

А.В. Гармашов, А.И. Коровушкин, А.Б. Полонский,
Ю.Н. Толокнов

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ
НА МОРСКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЕ
В 1996 – 2001 гг.**

На основе наблюдений, проведенных на морской стационарной платформе, расположенной в северо-западной части Черного моря, получены статистические оценки характеристик временной изменчивости скорости и направления ветра. В среднемесячных и максимальных скоростях ветра за шестилетний период наблюдений присутствует отрицательный тренд. Построены розы ветров для различных групп скоростей. В теплое полугодие доминируют ветра со скоростями в диапазоне 5 – 10 м/с северных румбов. В холодное полугодие происходит усиление скорости ветра: повторяемость ветра со скоростями более 10 м/с увеличивается в 5 раз и превышает 15 %, наиболее часто наблюдаются ветра северных и южных румбов. За шестилетний период скорость ветра 1 % обеспеченности составила 14,5 м/с, а скорость ветра 0,01 % обеспеченности 18,9 м/с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, скорость ветра, приводный ветер, математическое моделирование.*

Введение. В связи с глобальными и региональными изменениями климата, в том числе увеличением частоты экстремальных погодных явлений, возрастает потребность в надежной информации об опасных явлениях погоды, в частности, о максимальных скоростях ветра. Оценка экстремальных ситуаций над акваторией Черного моря необходима для судоходства, народно-хозяйственной деятельности, планирования и строительства буровых платформ для добычи углеводородов на шельфе моря. С другой стороны, для улучшения результатов прогнозирования с помощью численных моделей, в которых используются характеристики приземного ветра, также необходимо иметь достоверные данные наблюдений. В настоящее время существует большое количество справочной литературы и атласов, описывающих режимные ветро-волновые характеристики Черного моря (см., например, [1 – 4]), однако, ощущается явный недостаток работ, в которых анализируется изменчивость ветра над акваторией Черного моря на основе долговременных прямых наблюдений. Ведь основные результаты, касающиеся изменчивости скорости и направления ветра над Черным морем в работах [1 – 4], получены на основе анализа данных береговых гидрометеорологических станций. Данные такого типа существенно искажают характеристики изменчивости ветра в открытой части моря за счет влияния береговой черты, урбанизации или облесения территории вокруг метеорологи-

ческих площадок и других факторов [2, 5]. Данные судовых наблюдений доступны за достаточно продолжительный период времени, однако их пространственно-временное распределение очень неоднородно, причем на протяжении большей части периода наблюдений они носят эпизодический характер [3].

Цель настоящей работы – подробно проанализировать статистические характеристики временной изменчивости скорости и направления ветра северо-западной части Черного моря, используя данные, полученные на морской стационарной газодобывающей платформе, расположенной в Каркинитском заливе, в период 1996 – 2001 гг.

Исходные данные и методы их обработки. С 1996 по 2001 год на морской стационарной платформе, расположенной на северо-западном шельфе Черного моря в точке с координатами 45°42,5' с.ш., 31°52,5' в.д., функционировал гидрометеорологический комплекс (рис. 1).

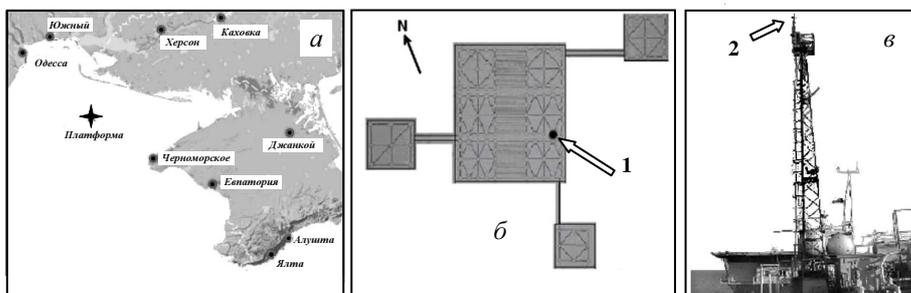


Рис. 1. Расположение (а), схема (б) морской стационарной платформы и вышки (в) с измерителем скорости и направления ветра. Цифрой 1 показано место расположения вышки на платформе, цифрой 2 – расположение анемометра на вышке.

В наивысшей точке платформы на высоте 37 м над уровнем моря был установлен датчик для измерения скорости и направления ветра (см. рис. 1, в). Измеряемые параметры перечислены в табл. 1. Их запись производилась с дискретностью 3 часа, причем скорость и направление ветра усреднялись за 10 мин. Структурная схема гидрометеорологического комплекса показана на рис. 2.

Таблица 1. Метеорологические параметры, измеряемые на платформе.

Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Допуск
1. Атмосферное давление, КПа	от 864 до 1075	$\pm 0,5$
2. Влажность воздуха, %	от 0 до 100	± 5
3. Температура воздуха, °С	от -40 до 60	$\pm 0,25$
4. Температура воды, °С	от -2 до +40	$\pm 0,25$
5. Высота волны (H), м	от 0 до 10	$\pm 0,5 + 0,1H$
6. Скорость ветра (V), м/с	от 1,5 до 60	$\pm 0,5 + 0,1V$
7. Направление ветра, °	от 0 до 360	± 10

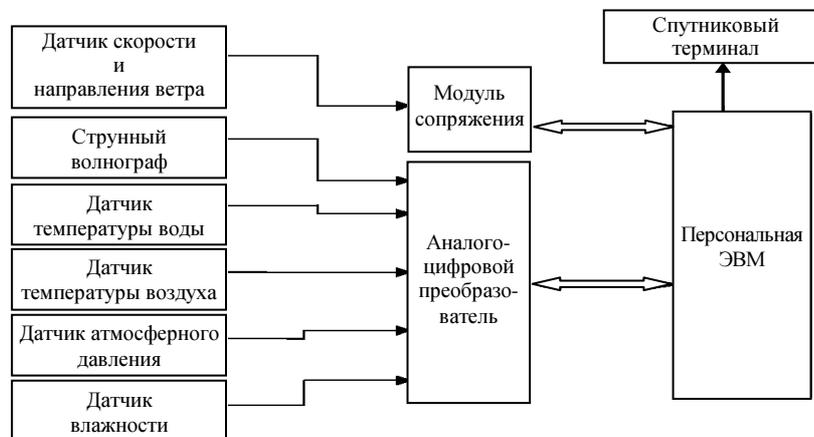


Рис. 2. Структурная схема гидрометеокомплекса.

Алгоритм работы программы гидрометеорологического комплекса:

- измерение величин скорости и направления ветра, температуры воды и воздуха, атмосферного давления и относительной влажности производится один раз в конце каждого часа;

- информация о возвышениях морской поверхности, с дискретностью опроса 4 Гц, накапливается на магнитном накопителе в течение 45 минут ежечасно;

- текущие значения параметров выводятся на устройство отображения информации, а все данные сохраняются на магнитном накопителе.

Более подробная информация о погрешности измерений, разрешающей способности используемых датчиков, входящих в состав гидрометеокомплекса, приведена в работе [6]. За весь период наблюдения было собрано более 16 тыс. измерений по каждому параметру. Анализ качества данных и методика устранения сбоев рассмотрены в [7]. В данной работе мы анализируем скорость и направление ветра, как параметры, измеренные с наименьшим количеством сбоев.

Все статистические характеристики рассчитывались для высоты 10 м. Приведение скорости ветра с высоты 37 м к стандартной высоте наблюдения производилось по следующей формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя [8, 9]:

$$U_{10} = U_{37} \frac{\ln((10 + z_0)/z_0)}{\ln((37 + z_0)/z_0)},$$

где z_0 – параметр шероховатости.

Экспериментально установлено [9], что величина z_0 для морской поверхности в рассматриваемом регионе находится в пределах $10^{-4} - 10^{-3}$ м, в нашей работе было взято среднее значение $z_0 = 5 \times 10^{-4}$ м.

По данным измерений, приведенным к высоте 10 м, рассчитывались среднемесячные характеристики, повторяемость скорости ветра для 8-и

румбов (восточного – В), северо-восточного – СВ, северного – С, северо-западного – СЗ, западного – З, юго-западного – ЮЗ, южного – Ю и юго-восточного – ЮВ) по четырем градациям скорости ветра: от 0 до 5 м/с, от 5 до 10 м/с, от 10 до 15 м/с и больше 15 м/с. На рис. 3 – рис. 6 для каждой из четырех групп для зимнего (январь) и летнего (июль) периода показаны характерные розы ветров, на графиках показана повторяемость в процентах (за 100% принимается сумма по всем направлениям и скоростям ветра). Более детальная информация о повторяемости ветра различных скоростей по восьми румбам для каждого месяца приведена в работе [10].

Результаты.

Направление ветра. Для ветра со скоростями до 5 м/с (см. рис. 3) на протяжении большей части года наибольшую повторяемость имеют ветра северных румбов (СВ, С, СЗ), особенно велика их повторяемость летом, когда она превышает 25%. Зимой повторяемость слабых ветров южных и восточных румбов (ЮЗ, Ю, ЮВ, В, СВ) составляет менее 3% для каждого румба, в то время как для СЗ румба – около 10%. Летом возрастает повторяемость ветров СВ, В и ЮВ румбов и достигает соответственно 10%, 7% и 6%. Ветра южных румбов наблюдаются в 2 раза реже северных румбов.

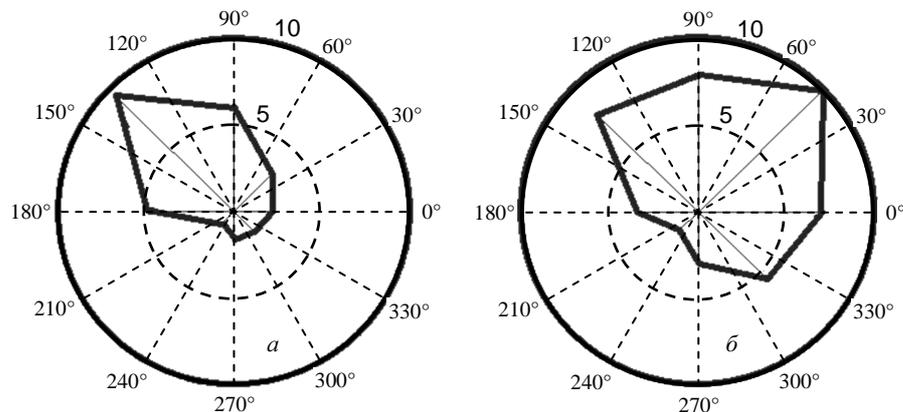


Рис. 3. Роза ветров для скорости ветра до 5 м/с: а – январь, б – июль.

Для скорости ветра второй группы (в диапазоне 5 – 10 м/с, который является наиболее типичным для всей выборки – см. ниже) характерна следующая ситуация (см. рис. 4). Зимой наибольшую повторяемость – около 11%, имеют ветра СЗ румбов. Ветра остальных семи румбов имеют практически одинаковую повторяемость, в среднем, 5%. Доминирующие направления для лета – С и СВ румбы, в августе их повторяемость превышает 20%. Осенью и весной часто регистрировались также ветра З, Ю и ЮВ румбов.

Повторяемость ветра со скоростями более 10 м/с (см. рис. 5 и рис. 6) начинает увеличиваться с октября и уменьшается в летние месяцы. Зимой ветра со скоростями 10 – 15 м/с регистрировались в 2 раза чаще, чем летом. Над северо-западной частью Черного моря относительно часто наблюдаются сильные ветра следующих румбов: СВ, С, З, Ю и ЮВ.

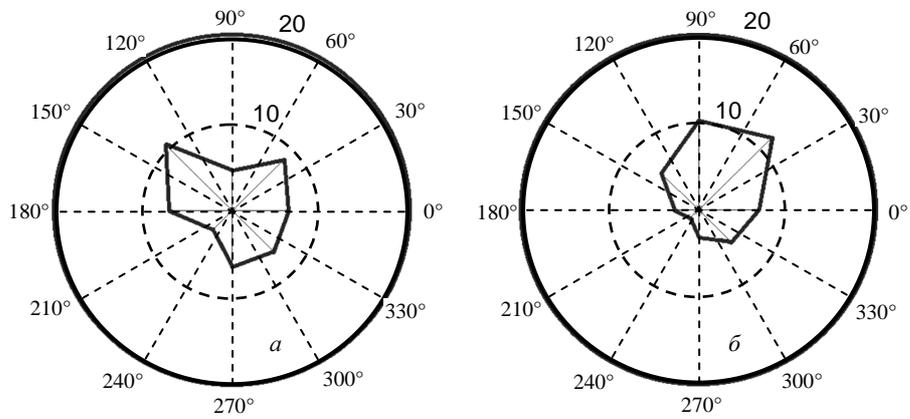


Рис. 4. Роза ветров для скорости ветра 5 – 10 м/с: *а* – январь, *б* – июль.

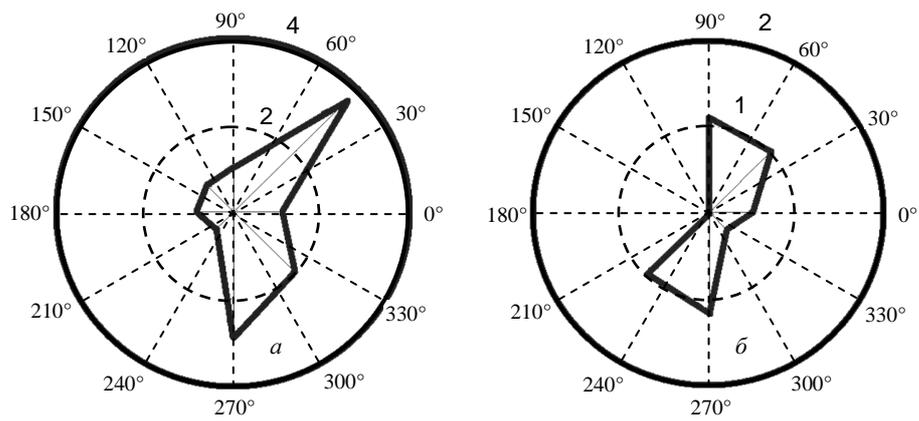


Рис. 5. Роза ветров для скорости ветра 10 – 15 м/с: *а* – январь, *б* – июль.

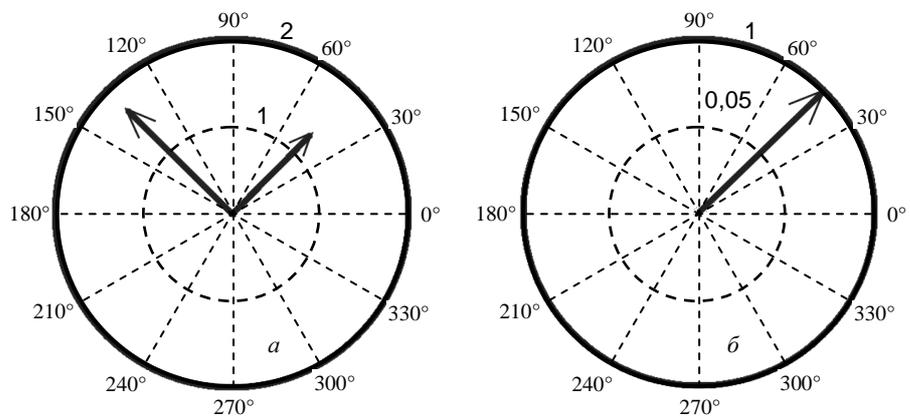


Рис. 6. Роза ветров для скорости ветра больше 15 м/с: *а* – январь, *б* – июль.

Наиболее сильные ветры со скоростями более 15 м/с чаще всего дуют в январе с северо-запада (1,7 % всех случаев) и северо-востока (1,3 %). Повторяемость ветров со скоростями более 15 м/с между летними и зимними месяцами отличается примерно на порядок (летом около 0,1 %, зимой до 3 %). Максимальная скорость ветра за весь период наблюдений составила 21,5 м/с южного румба.

Скорость ветра. Для отображения главных статистических закономерностей в изменчивости скорости ветра нами построена интегральная функция распределения – она показана на рис. 7, называемая также функцией обеспеченности [11]. Для удобства ось абсцисс представлена в логарифмическом масштабе. Напомним, что при построении было использовано около 16 тыс. измерений скорости ветра. Видно, что скорость ветра 1 % обеспеченности составляет 14,5 м/с, а скорость ветра 0,01 % обеспеченности – 18,9 м/с.

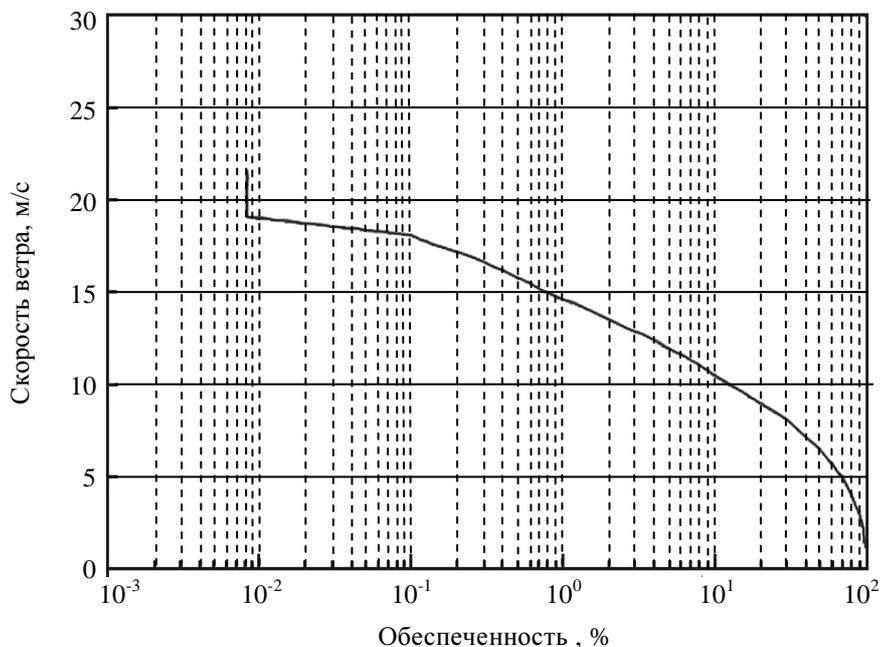


Рис. 7. Интегральная функция распределения скорости ветра, построенная за период 1996 – 2001 гг.

Табл. 2 демонстрирует повторяемость скорости ветра для четырех градаций в течение года по месяцам. Скорости ветра 5 – 10 м/с являются доминирующими для всего года. Они наблюдаются примерно в 50 % случаях (максимум повторяемости 60 % наблюдается в марте, минимум 47 % в сентябре).

Таблица 2. Повторяемость (%) скорости ветра для каждого месяца по градациям

Месяц	Скорость ветра, м/с			
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	более 15
Январь	30,7	53,8	12,6	2,9
Февраль	24,8	58,4	16,2	0,6
Март	23,7	60,3	15,4	0,6
Апрель	37,5	51,8	9,7	1,0
Май	37,5	56,7	5,5	0,3
Июнь	42,6	53,6	3,7	0,1
Июль	46,8	48,2	5,0	0
Август	48,4	49,2	2,4	0
Сентябрь	41,6	47,4	10,3	0,8
Октябрь	30,5	56,0	12,9	0,6
Ноябрь	26,8	56,2	15,9	1,2
Декабрь	26,6	59,0	13,6	0,8

Слабые ветра более характерны для теплого времени года (апрель-сентябрь, когда их повторяемость колеблется в основном в диапазоне 37 – 48 %). Ветра со скоростью до 10 м/с наблюдаются примерно в 85 % случаев в течение всего года. В холодный период происходит значительное увеличение повторяемости сильных ветров. Повторяемость ветров со скоростью 10 – 15 м/с, вносящих основной вклад в дисперсию, увеличивается примерно в 5 раз: с ~ 3 % летом (июнь-август) до ~ 13 – 16 % зимой (декабрь-февраль). В то же время, повторяемость ветра со скоростью более 15 м/с возрастает с 0,1 % летом до 1 – 3 % зимой, т.е. приблизительно на порядок.

Максимальная среднемесячная скорость ветра на протяжении большинства лет наблюдается в зимний период. Максимальные величины среднемесячной скорости ветра, осредненной за весь анализируемый период (8,7 м/с) достигаются в январе, минимальные (около 4 м/с) – в июле. (см. [7], рис. 7). Рис. 8 иллюстрирует собой изменчивость параметров поля ветра – среднемесячной и максимальной скорости ветра. Как видно, на протяжении 5 лет наблюдалась тенденция уменьшения среднемесячной скорости ветра. На фоне регулярного сезонного хода выделяется межгодовая и более долгопериодная изменчивость значительной амплитуды. Так, например, в январе 1997 г. среднемесячная скорость ветра была 8,7 м/с, а в январе 1999 г. – 5,9 м/с. Вообще, с 1996 по 2001 гг. в северо-западной части Черного моря наблюдалась тенденция уменьшения модуля среднемесячной скорости ветра, что подтверждается данными стандартных гидрометеорологических наблюдений за более длительный период наблюдений [10, 12]. Вероятнее всего, это связано с уменьшением циклонической активности в регионе, отмеченной авторами работы [13].

Максимальные скорости ветра за шестилетний период наблюдений также представлены на рис. 8. Следует отметить, что в данной работе рассматриваются не мгновенные, а осредненные за 10 мин скорости ветра. Наибольшая скорость ветра 21,5 м/с была зафиксирована в марте 1997 г.

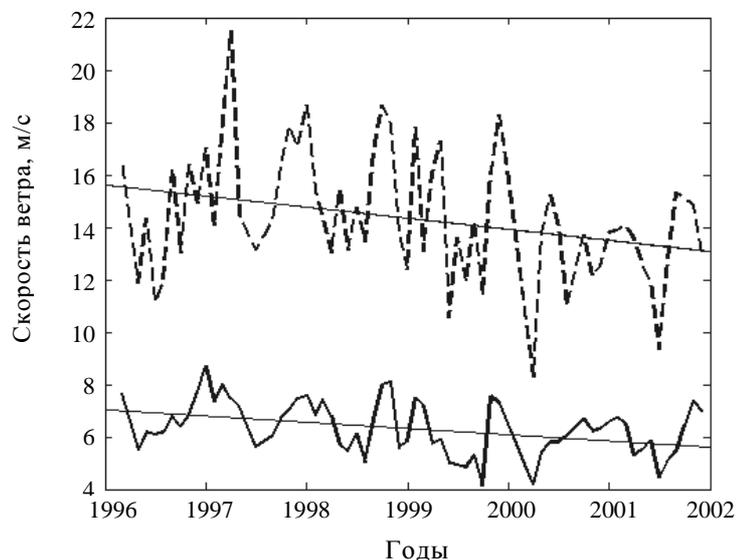


Рис. 8. Максимальные (толстая пунктирная линия) и средне-месячные (толстая сплошная линия) скорости ветра в период 1996 – 2001 гг. и линейные тренды (тонкие линии) максимальной и среднемесячной скоростей ветра.

Максимальные скорости ветра летом не превышали 15,5 м/с. Как и для среднемесячной скорости ветра, за исследуемый период наблюдается уменьшение максимальных скоростей ветра, о чем свидетельствует приведенный на рис. 8 тренд максимальной скорости ветра. Колебания максимальной скорости ветра повторяют изменчивость среднемесячной скорости ветра, но с большей амплитудой.

В целом, полученные характеристики скорости ветра согласуются с известными представлениями о климатических особенностях поля ветра в Черноморском регионе [1 – 4], где за основу берутся, главным образом, наблюдения на береговых гидрометеостанциях, однако, полученные результаты имеют ценное практическое значение, т.к. получены на основе прямых измерений над открытой частью Черного моря.

Выводы.

На основе наблюдений, проведенных с 1996 по 2001 гг. на морской стационарной платформе, расположенной на северо-западном шельфе Черного моря, получены статистические оценки временной изменчивости скорости и направления ветра. В среднемесячной скорости ветра наблюдается ярко выраженный сезонный ход. Максимальные величины среднемесячной скорости ветра (8,7 м/с) достигаются в холодное время года, минимальные (около 4 м/с) – летом. Как в среднемесячных, так и в максимальных скоростях ветра за шестилетний период наблюдений присутствует отрицательный тренд. Наибольшая скорость ветра 21,5 м/с была зафиксирована в марте 1997 г. За шестилетний период скорость ветра 1 % обеспеченности составляет 14,5 м/с, а скорость ветра 0,01 % обеспеченности – 18,9 м/с. В теплое полугодие до-

минируют ветра со скоростями в диапазоне 5 – 10 м/с северных румбов. В холодное полугодие происходит усиление скорости ветра: повторяемость ветра со скоростями более 10 м/с увеличивается в 5 раз и превышает 15 %, наиболее часто наблюдаются ветра северных и южных румбов. На фоне регулярного сезонного хода выделяется межгодовая изменчивость значительной амплитуды. Так, например, в январе 1997 г. среднемесячная скорость ветра была 8,7 м/с, а в январе 1999 г. – 5,9 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас волнения и ветра Черного моря.* – Л. Гидрометеиздат, 1969. – 112 с.
2. *Проект «Моря СССР», Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, том 4. Черное море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия.* С-Пб.: Гидрометеиздат, 1991. – 430 с.
3. *Справочник по климату Черного моря.* – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 406 с.
4. *Типовые поля ветра и волнения Черного моря / под ред. Альтмана Э.Н., Матушевского Г.В.* – Севастополь: СО ГОИН, 1987. – 116 с.
5. *Мещерская А.В., Гетман И.Ф., Борисенко М.М., Шевкунова Э.И.* Мониторинг скорости ветра на водосборе Волги и Урала в XX веке // *Метеорология и гидрология.* – 2004. – № 3. – С. 83-98.
6. *Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И., Козлов К.Г.* Автоматизированный гидрометеорологический комплекс // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1998. – С. 12-17.
7. *Полонский А.Б., Гармашов А.В., Коровушкин А.И., Толокнов Ю.Н.* Изменчивость характеристик ветра в северо-западной части Черного моря с 1996 по 2001 гг. // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь. НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – С. 320-325.
8. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.
9. *Соловьев Ю.П., Иванов В.А.* Предварительные результаты измерений атмосферной турбулентности над морем // *Морской гидрофизический журнал.* – 2007. – № 3. – С. 42-61.
10. *Гармашов А.В., Полонский А.Б.* Изменчивость ветра в северо-западной части Черного моря по данным наблюдений на морской стационарной платформе // *Метеорология и гидрология* [в печати].
11. *Крылов Ю.П.* Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 256 с.
12. *Полонский А.Б., Ловенкова Е.А.* Долговременные тенденции в изменчивости характеристик пикноклина Черного моря // *Известия РАН: Физика атмосферы и океана.* – 2006. – т. 42, № 3. – С. 419-430.
13. *Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // *Морской гидрофизический журнал.* – 2007. – № 6. – С. 47-58.

Материал поступил в редакцию 15.12.2010 г.

После доработки 25.03.2011 г.