

УДК 911.2:551.526.6:523.98

**А. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, проф., **М. П. НИКИФОРОВА**

*Севастопольский национальный технический университет*

ул. Университетская, 33, 99033, Севастополь, Украина

kholoptsev@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР КАРИБСКОГО МОРЯ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Работа посвящена исследованию статистических связей вариаций поверхностных температур Карибского моря и солнечной активности. С помощью корреляционного анализа рядов изменений среднегодовых температур рассматриваемой области, индекса их аномалий, а также чисел Вольфа проверялась гипотеза о запаздывании вариаций поверхностных температур Карибского моря, вызванных изменениями солнечной активности. Установлено, что особенности циркуляции субантарктических промежуточных вод Атлантического океана обуславливают наличие значимой статистической связи изменений средних поверхностных температур Карибского моря с вариациями солнечной активности, опережающими их приблизительно на 200 лет. Из разработанного с учетом этой связи сверхдолгосрочного прогноза изменений средних поверхностных температур Карибского моря следует, что до середины XXI в. будут преобладать тенденции к их снижению, а далее, до его окончания, будет происходить их повышение.

**Ключевые слова:** Карибское море, солнечная активность, апвеллинг, парниковый эффект, поверхностная температура, субантарктические промежуточные воды

## **Холопцев О.В., Никифорова М.П. ОСОБЛИВОСТІ СТАТИСТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ЗМІНАМИ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР КАРИБСЬКОГО МОРЯ ТА СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ**

Робота присвячена дослідженню статистичних зв'язків варіацій поверхневих температур Карибського моря і сонячної активності. За допомогою кореляційного аналізу рядів змін середньорічних температур розглянутій області, індексу їх аномалій, а також чисел Вольфа перевірялася гіпотеза про запізнення варіацій поверхневих температур Карибського моря, викликаних змінами сонячної активності. Встановлено, що особливості циркуляції субантарктичних проміжних вод Атлантичного океану обумовлюють наявність значущого статистичного зв'язку змін середніх поверхневих температур Карибського моря з варіаціями сонячної активності, випереджаючими їх приблизно на 200 років. З розробленого з урахуванням цього зв'язку понаддовгострокового прогнозу змін середніх поверхневих температур Карибського моря випливає, що до середини XXI в. будуть переважати тенденції до їх зниження, а далі, до його закінчення, відбудуватиметься їх підвищення.

**Ключові слова:** Карибське море, сонячна активність, апвелінг, парниковий ефект, поверхнева температура, субантарктичні проміжні води

## **Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P. STATISTICAL RELATIONS FEATURES BETWEEN CHANGES OF CARIBBEAN SEA SURFACE TEMPERATURES AND SOLAR ACTIVITY**

Paper deals with statistical relations between Caribbean sea surface temperature variations and solar activity. With the use of correlation analysis between time series of mean year temperatures changes, their anomalies index and Wolf numbers, hypothesis of the Caribbean Sea surface temperatures variations delay caused by solar activity changes was tested. It was found that the features of sub-Antarctic intermediate waters circulation of the Atlantic Ocean cause the presence of a significant statistical relations between Caribbean Sea average surface

temperatures changes and solar activity variations, that are advancing them approximately on 200 years. Developed ultralong-range forecast of Caribbean Sea average surface temperatures changes show that until the middle of the XXI century downward trend will dominate, and further, to the end of it, – upward.

**Key words:** Caribbean Sea, solar activity, upwelling, greenhouse effect, surface temperature, sub-Antarctic intermediate waters

### **Введение**

Поверхностные воды Карибского моря поступают через Юкатанский пролив в Мексиканский залив и оказывают существенное влияние на формирование Гольфстрима, который во многом определяет особенности изменения климата Европы и развития ее ландшафтов. Поэтому выявление роли в вариациях их гидрофизических характеристик различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии и климатологии. Наибольший интерес решение данной проблемы представляет в отношении глобальных факторов, оказывающих влияние на всю физико-географическую оболочку нашей планеты и ее недра, к числу которых относится такой процесс, как изменения солнечной активности.

Впервые наличие статистической связи между вариациями солнечной активности и «возмущениями климата» установил в 1902 г. М. А. Боголепов [1]. Д. Эдди доказал [2], что на протяжении последнего тысячелетия существенные похолодания глобального климата происходили лишь в периоды, когда средний уровень солнечной активности был экстремально низким. Адекватность этого вывода подтвердил Е. П. Борисенков [3, 4], который установил наличие связи между изменениями климата и солнечной активности на протяжении последних 7500 лет. При каждом глубоком минимуме солнечной активности, подобном Маундеровскому, повторявшемуся с периодом около 200 лет, происходило глобальное похолодание климата, а при каждом ее высоком максимуме – его потепление.

Выявлена связь между изменениями солнечной активности, а также значений солнечной постоянной [5], вариации которых обусловлены изменениями радиуса фотосферы Солнца и ее эффективной температуры. Наиболее существенным фактором являются изменения радиуса фотосферы, происходящие с периодом 200 лет, амплитуда которых достигает 300 км. Такие изменения радиуса фотосферы непосред-

ственно влияют на площадь ее сегмента, на котором образуется поток солнечной радиации, поступающий в земную атмосферу [6]. Поэтому наличие связи между изменениями климата и солнечной активности в период, когда техногенное влияние на парниковый эффект было пренебрежимо малым, свидетельствует о том, что данная связь является причинной.

Вместе с тем, существенной корреляции между изменениями солнечной активности и температур поверхностных вод Мирового океана, которые поглощает основную часть падающего потока солнечной радиации, и образуют большую часть потока тепла, который уходит в атмосферу, до сих пор не установлено [7]. Поэтому вопрос о механизме, обуславливающем связь между данными процессами, а также условиях, при которых солнечная активность способна ощутимо влиять на распределение поверхностных температур Мирового океана остается открытым.

Основой представлений о причинах изменчивости распределения ASST Тропической зоны Атлантического океана и Карибского моря являются работы В.Н. Степанова [8], Ж. Перрена и Ж. Клуазо [9], В. А Буркова [10], В. В. Шулейкина [11], Н. П. Булгакова [12], В. Ф.Суховой [13]. Несмотря на то, что активные исследования поля температуры тропической зоны Атлантики, в том числе Карибского моря, проводят ученые многих стран, особенности его пространственно-временной изменчивости наиболее полно изложены в работах таких авторов как Э. М. Уилкоккс, Кью-Ким Мен [14], М. Руо [15], К. Дезера, А. Филлипс, М. Александров [16], Дж. Чаинг, Й.Кушнир, А.Жианини [17], Дж., З. Жу [18], Г. Сидлер, Н.Зангенберг, Р. Онкен, А.Морлирье [19], О. Ву и К. Боуман [20]. Видное место в исследованиях процессов, определяющих температурный режим поверхностных вод Карибского моря, занимают труды отечественных ученых Еремеева В. Н., Жукова А. Н., Сизова А. А. [21].

### *Анализ последних исследований и публикаций*

Установлено, что поверхностные воды Карибского моря образуются в результате прихода в него южной ветви Северо-Пассатного течения, а также северной ветви Южно-Пассатного течения и Гвианского течения. Вследствие этого существенное влияние на него способны оказывать изменения интенсивности Канарского и экваториального апвеллингов, которые определяют средние температуры приносимых ими вод. К числу основных причин вариаций интенсивности указанных апвеллингов относятся изменения солёности и плотности промежуточных вод Атлантики, достигших соответствующих районов. Эти изменения вызывают противофазные изменения объёмов холодных вод, охлаждающих их поверхности. Существенное влияние на них оказывают вариации солёности и плотности промежуточные воды Атлантики, сформировавшиеся в её субантарктической зоне конвергенции. Указанные характеристики данных вод определяются значениями солёности поверхностных вод акваторий данной зоны, принимавших участие в их формировании и зависящих от потока поглощаемой ими суммарной солнечной радиации. В годы высокой солнечной активности эти потоки несколько возрастают, что приводит к увеличению интенсивности образования в Антарктике опреснённых талых вод. В результате этого солёность и плотность образовавшихся в такое время субантарктических промежуточных вод уменьшается. В годы с низкой солнечной активностью возникают противоположные изменения их характеристик.

Распространение субантарктических промежуточных вод из очагов их формирования в упомянутые районы апвеллинга занимает значительное время [10]. Это позволяет предполагать, что изменения поверхностных температур Карибского моря, вызванные вариациями солнечной активности, могут запаздывать по отношению к ним на многие десятилетия. Несмотря на то, что мониторинг изменчивости солнечной активности, а также распределения поверхностных температур Атлантического океана осуществляется уже длительное время, а

его результаты представлены в Интернете в свободном доступе [22, 23], адекватность выдвинутой гипотезы ранее не оценивалась. Это не позволяло использовать наблюдения за изменениями солнечной активности при сверхдолгосрочном прогнозировании изменений средних поверхностных температур Карибского моря, вследствие чего, проверка выдвинутой гипотезы и определение условий, при которых статистическая связь между их изменениями, а также вариациями солнечной активности, является существенной, представляет немалый теоретический и практический интерес.

Потому, в качестве объекта исследования в данной работе выбраны изменения среднегодовых значений средних поверхностных температур Карибского моря. Предмет исследования – особенности статистической связи этих изменений, а также вариаций солнечной активности. Целью работы является оценка адекватности выдвинутой гипотезы и выявление условий, при которых связи между изменениями среднегодовых значений средних поверхностных температур Карибского моря и вариациями солнечной активности являются статистически значимыми.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- выявление участков поверхностей Атлантического океана, для которых изменения в современный период их среднегодовых поверхностных температур связаны с совпадающими по времени изменениями солнечной активности статистически значимо;
- определение условий, при которых связи между современными изменениями среднегодовых поверхностных температур Карибского моря и вариациями солнечной активности в прошлом являлись статистически значимыми;
- разработка сверхдолгосрочного прогноза изменений среднегодовых поверхностных температур Карибского моря, учитывающего выявленные закономерности.

### **Фактический материал и методика исследования**

Как фактический материал использованы временные ряды аномалий среднемесячных поверхностных температур Атлантического океана, ограниченных квадратами координатной сетки, с размерами  $5^\circ \times 5^\circ$  [23]. Указанные ряды для многих подобных акваторий в период с января 1975 г. по декабрь 2011 г. являются практически сплошными, что позволяет по ним рассчитать члены соответствующих временных рядов среднегодовых значений аномалий их поверхностных температур (ASST). Также рассматривались временные ряды индекса аномалий средних поверхностных температур Карибского моря, среднемесячные значения которых для каждого месяца, за период с января 1951 по декабрь 2010 гг. представлены в [23]. По ним вычислялись соответствующие среднегодовые значения (далее Кар). Как индекс солнечной активности, рассматривалось среднегодовое значение чисел Вольфа (далее СВ), поскольку временной ряд их значений является наиболее продолжительным. Рассматривался ряд СВ, представленный в [22], отражающий изменения этой характеристики в период 1749 – 2011 гг.

При решении первой и второй задач использован метод корреляционного анализа. С его помощью в ходе первой задачи изучались связи изменений ASST различных участков поверхности Атлантического океана в период 1975 – 2011 гг., а также совпадающих по времени вариаций СВ. Ре-

зультаты, превосходящие уровень 0.33 (95% порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента) отображались с использованием метода триангуляции Делоне [24].

При решении второй задачи анализировались связи изменений Кар за период 1951 – 2010 гг., а также вариаций СВ, в периоды такой же продолжительности, начинающиеся в 1749 – 1974 гг. Связи рассматриваемого процесса и изменений СВ на некотором отрезке времени признавались значимыми, если соответствующее значение коэффициента корреляции являлось отрицательным, а его модуль превосходил уровень 0.33 (99% порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента). Для облегчения интерпретации полученных результатов на контурную карту Атлантического океана с помощью метода триангуляции Делоне нанесены распределения значений коэффициента ряда ASST за период 1975 – 2011 гг., и фрагмента ряда СВ, соответствующие оптимальному временному сдвигу между изучаемыми процессами.

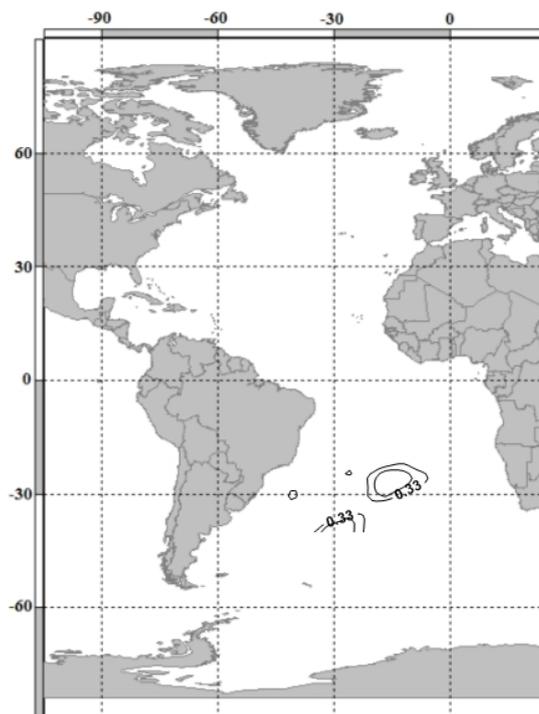
При решении третьей задачи использован метод линейной множественной регрессии. В качестве аргументов уравнения регрессии использовались фрагменты временного ряда СВ, связи которых с рядом значений Кар за 1951 – 2010 гг. могли быть признаны значимыми с достоверностью не ниже 99%.

### **Результаты и их анализ**

В соответствии с изложенной методикой рассчитаны значения коэффициента корреляции совпадающих по времени фрагментов временных рядов ASST всех акваторий Атлантического океана, а также СВ. Полученные результаты в виде распределения по поверхности Атлантического океана областей, в которых имеет место высокая положительная корреляция совпадающих по времени рядов ASST и СВ, показаны на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что в области, в которых имеет место высокая положительная корреляция совпадающих по времени рядов ASST и СВ расположены лишь в юж-

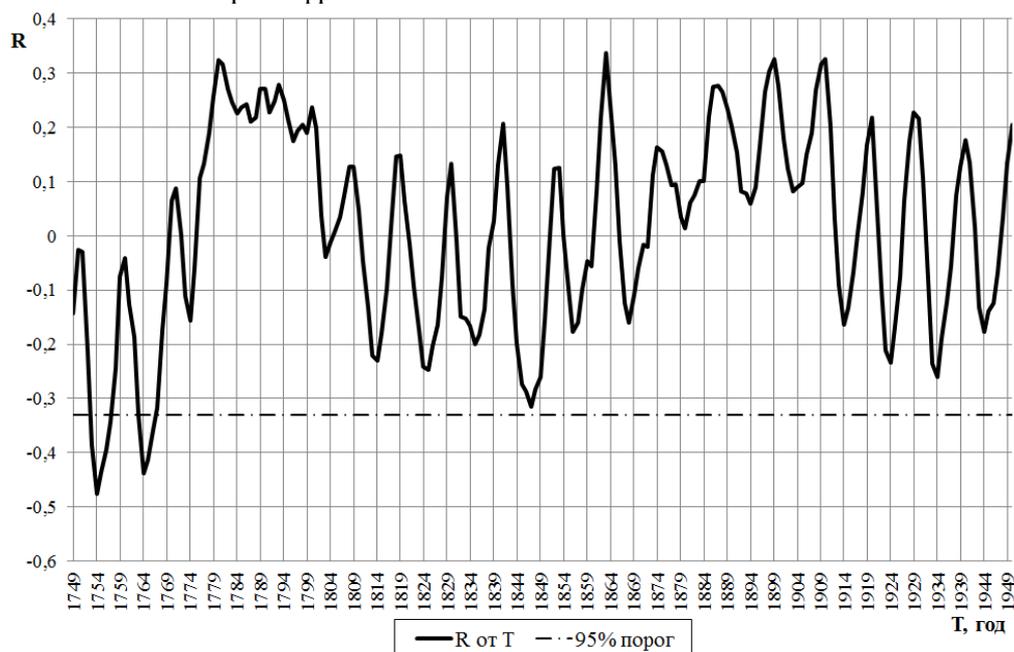
ной части Атлантики, прилегающей с севера к ее субантарктической зоне конвергенции. Сравнительно небольшие размеры подобных областей не удивительны, поскольку поглощение увеличенного потока солнечной радиации в Антарктике приводит не повышению температуры ее поверхностных вод, а к уменьшению их солености. Полученный результат подтверждает практически полное отсутствие значимого влияния вариаций СВ на совпадающие по времени изменения характеристик поверхностных вод акваторий изучаемого океана, расположенных вне субантарктической зоны конвергенции.



**Рис. 1** – Распределения по поверхности Атлантического океана областей, в которых имеет место высокая положительная корреляция совпадающих по времени рядов ASST и СВ

При решении второй задачи осуществлен корреляционный анализ связей между современными изменениями Кар в период 1951 – 2010 гг., а также опережающими их на то или иное время фрагментами

ряда СВ. Полученная при этом зависимость значений коэффициента парной корреляции рассматриваемых процессов от года начала фрагмента ряда СВ, отображена на рис. 2.



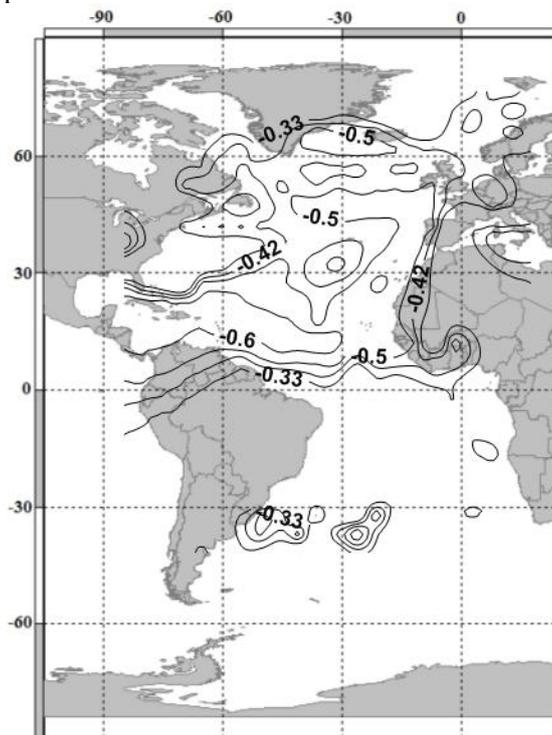
**Рис. 2** – Зависимость коэффициентов парной корреляции Кар в период 1951 – 2010 гг., с тем или иным фрагментом ряда СВ от года его начала

Как видим из рисунка 2, представленные на нем зависимости являются осциллирующими. Значимая статистическая связь между изменениями СПТ любого океана и СВ на совпадающем отрезке времени отсутствует. При этом связи между Кар в период 1951 – 2010гг., а также вариациями СВ в 60-летние периоды, начинающиеся с 1753 – 1756 гг., а также 1763 – 1766 гг. могут быть признаны статистически значимыми с достоверностью не ниже 0.99. Это позволяет полагать, что время, за которое субантарктические промежуточные воды Атлантики достигают указанных ее районов апвеллинга, составляет приблизительно 200 лет. Лишь в этом случае корреляция между изменениями СВ, которые вызывают вариации солености поверхностных вод Антарктики и плотности образующихся в ней субантарктических промежуточных вод, а также современной изменчивостью Кар рассматриваемых океанов является отрицательной и очень сильной. Из рисунка 2 нетрудно заметить, что выбранный уровень значимости по модулю превышают также

значения коэффициента парной корреляции ряда Кар за 1951 – 2010 гг., а также фрагмента ряда СВ, который начинается в 1849 г.

Указанная особенность отвечает представлениям о присутствии в спектре изменчивости солнечной активности составляющей с периодом не только 200, но и 100 лет, которая может обеспечить наличие корреляционных связей между изменениями Кар и фрагментом ряда СВ, опережающим его на время, при котором причинная связь между ними отсутствует.

На рисунке 3 показано распределение по поверхности Атлантического океана значений коэффициента парной корреляции изменений ASST отдельных его акваторий, размерами  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , в период 1975 – 2011 гг., а также фрагмента ряда СВ, начинающегося в 1778 г. На нем показаны изолинии этих распределений, соответствующих уровням 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента (-0.33), 99% порога (-0.42) и -0.5.



**Рис. 3** – Распределение по поверхности Атлантического океана значений коэффициента парной корреляции изменений ASST отдельных участков его акватории, имеющих размеры  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  и фрагмента ряда СВ, начинающегося с 1778 г.

Из рисунка 3 следует, что в Атлантическом океане имеются огромные области, где изменения ASST возникающие в современный период, происходят синхронно и противофазно с изменениями солнечной активности, которые опережают их приблизительно на 200 лет. Упомянутые области в Атлантическом океане занимают практически всю его часть, расположенную Северном полушарии. Районами, где корреляция рассматриваемых процессов наиболее сильна, являются зона Северо-Пассатного течения и Карибское море. Расположение выявленных акваторий подтверждает адекватность выдвинутой гипотезы, указывающей на зависимость интенсивности Канарского и экваториального апвеллинга Атлантики от изменений плотности ее субантарктических промежуточных вод, образовавшихся еще в XVIII веке, как

основную причину статистических связей между СВ и их ASST.

В ходе решения третьей задачи была идентифицирована линейная множественно-регрессионная модель  $Y(t)$  рассматриваемого процесса:

$$Y t = c_0 + c_1 x_1 t + c_2 x_2 t + \dots + c_N x_N t \quad (1)$$

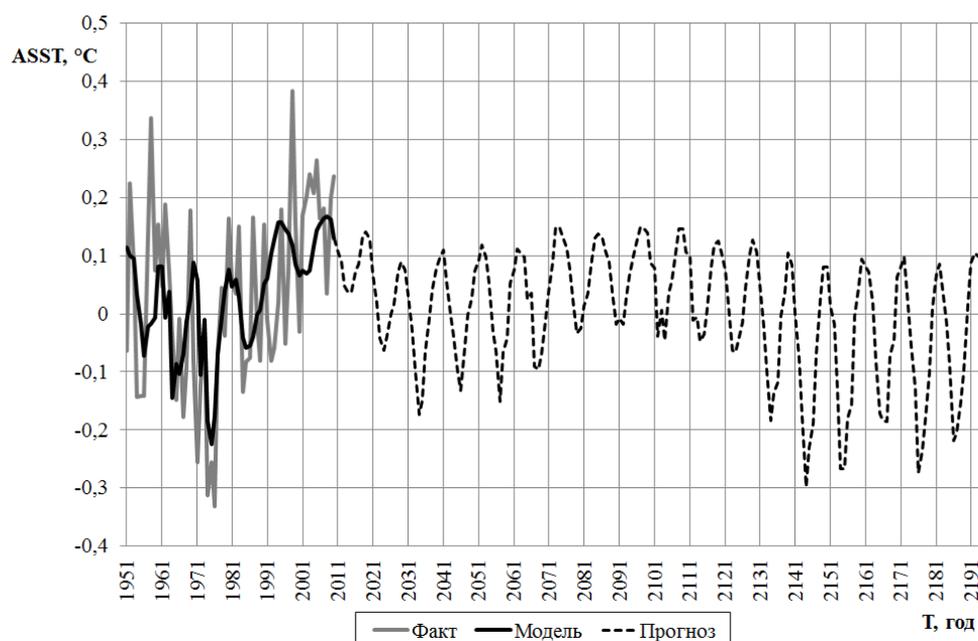
аргументами которой  $(x_i(t))$  являлись фрагменты временных рядов СА, начинающиеся с годов указанных в табл.

Как видим, фрагменты ряда СВ, используемые в качестве аргументов модели, опережают моделируемый ряд на 198 – 184 года. С использованием данной модели рассчитан прогноз изменений аномалий среднегодовых поверхностных температур Карибского моря, представленный на рис.4.

Таблица

**Аргументы и значения коэффициентов  $c_i$  модели изменений аномалий среднегодовых поверхностных температур Карибского моря**

№	Год начала фрагмента ряда СВ	Значение соответствующего С	№	Год начала фрагмента ряда СВ	Значение соответствующего С
0		0.182316	5	1764	-0.00108
1	1753	-0.00071	6	1765	0.000304
2	1754	-0.00099	7	1763	0.000236
3	1755	0.000763	8	1766	-0.00068
4	1756	-0.00108			



**Рис. 4** – Фактические изменения аномалий среднегодовых поверхностных температур Карибского моря (ряд 1), а также результаты его моделирования (ряд 2) и прогнозирования (ряд 3)

Из рисунка 4 следует, что результаты моделирования изменений аномалий среднегодовых поверхностных температур Карибского моря удовлетворительно соответствуют фактическим данным (коэффициент корреляции 0.6). Это позволяет предполагать, что и результаты прогнозирования будут в такой же степени адекватными. Из данного рисунка видно, что в первой половине XXI в. следует ожидать снижения поверхностных температур Карибского моря, а значит в данный период

может произойти похолодание Гольфстрима. В последующем, до рубежа XXI и XXII вв. вероятным является их некоторое повышение. Далее до середины XXII в. возможна очередная волна похолодания, которая в последующем сменится следующей волной потепления. Данный прогноз построен при условии, что в будущем накопление в атмосфере парниковых газов будет происходить так же, как оно имело место в период 1951 – 2010 гг.

### Выводы

Статистически значимым фактором изменений Кар, являются изменения СВ, которые опережают их приблизительно на 200 лет. Причинами этого являются:

- существенная зависимость солёности поверхностных вод субантарктической зоны конвергенции Атлантики от совпадающих по времени изменений СВ;
- наличие ощутимого влияния на вариации распределения ASST Атлантики изменений солёности и плотности субантарктических промежуточных вод, участвующих в образовании ее Канарского и экваториального апвеллингов;

- продолжительность распространения этих промежуточных вод из очагов их формирования в упомянутые районы, приблизительно равная 200 лет.

В первых половинах XXI и XXII вв. представляются вероятными некоторые снижения ASST Карибского моря, которые могут привести к соответствующим похолоданиям вод Гольфстрима, а также климата Европы и Северной Америки. Для вторых половин XXI и XXII вв. может быть свойственно повышение ASST Карибского моря, а также потепление во всем Евроатлантическом регионе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Боголепов М. А. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. Землеведение. / М. А. Боголепов. – М.: Наука, 1907. – 162 с.

2. Eddy J. A. "The Maunder Minimum" / J. A. Eddy // Science. – 1976, №192. – 1189 – 1202 pp.

3. Борисенков Е. П. Колебания климата за последнее тысячелетие / Е. П. Борисенков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 275 с.

4. Борисенков Е.П. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы / Е.П. Борисенков, В.М. Пасецкий. – М.: Мысль, 1988. – 522 с.

5. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца / Х. И. Абдусаматов // Кинематика и физика небесных тел. – 2005. – Т.21, №6. – 471 – 477 сс.

6. Абдусаматов Х. И. Солнце диктует климат Земли / Х. И. Абдусаматов. – Санкт-Петербург: "Logos", 2009. – 197 с.

7. Монин А. С. Солнечно-земные связи, погода и климат / А. С.Монин, Б.Мак-Кормак, Т. Селиги. – М.: Мир, 1982. – 556с.

8. Степанов В. Н. Океаносфера. / В. Н. Степанов. – М.: Мысль, 1983. – 270 с.

9. Перрен Ж. Океаны / Ж.Перрен, Ж. Клуазо. – Пер. с фр. – М.: Летний сад, 2011. – 320 с.

10. Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана. / В. А. Бурков. – Л.: Гидрометеоздат, 1980, 254 с.

11. Шулейкин В. В. Физика моря / В.В.Шулейкин. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.

12. Булгаков Н. П. Структура и крупномасштабная изменчивость поля плотности в бассейне Карибского моря./ Н. П. Булгаков, П. Д. Ломакин, В. А. Рыбалка – Севастополь: МГИ АН УССР, 1988.

13. Суховой В. Ф. Особенности циркуляции вод в регионе между Африкой и Антарктидой / В.Ф. Суховой, И.Г. Рубан. // Укр.гидромет.ж-л. – 2007, №2. – 186 – 194 сс.

14. Wilcox, E. M., K. M. Lau, and K.-M. Kim (2010), A northward shift of the North Atlantic Ocean Intertropical Convergence Zone in response to summertime Saharan dust outbreaks, Geophys. Res. Lett., 37, L04804, doi:10.1029/2009GL041774.

15. Reason, C. J. C. and M. Rouault (2006), Sea surface temperature variability in the tropical southeast Atlantic Ocean and West African rainfall,

16. Geophys. Res. Lett., 33, L21705, doi:10.1029/2006GL027145.

17. Deser, C., A. S. Phillips, and M. A. Alexander (2010), Twentieth century tropical sea surface temperature trends revisited, Geophys. Res. Lett., 37, L10701, doi:10.1029/2010GL043321.

18. Chiang, J. C. H., Y. Kushnir, and A. Gianni (2002), Deconstructing Atlantic Intertropical Convergence Zone variability: Influence of the local cross-equatorial sea surface temperature gradient and remote forcing from the eastern equatorial Pacific, J. Geophys. Res., 107(D1), 4004, doi:10.1029/2000JD000307.

19. Carton, J. A. and Z. Zhou (1997), Annual cycle of sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean, J. Geophys. Res., 102(C13), 27,813–27,824, doi:10.1029/97JC02197.

20. Siedler, G., N. Zangenberg, R. Onken, and A. Morlière (1992), Seasonal changes in the tropical Atlantic circulation: Observation and simulation

of the Guinea Dome, J. Geophys. Res., 97(C1), 703–715, doi:10.1029/91JC02501.

21. Wu, Q. and K. P. Bowman (2007), Multiyear satellite observations of the atmospheric response to Atlantic tropical instability waves, J. Geophys. Res., 112, D19104, doi:10.1029/2007JD008627.

22. Еремеев В. Н., Жуков А. Н., Сизов А. А. Поле температуры поверхности Атлантики и его ритмодинамики на межгодовых масштабах/ Доповіді Національної академії наук України.- 2010.-№8.- с. 124-130.

23. <http://www.gao.spb.ru/database/esai>

24. <http://wxweb.meteostar.com/SST/index.shtml?point=730>

25. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

Надійшла до редколегії 19.03.2013

УДК 504.4.054:574.64

**О. М. КРАЙНЮКОВ**, канд. геогр. наук, доц.

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

*пл. Свободи 6, м. Харків, 61077*

[alkrainukov@gmail.com](mailto:alkrainukov@gmail.com)

## РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ РЕЗУЛЬТАТІВ БІОТЕСТУВАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ

Досліджено залежність між результатами вимірювань складу стічних і поверхневих вод за фізико-хімічними і токсикологічними показниками. Встановлено відсутність статистично значущої лінійної залежності між результатами біотестування та вимірювань фізико-хімічного складу стічних вод хімічного і нафтохімічного виробництв та води водних об'єктів, проби з яких відібрані вище та нижче скиду стічних вод.

Для шахтних вод із накопичувача встановлено слабкий взаємозв'язок між результатами біотестування і їх фізико-хімічного складу, але відповідне регресійне рівняння виявилось статистично незначимим для води водних об'єктів, в які відводяться шахтні води встановлено середню міру взаємозв'язку між зазначеними вище показниками.

**Ключові слова:** регресійний аналіз, фізико-хімічний склад, коефіцієнт забрудненості, біотестування, рівні токсичності, стічні води, поверхневі води

### **Krainukov A. N. REGRESSION ANALYSIS OF THE INTERRELATION OF BIOTESTING RESULTS AND MEASUREMENT PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF WATER**

The article presents the dependence between results of composition waste and surface water according to physical, chemical and toxicological characteristics. It was found the lack of statistically significant linear dependence between the results of bioassay and measurement of physical and chemical composition of the wastewater chemical and petrochemical plants and water bodies of water, which were taken above and below wastewater discharges.

For mine water from the drive it was installed a weak correlation between bioassay results and their physical and chemical composition, but the corresponding regression equation proved statistically insignificant, for water of water bodies, which are discharged mine water, it was set the average measurement between the above indicators.

**Keywords:** regression analysis, physical and chemical composition, an index of contamination, bioassay, toxicity levels, waste water, surface water