

Холопцев А.В.

УДК 911

СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕСЯЧНЫХ СУММ ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В СТЕПНОМ КРЫМУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИКИ, ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

Пространственно-временная изменчивость характеристик атмосферных осадков, выпадающих в зимние месяцы в регионах степной ландшафтной зоны планеты, являются важнейшим фактором формирования их почв, содержащихся в них запасов влаги, условий развития их фитоценозов и состояния водных ресурсов [1]. Поэтому развитие представлений об особенностях влияния на нее различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии и агрометеорологии.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для земледельческих регионов ее южностепной (недостаточно увлажненной) подзоны, на территориях которых другие природные источники влаги отсутствуют. Одним из таких регионов является Степной Крым, занимающий большую часть территории Крымского полуострова, расположенную к северу от предгорий Горного Крыма. В его состав входят три ландшафтные области: Тарханкутская возвышенная, Центральнокрымская низменная и Керченская холмисто-грядовая [2].

Наиболее ранние сведения о климатических условиях некоторых районов Степного Крыма содержатся в сочинении турецкого путешественника XVII в. Эвлии Челеби «Книга путешествий» (1641-1667 гг.). После присоединения Крыма к России, начались физико-географические исследования особенностей природы его степной зоны, в которых наиболее заметную роль играли исследования академиков В. Ф. Зуева, К. И. Габлица и П. С. Палласа.

Систематические наблюдения за режимом выпадения атмосферных осадков в Степном Крыму начались с 1821 года, после основания в г. Симферополе Ф. К. Мильгаузенем первой метеорологической станции.

В XX в. значительный вклад в развитие представлений об особенностях формирования водных ресурсов Степного Крыма внесли С. В. Альбов, Д. И. Кочергин, А. Н. Олиферов, Р. А. Филенко, Ю. И. Шутов и другие.

Ныне на территории Крымского полуострова функционирует 18 метеостанций, входящих в единую систему Гидрометеорологической службы Украины. Современные представления о режиме выпадения атмосферных осадков на побережьях Крымского полуострова наиболее полно изложены в монографии Симонова [3].

Согласно им, Степной Крым расположен в зоне влияния Атлантики, а характеристики выпадающих здесь атмосферных осадков определяются особенностями термической трансформации проходящих над ним воздушных масс. В летние месяцы ощутимо влияют на них также траекторий движения атлантических циклонов. В зимние месяцы существенным является влияние на них также циклонов, формирующихся над Средиземным морем и арктических блокингов [4]. Поэтому определяющее влияние на пространственно-временную изменчивость характеристик выпадающих в Крыму атмосферных осадков оказывают изменения распределений по поверхности Атлантики потоков тепла и влаги, поступающих с нее в соответствующий сегмент тропосферы. Главным фактором, вызывающим изменения подобных потоков, является пространственно-временная изменчивость ее поверхностной температуры (далее SST) [5].

Одной из важнейших характеристик состояния указанного процесса является его среднее значение, рассчитываемое по поверхности всей Северной Атлантики, которое принято рассматривать как глобальный климатический индекс AMON.US [6].

На изменения указанной характеристики влияет усиление парникового эффекта в атмосфере над Северной Атлантикой, которое приводит к увеличению потока обратного теплового излучения, поглощаемого ее поверхностью [7]. К числу ее факторов могут относиться и изменения потоков тепла, поступающих в Северную Атлантику через экватор, с водами северной ветви Южно-Пассатного течения, а также части вод его южной ветви, которая вблизи мыса Сан Роки, образует Гвианское течение.

За вторую половину XX века существенных изменений среднегодовых расходов указанных течений не выявлено, вследствие чего годовой поток тепла, поступающий в Северную Атлантику с их водами, изменялся практически пропорционально изменениям SST акватории, через которую они проходят (ее границами являются параллели 5°N и 20°S, а также меридианы 10°E и 30°W). Поэтому изменения среднего значения ее SST, рассматриваемого как глобальный климатический индекс TSA, также следует учитывать как фактор изучаемого процесса.

Причиной подобных изменений является усиление парникового эффекта в атмосфере над тропической зоной Южной Атлантики. Может ощутимо сказываться также усиление парникового эффекта над всем Южным полушарием, приводящее к увеличению теплосодержания вод Бенгельского течения (взаимодействие которого в восточном секторе тропической зоны Южной Атлантики с водами Гвинейского течения приводит к образованию ее Южно-Пассатного течения) [8].

Непосредственное влияние на распределение SST Северной Атлантики оказывают изменения SST Карибского моря, в котором воды упомянутых ветвей Южно-Пассатного течения встречаются с водами южной струи Северо-Пассатного течения. В результате их трансформации здесь формируется поток тепла, который, поступающий с водами Мексиканского залива в Северную Атлантику, в значительной степени определяет характеристики Гольфстрима. Поэтому изменения средних SST Карибского моря, рассматриваемых как глобальный климатический индекс CAR [9], также способны влиять на изучаемый процесс.

**СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕСЯЧНЫХ СУММ ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В СТЕПНОМ КРЫМУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИКИ,
ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

Поскольку за период современного потепления климата произошло существенное усиление парникового эффекта в атмосфере [7], допустимо предполагать, что значимость влияния перечисленных крупномасштабных факторов на изменения распределения по территории Степного Крыма месячных сумм атмосферных осадков могла измениться.

Систематический мониторинг изменчивости индексов AMON.US, TSA и CAR осуществляется с 1950 года [6, 8, 9]. В этот же период на метеостанциях Крыма осуществлялись режимные наблюдения за выпадающими здесь атмосферными осадками. Это позволяет исследовать изменения связей между данными крупномасштабными и региональными процессами, произошедшие за период современного потепления климата [7]. Результаты подобного исследования могли бы быть учтены при разработке долгосрочных прогнозов изменчивости интенсивности атмосферных осадков в зимние месяцы на изучаемой территории, а также многих других, связанных с ними природных процессов, которые позволили бы уменьшить риски при развитии земледелия. Они также необходимы для повышения эффективности мероприятий по развитию водного хозяйства Крыма и гражданской защиты его населения.

Тем не менее, ранее подобных исследований не проводилось, что не позволяет учитывать влияние упомянутых факторов адекватно. Поэтому выявление особенностей изменений связей между рассматриваемыми региональными и крупномасштабными процессами, произошедших за период современного потепления климата, представляет существенный теоретический и практический интерес.

Учитывая изложенное, в качестве объекта исследования выбраны межгодовые изменения месячных сумм атмосферных осадков, выпадающих на территориях различных ландшафтных областей Степного Крыма в месяцы с декабря по март, а также состояний распределения SST в Атлантике.

Предметом исследования являлись связи межгодовых изменений сумм атмосферных осадков, выпадающих в зимние месяцы на территориях Степного Крыма с крупномасштабными процессами в Атлантике, при современном потеплении климата.

Целью работы является разработка методики долгосрочного прогнозирования межгодовых изменений сумм атмосферных осадков, выпадающих в зимние месяцы на территориях различных ландшафтных областей Степного Крыма, с учетом выявленных связей с крупномасштабными процессами в Атлантике.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Выявление условий, при которых, на различных этапах современного потепления климата, статистические связи между изменениями индексов AMON.US, TSA и CAR, а также сумм атмосферных осадков на территориях ландшафтных областей степного Крыма, выпадающих в месяцы с ноября по март, являлись существенными.

2. Оценка тенденций изменчивости среднемесячных значений климатических индексов AMON.US, TSA и CAR за период современного потепления климата, для месяцев, когда связь этих процессов с изменениями сумм атмосферных осадков в зимние месяцы на территориях Степного Крыма, являлась наиболее значимой.

3. Разработка долгосрочных прогнозов изменчивости месячных сумм атмосферных осадков на территории Полесского края Украины в зимние месяцы.

Методика исследований и фактический материал

Одной из наиболее универсальных методов прогнозирования многофакторных природных процессов является метод множественной регрессии, предложенный К. Пирсоном в 1908 г. В соответствии с ним, как математическая модель подобного процесса $y[j]$, заданного своим временным рядом, рассматривается соответствующее уравнение линейной множественной регрессии, имеющее вид [9]:

$$Y[j] = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i[j] \quad (1)$$

где: $Y[j]$ – временной ряд результатов моделирования процесса $y[j]$,

$x_i[j]$ – процессы аргументы, заданные своими временными рядами, имеющими такую же длину, что ряд процесса $y[j]$.

c_i ($i=0, 1, \dots, N$) – действительные константы, значения которых выбраны так, чтобы обеспечить минимум дисперсии ошибки моделирования - P

$$P = M \sum_{j=1}^M (Y[j] - y[j])^2 \quad (2)$$

Для определения c_i применяют метод наименьших квадратов [13], согласно которому:

$$C = A^{-1} \cdot B \quad (3)$$

где: C – вектор коэффициентов модели c_i , содержащий $N+1$ компонент,

$$B = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{array} \right\} - \text{вектор, также включающий } N+1 \text{ компонент,}$$

$$A = \begin{pmatrix} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,N} \end{pmatrix} - \text{квадратная матрица раз- мером } (N+1) \times (N+1),$$

A^{-1} – матрица обратная по отношению к A [14].

Единственные условия, при котором модель (1) может быть таким образом идентифицирована – $M > N$ и отсутствие среди процессов ее аргументов линейно зависимых, в противном случае матрица A не может быть обращена. При этом в качестве $x_i[j]$ могут быть использованы любые случайные числовые последовательности, причинно не связанные с $y[j]$.

В задачах прогнозирования подобный подход применим лишь в случаях, когда связи между процессами $y[j]$ и $x_i[j]$ являются причинными, либо статистически устойчивыми на отрезках времени, для которых разрабатываются прогнозы. Если $y[j]$ является многофакторным, а количество его аргументов N больше чем длина их временных рядов M , возникает задача выбора среди них m ($m < M$) наиболее значимых. Данная задача решается методом полного перебора всех возможных сочетаний из N аргументов по m . Критерием, позволяющим определить наилучшее сочетание аргументов, является максимум модуля коэффициента их множественной корреляции.

Поскольку в реальных случаях количество сочетаний может быть весьма велико, для его уменьшения применяют различные подходы. Один из них учитывает свойство множественной корреляции изучаемого процесса $y[j]$ и некоторого набора его аргументов, согласно которому она является максимальной, если достаточно сильной является парная корреляция $y[j]$ с каждым его компонентом $x_i[j]$.

Подобной селекции исходного множества аргументов изучаемых процессов и посвящена первая задача. В ходе ее решения выявлялись сдвиги между фрагментами временных рядов индексов AMON.US, TSA и CAR, а также сумм атмосферных осадков в декабре- марте, при которых значение коэффициента их парной корреляции превышало 95% порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Значение этого порога было рассчитано по стандартной методике, с учетом соответствующего числа степеней свободы сопоставляемых фрагментов временных рядов [12], и составило 0.42.

Как показал литературных источников, описывающих свойства изучаемых процессов, какие либо основания полагать их стационарными [11], отсутствуют. Вместе с тем, имеются основания полагать, что на достаточно коротких отрезках времени отличия статистических свойств рассматриваемых природных процессов, от свойств процессов стационарных, могут быть сколь угодно малы. На таких интервалах времени, как количественную меру связи между изучаемыми процессами, можно использовать коэффициент их парной корреляции.

Расчеты проводились для фрагментов временных рядов изучаемых процессов, соответствующих интервалу времени длительностью 22 года, поскольку на таких интервалах тенденции изменений их состояний оставались практически неизменными.

Предполагалось, что на отрезке времени 1973 - 2010 гг., соответствующем периоду современного потепления климата, все изучаемые процессы стационарными не являются. Поэтому их взаимокорреляционные функции рассчитаны для фрагментов временных рядов месячных сумм атмосферных осадков в репрезентативных пунктах на территориях ландшафтных областей Степного Крыма, которые начинаются с 1973 по 1989 гг. и заканчиваются в 1994 -2010 гг..

Исследовались статистические связи данных фрагментов упомянутых процессов с фрагментами временных рядов индексов AMON.US, TSA и CAR, которые опережают их на 0 – 21 год.

Как значимые рассматривались сдвиги между сопоставляемыми фрагментами изучаемых процессов, при которых рассчитанные в скользящих окнах длиной 22 года, значения коэффициента их парной корреляции по модулю возрастали и превышали 95% порог, как минимум на отрезке времени с 1989 по 2010 гг.

При решении второй задачи, как количественная характеристика тенденции межгодовых изменений среднемесячных того или иного индекса, рассматривался угловой коэффициент его линейного тренда, значение которого рассчитывалось в «скользящем окне» длиной 22 года, по методике [13].

При разработке долгосрочного прогноза изменений месячных сумм атмосферных осадков в зимние месяцы для выбранных репрезентативных пунктов использовались упомянутая выше методика селекции сочетаний аргументов по критерию максимума множественной корреляции, а также соотношения 1-3 .

Кроме того, предполагалось, что основные закономерности изменений состояний всех рассматриваемых процессов, в будущем останутся неизменными.

При решении первой и второй задачи, как фактический материал использованы временные ряды среднемесячных значений индексов AMON.US, TSA и CAR, представленные в [9]. Упомянутые ряды содержат информацию об изменении указанных характеристик за период с января 1950 по декабрь 2010 гг. Также использовались временные ряды сумм атмосферных осадков, выпадавших в репрезентативных пунктах всех ландшафтных областей Степного Крыма за месяцы с декабря по март. При выборе подобных

**СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕСЯЧНЫХ СУММ ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В СТЕПНОМ КРЫМУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИКИ,
ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

пунктов учитывалось расположение различных метеостанций Украины, на которых непрерывные режимные наблюдения за атмосферными осадками осуществлялись в период с 1973 по 2010 гг. Таким образом, в качестве репрезентативных, выбраны следующие пункты:

Тарханкутская возвышенная область - метеостанция пгт. Черноморск;

Центральнокрымская область – метеостанция г. Симферополь;

Керченская холмистая область - метеостанция г. Керчь.

Информацию об изменениях месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших в указанных репрезентативных пунктах, в виде соответствующих временных рядов получено из [10].

Результаты и их анализ

В соответствии с изложенной методикой рассчитаны взаимнокорреляционные функции всех фрагментов временных рядов месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших с декабря по март в репрезентативных пунктах, а также соответствующих фрагментов временных рядов индексов AMON.US, TSA та Car. Это позволило определить значения временных сдвигов между фрагментами подобных временных рядов, при которых связи между ними в период с 1989 по 2010 гг. являлись статистически значимыми. Среди них выявлены значения сдвигов, при которых за период современного потепления климата происходило устойчивое усиление связей между рассматриваемыми процессами.

В качестве примера, на рисунке 1 представлены зависимости от года начала 22-х летнего фрагмента временного ряда месячных сумм мартовских атмосферных осадков в п. Симферополь, значений коэффициента его корреляции с фрагментами временных рядов индексов AMON.US, TSA и Car, опережающими его соответственно на 71, 14 и 34 месяца.

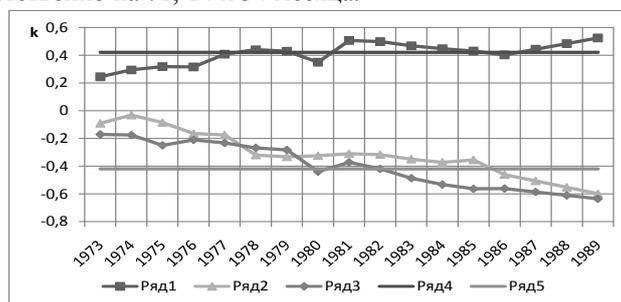


Рис. 1. Зависимости от года начала 22-х летнего фрагмента временного ряда месячных сумм мартовских атмосферных осадков в п. Симферополь, значений коэффициента его корреляции с фрагментами временных рядов индексов с фрагментами рядов TSA – ряд 1, CAR– ряд 2 и AMON.US– ряд 3, с опережением соответственно на 34, 14 и 71 месяц.

Как следует из рисунка 1, значения коэффициента корреляции между рассматриваемым процессом и межгодовыми изменениями TSA с 1973 по 1978 г. монотонно возрастали до уровня, соответствующего 95% порогу, а далее остаются практически неизменными. Значения коэффициента корреляции того же процесса, а также межгодовых изменений AMON.US и CAR в период с 1973 года монотонно убывали и превысили по модулю тот же порог на 22-х летних интервалах времени, начинающихся после соответственно 1986 г. и 1982 г.

Характер выявленных закономерностей свидетельствует об их статистической устойчивости, что позволяет предполагать целесообразность их учета при прогнозировании изменений месячных сумм мартовских с опережением соответственно на 34, 14 и 71 месяц атмосферных осадков в п. Симферополь с опережением до 71 месяцев. Временные сдвиги между рядами рассматриваемых индексов, а также месячных сумм атмосферных осадков в изучаемых пунктах Степного Крыма, при которых связи между ними устойчиво усиливаются, в другие месяцы могут принимать и иные значения. В этом можно убедиться, рассмотрев таблицу 1, где в качестве примера представлены данные о значениях сдвигов между временными рядами месячных сумм атмосферных осадков в пгт. Черноморск в ноябре-марте, за период с 1989 по 2010 гг., а также рассматриваемых индексов, при которых корреляция между ними являлась значимой.

Таблица 1. Значения сдвигов (с) между временными рядами месячных сумм атмосферных осадков в пгт. Черноморск в декабре-марте, за период с 1989 по 2010 гг., а также рассматриваемых индексов, при которых корреляция между ними (К) являлась существенной.

Индекс	Декабрь		Январь		Февраль		Март	
	К	С, мес	К	С, мес	К	С, мес	К	С, мес
1	2	3	4	5	6	7	8	9
TSA			0,442	2	-0,441	42	-0,452	56
			0,462	3	-0,483	43	-0,507	57
			-0,415	13	-0,489	47		
			-0,527	14	-0,513	49		
			-0,458	15	-0,585	50		
			-0,502	16	-0,458	51		

Индекс	Декабрь		Январь		Февраль		Март	
	К	С, мес	К	С, мес	К	С, мес	К	С, мес
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			-0,472	17	-0,432	53		
			-0,431	18				
			-0,504	19				
			-0,468	20				
			-0,447	21				
CAR			-0,530	24	-0,453	5	0,444	46
			-0,598	25	-0,506	6	0,465	47
			-0,598	26	-0,601	7	0,455	61
			-0,474	27	-0,659	8		
			0,462	39	-0,494	9		
			0,437	46	-0,541	10		
					-0,543	11		
					-0,571	12		
					-0,449	13		
AMO							0,496	49

Как видим из таблицы 1, значимая корреляция фрагментов временных рядов месячных сумм атмосферных осадков в пгт. Черноморск, соответствующих периоду с 1989 по 2010 гг, а также рассматриваемых индексов имеет место при большом числе сдвигов между ними, значения которых не превышают 6 лет. Чем меньше значение сдвига, тем больше фрагментов временных рядов рассматриваемых крупномасштабных процессов значимо связаны с указанными фрагментами изучаемых процессов и тем выше может быть точность регрессионных моделей, которые учитывают их в качестве своих аргументов.

Аналогичные выводы сделаны и в отношении прочих рассматривавшихся репрезентативных пунктов. Установлено, что за весь период современного потепления климата связи между фрагментами изучаемых процессов, при значениях сдвигов по времени между ними, приведенными в таблице 1, устойчиво усиливались. Это позволяет предполагать, что и в ближайшие 5-6 лет подобные связи останутся значимыми, вследствие чего их учет при прогнозировании данных процессов целесообразен.

В качестве примера, с использованием изложенной методики была идентифицирована модель (1) изменений месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших в период с 1987 по 2008 гг, в феврале на метеостанции Симферополь. При этом в качестве ее аргументов использованы временные ряды среднемесячные значения индексов TSA [9] с опережениями 16-25 месяцев. Установленные значения коэффициентов С приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов модели (1) месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших в феврале в п. Симферополь в период с 1987 по 2008 гг.

Коэфф.	значение	Коэфф.	значение	Коэфф.	значение	Коэфф.	значение
C0	39.79	C3	27.20	C6	-78.93	C9	13.08
C1	-57.64	C4	-77.09	C7	12.72	C10	66.08
C2	19.72	C5	100.95	C8	-2.43	C11	-48.51

На рисунке 2 отображены фактические изменения месячных сумм атмосферных осадков в феврале, зафиксированных на метеостанции п. Симферополь за период с 1991 по 2010гг., а также результаты моделирования этого процесса, с учетом данных за 1987-2008гг. и его прогнозирования на 2009-2012 гг.

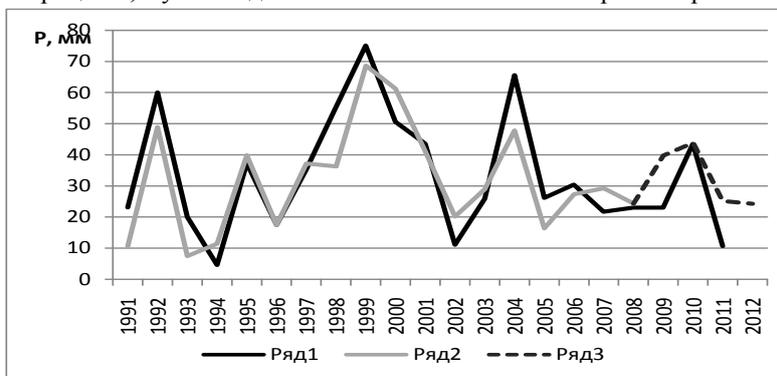


Рис. 2. Изменения месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших в феврале на метеостанции Симферополь (ряд 1), а также результаты их моделирования, с учетом данных за 1987-2008 гг. (ряд 2) и прогнозирования (ряд 3).

Как видно из рисунка 2, изменения в период 2009-2011 гг. прогнозируемых значений месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших в феврале на метеостанции Симферополь, в целом соответствуют их фактическим изменениям, хотя значения ошибок прогнозирования лежат в пределах от -16.76 мм до -

**СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕСЯЧНЫХ СУММ ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В СТЕПНОМ КРЫМУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИКИ,
ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

0.37мм. Это подтверждает возможность получения информации о характере изменения рассматриваемого процесса в будущем, по результатам анализа его предыстории.

Следует отметить, что данный прогноз, как и любой прогноз, основывающийся на изучении предыстории рассматриваемого процесса, может оправдаться лишь в случае, если основные его закономерности, проявившиеся на учитываемом отрезке этой предыстории, в будущем сохранятся неизменными.

Важнейшим фактором, действовавшим в период с 1973 по 2010 гг., как на крупномасштабные процессы в Атлантике, так и на режим выпадения атмосферных осадков в Степном Крыму, являлось усиление парникового эффекта в земной атмосфере [7, 14].

Именно данный фактор в указанный период вызывал увеличение годового потока тепла, поступающего в Карибское море из тропической зоны Южной Атлантики, а также интенсивности тепло-массообмена поверхности Северной Атлантики с соответствующим сегментом тропосферы [5].

Причиной выявленного усиления рассматриваемых крупномасштабных процессов на пространственно-временную изменчивость интенсивности атмосферных осадков на территории Степного Крыма может являться увеличение их мощности, источником которой, как известно, являются глобальные процессы и прежде всего упомянутый фактор. Поэтому полученный результат соответствует современным представлениям о взаимосвязи рассматриваемых процессов и свидетельствует об увеличении их предсказуемости.

Выводы

1. Существуют временные сдвиги между временными рядами межгодовых изменений месячных сумм атмосферных осадков, выпадающих в зимние месяцы на территориях различных ландшафтных областей Степного Крыма, а также климатических индексов TSA, CAR и AMON.US, при которых статистические связи между ними являются значимыми и усиливающимися при потеплении климата.

2. Значения этих сдвигов определяются географическим положением ландшафтной области, где изучаются атмосферные осадки, а также соответствующим номером месяца.

3. В период современного потепления климата среднемесячные значения упомянутых климатических индексов в любые месяцы возрастали.

4. Учет выявленных факторов при моделировании межгодовых изменений месячных сумм зимних атмосферных осадков позволяет разработать их эффективные прогнозы с упреждениями до 5 лет.

Источники и литература:

1. Пашенко В. М. Теоретические проблемы ландшафтоведения / В. М. Пашенко. – К. : Наук. Думка, 1993. – 283 с.
2. Маринич О. М. Фізична географія України / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – 2003. – 479 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – Т. IV : Черное море. – Вып. 1 : Гидрометеорологические условия / под ред.: А. И. Симонов, Е. Н. Альтман. – 429 с.
4. Школьный С. П. Фізика атмосфери / С. П. Школьный. – Одеса, 1997. – 698 с.
5. Полонский А. Б. Роль океана в современных изменениях климата / А. Б. Полонский // Морской гидрофизический журнал. – 2001. – № 6. – С. 32-46.
6. Enfield D. B. The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S. / D. B. Enfield, A. M. Mestas-Nunez, P. J. Trimble // Geophysical Research Letters. – 2001. – Vol. 28. – P. 2077-2080.
7. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC). – Cambridge : Cambridge Unsversity Press, 2007. – 973 p.
8. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? / D. B. Enfield, A. M. Mestas, D. A. Mayer, L. Cid-Serrano // JGR-O. – 1999. – Vol. 104. – P. 7841-7848.
9. NOAA Earth System Research Laboratory : [Electronic resource] : official site. – Access mode : <http://www.cdc.noaa.gov/>
10. Global climate data : [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.tutiempo.net/en/Climate>
11. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения / С. Р. Рао. – М. : Наука, 1968. – 376 с.
12. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.
13. Рождественский А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 424 с.
14. Парниковый эффект, изменения климата и экосистем / под ред. Б. Болина. – Л. : Гидрометеоздат. 1989. – 551 с.