

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ВЕТРА В ЕВРОПЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Холопцев Александр, Аксенова Александра

Севастопольский национальный технический университет
г. Севастополь ул. Университетская 33
aksenova-aleksandra@list.ru

Аннотация. На примере репрезентативных пунктов Северного Причерноморья показано, что учет при идентификации прогностических множественно-регрессионных моделей межгодовой изменчивости вариаций аномалий SST выявленных акваторий Северной Атлантики, позволяет осуществлять эффективную оценку среднемесячных значений скоростей ветра с упреждениями не менее 3 лет.

Ключевые слова: прогнозирование, скорость ветра, поверхностные температуры акваторий, Северная Атлантика, модель, корреляция, идентификация.

ВВЕДЕНИЕ

Изменения характеристик скорости ветра являются значимыми факторами эффективности действующих ветровых электростанций и во многом определяют технический облик проектируемых [1, 12]. Поэтому совершенствование методик их долгосрочного прогнозирования является актуальной проблемой не только физической географии и метеорологии, но и ветроэнергетики.

В соответствии с разработанным Всемирной Метеорологической организацией Наставлением по глобальной системе обработки данных (ВМО - №485), одним из видов прогнозов метеорологических процессов являются ориентировочные месячные. При их разработке оценивают наиболее вероятные значения статистических характеристик подобных процессов, в будущем, отстоящем от настоящего на единицы месяцев - лет. Именно такие прогнозы представляют наибольший интерес с точки зрения проектирования ветровых электростанций. При этом к числу важнейших статистических характеристик скорости ветра являются ее среднемесячные значения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно современным представлениям о закономерностях пространственно-временной изменчивости скорости ветра в приземном слое атмосферы [11, 13], данный процесс, происходящий над той или иной территорией, является многофакторным. Существенное влияние на его особенности оказывают изменения соответствующих составляющих общей циркуляции атмосферы, вызванные совместным действием глобальных, крупномасштабных и местных факторов.

К числу важнейших крупномасштабных факторов изменчивости характеристик атмосферной циркуляции в различных регионах Европы относится теплообмен с атмосферой различных участков поверхности Северной Атлантики, формирующий поле атмосферного давления во всем Евро-Атлантическом регионе [10, 8]. Потоки

тепла, поступающие в атмосферу с поверхности данного региона Мирового океана, определяются распределением его поверхностных температур (далее SST), формирующегося с участием его поверхностных океанических течений, теплосодержание которых изменяется при изменениях глобального климата [7]. Важнейшими среди них являются течения, образующие Северный субтропический антициклонический, а также Северный субполярный циклонический круговороты [2, 14].

Мониторинг изменчивости SST большинства акваторий Северной Атлантики, через которые проходят упомянутые течения, осуществляется со второй половины XIX века, а его результаты представлены в виде временных рядов аномалий их среднемесячных значений, осредненных по квадратам размером $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, в [15]. Данные временные ряды получены в результате реанализа наблюдений, выполненных на многочисленных пересекавших их судах. Они представлены в Интернете в свободном доступе, что позволяет их использовать во многих задачах моделирования и прогнозирования.

Основным методом моделирования многофакторных природных процессов является метод множественной регрессии, предложенный К. Пирсоном в 1908 г. [3]. В задачах их прогнозирования данный метод применим лишь в случае, если процессы, учитываемых в качестве аргументов соответствующих уравнений регрессии, в будущем, для которого разрабатываются прогнозы, окажутся их значимыми факторами. В противном случае модели, достаточно точно описывающие доступную предысторию таких процессов, при использовании для оценки их состояний в моменты времени, которые в нее не входят, могут давать сколь угодно большие ошибки.

Поскольку методики выявления подобных процессов в общем случае до сих пор не разработаны, при построении соответствующих прогнозов учитывают факторы, которые являлись

значимыми на всей доступной предыстории. Это дает адекватные результаты лишь при условии, что изучаемый процесс является стационарным. Так как в действительности многие прогнозируемые процессы таковыми заведомо не являются, прогнозам, разработанным подобным способом практики не доверяют [4].

В полной мере это относится и к такому процессу, как изменчивость среднемесячных значений скорости ветра в том или ином регионе Европы, характеристики которой варьируют вследствие того, что в результате потепления глобального климата изменяются особенности распределения SST в Северной Атлантике. Решение рассматриваемой проблемы усложняет и то, что общее число квадратов, в которых изменения аномалий SST на учитываемом отрезке предыстории значимо коррелированы с изучаемым процессом, может превосходить длину имеющихся непрерывных временных рядов результатов реанализа. К тому же изменения SST в каждом квадрате могут оказывать влияние на рассматриваемый процесс при различных значениях упреждения. Выбор среди подобных факторов наиболее значимых, основываясь на одних лишь значениях коэффициентов корреляции имеющихся их временных рядов, с изучаемым процессом, далеко не всегда обеспечивает приемлемую адекватность учитывающих их прогнозов.

Одним из регионов Европы, в котором развитие ветроэнергетики является наиболее актуальным, а совершенствование методик долгосрочного прогнозирования характеристик ветра представляет осязаемый практический интерес, относится Северное Причерноморье. Данный регион расположен на территории Причерноморской низменности и включает южные области Украины и Автономную Республику Крым. Вследствие своего географического положения существенными гидроэнергетическими ресурсами, а также запасами традиционных энергоносителей данный регион не обладает, что вызывает повышенный интерес к развитию в нем нетрадиционных видов электроэнергетики, и прежде всего, использующих энергию ветра.

Учитывая изложенное, объект исследования - изменения среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы в регионах Европы, а также распределения SST Северной Атлантики.

Предметом исследования являлись особенности ориентировочных прогнозов среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы регионов Европы, разработанных с учетом изменчивости

распределения SST Северной Атлантики, на примере Северного Причерноморья.

Целью работы является разработка методики построения ориентировочных прогнозов среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы регионов Европы, учитывающих изменчивость распределения SST Северной Атлантики, а также оценка точности подобных прогнозов, на примере различных пунктов Северного Причерноморья.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Выбор на территории Северного Причерноморья пунктов, которые при изучении распределения среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы данного региона могут рассматриваться как репрезентативные.

2. Выявление среди различных акваторий Северной Атлантики тех, межгодовые изменения SST которых в ближайшие годы с наибольшей вероятностью сохранят свою значимость, как факторов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья.

3. Разработка ориентировочных прогнозов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья, а также оценка их точности.

Поскольку приземный слой атмосферы является одним из компонентов ландшафта, в ходе данного исследования при выборе репрезентативных пунктов на территории Северного Причерноморья учитывалась схема ландшафтного районирования Украины [9]. В соответствии с ней ландшафтный комплекс данного региона образуют ландшафтные области Южно-степной подзоны Степной ландшафтной зоны Украины. Учитывая это на территории каждой из этих подзон выбрано по одному репрезентативному пункту, расположение которых приведено в таблице 1.

При выявлении факторов, способных в ближайшие годы с наибольшей вероятностью сохранить свою значимость, предполагалось, что к значимым относятся те, статистическая связь которых с изучаемым процессом является значимой с достоверностью не ниже 0.99.

Как количественная характеристика связи рассматривался коэффициент парной корреляции фрагментов временных рядов сопоставляемых процессов, включающих по 22 члена. Это позволило при оценке достоверности статистического вывода о ее значимости применить критерий Стьюдента [5].

Таблица 1. Расположение репрезентативных пунктов на территории Северного Причерноморья
Table 1. Location of representative points in the Northern Black Sea Coast

№	Ландшафтная область	Город	Широта °N	Долгота °E
1	Днестровско - Бугская низменная область	Одесса	46.5	30.7
2	Нижнебугско - Днепровская низменная область	Херсон	46.6	32.6
3	Тарханкутская возвышенная область	Черноморское	45.5	32.7
4	Центральнокрымская возвышенная область	Симферополь	44.9	34.1
5	Керченская холмисто-грядовая область	Керчь	45.3	36.5
6	Присивашско-Приазовская низменная область	Мариуполь	47.1	37.6

Решение о значимости связи применялось путем сравнения вычисленного значения коэффициента парной корреляции некоторых фрагментов изучаемых временных рядов, с 99% порогом достоверной корреляции, рассчитанным с учетом числа степеней их свободы.

При оценке вероятности сохранения значимости некоторой связи рассматривалась зависимость коэффициента корреляции пары фрагментов сопоставляемых процессов, сдвинутых между собой по времени на постоянную величину, от года начала фрагмента ряда среднемесячных скоростей ветра.

Предполагалось, что отклонения значений указанной характеристики от ее линейного тренда представляют собой стационарный нормальный случайный процесс. Учитывая это, значения его математического ожидания и дисперсии, рассчитанные по доступной предыстории, а также тренда в ближайшем будущем сохраняются неизменными. Последнее позволяет, располагая значением коэффициента корреляции, соответствующим последнему фрагменту ряда среднемесячных скоростей ветра, определить вероятность того, что для фрагмента, заканчивающегося будущим (при упреждении на один, два и более лет) его значение будет превышать 99% порог достоверной корреляции.

В качестве факторов изменений среднемесячной скорости ветра в каждом репрезентативном пункте выбирались временные ряды изменений аномалий SST квадратов Северной Атлантики, размерами $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, оцененная подобным образом вероятность значимости которых при упреждении 1 год являлась максимальной.

Коэффициенты уравнения линейной множественной регрессии рассчитывались для фрагмента ряда среднемесячных скоростей ветра, соответствующего периоду 1988-2009 гг., с использованием метода наименьших квадратов [6]. При этом значения изучаемых характеристик для тех или иных месяцев 2010, 2011 и 2012 гг. использовались при оценке точности прогнозов, построенных с использованием в качестве прогностической функции полученного уравнения.

В качестве фактического материала использовались временные ряды среднемесячных значений аномалий SST всех квадратов Северной Атлантики, за период 1970 - 2012 гг. полученные из

[15], а также соответствующие по времени временные ряды среднемесячных скоростей ветра в приземном слое атмосферы в репрезентативных пунктах, представленные в [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с изложенной методикой, для каждого месяца и каждого репрезентативного пункта, основываясь на предыстории изучаемых процессов, заканчивающейся 2009 г., определены квадраты Северной Атлантики, в которых изменения аномалий SST с наибольшей вероятностью будут являться значимыми факторами изменений среднемесячных скоростей ветра в период 1989-2010 гг..

В качестве примера, в таблице 2 представлены координаты центров подобных квадратов, для которых вероятность утраты на отрезке времени 1989-2010 гг. значимости изменений аномалий их SST, как факторов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в январе в г. Симферополь не превышает 10^{-7} .

Из таблицы 2 видно, что практически все квадраты акватории Северной Атлантики, для которых вероятность утраты значимости вариаций аномалий их SST, как факторов изменений среднемесячных скоростей ветра в январе, в г. Симферополь, в период 1989-2010 гг. не превышает 10^{-7} расположены в западном полушарии. Они расположены в акваториях, через которые проходит Северо-Атлантическое течение и его ветви, что соответствует представлениям [3] о влиянии теплообмена их поверхностей с атмосферой как фактора циркуляции атмосферы над Европой.

С использованием в качестве аргументов линейного уравнения регрессии временных рядов аномалий SST указанных квадратов Северной Атлантики идентифицирована прогностическая множественно регрессионная модель рассматриваемого процесса, коэффициенты которой приведены в таблице 3.

На рис. 1 приведены предыстория изменений среднемесячной скорости ветра в г. Симферополь, результаты ее моделирования и прогнозирования с использованием идентифицированной модели, а также фактические значения данной характеристики в 2010-2012 гг.

Таблица 2. Координаты центров квадратов акватории Северной Атлантики, для которых вероятность утраты значимости вариаций аномалий их SST, как факторов изменений среднемесячных скоростей ветра в январе, в г. Симферополь, в период 1989-2010 гг. не превышает 10^{-7}

Table 2. Squares coordinates centers of the North Atlantic for which the likelihood of loss significant variations anomalies of SST, as the drivers of change monthly average wind speed in January, in Simferopol, in the period 1989-2010. does not exceed 10^{-7}

№	Широта °N	Долгота °	№	Широта °N	Долгота °	№	Широта °N	Долгота °
1	62,5	-52,5	5	62,5	-47,5	9	62,5	-7,5
2	62,5	-52,5	6	62,5	-42,5	10	62,5	2,5
3	62,5	-52,5	7	62,5	-42,5			
4	62,5	-47,5	8	62,5	-32,5			

Таблица 3. Коэффициенты линейной множественно регрессионной прогностической модели межгодовых изменений среднемесячных скоростей ветра в январе в г. Симферополь

Table 3. The coefficients of linear multiple regression prediction model interstate annum changes monthly wind speed in January in Simferopol

№ квадр.	Коэффициент модели.	Значение	№ квадр.	Коэффициент модели.	Значение	№ квадр.	Коэффициент модели.	Значение
	C_0	16.585	4	C_4	0.091	8	C_8	-1.442
1	C_1	-0.032	5	C_5	1.182	9	C_9	1.282
2	C_3	1.354	6	C_6	-0.393	10	C_{10}	0.344
3	C_4	1.721	7	C_7	-0.103			

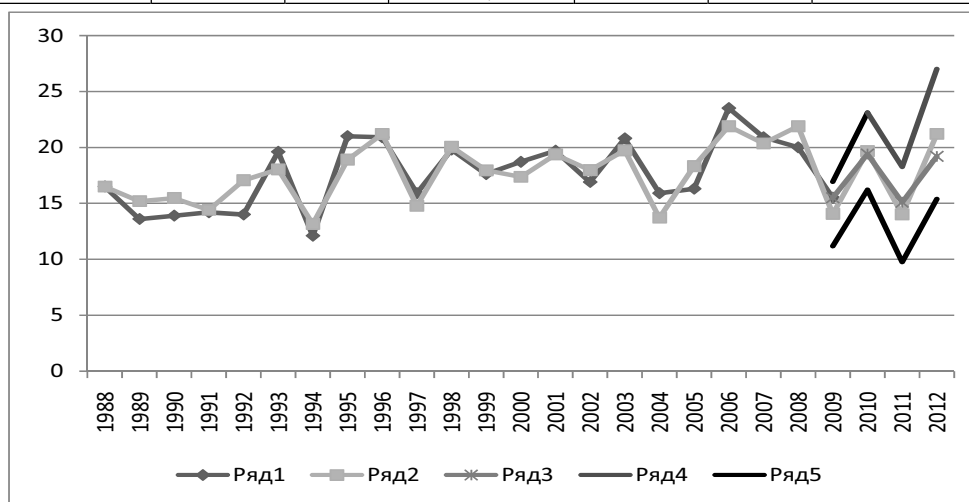


Рис. 1. Предыстория изменений среднемесячной скорости ветра в январе в г. Симферополь (ряд 1), результаты ее моделирования и прогнозирования (ряд 2), ее фактические значения в 2010-2012 гг. (ряд 3), а также границы интервала в пределы которого с вероятностью 0.98 попадут фактические значения.

Fig. 1. Background to changes of mean monthly wind speed in January in Simferopol (range 1), the results of modeling and forecasting (range 2), its actual value in 2010-2012. (range 3), as well as the boundaries of the interval within which the probability 0.98 will get the actual values.

Таблица 4. Фактические и прогнозируемые значения среднемесячных скоростей ветра (км/ч) в январе в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья

Table 4. Actual and predicted values of mean monthly wind speed (km /h) in January in representative areas of the Northern Black Sea Coast

Пункт	Факт 2010	Прогн 2010	Факт 2011	Прогн 2011	Факт 2012	Прогн 2012	Пункт	Факт 2010	Прогн 2010	Факт 2011	Прогн 2011	Факт 2012	Прогн 2012
Одесса	17.8	17.6	15.8	11.5	18.1	16.6	Симферополь	19.4	19.6	15.1	14.0	19.2	21.2
Херсон	10.8	10.9	13.6	13.0	12.5	19.8	Керчь	17.9	17.9	15.0	13.3	18.9	20.2
Черноморское	19.3	24.8	9.0	12.9	19.7	20.4	Мариуполь	22.8	19.6	14.4	14.0	19.9	21.2

Из рис. 1 видно, что на отрезке времени 1988-2009 гг. результаты моделирования удовлетворительно соответствуют предыстории изменений среднемесячной скорости ветра в г. Симферополь. Отличия результатов прогнозирования рассматриваемого процесса на 2010-2012 гг. от его фактических значений также сравнительно не велики и позволяют составить представление о характере изменений в будущем его состояний.

Аналогичные результаты для прочих репрезентативных пунктов представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 следует, что разработанные с использованием предложенной методики ориентировочные прогнозы обладают приемлемой точностью и позволяют судить о тенденциях изменения в будущем всех изучаемых процессов. Аналогичными особенностями обладают построенные таким же способом прогнозы межгодовых изменений среднемесячных скоростей ветра и в прочие месяцы.

ВЫВОДЫ

1. Учет при идентификации прогностических множественно-регрессионных моделей межгодовой изменчивости вариаций аномалий SST выявленных акваторий Северной Атлантики, позволяет осуществлять эффективную оценку среднемесячных значений скоростей ветра во всех пунктах Северного Причерноморья с упреждениями не менее 3 лет.

2. Предложенная методика выявления факторов, способных с максимальной вероятностью сохранить свою значимость в ближайшем будущем может быть использована при решении аналогичных задач и для других регионов Мира, при условии, что поиск этих факторов осуществляется с учетом всех акваторий Мирового океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветрова Н., 2012: Экологический аудит и экологический мониторинг в управлении экологической безопасности региона// MOTROL. - № 14-1, 82-87 (на русском языке).

2. Дмитриевский Ю.Д., Литовка О.П., 1984. География Мирового океана. Атлантический океан. – М.:Наука. – 589 (на русском языке).

3. Дрейпер Н., 2007. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – М.: Диалектика. – 912 (на русском языке).

4. Дымников В.П., 2007. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. – М.: ИВМ РАН. – 283 (на русском языке).

5. Закс Ш., 1985. Теория статистических выводов. – М.: Мир. – 776 (на русском языке).

6. Кендал М.Дж., 1976. Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука. – 736 (на русском языке).

7. Кондратьев К.Я., 1992. Глобальный климат. – СПб.: Наука. – 358 (на русском языке).

8 Matrosova L., Penland C., 1998. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling. J. Climate. – March. 483-496 (на английском языке).

9. Національний атлас України. – К.: ДНВП „Картографія”, 2007. – 440 (на украинском языке).

10. Полонский А.Б., 2001. Роль океана в современных изменениях климата. Морской гидрофизический журнал. – № 6. 32-48 (на русском языке).

11. Рензо Д.де, 1982. Ветроэнергетика. – М.: Энергоатомизда. – 272 (на русском языке).

12. Saliev E., 2009.: Ecological and economic problems of power saving up technologies introduction in Ukraine// MOTROL. - № 13С, 194-200 496 (на английском языке).

13. Школьный С.П., 1997. Фізика атмосфери. – Одеса. – 698 (на украинском языке).

14. Холощев А., 2012: Изменения температуры поверхностных течений Южного полушария Земли, входящих в состав глобального теплового океанического конвейера при современном потеплении климата// MOTROL. - № 14-1, 106-115 (на русском языке).

PROJECTIONS OF WIND SPEED CHARACTERISTICS IN EUROPE WITH THE ACCOUNTING APPORTIONMENT SUPERFICIAL TEMPERATURES IN NORTH ATLANTIC AN EXAMPLE OF BLACK SEA

Summary. On the example of the Northern Black Sea Coast representative items shown that allowance for the identification of predictive multiple-regression models of the interannual variability of SST anomalies identified variations in the North Atlantic waters, enables efficient evaluation of monthly mean values of wind speed with a lead time of at least 3 years.

Keywords: forecasting, wind speed, temperature, surface waters, North Atlantic, the model, correlation, identification.