

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР РАЙОНОВ МИРОВОГО ОКЕАНА И ПРЕДЫСТОРИИ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А. В. Больших

*Севастопольская морская академия, Россия*

*Поступила в редакцию 26 марта 2014 г.*

**Аннотация:** Доказано существование значимых статистических связей изменений среднемесячных поверхностных температур многих районов Мирового океана с некоторыми фрагментами предыстории вариаций солнечной активности. Для каждого месяца выявлены отрезки времени, для которых вариации солнечной активности значимо отрицательно коррелированы с изменениями в период с 1975 по 2012 г.г. поверхностных температур не менее чем 10 % от общего количества районов Мирового океана. Найдены отрезки времени, для которых корреляция рассматриваемых процессов в таком же количестве океанических районов является значимой и положительной. Установлено, что упомянутые отрезки от времени года не зависят, в то время как от этого фактора существенно зависят характеристики выявленных статистических связей. Наиболее сильная отрицательная корреляция имеет место в январе-феврале, а наиболее сильная положительная – с июня по ноябрь. Это свидетельствует о целесообразности их учета при сверхдолгосрочном прогнозировании изменений поверхностных температур Мирового океана, состояний озонового слоя и климата.

**Ключевые слова:** поверхностные температуры Мирового океана, предыстория вариаций солнечной активности, сезонные изменения, сверхдолгосрочное прогнозирование, корреляция.

**Abstract:** It has been proved the existence of significant statistical relationships of monthly surface temperatures changes in many areas of the World Ocean with some fragments of history of variations in solar activity. The periods of time are revealed for each month where the variations of solar activity was significantly negatively correlated with changes in the period from 1975 to 2012 surface temperatures of at least 10 % of the total areas of the World Ocean. The periods of time are found for which the correlation of the processes involved in the same amount of oceanic areas is significant and positive. It has been established that these periods are independent from season of the year, whereas characteristics of the identified statistical links are greatly dependent on this factor. The strongest negative correlation takes place in January and February, and the strongest positive – from June to November. It demonstrates the feasibility of their inclusion in super long forecasting of the changes of the surface temperatures of the World Ocean, the ozone layer and climate conditions.

**Key words:** surface temperatures of the World Ocean, the prehistory of variations in solar activity, seasonal changes, ultra long-term forecasting, correlation.

Значимыми факторами изменчивости состояний ландшафтов и климата многих регионов мира являются вариации поверхностных температур акваторий Мирового океана, в зонах влияния которых они расположены. Поэтому совершенствование методик сверхдолгосрочного прогнозирования подобных вариаций является актуальной проблемой физической географии, геофизики ландшафтов и климатологии.

При разработке таких прогнозов с использованием тех или иных численных методов решаются соответствующие системы дифференциальных уравнений физики Мирового океана, параметры которых заданы исходя из выбранного сценария будущего. Получаемые при этом прогнозы учитывают все выявленные причинно-следственные связи изучаемых процессов, тем не менее, их качество определяется не только изученностью подобных связей, но и степенью адекватности подобного сценария [6, 13, 15].

При прогнозировании крупномасштабных процессов в Мировом океане, которые характеризуются высокой инерционностью, одним из наиболее реалистичных является сценарий, предполагающий, что в будущем, для которого разрабатывается прогноз, характер связей изучаемого процесса существенно не изменится [18]. При этом наиболее точным может являться прогноз, когда при разработке учтены причинные связи изучаемого процесса и его наблюдаемых факторов, которые опережают его на время, превышающее соответствующее значение упреждения. Учет таких факторов в прогностических моделях при упреждениях, которые не превышают это время, гарантирует их робастность, а также высокое качество получаемых результатов [3, 24].

Одними из значимых факторов, определяющих поверхностную температуру любых акваторий Мирового океана, являются изменения поглощаемых ими потоков солнечной, а также тепловой радиации [4, 8, 11].

Согласно современным представлениям о характере этих изменений [26] к числу причин, способных вызывать эти изменения, относятся вариации солнечной активности [14].

Впервые связь между изменениями температур некоторых участков земной поверхности и вариациями солнечной активности установил Е. Е. Федоров [21]. Как фактор, значимо влияющий на климат, вариации солнечной активности рассматривали К. К. Марков, А. В. Шнитников, Х. К. Виллет, П. П. Предтеченский, М. С. Эйгенсон, Б. М. Рубашев, И. В. Максимов и многие другие отечественные ученые. В монографии Дж. Р. Германа и Р. А. Голдберга обобщены результаты многочисленных зарубежных исследований, подтверждающие значимость влияния этого фактора [5]. Этой же точке зрения придерживаются и многие современные ученые [1].

Альтернативное мнение высказывают А. С. Монин [16], С. П. Хромов [23], А. Б. Полонский [20] и ряд других ученых, которые утверждают об отсутствии значимых статистических связей между совпадающими по времени изменениями состояний солнечной активности и температур Мирового океана, занимающего 71 % всей земной поверхности.

В [22] представлены результаты исследования статистических связей между изменениями среднегодовых температур различных районов Мирового океана, а также различными фрагментами предыстории вариаций солнечной активности. Установлено, что ее фрагменты, которые на 180-

200 лет опережают подобные изменения, происходящие во многих океанических районах, связаны с ними значимо. Выдвинута гипотеза, согласно которой существенным фактором изменений поверхностных температур подобных районов Мирового океана являются соответствующие фрагменты предыстории вариаций солнечной активности. При этом связь между ними является причинной.

Первый механизм, обуславливающий подобную связь, существует благодаря зависимости от солнечной активности составляющей потока теплового излучения атмосферы, которая формируется в стратосфере [17]. Эта составляющая образуется в результате поглощения стратосферным озоном ультрафиолетовой радиации Солнца, поток которой при повышении его активности значительно увеличивается [10].

Второй механизм обусловлен влиянием солнечной активности на среднюю интенсивность суммарной солнечной радиации, поступающей на земную поверхность. Это влияние существует благодаря зависимости от состояния солнечной активности характеристик солнечного ветра, который, взаимодействуя с космическими лучами, модулирует их поток, входящий в земную атмосферу. В годы высокой солнечной активности он минимален, а в годы низкой активности – максимален [19]. Так как входящие в атмосферу космические лучи ионизируют воздух, подобная модуляция их потока вызывает соответствующие изменения средней концентрации в воздухе атмосферных ядер конденсации, а, значит, и средней плотности облачности слоистых форм. Последнее вызывает заметные межгодовые изменения среднего альбедо земной атмосферы и соответствующие изменения средних потоков суммарной солнечной радиации, достигающей земной поверхности [25].

Поскольку расстояние между Землей и Солнцем в декабре на 5 млн. км меньше, чем в июле, амплитуды межгодовых изменений как суммарной солнечной радиации, так и теплового излучения атмосферы наиболее значительны в период полярного дня над Антарктикой. В результате от состояния солнечной активности ощутимо зависит поток тепловой энергии, который выделяется в поверхностном слое антарктических секторов Тихого, Атлантического и Индийского океанов.

Эта энергия практически не влияет на его поверхностную температуру, поскольку она практически полностью расходуется на таяние льдов [7]. Следовательно, от состояния солнечной активно-

сти зависит средняя соленость, а значит и плотность поверхностных вод Антарктики, которые участвуют в образовании Субантарктических промежуточных вод. Спустя время, необходимое для преодоления этими водами расстояния, отделяющего очаг их формирования от некоторого района апвеллинга, их поток поступает в его поверхностный слой.

Так как упомянутые воды характеризуются низкой температурой, то, чем больше их плотность, тем меньше этот поток и тем выше температура поверхности океана. Поэтому между изменениями поверхностных температур акваторий, где в апвеллинге участвуют Субантарктические промежуточные воды, а также вариациями солнечной активности в период их образования должна существовать значимая отрицательная корреляция [22].

Так как расстояния от очагов формирования Субантарктических промежуточных вод различных океанов до большинства районов экваториального апвеллинга практически одинаковы [2], то изменения поверхностных температур подобных районов должны происходить почти синхронно и синфазно.

Как подтверждение значимости описанного механизма в [22], представлены результаты корреляционного анализа связей между среднегодовыми значениями поверхностных температур различных районов Мирового океана, а также предысторией вариаций чисел Вольфа. Очевидно, что таким образом фактически подтверждена выполнимость лишь одного из необходимых условий существования причинной связи рассматриваемых процессов. Само же ее существование при этом не доказано. В результате подобную связь при прогнозировании изменений поверхностных температур многих районов Мирового океана не учитывают, несмотря на то, что его эффективность далеко не всегда удовлетворяет потребностям практики.

Следовательно, получение дополнительных подтверждений реальности существования подобной связи представляет значительный теоретический и практический интерес. Одним из таких подтверждений являлось бы доказательство выполнимости еще одного необходимого условия наличия причинной связи между изменениями тех же характеристик. Подобным условием может быть необходимость существования аналогичных связей для вариаций их среднемесячных значений. В этом плане наиболее важным представляется выявление для каждого месяца отрезков временного ряда чисел Вольфа, которые значимо и устойчиво ста-

тистически связаны с рядами среднемесячных температур в максимальном количестве районов Мирового океана.

Несмотря на то, что мониторинг изменений среднемесячных значений чисел Вольфа непрерывно осуществляется, начиная с января 1749 года, а временные ряды среднемесячных значений аномалий поверхностных температур районов Мирового океана также соответствуют периодам продолжительностью ряда десятилетий, статистические связи между различными их фрагментами ранее не изучались.

Учитывая это, как объект исследования в данной статье выбраны межгодовые изменения среднемесячных значений аномалий поверхностных температур различных районов Мирового океана, а также среднемесячных значений чисел Вольфа.

Предметом исследования являются статистические связи межгодовых изменений поверхностных температур районов Мирового океана и предыстории вариаций солнечной активности.

В статье мы попытались выявить отрезки временного ряда чисел Вольфа, который значимо коррелирован с рядами среднемесячных значений аномалий поверхностных температур для максимального количества различных районов Мирового океана, а также проверить статистическую устойчивость выявленных связей.

Для достижения указанной цели решены две задачи.

1. Нахождение отрезков временного ряда чисел Вольфа, которые значимо положительно и значимо отрицательно коррелированы с соответствующими различным месяцам рядами среднемесячных значений аномалий поверхностных температур для максимального количества различных районов Мирового океана.

2. Проверка статистической устойчивости выявленных связей к изменениям отрезков времени, для которых они определяются.

При решении первой задачи для каждого месяца и каждого отрезка временного ряда чисел Вольфа продолжительностью 33 года выявлены все районы Мирового океана, где межгодовые изменения среднемесячных поверхностных температур в период 1980-2012 г.г. значимо положительно и значимо отрицательно коррелированы с ним. При этом учтены все районы Мирового океана, ограниченные координатной сеткой  $5^\circ \times 5^\circ$ , где временные ряды аномалий среднемесячных поверхностных температур за указанный период не содержат пропусков.

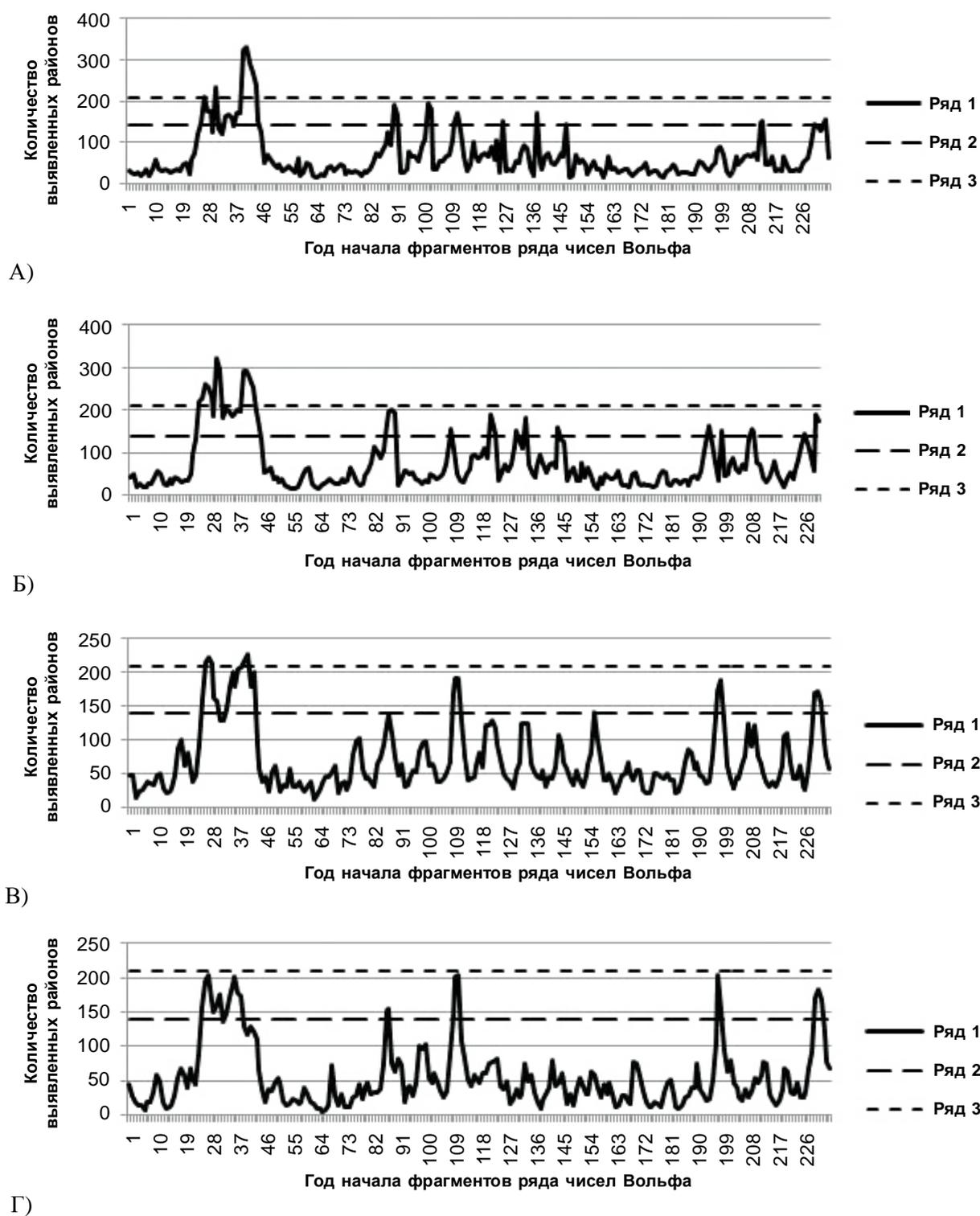


Рис. 1. Зависимости от года начала фрагмента временного ряда чисел Вольфа количеств районов Мирового океана, где изменения среднемесячных значений их поверхностных температур в январе (А), апреле (Б), июле (В) и октябре (Г) в 1980-2012 г.г. значимо отрицательно коррелированы с ним

Связь между сопоставляемыми временными рядами рассматривалась как значимая, если соответствующее значение коэффициента их парной корреляции по модулю превосходило соответствующий уровень 95 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [9]. Уровень этого порога оценивался с учетом числа степеней свободы соответствующих временных рядов [12].

Как мера значимости влияния некоторого фрагмента предыстории солнечной активности на современные изменения поверхностных температур Мирового океана рассматривалось количество его районов, для которых связь между данными процессами являлась значимой. Отдельно учитывались количества районов, для которых корреляция рассматриваемых рядов была либо положительной, либо отрицательной.

При решении второй задачи аналогичные исследования повторены для отрезков всех изучаемых временных рядов аномалий поверхностных температур продолжительностью 33 года, начала которых соответствуют 1969, ... 1979 г.г. (т.е. опережают их отрезки, для которых решалась первая задача, на 1-11 лет). Сопоставлены между собой значения опережений по времени выявляемых фрагментов ряда чисел Вольфа, а также количества районов, для которых рассматриваемые связи являлись значимыми.

При этих исследованиях в качестве фактического материала использованы временные ряды аномалий среднемесячных значений поверхностных температур всех районов Мирового океана размерами  $5^\circ \times 5^\circ$  и ряды среднемесячных значений чисел Вольфа за период 1749-2012 г.г. [9].

Итак, статистические связи различных фрагментов ряда чисел Вольфа с теми или иными фрагментами (длиной 33 члена) рядов аномалий среднемесячных значений поверхностных температур всех районов Мирового океана размерами  $5^\circ \times 5^\circ$ , которые соответствуют всем месяцам, изучены с использованием описанной методики. Установлено, что для месяцев, относящихся к одному и тому же времени года, полученные результаты практически не отличаются. Поэтому рассмотрим их на примере таких месяцев как январь, апрель, июль и октябрь.

На рис. 1 приведены зависимости от года начала фрагмента ряда чисел Вольфа количества районов Мирового океана, для которых парная корреляция этого фрагмента с отрезком ряда аномалий их среднемесячных поверхностных темпе-

ратур за период 1980-2012 г.г. являлась значимой и отрицательной.

Как видно из рис. 1, количество районов Мирового океана, где межгодовые изменения среднемесячных значений их поверхностных температур в январе, апреле, июле и октябре достоверно коррелированы с тем или иным фрагментом соответствующего ряда среднемесячных чисел Вольфа, существенно зависит от года его начала, а также месяца, для которого рассматриваются эти процессы. Эти количества являются наибольшими для фрагментов, которые опережают изменения поверхностных температур на 190-206 лет. Выявленные фрагменты ряда чисел Вольфа связаны с изменениями поверхностных температур в наибольшем количестве районов Мирового океана в январе и апреле. Минимальным количеством этих районов приходится на октябрь.

На рис. 2 приведены зависимости от года начала фрагмента ряда чисел Вольфа количества районов Мирового океана, для которых парная корреляция этого фрагмента с отрезком ряда аномалий их среднемесячных поверхностных температур за период 1980-2012 г.г. являлась значимой и положительной.

Рис. 2 показывает, что в Мировом океане существуют многочисленные районы, в которых межгодовые изменения среднемесячных поверхностных температур значимо положительно коррелированы с вариациями среднемесячных чисел Вольфа, которые опережают их по времени на 170-185 лет. При этом количество районов, для которых межгодовые изменения поверхностных температур значимо связаны с подобными фрагментами ряда чисел Вольфа, минимально в январе и максимально с июля по октябрь.

Исследования устойчивости выявленных связей к изменениям года начала учитываемого отрезка ряда поверхностных температур показали, что при его смещениях в пределах 12 лет (с 1969 по 1980 г.г.) значения опережений фрагментов ряда чисел Вольфа, соответствующих максимальным количествам районов, с которыми имеет место отрицательная корреляция, лежат в тех же пределах 190-210 лет. При этом количества районов Мирового океана, для которых существует значимая отрицательная корреляция, в январе лежат в пределах 322-336, в апреле – 315-326, в июле – 215-230, в октябре – 180-200.

Значения опережений фрагментов ряда чисел Вольфа, соответствующих максимальным количе-

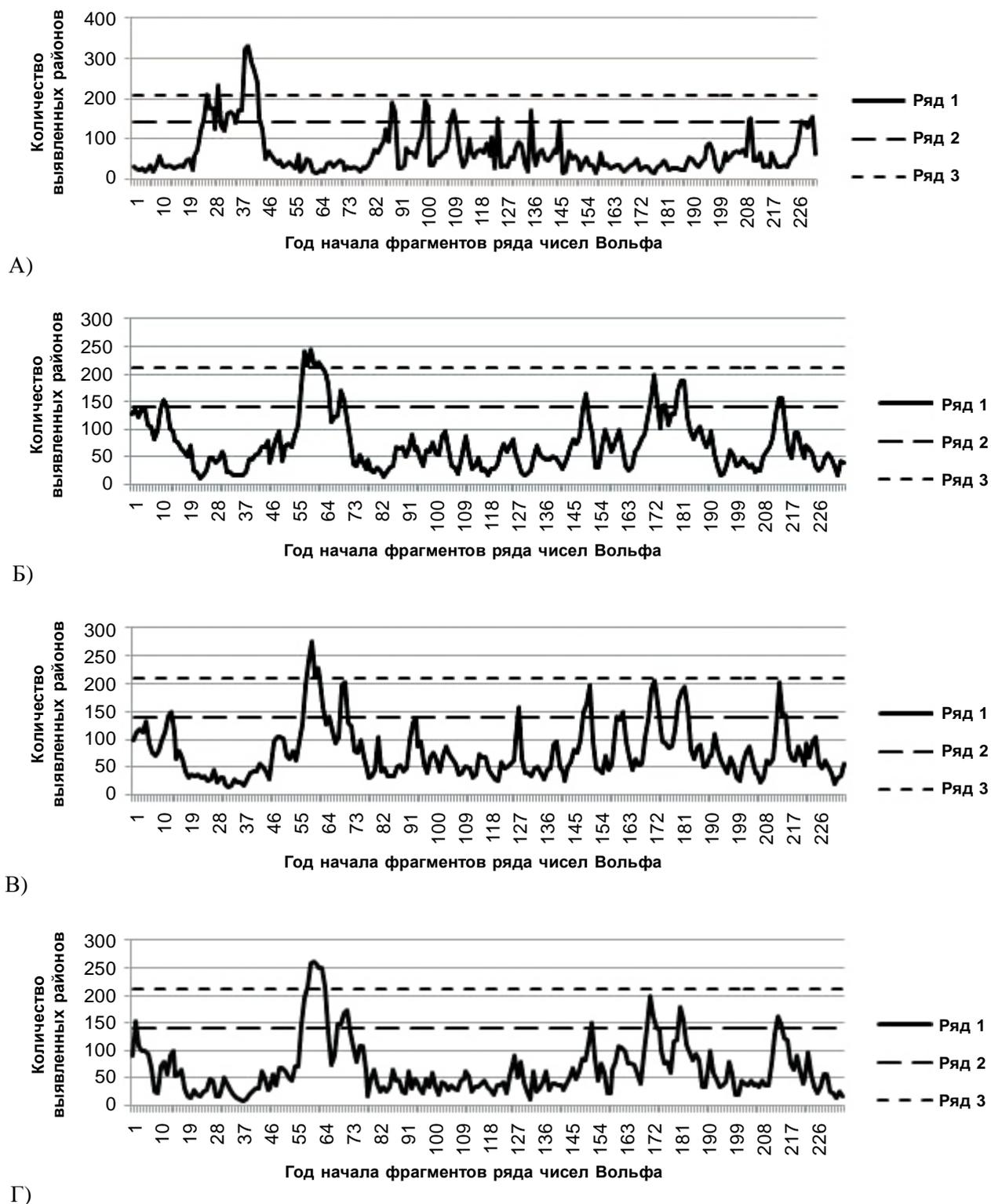


Рис. 2. Зависимости от года начала фрагмента временного ряда чисел Вольфа количеств районов Мирового океана, где изменения среднемесячных значений их поверхностных температур в январе (А), апреле (Б), июле (В) и октябре (Г) в 1980-2012 г.г. значимо положительно коррелированы с ним

ствам районов, с которыми имеет место положительная корреляция, при тех же смещениях года учитываемого отрезка ряда поверхностных температур лежат в пределах 168-187 лет.

Количества районов Мирового океана, для которых существует значимая положительная корреляция, в январе лежат в пределах 162-180, в апреле – 240-250, в июле – 260-275, в октябре – 242-257.

Полученные результаты подтверждают наличие определенной статистической устойчивости выявленных закономерностей к временным сдвигам интервалов, на которых они устанавливаются. Это соответствует представлениям об их причинном характере.

Как известно [5], существует квазидвухсотлетний цикл вариаций солнечной активности, называемый циклом Зюсса (де Врие), в ходе которого происходят изменения радиуса фотосферы Солнца с амплитудой около 150 км, что приводит к изменению потоков всех составляющих видов радиации, поступающих в Земную атмосферу. По оценкам [5, 25] именно он оказывает наиболее мощное влияние на изменения климата. Поэтому возможно предположить, что и в спектре изменчивости поверхностных температур Мирового океана может проявляться аналогичный цикл. Последнее объясняет выявленное наличие отрезка ряда чисел Вольфа, с которым во многих районах Мирового океана имеет место значимая положительная корреляция запаздывающих по отношению к нему на 168-187 лет отрезков рядов их поверхностных температур.

Причиной отрицательной корреляции между современными изменениями поверхностных температур, а также фрагментом предыстории вариаций солнечной активности, который опережает их на 190-210 лет, по-видимому, является описанная выше взаимосвязь солнечной активности и поверхностных температур районов апвеллинга с участием Субантарктических промежуточных вод [22]. Данный результат позволяет предположить существование в изменениях поверхностных температур некоторых районов Мирового океана цикла с периодом 380-420 лет.

Таким образом, нами установлено.

1. Адекватность гипотезы [17] о наличии причинной связи между вариациями поверхностных температур многих акваторий Мирового океана, а также предысторией вариаций солнечной активности находит еще одно подтверждение.

2. Последним является доказательство существования значимой отрицательной корреляции

изменений поверхностных температур на любых отрезках времени продолжительностью 33 года (с 1969 по 1980 г.г.), а также опережающих их на 190-210 лет фрагментов ряда чисел Вольфа (достоверность данного статистического вывода по критерию Стьюдента составляет не менее 95 %).

3. Полученные результаты подтверждают адекватность вывода [7] о значимости влияния на климат квазидвухсотлетнего цикла солнечной активности, поскольку установлено наличие значимой положительной корреляции изменений поверхностных температур на любых отрезках времени продолжительностью 33 года (с 1969 по 1980 г.г.), а также фрагментов ряда чисел Вольфа, которые опережают их на 168-187 лет.

4. Статистическая устойчивость выявленных связей свидетельствует о целесообразности ее учета при сверхдолгосрочном прогнозировании изменений поверхностных температур многих районов Мирового океана, а также связанных с ними физико-географических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдусаматов Х. И. Солнце диктует климат Земли / Х. И. Абдусаматов. – Санкт-Петербург : Logos, 2009. – 197 с.
2. Атлас океанов / под ред. С. Г. Горшкова. – Москва, Ленинград : Главное управление Навигации и Океанографии Министерства Обороны СССР, 1973. – Т. 1 : Тихий океан. – 1973. – 340 с.; – Т. 2 : Атлантический и Индийский океаны. 1976. – 300 с.
3. Белевич М. Ю. Математическое моделирование гидрометеорологических процессов : учебное пособие / М. Ю. Белевич. – Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2000. – 213 с.
4. Бенземан В. Ю. Пространственно-временная изменчивость гидрофизических полей океана / В. Ю. Бенземан. – Санкт-Петербург : Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, 2009. – 320 с.
5. Герман Дж. Р. Солнце, погода и климат / Дж. Р. Герман, Р. А. Голдберг; пер. с англ. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1981. – 320 с.
6. Гилл А. Динамика атмосферы и океана : в 2 т. / А. Гилл. – Москва : Мир, 1986. – Т. 1. – 396 с.
7. Гусев А. М. Антарктида. Океан и атмосфера / А. М. Гусев. – Москва : Просвещение, 1983. – 151 с.
8. Доронин Ю. П. Физика океана / Ю. П. Доронин. – Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет. – 2000. – 302 с.
9. Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс ; пер. с англ. Е. В. Чепурина. – Москва : Мир, 1985. – 776 с.
10. Иванов Е. В. Физика солнечной активности / Е. В. Иванов. – Москва : Наука, 1983. – 160 с.

11. Иванов В. А. Основы океанологии / В. А. Иванов, А. А. Показеев. – Севастополь : Научно-производственный центр ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 212 с.
12. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – Москва : Физматлит, 2006. – 816 с.
13. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1989. – 608 с.
14. Мирошниченко Л. И. Солнечная активность и Земля / Л. И. Мирошниченко. – Москва : Наука, 1981. – 276 с.
15. Монин А. С. Гидродинамика атмосферы, океана и земных недр / А. С. Монин. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1999. – 524 с.
16. Монин А. С. Солнечный цикл / А. С. Монин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 68 с.
17. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы / К. Моханакумар; пер. с англ. Р. Ю. Лукьяновой. – Москва : Физматлит, 2011. – 451 с.
18. Питербарг Л. И. Динамика и прогноз крупномасштабных аномалий температуры поверхности океана / Л. И. Питербарг. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 199 с.
19. Плазменная гелиогеофизика : в 2 т. / под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского. – Москва : Физматлит, 2008. – Т. 1. – 672 с.; – Т. 2. – 560 с.
20. Полонский А. Б. Роль океана в изменениях климата / А. Б. Полонский. – Киев : Наукова думка, 2008. – 184 с.
21. Федоров Е. Е. Влияние солнечных пятен на температуру и давление воздуха / Е. Е. Федоров // Известия Главной физической обсерватории Х. – 1921. – № 3. – С. 64-72.
22. Холопцев А. В. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов / А. В. Холопцев, М. П. Никифорова. – Саарбрюккен : LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 333 с.
23. Хромов С. П. Солнечные циклы и климат / С. П. Хромов // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 9. – С. 93-110.
24. Хьюбер Д. П. Робастность в статистике / Д. П. Хьюбер. – Москва : Мир, 1984. – 304 с.
25. Kirkby J. Variations of galactic cosmic rays and the earth's climate / J. Kirkby, A. Mangini, R. A. Muller // Solar Journey : The Significance of Our Galactic Environment for the Heliosphere and Earth. – Netherlands : Springer, 2004. – P. 349-397.
26. Salby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics / M. L. Salby. – New York : Academic Press, 1996. – 560 p.

Больших Александр Владиславович  
кандидат военных наук, доцент, декан факультета судовождения Севастопольской морской академии, г. Севастополь, т/факс (0692) 41-25-65, (0692) 92-93-73, E-mail: [a.bolshih@yandex.ua](mailto:a.bolshih@yandex.ua); [a.bolshih@umi.com.ua](mailto:a.bolshih@umi.com.ua)

Boł'shikh Aleksandr Vladislavovitch  
Candidate of Military Sciences, associate professor, Dean of the department of navigation, Sevastopol Naval Academy, Sevastopol, tel./fax (0692) 41-25-65, (0692) 92-93-73, E-mail: [a.bolshih@yandex.ua](mailto:a.bolshih@yandex.ua); [a.bolshih@umi.com.ua](mailto:a.bolshih@umi.com.ua)