

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК: 551.557

**Т.Е. Данова**  
**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА**  
**В ТРОПОСФЕРЕ ПРИЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА\***

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

Представлены результаты многолетней изменчивости скорости ветра в тропосфере Причерноморского региона. Аномалии скорости ветра, рассчитанные для каждого десятилетия, показали, что в районе ст. Туапсе в августе и сентябре сохраняется локальная зона малых положительных аномалий. Уменьшение скорости ветра в апреле и сентябре на всех уровнях в тропосфере над ст. Львов свидетельствует о смещении границ между сезонами. Для всего региона выявлено устойчивое уменьшение скорости ветра во всей толще тропосферы за период 1973–2012 гг. Максимальные отрицательные аномалии характерны для слоя от 500 до 400 гПа. Показано уменьшение скорости струйного течения для средней и верхней тропосферы. В отдельных районах Причерноморья наблюдается уменьшение повторяемости струйных течений. Выявленные тенденции свидетельствуют о формировании над этими районами Причерноморского региона динамически устойчивой тропосферы, что приводит к сокращению числа мощных конвективных процессов и уменьшению их интенсивности.

Ключевые слова: скорость ветра, тропосфера, струйные течения, Причерноморский регион.

**Т.Е. Danova**  
**MODERN CHANGES OF WIND SPEED IN THE WARM SEASON IN THE TROPOSPHERE**  
**OF THE BLACK SEA REGION**

*Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol*

The results of long-term variability of wind speed in the troposphere of the Black Sea region are presented. Anomalies of the wind speed calculated for each decade have shown that in the area of Tuapse station, the local zone of small positive anomalies is preserved in August and September. Reduction of the wind speed in April and September at all levels in the troposphere above Lviv station demonstrates a shift of borders between seasons. A steady decrease in the wind speed throughout the troposphere has been revealed for the entire region over the period 1973–2012. Maximum negative anomalies are characteristic of the layer between 500 and 400 hPa. Decrease in the speed of the jet stream is shown for the middle and upper troposphere. In some areas of the Black Sea, decrease in the frequency of jet streams is observed. The identified trends suggest the formation of dynamically stable troposphere over these areas of the Black Sea region, which leads to a reduction in the number of powerful convective processes and their lower intensity.

Key words: wind speed, troposphere, jet streams, Black Sea region.

doi 10.17072/2079-7877-2017-2-71-80

**Введение**

Различия в степени нагревания воздуха и подстилающей поверхности, наблюдаемые в разных районах земного шара, способствуют возникновению перепадов давления в воздушных массах, обуславливая их движение. Огромные массы воздуха перемещаются в атмосфере вблизи земной поверхности и на больших высотах. Одним из важнейших показателей перемещения воздушных масс в атмосфере является ведущий поток, характеризующий устойчивый ветер в средней или верхней тропосфере, направление которого определяет перемещение циклонов и антициклонов и других синоптических объектов.

---

© Данова Т.Е., 2017

\* Работа выполнена в рамках темы Морского гидрофизического института № 0827-2015-0001 «Климат»

В свою очередь, с формированием циклонов связано развитие мощных конвективных процессов и опасных явлений погоды [2; 5; 14]. Одним из показателей повторяемости и интенсивности опасных явлений теплого периода года служат динамические параметры атмосферы – скорость ветра на различных высотах в тропосфере. Динамические параметры атмосферы наряду с температурно-влажностными характеристиками свидетельствуют о подготовленности тропосферы к возникновению и развитию мощной конвекции, с которой связаны значительная доля осадков в умеренных широтах и реализация опасных явлений погоды теплого периода года: гроз, града, смерчей.

Формирование мощных штормов определяется сочетанием ряда необходимых условий – от характеристик крупномасштабного потока и особенностей его взаимодействия с подстилающей поверхностью до свойств воздушной массы, в которой реализуются мезомасштабные конвективные процессы. Скорость восходящих потоков, вертикальная мощность и водность облаков зависят от степени неустойчивости атмосферы, а грозо-градовые штормы можно рассматривать как результат перехода энергии неустойчивости в кинетическую энергию воздушной массы, которая зависит от скорости ветра [2; 8; 10]. Такое представление о реализации грозо-градовых процессов легло в основу практически всех существующих в настоящее время методов анализа и прогноза этих опасных явлений [7; 9], наносящих ощутимый ущерб экономике региона. Теоретические основы энергетики общей циркуляции атмосферы представлены в работах Е.П., Борисенкова, Ван Мигем [2; 3]; на региональном уровне была проведена оценка влияния различных видов энергий на интенсивность конвективных процессов в Причерноморье [8; 10]. Установлено, что мощные конвективные процессы, сопровождающиеся градобитиями в Причерноморье, относящиеся к разряду катастрофических (ущерб на площади более 5 тыс. га со степенью повреждения посевов 30–50% и более), осуществляются в зоне адвекции холода выше уровня естественной кристаллизации, в области больших значений горизонтальных барических и термических градиентов [6].

Современные климатические изменения, а именно повышение температуры воздуха, оказывают влияние на формирование условий развития мощных конвективных явлений. В работе [13] показано, что повышение температуры воздуха в Причерноморском регионе приводит к перемещению на север зоны интенсивных динамических параметров атмосферы, с которыми связано развитие мощной конвекции. Участвовавшие случаи выпадения тропических ливней, крупного града, образования смерчей в приполярных регионах свидетельствуют о перемещении на север условий образования мощной конвекции, которая чаще всего связана со столкновением теплой и холодной воздушных масс при формировании в атмосфере зон струйного течения. Таким образом, динамические параметры атмосферы являются важнейшими характеристиками для диагноза и прогноза синоптической ситуации. Цель представленной работы – выявление в тропосфере Причерноморского региона современной динамики скорости ветра на различных высотах, а также комплексный анализ изменчивости скорости ветра в теплые месяцы года в период выраженных климатических флуктуаций.

### Материалы и методы исследования

В качестве исходного материала для анализа использовались данные о скорости ветра на изобарических поверхностях в слое тропосферы 1000–300 гПа. Материалы радиозондирования атмосферы за теплый период года, с апреля по сентябрь 1973–2012 гг. за срок 00 ч по Гринвичу, получены из базы данных Вайомингского университета (США) [1].

Существовавшая ранее неоднородность первичных материалов радиозондирования атмосферы была обусловлена применением большинством стран собственных систем радиозондов, датчики которых имели разную точность. Вследствие этого аэрологические данные могут быть не вполне сравнимы между собой. Во избежание неточностей, в работе использованы результаты наблюдений с 1973 г., когда радиационные ошибки для употребляемых типов радиозондов были исключены, следовательно, значения исследуемых параметров тропосферы стали репрезентативными. Таким образом, начальный материал является достаточно однородным и надежным. Этой же цели способствовало использование всего одного срока зондирования – 00 ч по Гринвичу. Учитывая географическое место расположения станций, крайние отклонения выпуска радиозонда по местному времени не превышают  $\pm 5$  ч. При этом радиационная поправка по величине или близка к нулю, или не превышает точности измерения исследуемого параметра. Пересмотр начального материала

показал, что по числу наблюдений до уровня 100 гПа данные станций незначительно различаются между собой.

Радиозондирование проводилось на 10 станциях, расположенных на территории стран, входящих в Причерноморский регион и граничащих с Черным морем (табл. 1). Критерием выбора станции является длина ряда наблюдения, равная 40 годам и представленная периодом лет (1973–2012 гг.)

Для полноценного комплексного анализа изменчивости скорости ветра теплого периода года необходимо, используя современные методы статистического анализа, установить тенденции, характерные для динамических параметров тропосферы, рассчитать и картировать аномалии скорости ветра на высоте ведущего потока.

Таблица 1

Государственная принадлежность аэрологических станций, их координаты и высота над уровнем моря

Станция	Координаты		Высота над уровнем моря, м
	Широта	Долгота	
Россия			
Дивное	45,91	43,35	87
Ростов-на-Дону	47,25	39,81	78
Туапсе	44,1	39,03	95
Турция			
Анкара	39,95	32,88	891
Стамбул	40,96	29,08	39
Румыния			
Бухарест	44,5	29,13	91
Украина			
Киев	50,4	30,56	167
Львов	49,81	23,95	323
Одесса	46,43	30,76	42
Харьков	49,96	36,13	155

### Результаты и их обсуждение

Анализ направления воздушных потоков в тропосфере Причерноморского региона с использованием массива данных радиозондирования атмосферы за 00<sup>h</sup> по Гринвичу с апреля по сентябрь с 1973 по 2012 г. показал, что у поверхности земли чаще всего перенос воздушных масс имеет северную составляющую. В апреле практически для всех станций в слое 700–300 гПа наблюдается юго-западный перенос воздуха. Для станций России (Туапсе, Ростов-на-Дону, Дивное) такое направление характерно для всего теплого периода года с апреля по сентябрь. В летние месяцы для всех остальных станций господствующим является перенос воздушных масс с западной составляющей. Для станций Турции перенос воздуха с западной составляющей характерен тоже для всего периода наблюдений, но только для слоя 700–300 гПа.

При анализе синоптической ситуации, а также в практике активных воздействий на атмосферные процессы необходимы характеристики ведущего потока [6; 9; 14]. Высота ведущего потока зависит от распространения вверх барических образований, которые смещаются со скоростью, пропорциональной скорости ведущего потока и равной 0,5–0,9 этой скорости в зависимости от уровня, на котором она определяется. В холодный период года за направление ведущего потока принято использовать направление потока на 700 гПа поверхности, что примерно соответствует 3200 м, в теплый период года принимается высота 500 гПа поверхности (около 5500 м). Анализ показал, что для всех станций ведущий поток в теплый период года имеет западную составляющую, что хорошо согласуется с характеристиками крупномасштабного переноса в исследуемом регионе.

Многолетние статистические характеристики скорости ветра на уровне ведущего потока представлены в табл. 2, где жирным шрифтом выделены максимальные (по модулю) значения для каждой градации. Средние значения скорости ветра на 500 гПа поверхности в теплое полугодие колеблются от 11 до 13 м/с, максимальные средние значения скорости ветра наблюдаются в апреле от 16 до 30 м/с, осредненные за теплое полугодие значения колеблются от 14 до 18 м/с.

Учитывая, что коэффициент асимметрии характеризует распределение интервальных частот, тогда кривая распределения может быть правосторонней при условии  $As > 0$  и левосторонней при условии  $As < 0$ . Анализ показал, что северо-западная часть региона характеризуется левосторонней

асимметрией  $A_s < 0$  от умеренной  $-0,36$  (ст. Одесса) до сильной  $-1,39$  (ст. Львов). На остальной части территории значения коэффициента асимметрии положительны, что может свидетельствовать об уменьшении скорости ветра за сорокалетний период.

Таблица 2

Статистические характеристики скорости ветра на 500 гПа (теплое полугодие)

Станция	Среднее	Max	Э	$A_s$	$\sigma$
Львов	12	15	<b>2,87</b>	<b>-1,39</b>	<b>2,0</b>
Бухарест	12	15	0,37	0,63	1,4
Стамбул	11	14	-0,42	0,40	1,4
Киев	<b>13</b>	16	-0,36	0,21	1,4
Одесса	11	14	-0,19	-0,36	1,4
Анкара	12	15	0,65	0,43	1,4
Харьков	<b>13</b>	16	-0,13	0,27	1,6
Туапсе	12	<b>18</b>	<b>2,89</b>	<b>1,57</b>	<b>2,0</b>
Ростов на Дону	12	16	-0,87	0,12	1,7
Дивное	11	15	-0,66	0,03	1,5

Кроме асимметрии кривая распределения, по сравнению с кривой нормального распределения, может быть вытянутой или сплюснутой. Мерой этого является коэффициент эксцесса Э:  $\text{Э} > 0$  – вытянутая кривая,  $\text{Э} < 0$  – сплюснутая и  $\text{Э} = 0$  – при условии нормального распределения. Результаты расчета коэффициента эксцесса показали, что на станциях, расположенных в местности с неровной подстилающей поверхностью (Львов, Бухарест, Анкара, Туапсе), преобладает вытянутая кривая распределения, что соответствует устойчивости значений скорости ветра. Сплюснутая кривая распределения  $\text{Э} < 0$  характерна для остальных станций, что свидетельствует о большом интервале значений, в котором изменяется скорость ветра за сорокалетний период. Это, в свою очередь, является показателем неустойчивости количественных характеристик ветра в этой части региона.

Значения среднеквадратического отклонения скорости ветра свидетельствуют о его значительной пространственной изменчивости на уровне ведущего потока в теплый период года.

Исследование пространственно-временных изменений скорости ветра в тропосфере Причерноморского региона проводилось для теплой половины года за сорокалетний период. Для этого период наблюдений 1973–2012 гг. был разделен на десятилетние отрезки, проведено осреднение данных для каждой географической точки за весь период, а также за каждое десятилетие. В данном случае были использованы отклонения среднего значения скорости ветра (м/с) для данной станции за каждое десятилетие от многолетнего среднего значения скорости ветра для этой точки. Этот подход дал возможность проанализировать изменения скорости ветра в течение исследованного периода. Результаты расчетов были визуализированы в виде полей аномалий скорости ветра для каждого десятилетнего периода с 1973 по 2012 г. и в зависимости от знака отклонения получены положительные и отрицательные значения аномалий.

Анализ пространственного распределения аномалий скорости ветра на уровне ведущего потока в период 1973–1982 гг. показал, что для всей территории характерен рост значений скорости ветра, о чем свидетельствует поле положительных аномалий с минимумом в Бухаресте (рис. 1, а). В десятилетие 1983–1992 гг. практически весь север региона занят отрицательными аномалиями, на фоне которого сформированы две зоны положительных аномалий в районе станций Бухарест и Туапсе (рис. 1, б).

В период 1993–2002 гг. эти зоны объединяются и образуют вытянутую область положительных аномалий над Черным морем (рис. 1, в). В последнее десятилетие происходит смещение зоны отрицательных аномалий на восток, при этом в районе ст. Туапсе сохраняется локальная зона малых положительных аномалий.

Для анализа пространственно-временных изменений скорости ветра в тропосфере Причерноморского региона рассчитывались аномалии скорости ветра для каждой станции на всех изобарических поверхностях для всех месяцев теплого периода года.

Анализ рассчитанных значений аномалий скорости ветра показал, что на протяжении сорокалетнего периода для всего региона характерно устойчивое уменьшение скорости ветра. В табл. 3 представлены результаты расчетов для последнего десятилетия (2003–2012 гг.), когда значительные изменения скорости ветра в тропосфере коснулись всего региона. Жирным шрифтом и курсивом показаны отрицательные значения аномалий скорости ветра, максимальные отрицательные и

положительные значения аномалий подчеркнуты, причем максимальные значения выделены больше чем  $|2|$  м/с. Для заполнения таблицы использовались все полученные значения аномалий от  $|0,1|$  и выше для оценки изменчивости скорости ветра.

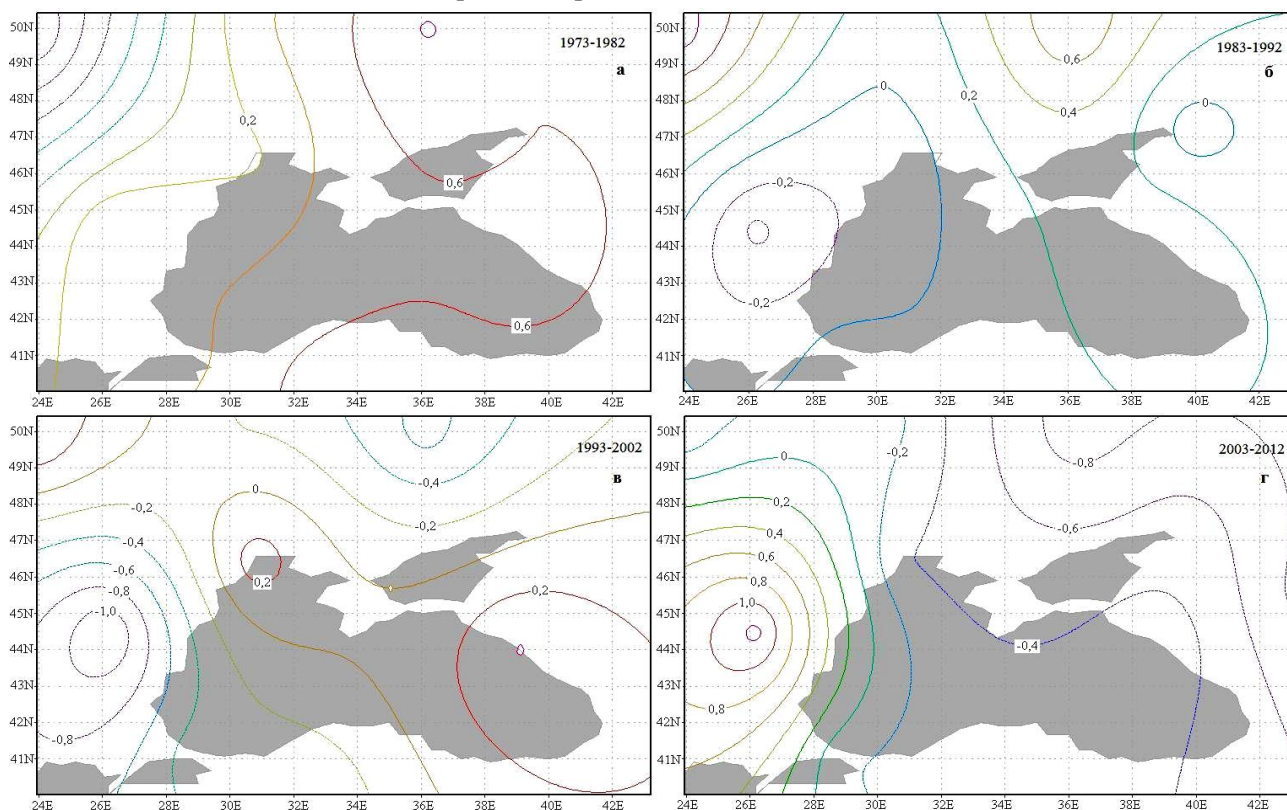


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий скорости ветра за теплый период года на изобарической поверхности 500 гПа по десятилетиям

Так, если в первое десятилетие (1973–1982 гг.) по данным всех станций в слое 500–300 гПа фиксировались положительные аномалии от 2 до 6 м/с, то в период 1983–1992 гг. положительные аномалии не превышают 3 м/с и отмечаются в тропосфере на востоке региона. В последние два десятилетия (1993–2012 гг.) тенденция к уменьшению скорости ветра наблюдается на высотах практически над всеми станциями, которая наиболее ярко выражена у поверхности земли во все месяцы теплого периода года.

На этом фоне несколько отличается динамика ветрового режима станций Львов и Туапсе, где на некоторых высотах наблюдается увеличение скорости ветра от 2 до 3 м/с. Обе станции расположены в зонах со сложным рельефом, при этом ст. Туапсе, где зафиксированы максимальные скорости ветра на всех уровнях, является еще и береговой. Такое расположение станций накладывает свой отпечаток на формирование режима ветра как у поверхности земли, так и в тропосфере. Наиболее выражен этот эффект на ст. Львов: в последнее десятилетие здесь отмечается уменьшение скорости ветра во всей толще тропосферы в апреле и сентябре, являющимися пограничными месяцами между теплым и холодным полугодиями. Обычно в эти периоды тропосфера характеризуется значительными скоростями ветра. Уменьшение скорости ветра на всех уровнях на ст. Львов связано, возможно, с повышением температуры воздуха не только у поверхности Земли, но и в тропосфере, что свидетельствует о смещении границ между сезонами [7; 13].

Для оценки изменений скорости ветра на всех уровнях по всему исследованному региону проведено суммирование их значений. Анализ результатов показал, что в последние два десятилетия 1993–2012 гг. практически весь регион характеризуется значительным уменьшением скорости ветра во всей толще тропосферы. Причем максимальное уменьшение скорости ветра во всем регионе наблюдается на всех изобарических поверхностях в июле и августе. Максимальное уменьшение скорости ветра наблюдается в средней и, особенно, в верхней тропосфере (400–300 гПа).

Таблица 3

Аномалии скорости ветра на всех изобарических поверхностях (гПа) за теплый период года для десятилетия 2003–2012 гг.

Месяц	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Львов							Анкара					
Апрель	<b>-0,4</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,3</b>	<b>-0,5</b>	0	<b>-0,4</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,3</b>
Май	<b>-0,3</b>	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	<b>-0,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,4</b>
Июнь	<b>-0,4</b>	0,3	0,3	0,7	1,1	1,6	<b>-0,3</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,3</b>
Июль	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,3</b>	0,5	0,6	<b>-0,4</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,4</b>	<b>-0,6</b>
Август	<b>-0,4</b>	1,2	1,3	0,4	0,8	1,8	<b>-0,3</b>	0	<b>-0,1</b>	<b>-1,4</b>	<b>-2,7</b>	<b>-4,7</b>
Сентябрь	<b>-0,5</b>	<b>-0,4</b>	<b>-1,2</b>	<b>-2,4</b>	<b>-2,3</b>	<b>-2,4</b>	0,1	0	<b>-0,6</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,6</b>
Теплый п.	<b>-0,3</b>	0,3	0,2	<b>-0,1</b>	0,2	0,5	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,5</b>
Бухарест							Харьков					
Апрель	0,8	<b>-0,7</b>	<b>-0,3</b>	0	0,3	1,7	<b>-1,2</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	0,1	0,3
Май	<b>0,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,2</b>	<b>-1,1</b>	0	0,5	0,5	0,2	0,7
Июнь	0,9	<b>-0,2</b>	<b>-0,6</b>	<b>-1,6</b>	<b>-2,1</b>	<b>-2,3</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,4</b>	0	1,1	<u>2,3</u>	<u>2,3</u>
Июль	1,5	0,3	<b>-0,9</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,3</b>
Август	1,2	0,4	0,1	0	0,5	0,5	<b>-0,5</b>	0,2	<b>-0,6</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,8</b>	<b>-2,3</b>
Сентябрь	2,6	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,3</b>	0,8	<b>-0,6</b>	0,5	0,8	1,1	1,2	<u>2,6</u>
Теплый п.	1,3	<b>-0,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,4</b>	0,1	<b>-0,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	0,1	0,2	0,4
Стамбул							Туапсе					
Апрель	1	0,3	0	<b>-0,2</b>	0	1,4	0,7	1,2	<b>-0,2</b>	0,3	1,7	<u>2,7</u>
Май	<b>-0,2</b>	<b>-0,5</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,5</b>	<b>-0,5</b>	0,3	0	0,2	<b>-0,1</b>	0,3	0,1
Июнь	<b>-0,4</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,1</b>	0	<b>-0,9</b>	0,7	<b>-0,1</b>	1,6	<b>-0,2</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,6</b>	0,4
Июль	<b>-0,8</b>	0	<b>-1,5</b>	<b>-1,3</b>	<b>-2,1</b>	<b>-3,2</b>	<b>-0,9</b>	0,1	0,2	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-1,2</b>
Август	<b>-0,6</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	1,6	1,3	<u>2,8</u>	<b>-0,2</b>	0,1	0,9	1,2	1,7	0,6
Сентябрь	0,1	0,3	<b>-0,5</b>	<b>-1,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,6</b>	0,7	1,2	0,4	0,9	0,5
Теплый п.	<b>-0,2</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	0	<b>-0,3</b>	1,0	0,6	0,3	0,8	0,7
Киев							Ростов-на-Дону					
Апрель	<b>-0,2</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,1</b>	0,1	0,3	<b>-0,9</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,5</b>	0,4
Май	<b>-0,2</b>	0,3	0,1	0,4	<b>-0,1</b>	0,2	<b>-0,4</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,1</b>
Июнь	<b>-0,2</b>	0	0,9	1,4	1,2	1,9	<b>-0,7</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,3</b>	0,6	0,9	1,8
Июль	0	<b>-0,6</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,2</b>	0,3	<b>-0,4</b>	0,3	<b>-0,4</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,7</b>	<b>-2,1</b>
Август	<b>-0,1</b>	0	<b>-0,4</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	0,3	<b>-0,5</b>	<b>-1,6</b>	<b>-2,7</b>	<b>-3,3</b>
Сентябрь	0	<b>-0,9</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,3</b>
Теплый п.	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	0,1	0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,9</b>
Месяц	Земля	850	700	500	400	300	Земля	850	700	500	400	300
Одесса							Дивное					
Апрель	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,6</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,5</b>	<b>-2,4</b>	<b>-1,5</b>	0,6	0	1,3	1,3	0,7
Май	<b>-0,7</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,6</b>	<b>-2,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,4</b>	0	0,6	1,0	1,0
Июнь	<b>-0,4</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>-1,2</b>	0,3	<b>-0,6</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,7</b>	0	0,7	<u>2,2</u>
Июль	<b>-0,4</b>	<b>-0,1</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,5</b>	<b>-2,0</b>
Август	<b>-0,3</b>	0,4	0,3	0,2	0,5	1,4	<b>-0,4</b>	1,3	0,1	<b>-1,6</b>	<b>-2,2</b>	<b>-1,6</b>
Сентябрь	<b>-0,4</b>	<b>-0,3</b>	0	<b>-1,5</b>	<b>-2,1</b>	<b>-3,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,1</b>	0,2	0	<b>-0,5</b>	<b>-0,4</b>
Теплый п.	<b>-0,4</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,9</b>	0,1	<b>-0,3</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>

Для реализации опасных явлений погоды теплого полугодия, связанных с мощными конвективными процессами, необходима динамически активная тропосфера, особенно верхняя тропосфера [6; 9; 12]. Так, мощные градовые процессы в Причерноморском регионе обусловлены орографическими условиями, а также подготовленностью тропосферы к реализации мощной атмосферной конвекции (неустойчивая стратификация теплой и влажной воздушной массы, при наличии значительной бароклинности верхней тропосферы, в адвективной области холода, сдвиги ветра в средней и верхней тропосфере, струйные течения) [6; 9; 11]. Анализ изменчивости скорости ветра в тропосфере Причерноморского региона за последние 40 лет показал значительную динамику (рис. 2). В регионе за 40-летний период наблюдается устойчивое уменьшение скорости ветра у поверхности Земли и на уровне ведущего потока, причем уменьшение на уровне 400 гПа значительно превышает изменения на всех остальных поверхностях.

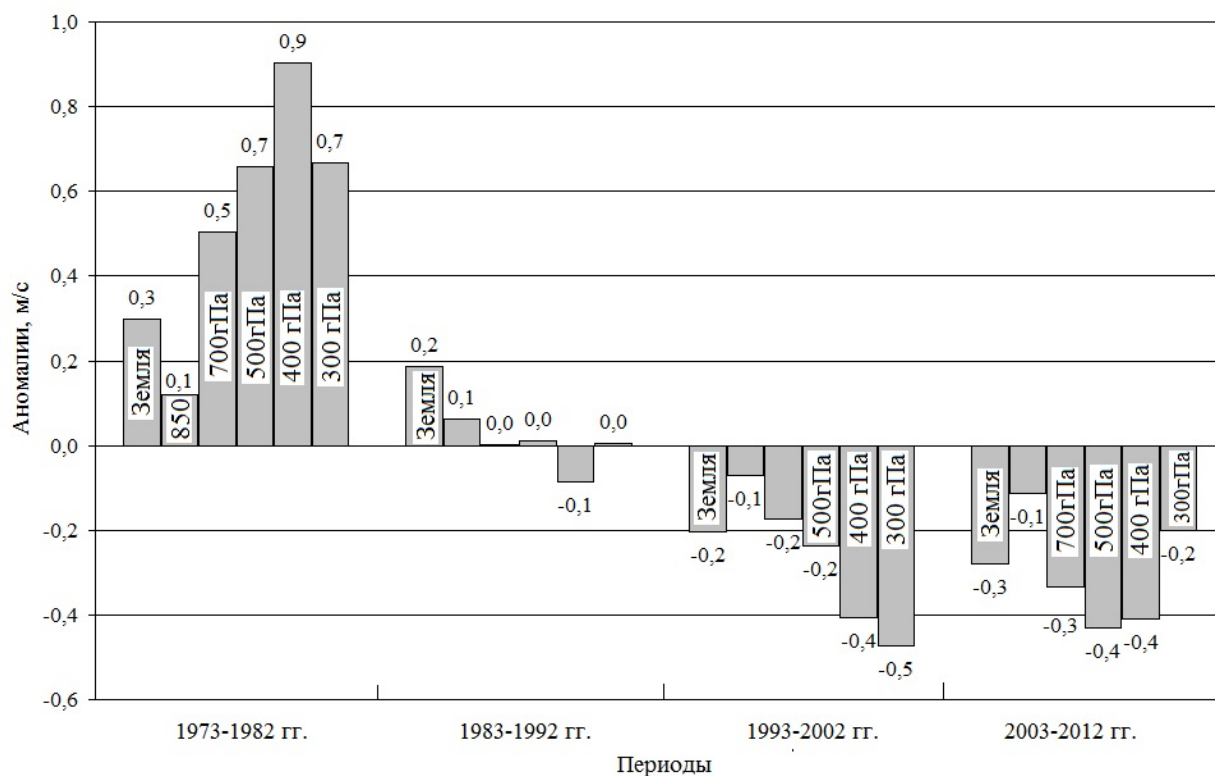


Рис. 2. Суммы аномалий скорости ветра у Земли и на изобарических поверхностях (гПа) по десятилетиям

Таким образом, пространственно-временная динамика за сорокалетний период (1973–2012 гг.) аномалий скорости ветра на всех изобарических поверхностях за теплый период года свидетельствует о значительной изменчивости. Если для первого десятилетия характерны положительные аномалии, значения второго десятилетия близки к рассчитанной нами климатической норме, то два последних десятилетия характеризуются отрицательными аномалиями.

Одним из показателей динамической активности верхней тропосферы являются струйные течения, которые связаны с высотными фронтальными зонами и характеризуются вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра [9; 12]. Повторяемость струйных течений над территорией СССР изучена рядом авторов [4; 15]. В частности, были получены типовые положения струйных течений над Европой при различных разновидностях макросиноптических процессов. Для района Причерноморья повторяемость струйных течений летом колеблется в пределах 50–80 [4].

В зимний период повторяемость значительно меньше: 30–40, что указывает на большую изменчивость повторяемости струйных течений в средних широтах, которая, в свою очередь, определяется характером преобладающих макроциркуляционных процессов. При переходе от зимы к лету, в соответствии с сезонной перестройкой термобарического поля атмосферы, характер циркуляционных процессов подвергается заметным изменениям. Основные черты этой перестройки определяются уменьшением междуширотных градиентов по сравнению с зимой. Высота оси внетропических струйных течений подвержена не только сезонным изменениям, но и ежедневным: для лета наиболее характерны высоты 9–11 км (98,4 %). Горизонтальная протяженность

внетропических струйных течений также меняется в широком диапазоне: летом наиболее часто струи имеют ширину порядка 300–1000 км (72,5 %) [4; 15].

В связи с выявленной динамикой в средней и верхней тропосфере возникает закономерный вопрос о качественных и количественных характеристиках струйных течений над Причерноморским регионом за последние 20 лет.

Для анализа скорости и повторяемости струйных течений в тропосфере над Причерноморьем использовались данные радиозондирования за период 1993–2014 гг. [10]. За весь период были выбраны даты со струйным течением над аэрологическими станциями региона, определено число случаев с характерными для них скоростями ветра для слоев тропосферы от  $p=500$  гПа до  $p>400$  гПа, от  $p=400$  гПа до  $p>300$  гПа, а также для  $p=300$  гПа до  $p=200$  гПа. Для каждого слоя рассчитаны средние значения скорости в струе и определено число случаев наблюдения струи в каждый временной период 1993–2003 гг. и 2004–2014 гг. Результаты расчетов внесены в табл. 4, где жирным курсивом показано уменьшение средних значений скорости ветра и повторяемости струи.

Таблица 4

Характеристика струйных течений в средней и верхней тропосфере Причерноморья

Станция	Уровни, гПа	500->400 гПа		400->300 гПа		300-200 гПа	
	Периоды	Ср	X	Ср	X	Ср	X
Анкара	1993-2003	35	13	36	227	36	499
	2004-2014	<b>34</b>	<b>9</b>	37	336	38	685
Бухарест	1993-2003	35	23	37	217	36	233
	2004-2014	<b>33</b>	<b>17</b>	<b>36</b>	<b>192</b>	<b>35</b>	253
Дивное	1993-2003	32	15	39	166	39	313
	2004-2014	33	28	<b>37</b>	281	39	458
Харьков	1993-2003	33	30	37	227	36	151
	2004-2014	33	32	37	256	<b>35</b>	176
Ростов-на-Дону	1993-2003	35	35	38	133	36	80
	2004-2014	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	225	36	324
Львов	1993-2003	34	8	38	62	37	43
	2004-2014	<b>33</b>	12	<b>36</b>	102	<b>34</b>	70
Туапсе	1993-2003	37	3	39	65	39	152
	2004-2014	<b>33</b>	8	<b>36</b>	124	<b>37</b>	253
Одесса	1993-2003	36	17	37	150	36	163
	2004-2014	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>101</b>	<b>35</b>	<b>107</b>
Киев	1993-2003	35	35	38	200	36	115
	2004-2014	<b>33</b>	40	<b>37</b>	275	<b>34</b>	161

Как видим, в регионе наиболее часто струйные течения фиксируются в верхней тропосфере (от 300 до 200 гПа), где наблюдается увеличение повторяемости струйных течений, за исключением ст. Одесса. Для станций Бухарест, Львов, Одесса, Киев и Туапсе во всех трех слоях наблюдается уменьшение средней скорости ветра в струе, а для станций Бухарест и Одесса также характерно уменьшение повторяемости струйных течений.

### Заключение

Проведенный анализ современной изменчивости скорости ветра в теплый период года в тропосфере Причерноморского региона выявил устойчивое уменьшение скорости ветра во всей толще тропосферы за период 1973–2012 гг. Наибольшие отрицательные аномалии характерны для слоя от 500 до 400 гПа.

Выявленные особенности подтверждаются динамикой струйных течений над Причерноморским регионом за период 1993–2014 гг. Для средней и верхней тропосферы также характерно уменьшение скорости струйного течения, а для станций Бухарест и Одесса наблюдается также уменьшение повторяемости струйных течений.

Учитывая, что наличие больших скоростей ветра, а желательность струйных течений в средней и верхней тропосфере является основным показателем подготовленности атмосферы к реализации мощной конвекции, выявленные тенденции свидетельствуют о формировании над некоторыми



районами Причерноморского региона динамически устойчивой тропосферы, что приводит к сокращению числа мощных конвективных процессов и уменьшению их интенсивности.

### Библиографический список

1. База данных радиозондирования атмосферы. [Электронный ресурс] URL: weather.uwyo.edu (дата обращения: 12.02.2015).
2. Борисенков Е.П. Энергетика общей циркуляции атмосферы // Метеорологические исследования. М.: Наука, 1969. Вып. 16. С. 70–84.
3. Ван Мигем Ж. Энергетика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 327 с.
4. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология: учеб. для вузов. Л.: Гидрометеиздат. 1991, 616 с.
5. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. М.: Мир, 1986. Т.1. 396 с.
6. Данов Е.И., Данова Т.Е. К вопросу прогноза экстремальных градобитий: докл. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию начала производственных работ по защите сельхозкультур от градобитий. Нальчик, 2007. С. 91–97.
7. Данова Т.Е. Влияние современных климатических изменений на динамику мезомасштабных процессов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Метеорология. Экология. 2013. №3. С. 79–83.
8. Данова Т.Е. О влиянии различных видов энергий на интенсивность градовых процессов в Северном Причерноморье // Метеорология, климатология и гидрология. Одесса, 2000. Вып. 41. С. 156–161.
9. Данова Т.Е. Особенности термобарической структуры и энергетики верхней тропосферы при реализации сверхмощных градовых процессов в Причерноморье // Мат. Межд. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIROMIS-2004. Томск, 2004. С. 57.
10. Данова Т.Е. Современная динамика кинетической энергии в тропосфере Причерноморья // Вестник УдГУ. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. №3. С. 100–105.
11. Данова Т.Е. Тенденции изменчивости грозоградовой активности в Причерноморском регионе: докл. всерос. открытой конф. по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. Нальчик, 2015. Ч. 2. С. 297–303.
12. Данова Т.Е. Термодинамические параметры конвекции при градовых процессах // Метеорология, климатология и гидрология. Одесса, 2003. № 47. С. 42–47.
13. Данова Т.Е., Петричиц С.А. Динамика высот температурных уровней в тропосфере Причерноморского региона // Геополитика и экогеодинамика регионов. Симферополь: КНЦ, 2014. Т.10. Вып. 1. С. 502–505.
14. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
15. Погосян Х.П. Атмосфера и человек. М.: Просвещение, 1977. 160 с.

### References

1. Database of radiosounding of the atmosphere, Retrieved from: weather.uwyo.edu. (Accessed 12.02.2015).
2. Borisenkov, E.P. (1969), Jenergetika obshhej cirkuljicii atmosfery, in *Meteorologicheskie issledovanija* [Meteorological research], Vol. 16. Nauka, Moscow, USSR, pp. 70–84.
3. Van Migem, Zh. (1977), “*Jenergetika atmosfery*” [Atmospheric energy], Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
4. Vorob'ev, V.I. (1991), “*Sinopticheskaja meteorologija*” [Synoptic meteorology], Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
5. Gill, A. (1986), “*Dinamika atmosfery i okeana. Tom 1.*” [The dynamics of the atmosphere and the ocean Vol. 1], Mir, Moscow, USSR.
6. Danov, E.I. and Danova, T.E. (2007), “*To the issue of the forecast of extreme hail storm*” *Doklady Nauchno-prakticheskoy konferencii posvjashhennoj 40-letiju nachala proizvodstvennyh rabot po zashhite sel'hozkul'tur ot gradobitij* [Report of the Scientific-practical conference devoted to the 40th anniversary of the production work for the protection of crops from hail], Nalchik, Russia, 10–12 October 2007, pp. 91–97.
7. Danova, T.E. (2013), “Influence of modern climatic changes on the dynamics of mesoscale of processes”, *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. Meteorologiya. Jekologija* [Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science], no. 3. Rostov on Don, Russia, pp. 79–83.

8. Danova, T.E. (2000), "The effect of different types of energy on the intensity of hail processes in the Northern Black Sea Coast", *Meteorologija, klimatologija i gidrologija* [Meteorology, climatology and hydrology]. Vol. 41. Odessa, Ukraine, pp. 156–161.
9. Danova, T.E. (2004), "Features thermobaric structure and power of the upper troposphere in the implementation of super hail processes in the Black Sea region" Mezhdunarodnaja konferencija po izmerenijam, modelirovaniju i informacionnym sistemam dlja izuchenija okružhajushhej sredy ENVIROMIS-2004: tez. dokl. [International Conference on Measurement, Modeling and Information Systems for Environmental Studies ENVIROMIS-2004: abstracts] Tomsk, Russia.
10. Danova, T.E. (2013), "Modern dynamics of kinetic energy in the troposphere of the Black Sea", *Vestnika UdGU: Biologija. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University], no 3. pp. 100–105.
11. Danova, T.E. (2015), "Trends in the variability of the activity of thunderstorms and hail in the Black Sea region", *Doklady Vserossijskoj otkrytoj konferencii po fizike oblakov i aktivnym vozdejsivijam na gidrometeorologičeskie processy, posvyashchenoj 80-letiju EHI'brusskoj vysokogornoj kompleksnoj ehkspedicii AN SSSR, 7-9 oktyabrya 2014* [Reports of the All-Russian open conference on physics of clouds and weather modification, dedicated to the 80th anniversary of the Elbrus mountainous complex expedition of the USSR Academy of Sciences, on October 7-9, 2014.], Nalchik, Russia, part 2. pp. 297–303.
12. Danova, T.E. (2003), "Thermodynamic parameters of convection in hail processes", *Meteorologija, klimatologija i gidrologija* [Meteorology, climatology and hydrology], Vol. 47, Odessa, Ukraine, pp. 42–47.
13. Danova, T.E., Petrichic, S.A. (2014), "Dynamics of heights of temperature levels in the troposphere of the Black Sea region", *Geopolitika i jekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions]. Vol. 10, no. 1. Simferopol, Russia, pp. 502–505.
14. Matveev, L.T. (1984), *Kurs obshhej meteorologii. Fizika atmosfery*. [Course of general meteorology. Atmospheric Physics], Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
15. Pogosjan, H.P. (1977), *Atmosfera i chelovek* [Atmosphere and people], Enlightenment, Moscow, USSR.

Поступила в редакцию: 29.03.2016

#### Сведения об авторе

**Данова Татьяна Евгеньевна**  
кандидат географических наук, доцент,  
научный сотрудник ФГБУН «Морского  
гидрофизического института РАН» (ФГБУН  
МГИ);  
299011, Россия, г. Севастополь, ул.  
Капитанская, 2;  
e-mail: danova8@mail.ru

#### About the author

**Tatyana E. Danova**  
Candidate of Geographical Sciences, Associate  
Professor, Researcher, Marine Hydrophysical  
Institute of RAS;  
2, Kaplainskaya st., Sevastopol, 299011, Russia;  
e-mail: danova8@mail.ru

#### Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

*Данова Т.Е.* Современные изменения скорости ветра в теплый период года в тропосфере Причерноморского региона // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №2(41). С. 71–80. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-71-80

#### Please cite this article in English as:

*Danova T.E.* Modern changes of wind speed in the warm season in the troposphere of the Black Sea region // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 71–80. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-71-80