

В.А.Иванов, А.Х.Халиулин, Т.В.Пластун,  
И.Г.Шокурова, Т.Е.Касьяненко

*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь*

**ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ВЕТРОВОГО РЕЖИМА В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ  
ЗА 2005 – 2016 ГГ.**

Проводились расчет, сравнение и анализ статистических характеристик ветра по измерениям, выполненным в разных районах Крымского региона в 2005 – 2016 гг. Изучены годовой ход скорости ветра, повторяемость направления ветра, повторяемость скорости ветра в зависимости от направления. Выявлены различия в характеристиках направления и скорости ветра, обусловленные географическим расположением пунктов измерений. В среднем наибольшая скорость ветра отмечается в Каркинитском заливе, наименьшая – в Кацивели. В восточной части региона роза ветров имеет выраженный сезонный характер. Расчет коэффициентов асимметрии и эксцесса для распределения скорости ветра также выявил различия в характеристиках ветра в разных пунктах наблюдений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *скорость ветра, направление ветра, повторяемость направления и скорости ветра*

**Введение.** Крымский п-ов практически полностью окружен морем и имеет неоднородный рельеф местности. За счет этого ветровой режим в разных районах полуострова имеет свои особенности. Анализ ветрового режима является важным для изучения ветро-волнового воздействия на береговые сооружения, размыва берегов, а также для обоснованной организации хозяйственной деятельности в регионе.

Изучению ветрового режима в районе Крымского п-ова по данным наблюдений до 70-х гг. посвящены работы [1 – 3]. По современным данным ветровой режим изучен в [4 – 8]. Оценка ветрового режима, среднегодовых и среднемесячных величин скорости ветра и их межгодовой изменчивости на юго-западной части Крыма и в северо-восточной части Черного моря выполнена в [4, 5], статистические оценки модуля скорости ветра – в [6], режимные характеристики штормовых ветров и волнения, их межгодовая изменчивость, экстремальные ветровые ситуации – в [7], анализ ветро-волновых наблюдений на береговых пунктах – в [8].

Крымский п-ов имеет небольшие размеры и все пункты измерений метеорологических параметров, как правило, находятся под влиянием одинаковых крупномасштабных синоптических процессов. На повторяемость направлений и скорости ветров в Крыму преобладающее влияние оказывают в холодный период года отрог Азиатского антициклона, а в теплый – Азорского. Большие изменения атмосферного давления происходят во время приближения к Крыму циклонов и активных атмосферных фронтов, особенно холодных зимой. В течение года в Крыму преобладают ветры северо-восточного, юго-западного и северо-западного направлений [9]. Однако

© В.А.Иванов, А.Х.Халиулин, Т.В.Пластун,  
И.Г.Шокурова, Т.Е.Касьяненко, 2017

наряду с атмосферной циркуляцией на скорость и повторяемость ветра влияют географические особенности местности – рельеф, конфигурация береговой линии, характеристики подстилающей поверхности. В результате этих особенностей повторяемость направления и скорость ветра в разных районах Крыма и Крымского побережья имеет существенные различия.

Целью данной работы является расчет, сравнение и анализ статистических характеристик ветра по измерениям, выполненным в разных районах Крымского региона, имеющих разные условия относительно рельефа местности и свойств подстилающей поверхности. Анализировались данные метеостанции в центральной части Крыма (г.Симферополь), измерений на морской стационарной платформе в Каркинитском заливе – в восточной части региона, измерений на прибрежной стационарной платформе в Качивели – в южной части региона, измерений в Керченском проливе (коса Тузла) – в восточной части региона (рис.1). Рассчитаны и проанализированы статистические характеристики ветра – среднее, максимальные и минимальные значения, коэффициенты эксцесса и асимметрии; относительная частота скорости ветра, а также выполнены расчеты как повторяемости направления ветра, так и величины скорости ветра в зависимости от направления.



Рис. 1. Расположение пунктов измерений в Крымском регионе.

**Описание данных и методов их обработки.** Для анализа использовались данные из банка данных Морского гидрофизического института РАН [10] о срочных измерениях скорости и направлении ветра, проводимых институтом на прибрежной стационарной платформе в Качивели [11], морской стационарной платформе в Каркинитском заливе [12] и в районе Тузлы [11]. По метеостанции Симферополя использовались данные сайта погоды [13]. Выбор метеостанции Симферополя обусловлен тем, что эта метеостанция является единственной сертифицированной метеостанцией, не находящейся в прибрежной зоне.

Данные на метеостанции Симферополя представлены рядом за 2005 – 2016 гг. с интервалом 3 часа. Скорость ветра в м/с и направление на метеостанции Симферополя измерялись на высоте 10 – 12 м над земной поверхностью. Для получения каждого параметра измерения проводили осреднение наблюдений за 10-ти минутный период, непосредственно предшествующий моменту записи данных. Данные на платформе в Каркинитском заливе представлены отдельными периодами за 2008 – 2012 гг. с интервалом 1 час. Высота измерений 37 м. Для соответствия этих данных значениям измерений другим пунктам измерений скорость ветра была приведена к значениям на стандартной высоте 10 м с помощью следующей формулы, что привело к снижению скорости ветра на 14,6 %:  $V = V_0 \cdot (H/H_0)^a$ , где  $V$  – по-

лученная скорость ветра,  $V_0$  – измеренная скорость ветра,  $H$  – стандартная высота измерения ветра,  $H_0$  – высота измерения ветра на платформе,  $a = 0,14$  – коэффициент понижения, который был рассчитан как среднестатистический для осредненного значения скорости ветра в Каркинитском заливе [14].

Данные в районе Тузлы представлены рядом с 2008 по 2013 гг. с интервалом 10 минут. Данные измерений в Кацивели представлены рядом с 2005 по 2014 гг. с интервалом 10 минут. Высота измерения скорости ветра на этих станциях составляет 3 – 5 м над уровнем моря.

**Результаты. Внутригодовая изменчивость скорости ветра.** Годовой ход скорости ветра на метеостанции Симферополя, на пунктах в Каркинитском заливе, Кацивели, Тузле представлен на рис.2. Средние и экстремальные скорости ветра на исследуемых метеостанциях представлены в табл.1.

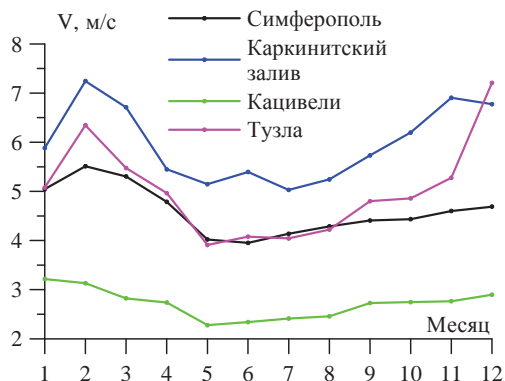
Скорость ветра на всех пунктах измерений имеет четко выраженный годовой ход (рис.2, табл.1). Максимальные среднегодовые значения приходятся на холодные месяцы, минимальные – на теплые.

Наиболее сильные ветры встречаются в морских и прибрежных районах, из них самые сильные ветры в Каркинитском заливе. На метеостанции, расположенной в отдалении от морской границы (Симферополь) наблюдается уменьшение абсолютных значений скорости ветра. Наиболее слабые ветры наблюдаются на прибрежной платформе Кацивели, что объясняется географическим расположением пункта измерения. С севера она защищена от самых сильных и часто повторяющихся ветров [9] Крымскими горами.

**Повторяемость направления ветра, скорость ветра, в зависимости от направления.** Для метеостанции Симферополя, находящейся в центральной части Крымского п-ова, наиболее частым является ветер северо-восточного направления зимой (33,4 %) и летом (24,2 %) (рис.3). По данным наблюдений ветры этого направления характеризуются наиболее высокими скоростями. Летом наряду с северо-восточными ветрами увеличивается повторяемость западных ветров (15,4 %).

В районе Тузлы роза ветров для зимы и лета значительно отличается. Зимой наиболее частыми являются восточные ветры (26,9 %), летом – северные (37 %) (рис.3). Наименее частыми зимой являются ветры западного (5,3 %) и юго-восточного направления (5,6%), летом – юго-восточного направления (2,3 %). В среднем высокие скорости ветра отмечаются при северо-восточных и восточных ветрах.

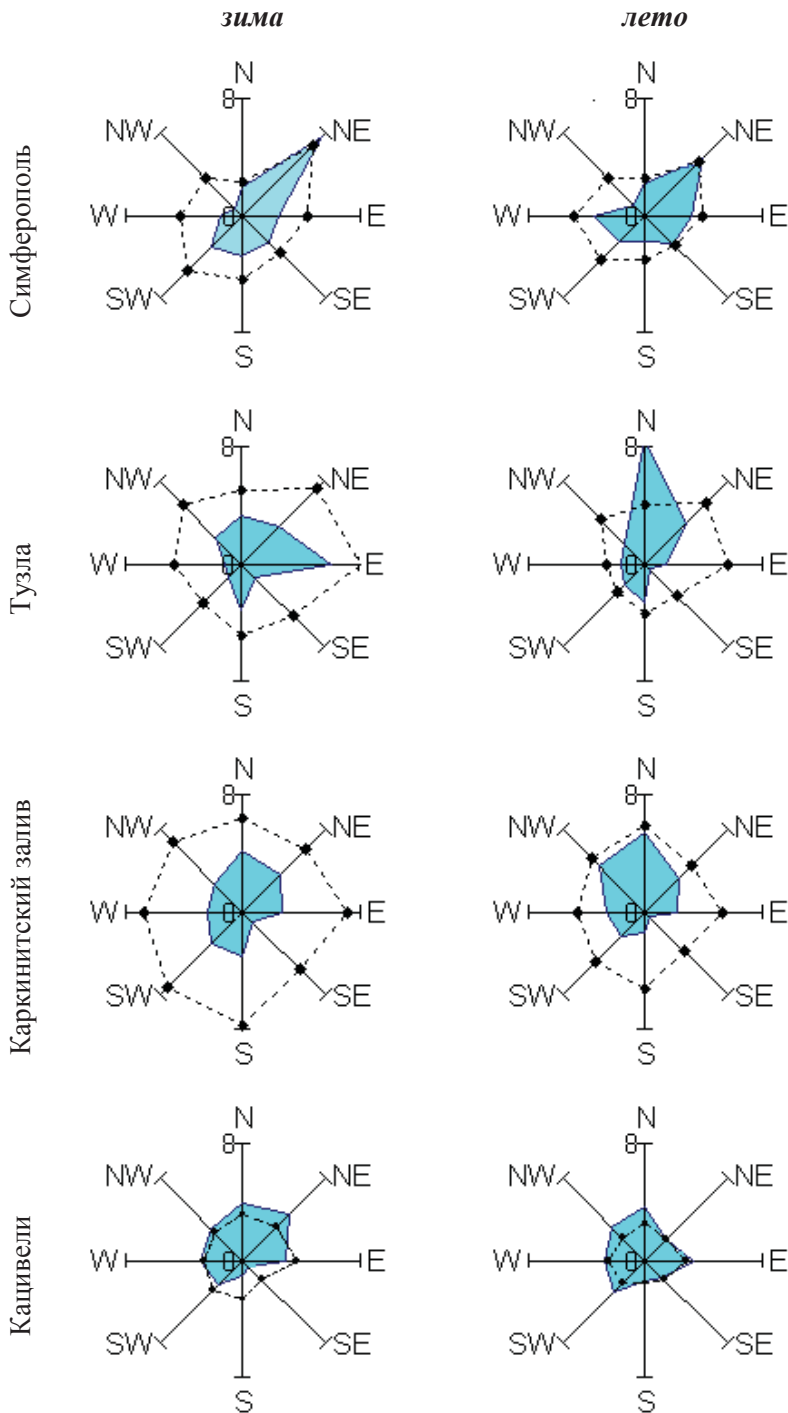
В Каркинитском заливе зимой и летом наибольшую повторяемость имеет северный ветер (18,2 % зимой и 23,9 % летом), наименьшую – юго-восточный ветер (4,5 % зимой и 2,4 % летом) (рис.3). Летом значительно уменьшается повторяемость южного ветра (6,3 %) по сравнению с зимой (13,6 %).



Р и с . 2 . Годовой ход скорости ветра на метеостанции Симферополя, в Каркинитском заливе, Кацивели, Тузле.

Таблица 1. Средние, минимальные и максимальные среднемесячные значения скорости ветра (м/с) и экстремальные значения по данным измерений на метеостанциях.

месяц	январь	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сентяб.	окт.	нояб.	декаб.	год
Симферополь													
среднее	5,0	5,5	5,3	4,8	4,0	4,0	4,1	4,3	4,4	4,4	4,6	4,7	5,0
мин. среднемес.	4,0	4,7	4,3	3,8	3,6	3,4	3,6	3,9	3,9	3,5	3,7	3,8	4,0
макс. среднемес.	6,6	6,8	6,0	5,7	4,6	4,6	5,0	5,2	5,5	6,5	5,6	5,5	6,6
максимум	17,7	18,5	16,3	13,8	10,7	12,6	13,2	14,2	11,7	13,1	21,4	15,2	21,4
Тузла													
среднее	5,0	6,3	5,5	5,0	3,9	4,1	4,0	4,2	4,8	4,9	5,3	7,2	5,1
мин. среднемес.	4,5	5,7	5,0	5,0	2,6	3,7	3,4	3,5	2,9	4,7	3,7	6,8	4,5
макс. среднемес.	5,5	7,5	5,9	5,0	5,1	4,5	5,1	4,9	7,3	5,0	6,4	7,7	5,5
максимум	17,4	17,5	16,1	14,1	14,9	14,2	14,3	12,2	14	14,9	14,3	19	19
Каркинитский залив													
среднее	5,9	7,2	6,7	5,4	5,1	5,4	5,0	5,2	5,7	6,2	6,9	6,8	5,9
мин. среднемес.	5,4	6,3	6,2	4,1	4,0	5,0	4,4	4,8	5,2	4,1	5,2	5,6	4,0
макс. среднемес.	6,5	8,4	7,1	6,7	5,9	5,8	6,1	6,0	6,6	7,9	8,1	7,8	6,5
максимум	15,5	20,1	15,3	15,9	17,4	17,0	14,7	15,3	16,8	18,5	17,8	18,2	20,1
Кацивели													
среднее	3,2	3,1	2,8	2,7	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,2
мин. среднемес.	2,2	2,5	2,6	2,5	1,8	2,2	2,1	2,3	2,3	2,6	2,5	2,5	1,8
макс. среднемес.	5,4	4,5	3,2	3,0	2,9	2,7	2,7	2,8	3,0	3,1	3,0	3,2	5,4
максимум	16	40,8	14,9	13,9	13,3	12,3	10,9	15	10,2	18,2	14,8	13	40,8



Р и с . 3 . Розы повторяемости ветра (%) (сплошная линия) и скорости ветра (м/с) (пунктирная линия) в зависимости от направления ветра зимой (декабрь – февраль) и летом (июнь – август). Цифрой обозначена градация скорости ветра.

Величина средней скорости ветра зимой для южного направления, а летом – для северного превышает скорости ветров других направлений. В среднем наименьшую скорость имеют ветры юго-восточного направления.

По наблюдениям в Качивели зимой наиболее частыми являются северо-восточные (20,8 %) и северные (20,1 %) ветры, наименее частыми – юго-восточные (2,6 %) (рис.3). Летом частота северо-восточных ветров уменьшается (9,6 %), увеличивается частота северных (17,1 %), восточных (15,6 %) и северо-западных (15,4 %) ветров. Наиболее редкими являются южный (6,6 %) и юго-восточный ветры (7,8 %). Средняя скорость ветра наибольшая при восточных ветрах в оба сезона, наименьшая – при южных и юго-восточных ветрах.

**Статистические характеристики модуля скорости ветра.** Распределение скорости ветра в рассматриваемых пунктах измерений приведено на рис.4 в виде относительной частоты повторяемости скорости ветра.

В Симферополе наиболее частыми являются ветры со скоростью от 2 до 4 м/с (рис.4, а). Они составляют около 40 % от всех ситуаций. Вероятность ветра со скоростью более 4 м/с составляет 44 %, вероятность ветра скоростью менее 2 м/с – 16 %.

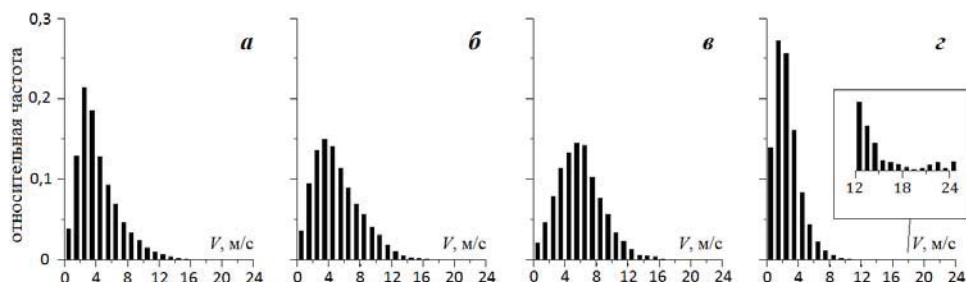
В районе Тузлы наиболее частыми являются ветры от 2 до 6 м/с (рис.4, б). Их относительная частота составляет 56 %. Ветры со скоростями менее 2 м/с составляют 13 %, более 6 м/с – 31 %.

В Каркинитском заливе ветры со скоростью от 4 до 7 м/с являются наиболее частыми и составляют более 40 % от всех наблюдений (рис.4, в). Ветры со скоростью менее 4 м/с составляют около 26 %, а со скоростью более 7 м/с – 34 %.

В Качивели ветры со скоростью более 3 м/с имеют большую вероятность (суммарное значение – 33 %), чем со скоростью менее 2 м/с (14 %) (рис.4, г). Наиболее частыми являются ветры со скоростью 2 – 3 м/с. Они составляют более половины всех ситуаций (53 %).

Известно, что распределение скорости ветра, как правило, подчиняется закону Вейбулла с положительной асимметрией [15]. Для анализа особенностей распределения скорости ветра в различных пунктах вычислялись и сравнивались коэффициенты эксцесса и асимметрии, характеризующие степень отличия распределения от нормального распределения (табл.2).

Наиболее высокий коэффициент асимметрии получен по наблюдениям в Качивели зимой (табл.2). Высокое значение обусловлено тем, что повторяемость ветра с высокими скоростями в сумме значительно превышает повто-



Р и с . 4 . Относительная частота скорости ветра (м/с) в среднем за год по измерениям в Симферополе (а), Тузле (б), Каркинитском заливе (в), Качивели (г).

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты асимметрии и эксцесса для распределения модуля скорости ветра.

пункт измерений	коэффициент асимметрии			коэффициент эксцесса		
	год	зима	лето	год	зима	лето
Симферополь	1,1	1,0	0,9	1,8	1,4	1,2
Тузла	0,8	0,9	0,7	0,4	0,1	0,4
Каркинитский залив	0,5	0,4	0,6	0,4	0,3	0,9
Кацивели	2,0	3,6	1,25	16,6	31,8	2,56

ряемость ветра с низкими скоростями (рис.4, з). Наиболее низкие значения коэффициента асимметрии на морской стационарной платформе в Каркинитском заливе (табл.2). Низкие значения говорят о том, что распределение близко к нормальному и частота слабых и сильных ветров отличается незначительно (рис.4, в).

Высокие значения коэффициента эксцесса получены по измерениям на прибрежной платформе в Кацивели в зимний сезон (табл.2, рис.4, з). Здесь, кроме наиболее острого пика в распределении повторяемости скорости ветра, присутствуют выбросы в «хвосте» распределения, обусловленные наличием повторяющихся событий с высокой скоростью ветра, приводящие к увеличению коэффициента эксцесса (рис.4, з). По измерениям в Каркинитском заливе и Тузле коэффициенты эксцесса невелики.

**Заклучение.** Расчеты и анализ статистических характеристик ветра показал их значительное различие для разных пунктов измерений в Крымском регионе. Наиболее высокие средние значения модуля скорости ветра во все сезоны отмечаются на морской платформе в Каркинитском заливе. В Симферополе, расположенном в отдалении от морской границы, абсолютные значения скорости ветра меньше. Наиболее низкие значения средней скорости ветра в Кацивели. Направление наиболее частых ветров различается для всех пунктов наблюдений. В Симферополе в оба сезона наиболее частыми являются северо-восточные ветры, в Каркинитском заливе – северные. В районе Тузлы повторяемость ветров имеет хорошо выраженный сезонный характер – зимой наиболее частыми являются восточные ветры, летом – северные. Расчет коэффициентов асимметрии и эксцесса для распределения скорости ветра также выявил различия в характеристиках ветра в разных пунктах наблюдений. Для распределения скорости ветра на морской платформе в Каркинитском заливе получены наименьшие коэффициенты асимметрии и эксцесса, что наиболее приближает распределение к нормальному. Наибольшие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса получены для Кацивели, что, вероятно, обусловлено географическими особенностями места.

Исследование выполнено по теме госзадания 0827-2014-0010.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник по климату СССР. Вып.10. Ч.III. Ветер.*– Л.: Гидрометеоиздат, 1967.– 679 с.

2. *Сорокина А.И.* Справочник по климату Черного моря.– М.: Гидрометеиздат, 1974.– 405 с.
3. *Атлас волнения и ветра Черного моря / Под ред. Г.В.Ржеплинского.*– Л.: Гидрометеиздат, 1969.– 111 с.
4. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2003.– вып.9.– С.13-21.
5. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // Наукові праці УкрНДПГ.– 2008.– вып.257.– С.84-105.
6. *Ефимов В.В., Комаровская О.И., Наумова В.А.* Статистическая оценка ветровых данных реанализа по данным срочных измерений ветра на метеостанциях северного побережья Черного моря // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 2004.– С.214-216.
7. *Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н.* Штормовой ветро-волновой режим у Черноморского побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2009.– вып.19.– С.56-69.
8. *Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П., Любарец Е.П.* Ветро-волновые условия Азово-Черноморского побережья Украины // Наукові праці УкрНДПГ.– 2010.– вып.259.– С.263-283.
9. *Подгородецкий П.Д.* Крым. Природа.– Симферополь: Таврия, 1988.– 192 с.
10. *Андрющенко Е.Г., Годин Е.А., Ингерев А.В., Пластун Т.В., Халиулин А.Х., Шокурова И.Г.* Банк океанологических данных МГИ НАН Украины: современное состояние и перспективы развития // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 2004.– С.130-134.
11. *Халиулин А.Х., Годин Е.А., Ингерев А.В., Жук Е.В., Пластун Т.В., Галковская Л.К.* БОД МГИ: информационное обеспечение исследований прибрежной зоны // Научно-практ. конф. «Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей Крымского полуострова». 16-18.09 2015 г. Севастополь.– С.77-79.
12. *Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И., Козлов К.Г.* Автоматизированный гидрометеорологический комплекс // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 1998.– С.12-17.
13. *Гармашов А.В., Полонский А.Б.* Изменчивость ветра в северо-западной части Черного моря по данным наблюдений на морской стационарной платформе // Метеорология и гидрология.– 2011.– № 12.– С.52-63.
14. <https://rp5.ru>
15. *Борисенко М.М.* Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы // Тр. ГГО.– 1974.– № 320.– С.70-79.
16. *Брагинская Л.Л., Каган Р.Л.* К вопросу об аппроксимации распределения скоростей ветра // Тр. ГГО.– 1982.– № 447.– С.49-57.

Материал поступил в редакцию 27.07.2017 г.  
После доработки 01.09.2017 г.



V.A.Ivanov, A.Kh.Khaliulin, T.V.Plastun, I.G.Shokurova,  
T.E.Kasyanenko

ESTIMATIONS OF STATISTICAL PARAMETERS OF WIND REGIME  
IN THE CRIMEAN REGION IN 2005-2016

The statistical parameters of wind are calculated, compared and analyzed according to data performed in different Crimean regions in 2005-2016. The annual variations of wind current, the repeatability of wind direction and current as a function of direction are studied. Differences in the wind direction and current due to the geographical location of observation posts are revealed. On average, the highest wind current is recorded in the Karkinitzky Bay; the smallest one is in the Katsiveli. In the eastern region, the wind rose has a seasonal character. The coefficients of asymmetry and excess for the wind current distribution are calculated, it is revealed differences in wind parameters at different observation posts.

KEYWORDS: wind current, wind direction, repeatability of wind direction and current