составы переменных и их изменчивость в интервале времени наблюдения.

В исследуемом интервале времени наблюдаются периоды колебаний Каспия в интервале тыс. лет: 159,9–129,7, 63,1 (11,5), 42,3 (6,2), 20 (5,6), 12,3 (3,7), 88 (1,9), 3,9 (1,5), согласованные с периодами колебаний гелиокосмических переменных (Insol, Naklon) с $k = -$ (0,11, 0,14); с скобках указаны стандартные отклонения периодов колебаний Каспия.

Б. Изменения реконструкции колебания Каспия в голоцене, от 2000 г. в настоящем до 9835 г. в прошлом

В исследованиях использованы реконструкции колебаний Каспия [15], солнечной активности [17] и приземной температуры [18] в интервале времени от 2000 тыс. лет в настоящем до 9835 лет в прошлом. Исследования проведены с числовыми данными с дискретами по времени в 5 лет.

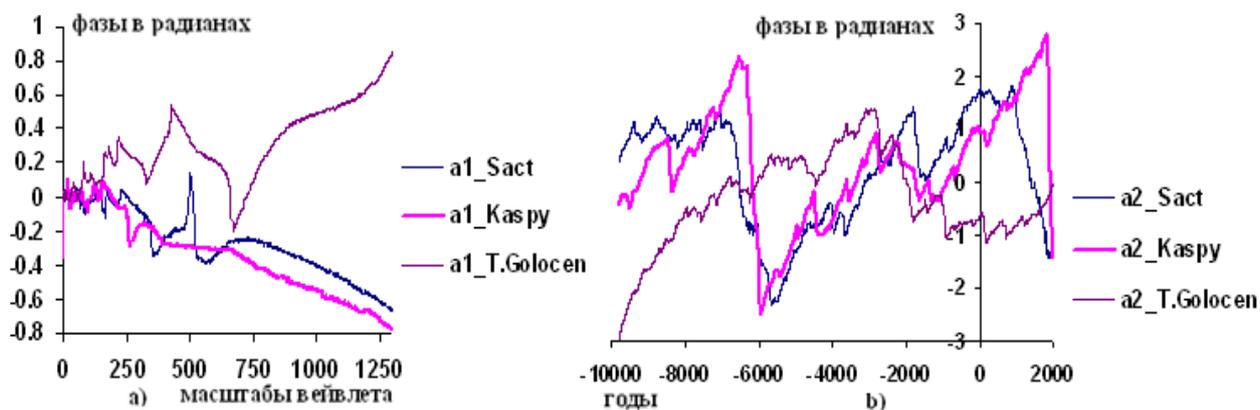


Рисунок 4 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: солнечной активности (Sact), уровня Каспийского моря (Kaspuy), приземной температуры в голоцене (T. Golocen) (в интервале времени от 2000 тыс. лет в настоящем до 9835 лет в прошлом)

На графиках наблюдаются значительные согласованности изменений уровня Каспия с изменениями солнечной активности и приземной температуры в фазовых областях; наблюдаются характерные однонаправленности изменений кривых на графиках б рисунка 4 в окрестностях -10000, -6000 и ± 2000 тысяч лет. Численные значения согласованных изменений кривых в среднем в наблюдаемом интервале времени приведены в таблице.

Таблица 1

Корреляции фазо-частотных и фазо-временных характеристик солнечной активности, изменений уровня Каспия и приземной температуры в голоцене

переменные	Фазо-частотные характеристики $a1 = \varphi(a, \bar{b})$			Фазо-временные характеристики $a2 = \varphi(\bar{a}, b)$		
	Sact	Kaspuy	T.golocen	Sact	Kaspuy	T.golocen
Sact	1			1		
Kaspuy	0,92	1		0,56	1	
T.golocen	-0,72	-0,76	1	-0,54	-0,22	1

В таблице знаками коэффициентов отражаются направленности относительных изменений графиков. На графиках а фазо-частотных характеристик трех разных переменных рисунка отражаются изменчивости графиков по фазе при действии на соответствующие процессы факторов с разными частотами в одни и те же моменты времени; наблюдаются согласован-

ности откликов переменных на действия одних и тех же факторов в одно и тоже время, но с разными интенсивностями.

В исследованиях по наблюдениям в голоцене обнаруживается изменчивость уровня Каспия преимущественным влиянием гелиокосмического фактора, – солнечной активности, отражаемые на графиках и в таблице корреляций.

В изменении уровня Каспийского моря в голоцене при действии действующих факторов обнаруживаются периодичности: 6205, 4500, 2323, 1732 (235), 466 (101) в годах.

В. Колебания уровня Каспия изменениями гелиокосмических и климатических переменных, параметров движения Земли по наблюдениям в 1901,1–1998,6 годы

В составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Naklon, Vulkan; в составе параметров движения Земли: землетрясения (Zeml-e), ход среднегодовых относительных отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной (dP_deny), ход изменения скорости вращения Земли (Vel_Zemly), скорость изменения длительности земных суток (Ind_LOD); в составе климатических переменных: уровень мирового океана YMO, El-Nino, глобальная приземная температура f_3 [19].

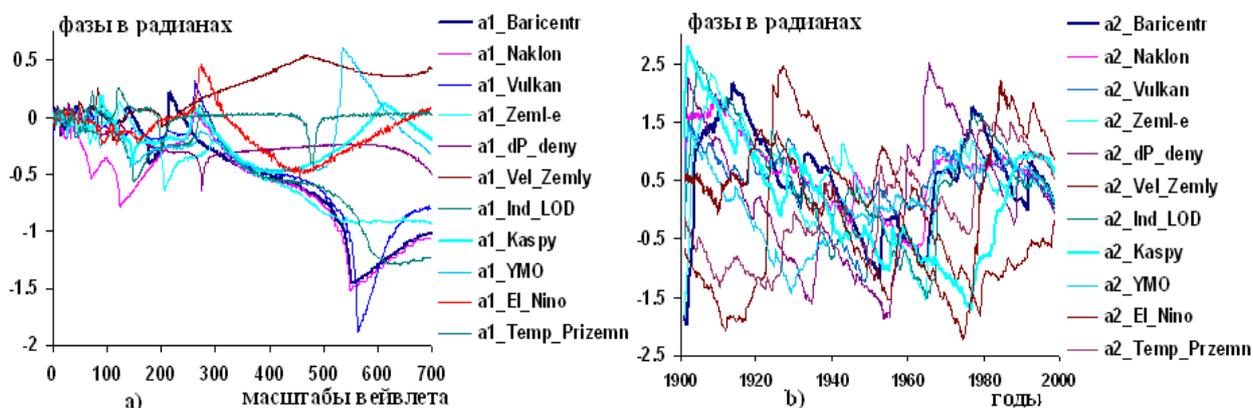


Рисунок 5 – Графики изменений вейвлетных: а) фазо-частотных и б) фазо-временных характеристик гелиокосмических: Baricentr, Naklon, Vulkan,), землетрясений (Zeml-e), отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной (dP_deny), скорости вращения Земли (Vel.Zemly), скорости изменения земных суток (Ind.LOD), уровня Каспийского моря (Kaspy); уровня Мирового океана (YMO), явления Эль-Нино (El-Nino), глобальной приземной температуры (Temp.prizemn) в 1901,1–1998,6 годы

На графиках *a* рисунка 5 отражены особенности откликов группы переменных на воздействия гелиокосмических и климатических факторов: крупных планет солнечной системы, солнечной активности, процессов, происходящих в атмосфере Земли влиянием мирового океана, геомагнитного поля. Как видно из графиков, эти влияния отражаются на изменении частотных составов переменных в группе, в том числе и на изменения уровня Каспийского моря. Изменения переменных в частотной области, обусловленные действиями факторов, отображаются на изменениях переменных во временной области, приведенных на графиках *b* рисунка 5.

В исследовании рассмотрена следующая последовательность взаимовлияний переменных: а) действие гелиокосмических переменных на изменчивость параметров движения Земли, климатических переменных и на изменчивость уровня Каспия в двух областях: фазо-частотном и фазо-временном; б) действие изменчивости параметров движения Земли на изменчивость уровня Каспия в двух областях: в частотном и временном. В терминах коэффициентов согласованностей изменений переменных подгруппы согласованы: 1) гелиокосмических переменных с параметрами движения Земли с $k = |0,18-0,91|$ в фазо-частотной области с наибольшими влияниями Baricentr и Sact и с $k = |0,21-0,84|$ в фазо- временной области с наибольшими влияниями Baricentr, Sconst, Insol, Naklon, CO_2 ; 2) гелиокосмических переменных с уровнем изменения Каспия с $k = |0,01-0,13|$ в фазо-частотной области и с $k = 0,25-0,64$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями Sconst, Insol, Naklon, CO_2 ; 3) ге-

лиокосмических переменных с климатическими переменными с $c = |0,04-0,48|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,40|$ в фазо-временной области; существенны согласованности изменений гелиокосмических переменных с изменениями YMO и El-Nino с $c = |0,29-0,48|$ в фазо-частотной области; 4) параметров движения Земли с изменениями уровня Каспия с $k = |0,01-0,44|$ в фазо-частотной области с наибольшим влиянием изменений скорости вращения Земли и с $k = |0,10-0,51|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием индекса LOD; 5) климатических переменных с изменениями уровня Каспия с $k = 0,15-0,65$ в фазо-частотной области с наибольшими влияниями YMO и El-Nino и с $k = |0,01-0,63|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями El-Nino и приземной температуры f_3 . 4) Показано, что по наблюдениям 1901,1–1975 гг. изменения уровня Каспия существенно, с $k = 0.32-0,35$ и с $k = 0.63-0,69$, согласованы с изменениями испарений, испаряемости и осадков на территории суши в фазо-частотной и фазо-временной областях, соответственно.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что изменения (колебания) уровня Каспийского моря обусловлены изменениями климатических переменных (глобальной температуры, уровня мирового океана, изменений явления Ель-Ниньо), параметров движения Земли (изменений скорости вращения Земли, индекса LOD, среднегодовых относительных отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной величины, землетрясений), обусловленные изменениями гелокосмических факторов, барицентрических движений Солнца.

В колебаниях уровня Каспия в 1840–2016 годы наблюдаются периоды в годах: 62,9, 29,7 (2,4), 12,6 (2,8), 8,9 (2,0), 4,6 (1,2), 2,0 (0.6).

4. *Изменения гидрологических составляющих водного баланса арктических островов по наблюдениям в 1900–1973,2 гг.*

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan), климатические (Srad1, TPO, YMO, El-Nino (E/N), лед Арктики (Led. Arktiky), температура Арктики (T. Arktiky), температура приземная (T. prizemn)) и составляющие водного баланса арктических островов (атмосферные осадки, жидкий сток, результирующее водного баланса, приращения суммарного водного объема оледенения)

На рисунке 6 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик климатических переменных и водного баланса арктических островов [8], – откликов на воздействия гелиокосмических и климатических факторов.

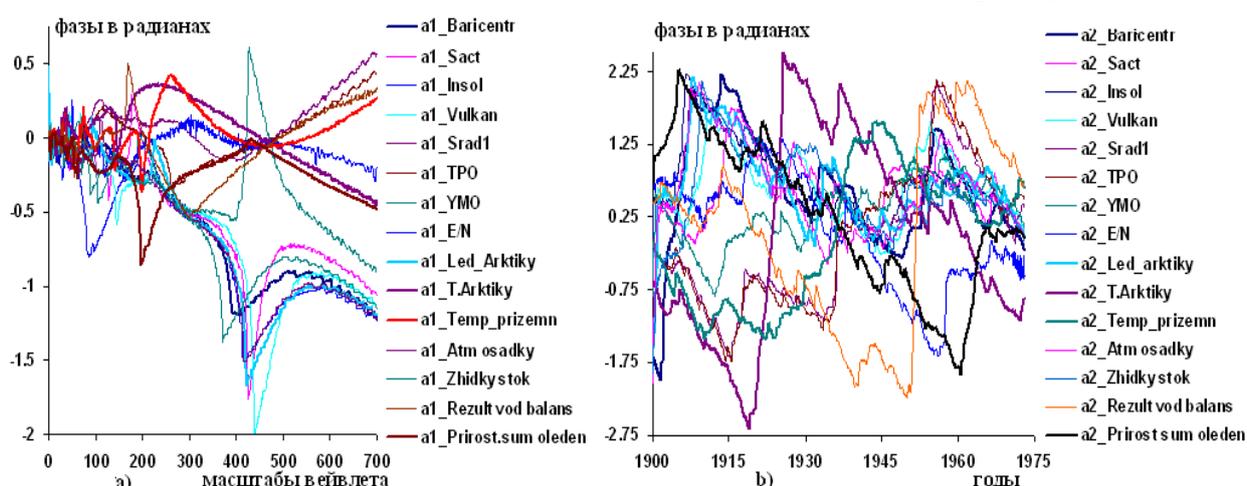


Рисунок 6 – Графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: а) и б) гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan), климатических (Srad1, TPO, YMO, E/N, Led arktiky, T. arktiky, Temp. prizemn, составляющих водного баланса арктических островов: атмосферных осадков (Atm. osadky), жидкого стока (Zhidky stok), результирующего водного баланса (Rezult. vod. balans) и приращений суммарного водного баланса оледенения (Prirost. sum. oleden) в 1900–1973,2 гг.

На графиках а и б фазовых характеристиках рисунка 6 с очевидностью отображаются согласованности изменений гелиокосмических и климатических переменных с изменениями со-

ставляющих водного баланса арктических островов в частотной и временной областях, изменениями глобальной температуры, температуры и ледового состояния в арктической зоне; проявляются изменения направленностей (фаз) и смещенностей частотных составов переменных в наблюдаемом интервале времени, обусловленные взаимодействием Мирового и Ледовитого океанов с атмосферой Земли. В матрицах корреляций фазовых характеристик переменных проявляются усредненные закономерности мер согласованностей изменений переменных:

- 1) Неравнозначны отклики составляющих водного баланса арктических островов на воздействия гелиокосмических переменных в частотных и временных областях; атмосферные осадки и жидкий сток согласованы с $k = 0,78-0,97$ в фазо-частотной области и с $k = 0,37-0,88$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием барицентрических движений Солнца; изменения результирующего водного баланса и приращения суммарного водного объема оледенения откликаются с $k = -(0,10-0,21)$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,56|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями *Insol* и *Vulkan*.
- 2) Первая подгруппы составляющих водного баланса арктических островов согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,98|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием изменений льдов и температуры в Арктике, с $k = |0,10-0,81|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями ТРО, УМО, льдов и температуры в Арктике и глобальной температуры.
- 3) Изменения второй подгруппы переменных водного баланса арктических островов, – результирующего баланса и приращений водного объема оледенений, согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,90|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,82|$ в фазо-временной области; влияния факторов на переменные близки к равномерному.
- 4) Значительны взаимосогласованности изменений атмосферных осадков и жидкого стока с $k = 0,90$ в фазо-частотной области и с $k = 0,75$, в фазо-временной; слабо согласованы изменения составляющих второй подгруппы и самих подгрупп в фазовых областях.
- 5) Значительно согласованы изменения солнечной радиации *Srad1*, *Srad2* и ТРО, УМО, *El-Nino* в фазовых областях с $k = |0,37-0,98|$.

Заметим, что на изменения атмосферных осадков и жидкого стока на арктических островах преимущественное влияние оказывают изменения гелиокосмических факторов в фазо-частотной области по сравнению с влиянием климатических переменных. В изменениях атмосферных осадков в арктической зоне содержатся периодичности: 45,8, 22,9, 11,7 (1,4), 8,3 (2,3), 4,3 (1,0), 2,0 (0,4) лет по наблюдениям в 1900–1973,2 гг.

5. Изменения составляющих водного баланса Гренландии по наблюдениям в 1900–1974,3 гг.

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (*Baricentr*, *Sact*, *Insol*, *Naklon*, *Vulkan*), климатические (*Srad1*, *Srad2*, ТРО, УМО, *El-Nino* (*E/N*), лед Арктики (*Led. Arktiky*), температура Арктики (*T.Arktiky*), температура приземная (*T.prizemn*)) и составляющие водного баланса Гренландии: атмосферные осадки (*Grenland1*), айсберговый сток (*Grenland2*), жидкий сток (*Grenland3*), суммарный водно-ледниковый сток (*Grenland4*), результирующая водного баланса (*Grenland5*), приращение водно-ледниковых запасов (*Grenland6*).

Характеристики изменений составляющих водного баланса Гренландии описаны в [21–27]. Графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик, – откликов изменений составляющих водного баланса Гренландии на воздействия гелиокосмических, глобальных климатических переменных:

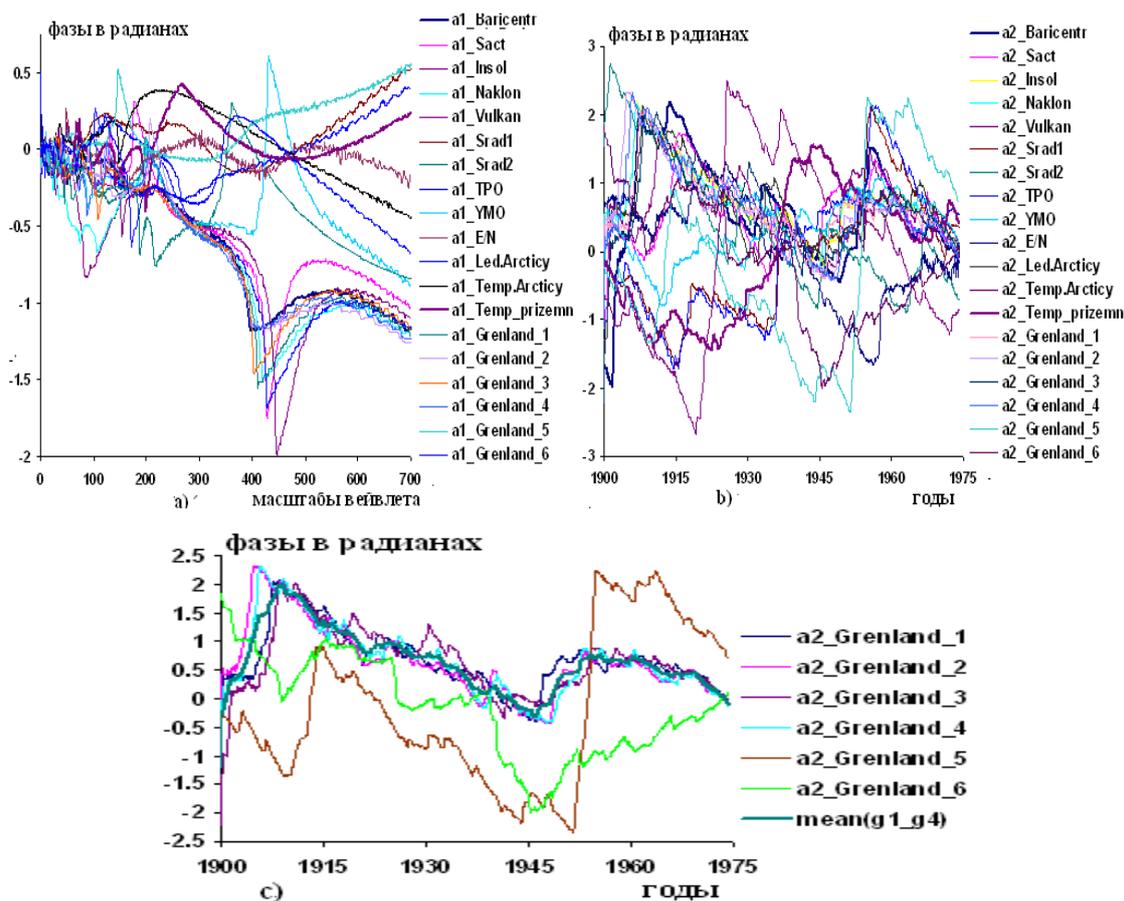


Рисунок 7 – Графики вейлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: а) и б) гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan), климатических (Srad1,Srad2,TPO, YMO, E/N), составляющих водного баланса Гренландии: а) атмосферных осадков (Grenland_1), айсбергового стока (Grenland_2), жидкого стока (Grenland_3), суммарного водно-ледникового стока (Grenland_4), результирующего водного баланса (Grenland_5), приращений водно-ледниковых запасов (Grenland_6); в) фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии и усредненной кривой первых четырех переменных (mean (g1-g4)) в 1900–1974,3 гг.

В откликах вейлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии на воздействия гелиокосмических и климатических переменных, представленных на графиках а и б рисунка 7 и в вычисленных таблицах корреляций фазовых характеристик, полученных по наблюдениям за переменными в 1900–1974,3 гг., проявляются следующие закономерности:

- 1) Группа составляющих водного баланса Гренландии разделяется на две подгруппы, в первую входят первые четыре составляющие: атмосферные осадки, айсберговый сток, жидкий сток и суммарный водно-ледниковый сток; во вторую: результирующая водно-го баланса и приращение водно-ледниковых запасов.

Таблица 2

Корреляции составляющих групп водного баланса Гренландии

Факторы	Группы переменных	Фазо-частотные характеристики	Фазо-временные характеристики
Гелиокосмические	1 подгруппа	0,93 (0,03)	0,65 (0,27)
	2 подгруппа	-0,26 (0,44)	0,28 (0,17)
Климатические	1 подгруппа	0,25 (0,37)	-0,12 (0,54)
	2 подгруппа	-0,08 (0,57)	-0,05 (0,52)
ВКФ	1 подгруппа	0,57 (0,65)	0,67(0,30)
	2 подгруппа	-0,07 (0,64)	0,39 (0,34)

- 2) В таблице корреляций составляющих групп водного баланса Гренландии приведены согласованности изменений подгрупп переменных на воздействия гелиокосмических и климатических переменных и взаимокорреляций внутри подгрупп в двух фазовых областях (ВКФ). В таблице в скобках указаны значения стандартных отклонений коэффициентов корреляций переменных от средних.
- 3) Наблюдаются значительные согласованные изменения атмосферных осадков, айсбергового, жидкого и суммарного водно-ледникового стоков на изменения гелиокосмических переменных в фазо-частотной области с $k = 0,93$ (0,03) и с $k = 0,65$ (0,27) в фазо-временной области, характеризующие близость частотных составов изменений гелиокосмических факторов и составляющих водного баланса Гренландии, наблюдаемые на графиках а рисунка 7.
- 4) На изменчивость результирующего водного баланса и приращений водно-ледниковых запасов Гренландии также существенны изменения гелиокосмических факторов с $k = -0,26$ (0,44) в фазо-частотной области, но с обратным знаком в наблюдаемом интервале времени.
- 5) Наблюдается аналогичность изменений составляющих водного баланса Гренландии и арктических островов, характеризующих схожесть климатических изменений в регионах.
- 6) На графиках с рисунка 7 приведены изменения фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии и усредненные изменения первой подгруппы переменных $\text{mean}(g1_g2)$ в наблюдаемом интервале времени 1900–1974,3 гг.; кривая содержит составляющие периодичностей в годах (спектра): 48,1, 24,0, 20,8 (4,3), 15,4 (2,6), 8,9 (1,5), 4,2 (1,4), 2,1 (0,5).

6. Изменения составляющих водного баланса горных ледников по наблюдениям 1900–1974,7 гг.

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2), климатические (Srad1, Srad2, TPO, YMO, El-Nino (E/N), лед Арктики (Led.Arktiky), температура Арктики (T.Arktiky), температура приземная (T.prizemn)) и составляющие водного баланса горных ледников: атмосферные осадки (Lednik1), талый сток (Lednik2), результирующая баланса (Lednik3), суммарное приращение объема ледников (Lednik4) [8]. Изменчивости горных ледников описаны в работах [28–32].

На рисунке 8 отражены графики изменений составляющих водного баланса горных ледников и их отклики в виде вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик на воздействия гелиокосмических и климатических переменных.

На графиках изменений фазовых характеристик составляющих водного баланса горных ледников на воздействия гелиокосмических и климатических факторов наблюдаются следующие закономерности: 1) изменения подгрупп переменных: а) атмосферные осадки и талый сток и б) результирующая баланса и суммарное приращение объема ледников значительно согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,95$ (0,01) и с $k = -0,74$ (0,11) в фазо-частотной области и с $k = 0,66$ (0,30) и $k = 0,08$ (0,12) в фазо-временной области; 2) эти же подгруппы переменных (а, б) согласованы с изменениями климатических переменных с $k = 0,08$ (0,18) и $k = -0,10$ (0,51) в фазо-частотной области и с $k = -0,22$ (0,548) и $k = -0,20$ (0,55) в фазо-временной области с наибольшими влияниями изменений площади льдов и температуры в Арктике и солнечной радиации; 3) значительны согласованы изменения подгрупп составляющих водного баланса горных ледников с $k = |0,63-0,99|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,94|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием изменений атмосферных осадков и талого стока; 4) На графиках с рисунка 8 приведены относительные изменения двух групп составляющих водного баланса горных ледников в наблюдаемом интервале времени 1900-1974,7 гг; 5) вычислен спектр периодичностей изменений атмосферных осадков и талого стока в годах: 24,6, 12,2 (2,1), 9,0 (2,1), 5,0 (1,4), 2,1 (0,5) по наблюдениям за переменными в 1900-1974,7 гг; в скобках указаны стандартные отклонения коэффициентов корреляций от средних.

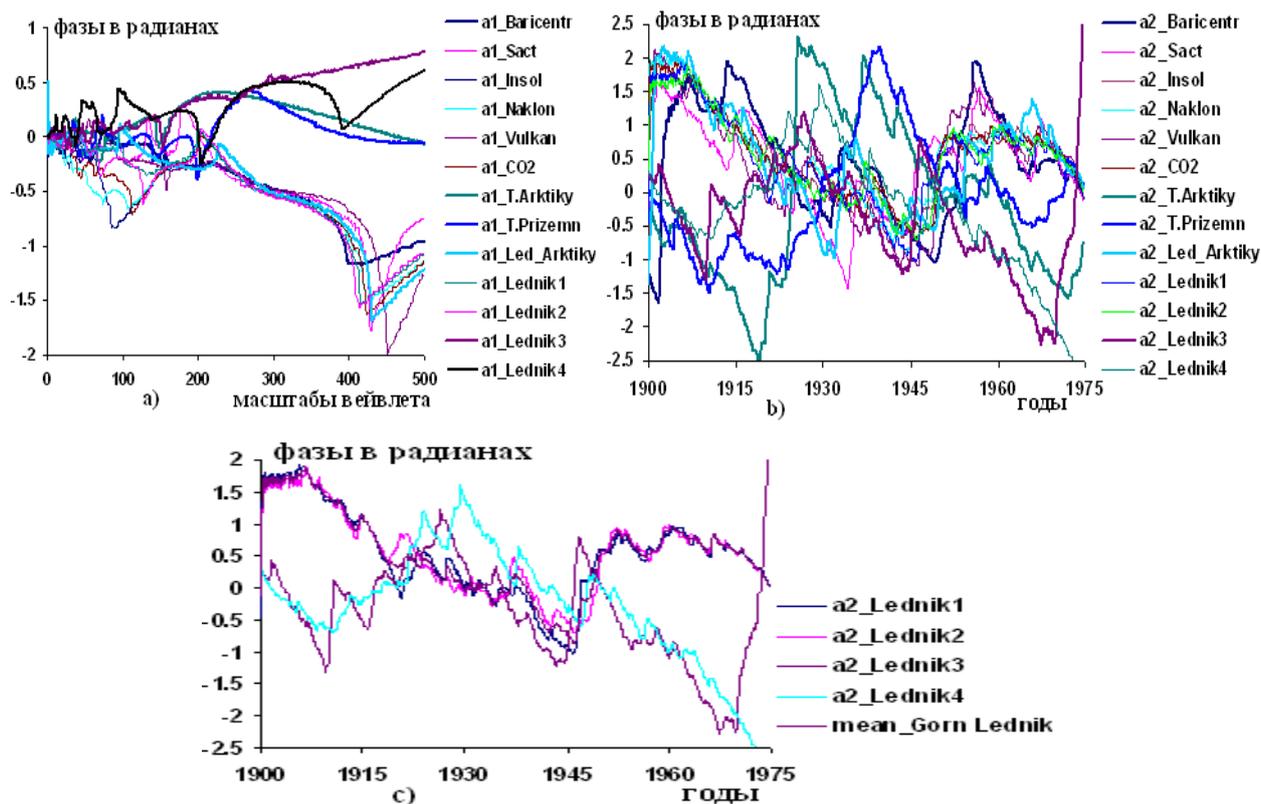


Рисунок 8 – Графики вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик: гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2), климатических: температуры в Арктике (T.Arktiky), приземной глобальной температуры (T.prizemn), ледового состояния в Арктике (Led Arktiky) и составляющих водного баланса горных ледников: атмосферных осадков (Lednik1), талого стока (Lednik2), результирующего баланса (Lednik3), суммарного приращения объема ледников (Lednik4); в) фазовых характеристик составляющих водного баланса горных ледников и усредненной кривой первых двух составляющих баланса по наблюдениям 1900–1974,7 гг.

Заключение и выводы

На графиках вейвлетных фазовых характеристик исследуемых переменных и их матриц корреляций в наблюдаемых интервалах времени проявляются следующие закономерности:

1. Существенное согласованное изменение гелиокосмических переменных и расчетных тепловых и водных ресурсов на территории суши с $k = 0,93-0,99$ в фазо-частотной области, влияние изменчивости тепловых и водных ресурсов на суше и климатических переменных с изменчивостью облачностей на континентах с $k = |0,10-0,68|$ по наблюдениям в 1901–1970,5 гг.

2. Изменения уровней озер на континентах значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов с $k = 0,50 (0,43)$ в фазо-частотной области по сравнению с влиянием климатических переменных с $k = 0,06 (0,27)$ по наблюдениям в 1900–1974 гг.; значительны согласованности изменений уровней озер на континентах с изменениями испаряемости, испарений и осадков на суше с $k = |0,10-0,99|$ в фазовых областях; при этом изменения уровня пустынного озера Рудольф в Кении происходит в противофазе с изменениями других озер, связанные с согласованностью изменений испаряемости, испарений и осадков в регионе с $k = -0,57$ с изменениями гелиокосмических переменных.

3. В изменениях уровня Каспийского моря по наблюдениям в 378,3–1,1 тыс. лет в прошлом наблюдается сильная согласованность с изменениями элементов орбиты Земли (Naklon, 'Екс (эксцентриситет)), Insol с $k = - (0,11-0,44)$ с наибольшим влиянием эксцентриситета в фазо-частотной области; в интервале времени от 2000 тыс. лет в современности до 9835 года в прошлом, в голоцене, изменения уровня Каспия согласованы с изменениями сол-

нечной активности с $k = 0,92$ и с изменениями приземной температуры с $k = -0,72$ в фазо-частотной области; по наблюдениям в 1901,1–1998,6 годы изменения уровня Каспия в фазо-частотной области согласованы с изменениями солнечной активности с $k = 0,13$, изменениями землетрясений, скорости вращения Земли и продолжительности земных суток с $k = -(0,11-0,44)$ с наибольшим влиянием скорости вращения Земли; существенны влияния изменений приземной температуры f_3 , уровня мирового океана УМО и явления Эль-Нино (E/N) с $k = 0,15-0,85$ наибольшим влиянием E/N, обусловленные влияниями гелиокосмических факторов; показано, что по наблюдениям 1901,1–1975 гг. изменения уровня Каспия существенно, с $k = 0,32-0,35$ и с $k = 0,63-0,69$, согласованы с изменениями испарений, испаряемости и осадков на территории суши в фазо-частотной и фазо-временной областях соответственно.

4. В изменении водного баланса арктических островов и Гренландии наблюдается разделение составляющих балансов на две подгруппы в фазо-частотной области: а) атмосферные осадки и жидкий сток на арктических островах, атмосферные осадки, айсберговый и жидкий стоки, суммарный водно-ледниковый сток в водном балансе Гренландии, которые согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,90-0,94$ и б) результирующий баланс и приращения суммарного водного объема оледенения в балансе арктических островов, результирующая водного баланса и приращения водно-ледниковых запасов в водном балансе Гренландии согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,87|$.

5. В изменении составляющих водного баланса горных ледников на воздействия гелиокосмических переменных в интервале времени 1900–1974,7 годы наблюдается разделение группы на две подгруппы в фазовых областях: а) атмосферные осадки и талый сток, согласованные с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,95 (0,01)$ в фазо-частотной области и с $k = 0,66 (0,30)$ в фазо-временной области; б) результирующая баланса и суммарное приращение объема ледника согласованы с изменениями гелиокосмических переменных $k = -0,74 (0,11)$ в фазо-частотной области (в противофазе с изменениями первой подгруппы) и с $k = 0,08 (0,12)$ в фазо-временной области.

6. На графиках изменений фазовых характеристик групп переменных наблюдается решетчатая структура изменений гелиокосмических и климатически переменных, цикличность изменений составляющих мирового водного баланса, характеризующая цикличность изменения климата в наблюдаемых временных интервалах.

Литература

1. 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.

2. 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.

3. Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – 696 с. – Текст : непосредственный

4. Касимов, Н. С. Введение. Проблемы глобальных изменений / Н. С. Касимов, Р. К. Клиге // Современные глобальные изменения природной среды. – Т. 3. Факторы глобальных изменений. – М. : Научный мир, 2012. – С. 19–34. – Текст : непосредственный.

5. Henderson-Sellers, A. Continental clouiness changesthis century / A. Henderson-Sellers // *GeoJournal*, 1992. – V. 27, № 3. – P. 255–262.
6. Dai, A. Surface Observer Global Land Precipitatin Variations during 1900-88 / A. Dai, J. Y. Fung, A. D. Genio // *Journal Climate*. – 1997. – V. 10, № 11. – P. 2943–2962.
7. Магомедов, М. Г. Каспийская Атлантида / М. Г. Магомедов, С. А. Каспаров, Н. В. Тупик // *Научная мысль. Кавказ*. – 1997. – С. 51–60. – Текст : непосредственный.
8. 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.
9. Никитин, В. М. 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.
10. Бережных, Т. В. Колебания притока воды в водохранилища Ангарского каскада ГЭС в условиях глобального изменения климата / Т. В. Бережных, Н. В. Абасов. – Текст : электронный // *Гос. доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2008 г. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области*. – Иркутск, 2009. – С. 320–325. – URL : <https://vossta.ru/doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okrujayushej-sredi-irkutskoj-o.html> (дата обращения: 10.03.2022).
11. Minale, A. S. Water level fluctuations of Lake Tana and its implication on local communities livelihood, northwestern Ethiopia / A. S. Minale // *International Journal of River Basin Management*. – 2019. – V. 18, № 4. – P. 503–510.
12. Tokano, T. Modeling of Seasonal Lake Level Fluctuations of Titans Seas / T. Tokano, R. D. Lorenz // *Journal of Geophysical Research Planets*. – 2019. – V. 124, № 2. – P. 617–635.
13. Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its Environmental Consequences Using Multitemporal Landsat 7. ETM+ Images. / V. Nhu, A. Mohammadi, H. Shahabi, A. Shirzadi, N. Al-Ansari, B. B. Ahmad, W. Chen, M. Khodadadi, M. Ahmadi, K. Khosravi, A. Jaafari, H. Nguyen // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – V. 17, № 12. – URL : <https://europemc.org/article/med/32545634> (data of application: 10.03.2022).
14. Sea-level fluctuations driven by changes in global ocean basin volume following supercontinent break-up / N. M. Wright, M. Seton, S. E. Williams, J. M. Whittaker, R. D. Müller // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – V. 208. – Pp. 1–12.
15. Табелинова, А. С. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия и методы исследования / А. С. Табелинова. – Текст : непосредственный // *Евразийский союз ученых*. – 2019. – Т. 4 (61). – С. 34–40.
16. Гаршин, И. К. Циклы древних миграций из Урала в Среднеземноморье по данным археологии, лингвистики, популяционной генетики и климатологии / И. К. Гаршин. – Текст : электронный. – 2019. – URL : www.garshin.ru/history/archeology/ancient-eurasia/bbc-r1b-match.htm (дата обращения: 10.03.2022).
17. Solanki, N. K. An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 1100 years / S. K. Solanki, I. K. Usoskin, B. Kromer, M. Schussler, J. Beer // *Nature* 2005. – Vol. 431, № 7012. – P. 11084–1087.
18. *History of Earth's Climate*. – 2020. – URL : <https://www.dandebate.dk/eng-klimate7.htm/> (data of application: 10.03.2022).
19. *Global Temperature Report for 2019*. – 2020. – URL : <http://berkeleyearth.org/2019-temperatures/> (data of application: 10.03.2022).
20. Fang Zou, F. Mass balance of the Greenland Ice Sheet from GRACE and Surface Mass Balance Modelling / F. Fang Zou, R. Tenzer, Y. S. Fok, E. Janet, J. E. Nichol // *Water*. – 2020. – V. 12, № 7. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/1847> (data of application: 10.03.2022).
21. Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018 / A. Shepherd, E. Ivins // *Nature*. – 2020. – V. 579. – P. 233–239.

22. Hanna, E. Greenland surface air temperature changes from 1981 to 2019 and implications for ice-sheet melt and mass-balance change / E. Hanna, J. Cappelen, X. Fettweis, S. Mernild, T. L. Ruth, M. K. Mottram, T. J. Ballinger, R. J. Hall // *International Journal of Climatology*. – 2020. – P. 1–17.
23. Mooney, C. Greenland's ice losses have septupled and are now in line with its highest sea-level scenario, scientist / C. Mooney // *Washington Post. Climate and Environment*. – 2019. – URL : <https://www.grandforksherald.com/news/science-and-nature/4815905-Greenlands-ice-losses> (data of application: 10.03.2022).
24. Lanteigne, M. The changing shape of Arctic security / Lanteigne M. // *NATO Review. Arctic News and Analysis*. 2019. – URL: <https://www.nato.int/docu/review/articles/2019/06/28/the-changing-shape-of-arctic-security/index.html> (data of application: 10.03.2022).
25. Mouginit, J. Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018 / J. Mouginit, E. Rignot, A. A. Bjørk, R. Millan, M. Morlighem, B. Noël, B. Scheuchl, M. Wood // *Proc National Academy Science USA*. – 2019. – V. 116, № 19. – P. 9239–9244.
26. Mielan Solly, M. Greenland Lost 12.5 Billion Tons of Ice in a Single Day / M. Meilan Solly // *Forbes*. – 2019. – URL : <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/08/06/greenland-lost-125-billion-tons-of-ice-in-one-day-a-grave-reminder-of-our-changing-planet/?sh = 9257a0a39868> (data of application: 10.03.2022).
27. Colgan, W. Greenland ice sheet mass balance assessed by PROMICE (1995–2015) / W. Colgan, K. D. Mankoff, K. K. Kjeldsen, A. A. Bjørk, J. E. Box, S. B. Simonsen, L. S. Sørensen, S. A. Khan, A. M. Solgaard, R. Forsberg, H. Skourup, L. Stenseng, S. S. Kristensen, S. M. Hvidegaard, M. Citterio, N. Karlsson, X. Fettweis, A. P. Ahlstrøm, S. B. Andersen, As D., R. S. Fausto // *Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS Bulletin)*. – 2019. – V. 43. – URL : <https://orbit.dtu.dk/en/publications/greenland-ice-sheet-mass-balance-assessed-by-promice-19952015> (data of application: 10.03.2022).
28. Castellazi, P. Glacial Melt and Potential Impacts on Water Resources in the Canadian Rocky / P. Castellazzi, D. Burgess, A. Rivera, J. Huang, L. Longuevergne // *Water Resources Research*. – 2019. – V. 55, № 12. – P. 10191–10217.
29. Wouters, B. Global Glacier Mass Loss During the GRACE Satellite Mission (2002–2016) / B. Wouters, A. S. Gardner, G. Geir Moholdt // *Frontiers in Earth Science*. – 2019. – URL : <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00096> (data of application: 10.03.2022).
30. Khromova, T. Changes in the mountain glaciers of continental Russia during the twentieth to twenty-first centuries / T. Khromova, G. Nosenko, S. Nikitin, A. Muraviev, V. Popova, L. Chernova, V. Kidyaeva // *Regional Environmental Change*. – 2019. – V. 19. – P. 1229–1247.
31. Martin, B. The impact of climate change on snow cover and Alpine glaciers: consequences on water resources / B. Martin // *Water. Streams and rivers*. – 2019. – URL : <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/water/impact-of-climate-change-on-snow-cover-and-alpine-glaciers-consequences-on-water-resources/> (data of application: 10.03.2022).
32. Maurer, J. M. Acceleration of ice loss across the Himalayas over the past 40 years / J. M. Maurer, J. M. Schaefer, S. Rupper, A. Corley // *Science Advances*. – 2019. – V. 5, № 6. – URL : <https://advances.sciencemag.org/content/5/6/eaav7266> (data of application: 10.03.2022).