

УДК 551.482.6

А. А. Шидловская, асп., А. В. Холопцев, д.геогр.н.

Севастопольский национальный технический университет

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МАКСИМАЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В Г. КИРОВОГРАД, УСТОЙЧИВЫХ К ВРЕМЕННЫМ СДВИГАМ В БУДУЩЕЕ

*На примере межгодовых изменений максимальных значений среднесуточных скоростей ветра в г. Кировоград, имевших место здесь в ноябре, декабре, январе, феврале и марте за период с 1973 по 2008 гг., показано, что использование в качестве аргументов прогностических множественно-регрессионных моделей этого процесс, сочетаний факторов, обеспечивающих их оптимальность по критерию максимальной робастности к временным сдвигам в будущее, позволяет получить прогнозы, которые способны быть адекватными и эффективными, если не произойдет существенных изменений его главных закономерностей.*

**Ключевые слова:** максимальное значение среднесуточной скорости ветра, глобальные климатические индексы, динамика, множественно-регрессионная модель, корреляция, прогнозирования, устойчивость к временным сдвигам в будущее, оптимизация.

**Введение.** Межгодовая изменчивость максимальных среднесуточных скоростей ветра в различных регионах мира является одним из важнейших факторов динамики рисков возникновения в них чрезвычайных ситуаций, а также состояния их экосистем. Поэтому совершенствование алгоритмов ее прогнозирования является актуальной проблемой не только метеорологии, но и экологической безопасности.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для степных регионов, где активно развивается земледелие, способствующее снижению устойчивости их почвенного покрова к воздействию ветровой эрозии [1]. К их числу относятся регионы степной ландшафтной зоны Украины: ее Кировоградская, Одесская, Николаевская, Днепропетровская, Херсонская, Запорожская, Донецкая и Луганская области, а также северные районы Автономной республики Крым. Именно в них на почвенный покров оказывается наиболее интенсивное антропогенное воздействие, способствующее их интенсивной ветровой и водной эрозии, а в XX веке не раз возникали разрушительные пылевые бури. Не редки здесь и иные природные чрезвычайные ситуации, обусловленные действием сильных ветров [2].

Мониторинг временной изменчивости скоростей ветра на территории Украины начал осуществляться еще в конце XIX века и ныне продолжается на 184 ее метеостанциях, значительная часть которых расположена в степной ландшафтной зоне. При этом успешно решается такая его задача, как сбор и каталогизация информации, которая представлена в метеорологическом архиве Украины, а также на Интернет сайте [3]. В тоже время другая, не менее важная его задача - прогнозирование динамики характеристик, за которыми ведется наблюдение, решается менее эффективно.

Несмотря на то, что к настоящему времени накоплен обширный эмпирический материал, причинно-следственные связи межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в регионах степной зоны Украины с порождающими их факторами изучены недостаточно. Вследствие этого при долгосрочном прогнозировании рассматриваемого процесса ныне могут быть использованы лишь алгоритмы, синтезированные с помощью стохастических методов.

Среди последних, наиболее универсальным является метод множественной регрессии, разработанный еще в начале XX века К. Пирсоном [4].

Сущность метода состоит в использовании для оценки состояний прогнозируемого процесса в будущем уравнения множественной регрессии, аргументами которого являются другие природные процессы, способные влиять на его динамику.

Эффективность моделирования изучаемого процесса с использованием упомянутого метода может быть весьма высока, однако его прогнозы, основанные на использовании множественно-регрессионных (далее МР) моделей, адекватны далеко не всегда.

Необходимыми условиями адекватности таких прогнозов являются:

1. факторы, которые были учтены при идентификации некоторого уравнения множественной регрессии изучаемого процесса, действительно влияют на него значимо;

2. характеристики связей рассматриваемого процесса с этими факторами в будущем, для которого осуществляется прогноз, а также в прошлом, информация о котором используется при идентификации МР модели, отличаются не существенно.

Возможность убедиться в выполнимости данных условий на практике, как правило, отсутствует. Вследствие этого предугадать, насколько точными окажутся прогнозы, разработанные с использованием тех или иных МР моделей, зачастую невозможно, вследствие чего трудозатраты, связанные с их разработкой, во многих случаях представляются неоправданными.

В действительности польза от подобных прогнозов состоит в выявлении среди различных сочетаний факторов каждого изучаемого процесса такого, влияние которого на изменения его состояний в прошлом было наиболее значимым. Сравнение, по прошествии соответствующего времени, наблюдавшейся фактически динамики этого процесса и его прогнозов, разработанных с учетом подобных факторов, позволяет также установить, были ли произошедшие изменения его связей с данными факторами достаточно сильными.

Для оценки качества прогностических моделей изучаемого процесса иногда целесообразно использовать критерий их максимальной устойчивости к временным сдвигам в будущее. Модель, являющаяся оптимальной по этому критерию, обеспечивает при своем использовании минимум среднеквадратической ошибки прогнозирования изучаемого процесса, оцененной по некоторому фрагменту его известной предыстории.

Несмотря на очевидные преимущества данного критерия, модель оптимальная по нему обеспечивает требуемую эффективность прогнозирования далеко не всегда. Поэтому целесообразность его применения должна быть установлена в каждом конкретном случае. При разработке МР моделей, предназначенных для прогнозирования временной изменчивости максимальных среднесуточных скоростей ветра в степной зоне Украины, она ранее не исследовалась.

Как показывает анализ временных рядов межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в степных регионах Украины, как типичные для них могут рассматриваться ряды, полученные на метеостанции г. Кировоград. Наиболее сильные ветра в период с 1973 по 2008 г. здесь отмечались в зимние месяцы [3] (в ноябре 1975 г. – 12,7 м/с, в декабре 1973 г. – 12,6 м/с, в марте 2007 г. – 15,5 м/с и в январе 1976 г. – 11,5 м/с).

Учитывая изложенное, **объектом данного исследования** выбрана современная межгодовая изменчивость максимальных среднесуточных скоростей ветра, наблюдаемых в месяцы с ноября по март в г. Кировоград.

**Предмет исследования** – особенности прогнозов межгодовой изменчивости максимальных среднесуточных скоростей ветра в упомянутые месяцы в

г. Кировоград, разработанных с использованием МР моделей, обладающих максимальной устойчивостью к временным сдвигам в будущее.

**Целью работы** является оценка эффективности применения критерия максимальной устойчивости к временным сдвигам в будущее при разработке МР алгоритмов прогнозирования межгодовой изменчивости максимальных скоростей ветра в г. Кировоград.

Для достижения данной цели в работе решены следующие **задачи**:

1. Формирование исходного множества факторов изучаемых процессов.
2. Выявление их сочетаний, применение которых в качестве аргументов МР моделей данных процессов обеспечивает их максимальную устойчивость к тем или иным временным сдвигам в будущее.
3. Идентификация подобных моделей, а также оценка адекватности и эффективности разработанных с их помощью прогнозов изучаемых процессов, с упреждениями от 1 до 8 лет.

#### **Фактический материал и методика исследований**

В качестве фактического материала рассматривались временные ряды максимальных среднесуточных скоростей ветра в г. Кировоград, зафиксированные здесь в ноябре, декабре, январе, феврале и марте за период с 1973 по 2008 гг., представленные в [3].

Как известно [5-7], к числу важнейших факторов временной изменчивости характеристик поля скорости ветра в различных регионах планеты относятся глобальные и крупномасштабные процессы в ее климатической системе, определяющие особенности глобальной атмосферной циркуляции. В спектрах временной изменчивости большинства из этих процессов присутствует мода с периодом 2 года. Учитывая это при решении первой задачи, в качестве компонентов исходного множества факторов, были использованы временные ряды среднемесячных значений глобальных климатических индексов (ГКИ) продолжительностью 36 лет, соответствующие всем месяцам года, начинающиеся в 1972 и 1973 и завершающиеся в 2007 и 2008 гг.. Используемые в работе ГКИ представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Название и аббревиатура ГКИ

№	Название ГКИ	Аббревиатура	Источник
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Индекс Арктического колебание	Ао	[8]
2	Индекс меридиональной моды поверхностной температуры Атлантики	Amm	[8]
3	Многодекадный Атлантический индекс	Amon	[8]
4	Атлантический триполитанский индекс	Atl	[8]
5	Карибский индекс	Car	[9]
6	Индекс Эль Ниньо - Южное колебание	Best: Bivariate enso timeseries	[10, 14]
7	Мультивариативный индекс Эль Ниньо - Южное колебание	Mei	[10, 14]
8	Индекс Восточно-тихоокеанского колебания	Epo	[11]
9	Индекс Североатлантического колебания	Nao	[11]
10	Индекс осцилляции поверхностной температуры Юго-Восточной части Тихого океана в районе (0-10S, 90W-80W)	Nina-1	[8]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
11	Индекс осцилляции поверхностной температуры Западной части Тихого океана в районе (5N-5S, 150W-90W)	Nina-3	[8]
12	Индекс осцилляции поверхностной температуры Центральной части Тихого океана в районе (5N-5S, 160E-150W)	Nina-4	[8]
13	Индекс осцилляции Востока Центральной части Тихого океана в районе (5N-5S, 170E-120W)	Nina-34	[8]
14	Северо-тропический атлантический индекс	Nta	[11- 13]
15	Океанический индекс Эль Ниньо	Oni	[10, 14]
16	Тихоокеанский Северо-Американский индекс	Pna	[9]
17	Квазидвухлетняя мода	Qbo	[13]
18	Индекс осцилляции атмосферного давления в экваториальной зоне Тихого океана	Soi	[10]
19	Индекс состояния солнечной активности (поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см)	Sol	[13]
20	Индекс средней интенсивности атмосферных осадков в зоне Сахель	Swm	[13]
21	Тропический Североатлантический индекс	Tna	[11, 13]
22	Индекс Транс-Ниньо (Tni), Южно-Тропический Атлантический индекс	Tsa	[14]
23	Индекс теплой области на поверхности океана в Западном полушарии	Whwp	[8]
24	Западно Тихоокеанский индекс	Wp	[8]
25	Индекс тропической зоны Тихого океана	Eof	[8]

Нетрудно видеть, что количество различных временных рядов, входящих в сформированное подобным образом их исходное множество составляло 624.

Рассматривались линейные МР модели [4] изучаемых процессов, учитывающие их связи с некоторыми десятью факторами, относящимися к подобному их исходному множеству.

Нетрудно видеть, что общее количество сочетаний рассматриваемых факторов по 10 составляет:  $C_{624}^{10}$ . Осуществить полный перебор такого количества сочетаний практически невозможно. Вместе с тем метод случайного поиска [15] и в этом случае позволяет найти сочетание, при котором значение рассматриваемого критерия является наименьшим. Учитывая это, именно упомянутый метод и использовался при решении второй задачи.

На каждом шаге процедуры случайного поиска оценивалось качество того или иного сочетания факторов изучаемого процесса, заданного временным рядом своих наблюдений  $-y[j]$  ( $j=1, 2, \dots, M$ ).

При этом для каждого такого сочетания факторов осуществлялась идентификация МР модели

$$Y[j] = c_0 + \sum_{l=1}^N c_l \cdot x_l[j], \quad (1)$$

где  $Y[j]$  – временной ряд результатов математического моделирования  $y[j]$ , который рассматривается как функция;  $x_i[j]$  – временные ряды факторов, рассматриваемых как аргументы МР модели изучаемого процесса, каждый из которых также содержит по  $M$  членов  $M > N+1$ ,  $N$  полагалось равным 10;

$c_i$  ( $i=0, 1, \dots, N$ )- неизвестные действительные константы, выбираемые так, чтобы минимизировать  $P$ , определяемое, как:

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

Значения  $c_i$  определялись по методу наименьших квадратов [16], из соотношения:

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

где  $C$  -  $N+1$  мерный вектор, компонентами которого являются константы  $c_i$ ,

$$B = \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{array} \right\} - N+1 \text{ мерный вектор;}$$

$A^{-1}$  - матрица  $(N+1) \times (N+1)$ , обратная по отношению к  $A$  [17];

$$A = \left\{ \begin{array}{cccc} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,N} \end{array} \right\} - \text{квадратная матрица.}$$

Необходимым условием существования решения уравнения (3) является

$$\text{rang}(A) = N+1,$$

что имеет место, если среди аргументов модели  $x_i[j]$  отсутствуют временные ряды, связанные между собой функционально.

Из временного ряда, содержащего результаты наблюдений изучаемого процесса, а также всех десяти рядов, соответствующих его факторам, образующим рассматриваемое сочетание, формировались фрагменты, различающиеся между собой на заданную величину упреждения прогноза  $\tau$  ( $\tau = 1, 2, \dots$ ) и имеющие длину  $22 - \tau$ . При этом фрагмент, временного ряда изучаемого процесса начинался с 1973 года.

Используя эти фрагменты как  $y[j]$  и  $x_i[j]$  соответственно, из соотношения (3) находилась вектор коэффициентов МР модели (1), соответствующий нулевому временному сдвигу  $\delta$  ( $\delta = 0, 1, 2, \dots, 14$ ). Затем, подставляя в (1) значения  $x_i[j + \tau + \delta]$ , рассчитывались прогнозы изучаемого процесса  $Y[j + \tau + \delta]$ , которые вчитались из соответствующего его фактического значения  $y[j + \tau + \delta]$ .

Так вычислялось первое значение ошибки прогноза, соответствующее  $\delta = 0$ .

Далее значение  $\delta$  увеличивалось на 1 и расчет значения ошибки прогноза повторялся, пока  $\delta$  не достигало значения 15. При  $\delta = 14$  последнее значение фрагмента временного ряда  $y[j + \tau + \delta]$ , соответствовало значению максимальной скорости ветра в г. Кировоград, в том или ином месяце 2008 года.

По полученному таким образом ряду ошибок прогноза по предыстории, содержащему 15 членов, рассчитывалось значение их среднеквадратического

отклонения, которое и рассматривалось как характеристика качества рассматриваемого сочетания факторов.

Значение указанной характеристики, рассчитываемое на каждом шаге процедуры случайного поиска, использовалось для выявления сочетания факторов, учет которого при идентификации МР модели обеспечивал ее максимальную устойчивость к временным сдвигам в будущее  $\delta$ .

Таким образом, для каждого значения упреждения прогноза и каждого месяца были определены сочетания факторов, использование которых в качестве аргументов МР модели изучаемого процесса, обеспечивало ее максимальную устойчивость к временным сдвигам в будущее, не превышающим 15 лет.

При решении третьей задачи оценивалась адекватность прогнозов, основывающихся на МР модели, аргументами которой являлись временные ряды факторов, образующих выявленное сочетание. Как мера их адекватности, рассматривалась вероятность того, что величина ошибки прогноза не превысит по модулю некоторый пороговый уровень. В качестве такого уровня было выбрано значение среднеквадратического отклонения изучаемого процесса, рассчитанное за период с 1973 по 2008 гг. Прогноз с некоторым упреждением полагался адекватным, если значение этой вероятности оказывалось не менее 0.866.

Эффективность прогнозов изучаемых процессов на 2009 и 2010 год оценивалась путем их сопоставления с соответствующими результатами фактических наблюдений.

Значения среднеквадратических отклонений прогнозов, соответствующие тем или иным упреждениям, использовались для оценки нижней и верхней границ интервалов, в пределах которых с заданной вероятностью может лежать ошибка прогноза. При этом закон распределения вероятности ошибок прогноза полагался нормальным, что позволяло применить при вычислении подобных оценок таблицы значений интеграла вероятностей [18].

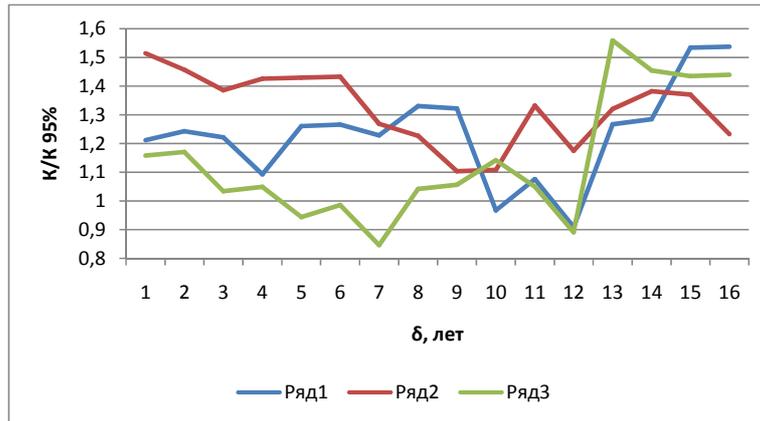
#### **Полученные результаты и их анализ**

С помощью описанной методики для значений упреждения прогноза  $\tau$ , лежащих в пределах от 1 до 8 лет были выявлены сочетания факторов изучаемых процессов, использование которых в качестве аргументов МР моделей обеспечивало их оптимальность по рассматриваемому критерию.

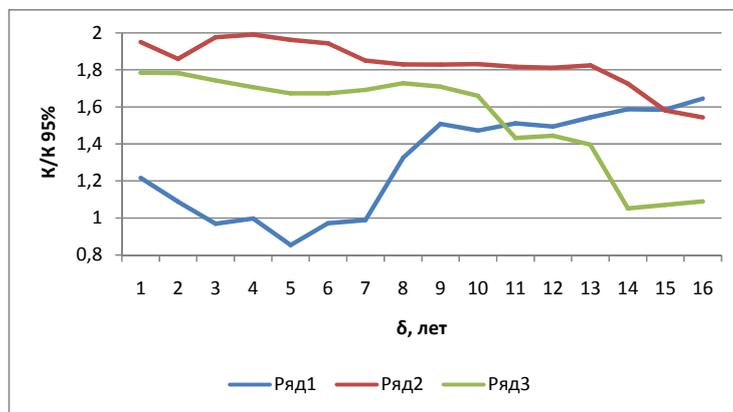
Для каждого из этих сочетаний и различных значений временных сдвигов  $\delta$ , по предысториям изучаемых процессов оценена устойчивость их прогнозов, разработанных с использованием учитывающих их МР моделей, коэффициенты которых определены по фрагментам временных рядов, соответствующих интервалам времени с 1973 по 1994-  $\tau$  гг.

При этом рассчитаны значения коэффициента парной корреляции временных рядов фактических изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в том или ином рассматриваемом месяце и соответствующих прогнозов, а полученные значения сопоставлены с 95% порогами достоверной корреляции, рассчитанными по критерию Стьюдента, с учетом числа их степеней свободы.

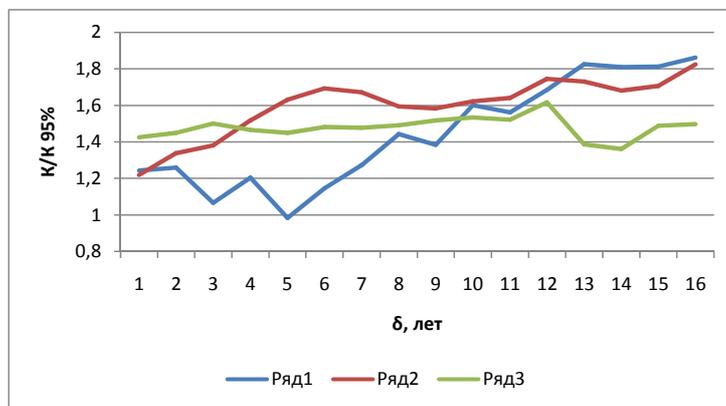
В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости значений отношения коэффициента их корреляции к соответствующему порогу, от величины временного сдвига  $\delta$ , рассчитанных для различных месяцев и значений упреждения прогноза 1, 4 и 8 лет.



а)

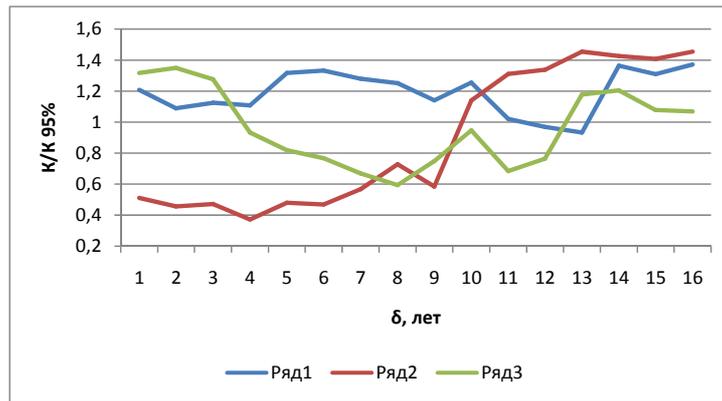


б)

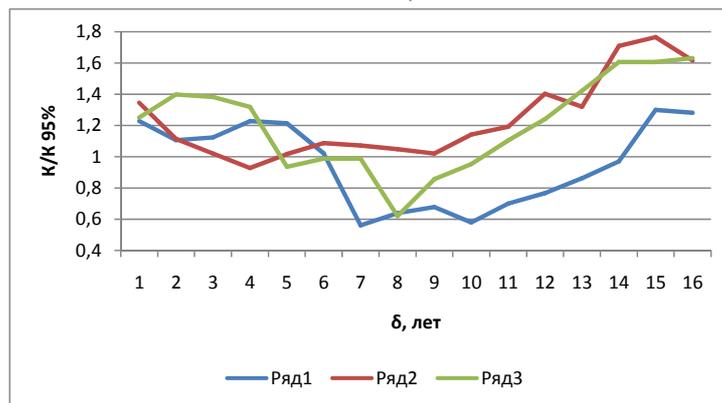


в)

Рис. 1 - Зависимости от временного сдвига  $\delta$  между фрагментами рядов, по которым осуществлялось прогнозирование и их фрагментом, для которого были рассчитаны значения коэффициентов МР модели, значения отношения коэффициента корреляции прогнозных и фактических изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград, к 95% порогам достоверной корреляции по критерию Стьюдента, при упреждениях прогноза 1 год- ряд 1, 4 года – ряд 2 и 8 лет – ряд 3: а) ноябрь, б) декабрь, в) январь.



г)



д)

Продолжение рис. 1 -- г) февраль, д) март.

Как видно из рис. 1, прогнозы межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в ноябре – январе с любыми упреждениями  $\tau$ , от 1 до 8 лет, разработанные с использованием МР моделей, коэффициенты которых рассчитаны для фрагментов временных рядов этих процессов с 1973 по 1994-  $\tau$  гг. и остаются неизменными, с достоверностью не менее 95% являются устойчивыми практически при любых сдвигах  $\delta < 15$  лет. При этом их устойчивость к временным сдвигам в будущее для января с увеличением  $\delta$  возрастает при любых изучавшихся упреждениях.

Прогнозы рассматриваемого процесса, соответствующие февралю обладают тем же свойством лишь при условии  $\tau < 4$  лет. За пределами этого диапазона упреждений они всегда адекватны при сдвигах более 12 лет.

Для марта эти прогнозы столь же адекватны при  $\tau > 3$  лет. При меньших значениях упреждений они адекватны лишь при сдвигах  $\delta < 5$  лет и  $\delta > 13$  лет.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что найденные сочетания факторов на временном интервале, соответствующем периоду современного потепления климата, действительно обеспечивают удовлетворительную устойчивость к временным сдвигам в будущее прогностических МР моделей межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград, в которых они используются как аргументы. Это позволяет предполагать, что при дальнейшем потеплении климата их прогнозы, разработанные с использованием аналогичных моделей, учитывающих, в качестве своих аргументов, те же сочетания факторов, также окажутся адекватными.

Последнее обуславливает целесообразность рассмотрения особенностей выявленных сочетаний. В качестве примера, в табл. 2 приведены подобные сочетания факторов межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в январе.

Таблица 2 - Сочетания факторов межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в январе, обеспечивающих максимальную устойчивость к временным сдвигам в будущее прогностических моделей этого процесса

τ, год		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ГКИ	Amm	Amm	Atl	Car	Car	Best	Pac	Tsa	Whwp	Epo
	месяц	мар	авг	апр	фев	окт	июн	дек	апр	апр	апр
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973
2	ГКИ	Amm	Amm	Amm	Amm	Amon	Car	Car	Epo	Epo	Epo
	месяц	янв	авг	сен	дек	янв	мар	авг	март	июль	ноя
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
3	ГКИ	Amm	Amm	Amm	Amon	Ao	Ao	Car	Mei	Tni	Wp
	месяц	апр	июнь	сен	дек	окт	дек	авг	июн	дек	янв
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973
4	ГКИ	Amm	Amon	Ao	Best	Best	Best	Nin34	Nin34	Tsa	Epo
	месяц	мар	авг	авг	мар	апр	июн	сен	ноя	сен	янв
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973
5	ГКИ	Amm	amm	Amm	Amm	Amm	Amon	Amon	Car	Best	Ao
	месяц	янв	мар	май	июл	окт	мар	ноя	авг	фев	сен
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973
6	ГКИ	Amm	Amm	Amm	Amon	Amon	Ao	Ao	Ao	Sol	Mei
	Месяц	авг	окт	ноя	июн	авг	янв	июн	сен	янв	янв
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973
7	ГКИ	Amm	Amm	Amm	Amm	Amon	Amon	Nao	Nao	Epo	Epo
	Месяц	янв	май	июл	сен	июл	авг	фев	ноя	мар	ноя
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973	1973
8	ГКИ	Amm	Amm	Amm	Amon	Ao	Tni	Nao	Soi	Swm	Tsa
	Месяц	апр	окт	дек	ноя	май	дек	окт	ноя	сен	фев
	начало	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1973	1973	1973	1973

Из табл.2 видно, что среди факторов, входящих в состав аргументов МР моделей рассматриваемого процесса, обладающих максимальной устойчивостью к временным сдвигам и обеспечивающих его прогнозирование с упреждениями 1 – 8 лет, преобладают временные ряды изменений значений таких ГКИ, как Amm (всего 25 рядов) и Amon, которые характеризует состояние поля поверхностной температуры Атлантического океана.

Присутствуют в составе оптимальных наборов также ГКИ, характеризующие состояние процессов Эль Ниньо (Nina1, Nin34, Nin4, Soi, Best, Mei), Арктического (Ao) и Североатлантического колебания (Nao), полей поверхностной температуры тропической области Атлантического (Tni, Tsa, Tna) и Тихого (Pna) океанов, а также солнечной активности (Sol).

Следует отметить, что, как следует из табл. 2, динамика максимальных скоростей ветра в рассматриваемый период характеризовалась существенными и различными запаздываниями по отношению к изменениям ГКИ, которые рассматривались как ее факторы. Аналогичные особенности характерны оптимальным наборам факторов, соответствующих прочим рассматривавшимся месяцам. 50% всех временных рядов, используемых в их моделях приходится на атлантические индексы Amm (32.5%) и Amon (17.5%).

Значительны и уровни соответствующих им коэффициентов моделей, в чем нетрудно убедиться, рассмотрев табл. 3, где в качестве примера представлены их значения, соответствующие январю (ее столбцы соответствуют столбцам табл. 2).

Таблица 3 - Значения коэффициентов идентифицированных МР моделей, межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в январе

$\tau$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
1	28.467	0.839	1.758	-3.777	-2.041	-17.426	3.529	-1.576	13.466	-0.228	-2.002
2	28.297	-0.027	1.523	-1.127	0.076	-12.369	18.796	-14.064	0.074	-1.067	-0.588
3	28.018	-0.628	0.858	-1.090	-0.475	-1.155	0.163	6.502	-1.897	-0.295	1.607
4	-14.888	0.196	-9.360	-1.925	2.686	-2.566	0.033	6.939	-5.282	-1.597	-0.831
5	25.382	-0.944	0.649	0.234	-0.927	1.312	-1.218	-18.777	16.420	-1.476	1.399
6	31.579	0.801	-0.841	0.640	-17.456	8.336	-0.571	-0.185	1.407	-0.002	0.159
7	27.301	0.444	-1.089	1.939	-1.234	-20.298	23.044	-0.512	0.031	0.554	-0.152
8	27.798	0.169	-0.302	0.332	-4.359	-1.282	0.908	0.918	-0.157	0.398	-2.636

Рассмотренные результаты соответствуют представлениям [5-7] о влиянии глобальных и крупномасштабных процессов в климатической системе планеты на региональные особенности атмосферной циркуляции.

В табл. 4 представлены оценки рассматриваемой характеристики адекватности прогнозов с упреждениями 1-8 лет, разработанных с использованием МР моделей, учитывающих в качестве своих аргументов, сочетания факторов, обеспечивающие максимальную их устойчивость к временным сдвигам в будущее.

Таблица 4 - Значения вероятностей того, что ошибка прогноза изменений максимальной скорости ветра в г. Кировограде с тем или иным упреждением, не превышает среднеквадратического отклонения этого процесса

$\tau$ , год	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
1	1	0.933	1	0.866	0.866
2	1	0.933	0.933	0.933	0.866
3	0.866	0.933	0.933	0.933	0.933
4	0.733	0.866	1	0.866	0.533
5	0.933	1	0.933	0.933	0.866
6	0.933	0.866	1	0.933	0.866
7	1	0.866	0.866	0.866	0.933
8	0.933	0.8	0.93	0.933	0.866

Из табл. 4 видно, что значения рассматриваемой характеристики эффективности прогнозов максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в ноябре, январе и феврале превышают уровень 0.866 при любых упреждениях в интервале от 1 до 8 лет. Для прогнозов изменений состояния того же процесса в декабре ее значения превышают тот же уровень при упреждениях, не превышающих 7 лет.

Наименьшей является устойчивость к временным сдвигам в будущее моделей, описывающих межгодовые изменения максимальных скоростей ветра в г. Кировоград в марте, где, при упреждении 4 года значение вероятности того, ошибка их прогноза не превышает их среднеквадратическое отклонение изменений, составляет всего 0.53. Тем не менее, и в этом месяце при упреждениях 1-3 и 5-8 лет ее значения не снижаются менее 0.866 (вероятность грубых ошибок не превышает 0.134).

Как уже отмечалось выше, приведенные оценки эффективностей рассматриваемых прогнозов могут оказаться адекватными лишь в случае, если в будущем характеристики связей изучаемых процессов и их факторов, используемых в качестве аргументов МР моделей, существенно не изменятся. Тем не менее, учитывая достаточно высокие значения подобных оценок, было признано целесообразным, рассмотреть особенности прогнозов межгодовых изменений максимальных скоростей

ветра в г. Кировоград, в ноябре – марте, разработанных с использованием идентифицированных моделей.

Упомянутые прогнозы межгодовой динамики изучаемых процессов, соответствующие всем месяцам с ноября по март, представлены в табл. 5.

Таблица 5 - Прогнозируемые с использованием идентифицированных МР моделей, максимальные скорости ветра  $V$  (км/ч) в г. Кировоград и соответствующие полуширины интервалов  $\Delta V$  (км/ч), к которым с вероятностью 0.95 будут принадлежать их истинные значения

Год	Ноябрь		Декабрь		Январь		Февраль		Март	
	$V$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч	$V$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч	$V$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч	$V$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч	$V$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч
2009	24.49	4.51	22.02	3.93	25.62	1.91	23.09	6.01	31.77	6.99
2009факт	22.8		21.9		27.4		27		29.3	
2010	22.47	3.58	23.82	3.58	29.17	3.79	28.26	3.57	32.26	7.40
2010факт	24.5		22.8		24.4		25.9		21.4	
2011	27.15	5.26	28.73	3.44	29.01	3.89	16.52	3.07	24.76	5.06
2012	23.74	6.63	22.38	4.11	31.54	2.63	28.83	2.24	33.16	6.05
2013	16.76	4.83	22.28	3.55	24.48	4.32	25.63	2.07	30.35	6.25
2014	20.20	4.36	18.47	5.31	27.53	3.55	27.45	5.02	26.04	6.12
2015	29.95	2.78	28.26	5.04	24.44	4.13	21.75	3.75	28.46	7.91
2016	25.14	5.11	27.11	4.22	26.02	4.20	26.05	3.97	41.91	4.70

Как следует из табл. 5, в период с 2009 по 2016 год следует ожидать, что уменьшение значений максимальных скоростей ветра в рассматриваемые месяцы в г. Кировоград, происходившее здесь в предыдущее тридцатилетие, прекратится. Более того, после 2011 г. вероятен их некоторый рост. Сопоставление приведенных прогнозов на 2009 и 2010 г. с соответствующими фактическими значениями изучаемых характеристик подтверждает их удовлетворительную эффективность.

#### Выводы:

1. Если в качестве аргументов МР модели межгодовых изменений максимальных скоростей ветра в г. Кировоград, в каком-либо из зимних месяцев, использовано сочетание факторов, которое обеспечивает оптимальность этой модели по критерию максимальной устойчивости к временным сдвигам в будущем, разработанные с ее помощью прогнозы этого процесса являются эффективными, при значениях этих сдвигов, не превосходящих 15 лет, и при неизменных ее коэффициентах. Разработанные с помощью таких моделей прогнозы на будущее могут оказаться адекватными, если резких и существенных изменений характеристик связей изучаемого процесса с подобными факторами в ближайшее время не произойдет.

2. Сочетания факторов, учет которых в прогностических моделях изучаемых процессов сообщает им указанные свойства, могут быть выявлены для каждого заданного упреждения прогноза с использованием метода случайного поиска во множестве, элементами которого являются временные ряды рассматривавшихся ГКИ, опережающие изучаемый процесс на единицы – десятки месяцев.

3. Процессом, оказывающим наибольшее влияние на межгодовую изменчивость максимальных скоростей ветра в г. Кировоград являются изменения распределения поверхностной температуры Атлантического океана, характеризуемые ГКИ  $A_{mm}$  и  $A_{оп}$ . Значимое влияние оказывают также изменения состояний процессов Эль Ниньо-Южное колебание, Арктического и Североатлантического колебаний, полей поверхностной температуры тропической области Атлантического и Тихого океанов, а также солнечной активности.

4. Снижение максимальных скоростей ветра в зимние месяцы, отмечавшееся в г. Кировоград в период с 1973 по 2008 гг., в период после 2011 г. прекратится и, по крайней мере до 2016 г., следует ожидать некоторого увеличения их значений.

## Список литературы

1. Заславский М.Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2003 році/ МНС України, МОНПС України, НАН України. - Київ., 2004. - 435с.
3. <http://www.tutiempo.net/en/Climate>
4. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд.— М.: «Диалектика», 2007. — 912 с.
5. Барабанов В.С. Глобальная и региональная климатическая изменчивость. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2004. – № 3 – С.442 – 468.
6. Бишев В.И. Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы. – М.: Наука, 2003. – 343 с.
7. Воскресенская Е.Н. Низкочастотная изменчивость гидрометеорологических полей в Северной Атлантике // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 4. – С.19 – 38.
8. Chiang J. C. Analogous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic// J. Climate. – 2004. – 17(21). – P. 4143-4158.
9. Enfield D.B., A. M. Mestas-Nunez and Trimble P.J. The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // Geophysical Research Letters. – 2001. – Vol. 28. – P. 2077-2080.
10. Wolter K. and Timlin M.S. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? // Weather.- 1998. – Vol. 53. – P. 315-324.
11. Penland C. and Matrosova L. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling // J. Climate. – 1998. – March. – P. 483-496.
12. Enfield, D.B., Mestas A.M., Mayer D.A. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? // JGR-O. – 1999. – № 104. – P. 7841-7848.
13. Wang C. and Enfield D.B. The tropical Western Hemisphere warm pool // Geophys. Res. Lett.- 2001. – № 28. – P. 1635-1638.
14. Martin P. H., Kumar A. Robustness of the nonlinear climate response to ENSO's extreme phases// Journal of Climate. – 2001. – V.14, № 6. – P. 1277-1293.
15. Чунуга А.Ф. Анализ методов случайного поиска глобальных экстремумов многомерных функций/ Фундаментальные исследования. – 2006. – № 2 – С. 24-26.
16. Рао С.Р. Линейные статистические методы – М. : Наука, 1968. – 376 с.
17. Голуб. Д Матричные вычисления.— М.: Мир, 1999.- 548 с.
18. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические функции. — СПб: Издательство и типография АО ВНИИГ им. Б. В. Веденеева, 1995. — 176 с.

### **Особливості прогнозів міжрічної мінливості максимальних середньодобових значень швидкості вітру у м. Кіровоград, стійких до часових зрушень у майбутнє.**

**А. А. Шидловська, А. В. Холопцев**

*На прикладі міжрічних змін максимальних значень середньодобових швидкостей вітру в м. Кіровоград, що мали місце тут в листопаді, грудні, січні, лютому та березні за період з 1973 по 2008 рр., показано, що використання в якості аргументів прогностичних множинно-регресійних моделей цього процесу сполучень чинників, що забезпечують їх оптимальність за критерієм максимальної стійкості до часових зрушень в майбутнє, дозволяє отримати прогнози, які здатні бути адекватними та ефективними, якщо не відбудеться істотних змін його головних закономірностей.*

**Ключові слова:** *максимальне значення середньодобової швидкості вітру, глобальні кліматичні індекси, динаміка, множинно-регресійна модель, кореляція, прогнозування, стійкість до часових зрушень в майбутнє, оптимізація.*

### **Peculiarities of forecasts of interannual variability of maximum average daily wind speed of wind in Kirovohrad which are resistant to time shifts in future. A.A. Shidlovskaya, A.V. Holoptsev**

*On the example of interannual changes of maximum average daily wind speeds in Kirovograd, which took place here in November, December, January, February and March from 1973 till 2008., it is shown that the use as arguments forecasting multiply-regressive models of this combination process of factors that ensure their optimum by criterion of maximum stability to time shifts in future, permits to have forecasts that can be appropriate and effective unless major changes in its main regularities occur.*

**Keywords:** *maximum average daily speed, global climate indices, the dynamics of a multiple-regression model, correlation, prediction, resistance to time shifts in future, optimization.*