

УДК 551.553.11(265.53)

Л.И. Мезенцева, А.С. Федулов*

Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА НА СТАНЦИЯХ ОХОТОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

На основе накопленных данных анемометрических наблюдений за ветром рассчитаны режимные характеристики ветра по прибрежным станциям Охотского моря. Проведено их сравнение с данными научно-прикладных справочников по климату. Примерно за 43-летний период прослежены климатические тенденции параметров ветра на восьми прибрежных станциях. Выявлено, что на побережье Охотского моря во все сезоны года отмечаются устойчивые тенденции к ослаблению ветра, в том числе ослабевают ветры характерных сезонных направлений; в холодный период это ветры материковых направлений, в теплый — морских направлений. Примерный период сдвига рядов скорости ветра — конец 80-х гг. прошлого века. При этом циркуляционная система остается стабильной — генеральное направление воздушных течений над Охотским морем меняется слабо, с незначительными вариациями.

Ключевые слова: климатические тенденции, режим ветра, Охотское море, атмосферная циркуляция, прибрежные станции.

DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-159-166.

Mezentseva L.I., Fedulov A.S. Recent changes of the wind regime characteristics at stations of the Okhotsk Sea coast // *Izv. TINRO.* — 2017. — Vol. 190. — P. 159–166.

Wind regime at the Okhotsk Sea coast is considered on the base of anemometer data obtained by the Hydrometeorological Centre of Russia since early 1970s (vanes were used for the wind rate measurements before). Climatic-scale trends in wind direction and wind rate are revealed for the 43 years period. The wind rate has a tendency to decreasing in all seasons, in spite of seasonal change of the dominant direction, with the regime shift in the late 1980s. However, the main patterns of the atmospheric circulation over the Okhotsk Sea have changed slightly, so the direction of the prevailing winds is rather stable: weakening of the zonal wind component in winter was observed for several stations in the late 1990s — early 2000s only and insignificant weakening of the meridional (south) wind component occurred in summer.

Key words: climatic trend, wind regime, Okhotsk Sea, atmospheric circulation, coastal meteorological station.

Введение

Как меняется атмосферная циркуляция в регионе? В данной работе этот вопрос исследуется на основе детального изучения изменений характеристик ветра на прибрежных станциях Охотского моря за методически однородный период наблюдений

* Мезенцева Людмила Ивановна, кандидат географических наук, доцент, e-mail: LMezenceva@ferhri.ru; Федулов Александр Сергеевич, аспирант, e-mail: ffor7a@gmail.com.

Mezentseva Ludmila I., Ph.D., assistant professor, e-mail: LMezenceva@ferhri.ru; Fedulov Alexander S., postgraduate student, e-mail: ffor7a@gmail.com.

за ветром, период анемометрических наблюдений. Масштабные работы на шельфе Сахалина и севере Охотского моря, строительные предпроектные изыскания требуют точных ответов на поставленный вопрос.

Сравнения современных средних многолетних обобщений параметров ветра с опубликованными ранее режимными данными* указывают на значимые изменения скоростей ветра на прибрежных территориях Дальнего Востока (Мезенцева, 2010; Кубай и др., 2012; Плотников и др., 2015). Следует отметить, что обработка данных скорости ветра, принятая в научно-прикладных справочниках 1990 г. (для Камчатской области более позднее издание 2001 г.**), включала период наблюдений с 1966 г., начало периода с 8 сроками наблюдений за сутки, по 1980 г. включительно. Для подавляющего большинства станций наблюдательной сети Росгидромета этот период является методически неоднородным для рядов ветра. Примерно в середине этого периода на станциях дальневосточных управлений Росгидромета была произведена замена флюгеров на анеморумбометры. При обработке параметров ветра, несмотря на приведение флюгерных данных к анемометрическим (при больших скоростях ветра флюгерные измерения завышают скорость ветра по отношению к анемометрическим), ряды скорости ветра за этот период нельзя считать однородными.

Цель работы — провести анализ климатических тенденций характеристик ветра на прибрежных станциях Охотского моря на основе данных анемометрических наблюдений за период с начала 1970-х гг. и по 2015 г.

Материалы и методы

В работе использовались накопленные к настоящему времени многолетние данные только анемометрических наблюдений за ветром, таким образом исключалась методическая неоднородность рядов. При этом «ползущая» неоднородность, связанная с урбанизацией, вырубкой лесов или, наоборот, зарастанием местности вокруг метеорологической площадки не исключается. Использовались данные наблюдений за ветром на восьми прибрежных станциях Охотского моря: Оха, Ноглики, Комрво, Корсаков — восточное побережье Сахалина, Магадан — северное побережье моря, Ича и Усть-Хайрюзово — западное побережье Камчатки, Курильск — Курильская гряда (рис. 1). Начало периода для каждой станции определялось временем установки анеморумбометра, окончание периода обобщений — 2015 г.

Результаты и их обсуждение

Прежде всего оценивались изменения средних многолетних значений скорости ветра по указанным станциям. В табл. 1 приведены средние скорости ветра по месяцам и за год по выбранным станциям за период с момента установления анеморумбометров на станциях (1966–1977 гг. в зависимости от станции) по 2015 г. В скобках указана разница рассчитанных средних значений скорости с данными Научно-прикладных справочников 1990 г.

Анализ изменений скорости ветра относительно более ранних обобщений однозначно указывает на значимое ослабление ветра на побережье Охотского моря. Для половины выбранных станций средние годовые значения скорости ветра уменьшились на 1 м/с и более, на остальных станциях — несколько меньше. В годовом ходе наиболее заметное ослабление ветра характерно для месяцев холодной половины года. Незначительные изменения (на уровне 5 %) средних многолетних значений скорости ветра (оценивались с помощью критерия Стьюдента) лишь на станциях Ноглики (се-

* Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 33: Магаданская область. 566 с.; Вып. 34: Сахалинская область. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 351 с.

** Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 27: Камчатская область. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 597 с.

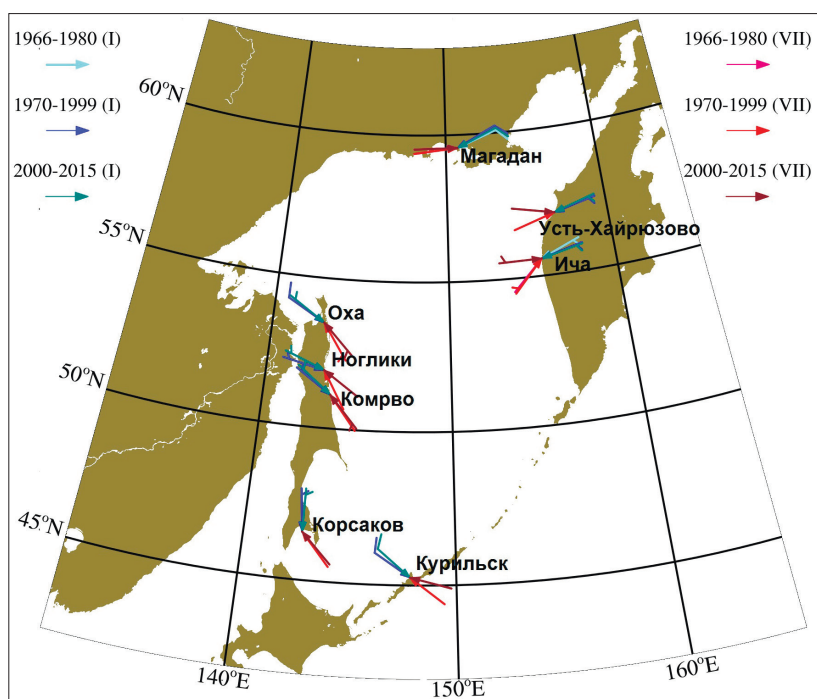


Рис. 1. Метеорологические станции на побережье Охотского моря, данные которых использованы для анализа характеристик ветра, и результирующий ветер за разные периоды усреднения в январе (I) и июле (VII)

Fig. 1. Meteorological stations at Okhotsk Sea coast which data are analyzed and resultant wind rate and direction in January (I) and June (VII) for certain periods of averaging

Таблица 1

Средние многолетние значения скорости ветра (м/с) на прибрежных станциях Охотского моря и разница (значение в скобках, м/с) между рассчитанными значениями скорости и данными Научно-прикладных справочников 1990 г.

Table 1

Mean wind rate (m/s) at the coastal stations of the Okhotsk Sea and its difference between the periods of 1973–2015 and 1960–1980s

Название станции	Время замены флюгера на анеморумбометр	Месяц												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Оха	XII 1972	5,4 (-0,9)	4,8 (-2,0)	4,5 (-1,3)	4,6 (-1,2)	4,5 (-0,7)	4,1 (-0,8)	4,0 (-0,9)	3,8 (-0,8)	4,0 (-1,2)	4,7 (-1,1)	5,4 (-0,9)	5,6 (-1,6)	4,6 (-1,1)
Ноглики	IX 1971	4,1 (-0,4)	3,9 (-0,5)	3,9 (-0,5)	4,0 (-0,3)	3,9 (-0,1)	3,5 (-0,2)	3,2 (-0,2)	3,2 (+0,1)	3,5 (-0,1)	3,9 (0,0)	4,1 (-0,4)	4,2 (-0,4)	3,8 (-0,2)
Комрво*	VII 1977	4,3	4,0	3,9	3,7	3,4	3,0	2,7	2,8	3,2	3,8	3,8	4,1	3,6
Корсаков	X 1972	3,4 (-1,1)	3,1 (-1,5)	3,5 (-1,2)	3,5 (-1,2)	3,5 (-1,2)	2,9 (-1,0)	2,6 (-0,9)	2,7 (-0,7)	3,0 (-1,3)	3,7 (-1,0)	4,0 (-1,4)	3,5 (-1,7)	3,3 (-1,2)
Курильск	XII 1972	7,1 (-1,2)	6,0 (-0,9)	5,2 (-1,1)	4,3 (-1,0)	3,9 (-0,9)	2,8 (-0,6)	2,5 (-0,5)	2,9 (-0,4)	3,9 (-0,9)	5,4 (-0,8)	6,9 (-1,0)	7,3 (-1,2)	4,8 (-0,9)
Магадан (бухта Нагаева)	V 1966	4,4 (-1,6)	4,1 (-1,9)	3,9 (-1,4)	3,6 (-1,2)	3,3 (-0,9)	3,3 (-0,7)	3,1 (-0,8)	3,0 (-0,8)	3,2 (-1,1)	3,8 (-1,1)	4,4 (-1,7)	4,5 (-2,3)	3,7 (-1,3)
Ича	XI 1974	4,3 (-0,4)	4,2 (-0,3)	4,2 (-0,5)	4,7 (-0,4)	4,6 (-0,2)	4,3 (-0,2)	3,9 (-0,4)	4,5 (+0,3)	4,5 (0,0)	5,1 (-0,5)	5,6 (-0,3)	4,7 (-0,6)	4,5 (-0,3)
Усть-Хайрюзово	VIII 1972	3,9 (-1,2)	4,0 (-1,0)	4,0 (-1,1)	4,4 (-0,7)	4,3 (-0,5)	4,3 (-0,4)	3,8 (-0,6)	4,0 (-0,3)	4,0 (-0,3)	4,1 (-0,8)	4,5 (-0,5)	4,0 (-1,0)	4,1 (-0,7)

* Данные наблюдений метеорологической станции Комрво не входят в Научно-прикладной справочник Сахалинской области 1990 г., станция к моменту издания имела короткий ряд наблюдений.

веро-восточное побережье Сахалина) и Ича (северо-западное побережье Камчатки) для большинства месяцев года.

На следующем этапе по выбранным станциям отслеживались изменения скорости ветра по отдельным румбам каждого месяца. Это позволило выявить, какие направления ветра «ответственны» за его ослабление. Принималась во внимание повторяемость направлений ветра в каждом месяце, поскольку для всех станций характерен ярко выраженный годовой ход как значений скорости ветра, так и преобладающих направлений.

В табл. 2 для каждой станции приведены преобладающие направления ветра в январе и июле и параметры линейного тренда для скорости ветра выделенного направления, за λ принят коэффициент линейного тренда (м/с · 10 лет), R^2 — коэффициент детерминации.

Таблица 2

Преобладающие сезонные направления ветра и параметры линейного тренда за период анемометрических наблюдений на прибрежных станциях Охотского моря

Table 2

Prevailing wind direction, by seasons, and its linear trend for the period of anemometric observations at the coastal stations of Okhotsk Sea

Название станции	Январь			Июль		
Оха	W 43 %	NW 35 %	N 7 %	SE 34 %	S 18 %	E 14 %
	$\lambda = -0,44$ $R^2 = 0,15$	$\lambda = -0,90$ $R^2 = 0,28$	$\lambda = -0,86$ $R^2 = 0,12$	$\lambda = -0,08$ $R^2 = 0,02$	$\lambda = -0,24$ $R^2 = 0,10$	$\lambda = -0,14$ $R^2 = 0,07$
Ноглики	W 38 %	SW 24 %	NW 18 %	SE 26 %	E 20 %	S* 11 %
	$\lambda = -0,21$ $R^2 = 0,27$	$\lambda = -0,34$ $R^2 = 0,56$	$\lambda = -0,19$ $R^2 = 0,06$	$\lambda = -0,24$ $R^2 = 0,26$	$\lambda = -0,22$ $R^2 = 0,17$	$\lambda = -0,24$ $R^2 = 0,31$
Комрво	NW 40 %	W 39 %	N 11 %	SE 36 %	S 22 %	N 16 %
	$\lambda = +0,12$ $R^2 = 0,04$	$\lambda = -0,14$ $R^2 = 0,05$	$\lambda = +0,24$ $R^2 = 0,05$	$\lambda = +0,27$ $R^2 = 0,24$	$\lambda = -0,06$ $R^2 = 0,01$	$\lambda = -0,01$ $R^2 = 0,00$
Корсаков	N 34 %	NE 21 %	NW 16 %	S 27 %	E 23 %	SW* 14 %
	$\lambda = -0,39$ $R^2 = 0,47$	$\lambda = -0,85$ $R^2 = 0,55$	$\lambda = -0,48$ $R^2 = 0,25$	$\lambda = -0,37$ $R^2 = 0,55$	$\lambda = -0,30$ $R^2 = 0,30$	$\lambda = -0,25$ $R^2 = 0,36$
Курильск	NW 38 %	W 27 %	N* 10 %	E 34 %	W 23 %	S* 10 %
	$\lambda = -0,72$ $R^2 = 0,32$	$\lambda = -0,95$ $R^2 = 0,39$	$\lambda = -0,27$ $R^2 = 0,02$	$\lambda = -0,29$ $R^2 = 0,10$	$\lambda = -0,28$ $R^2 = 0,19$	$\lambda = -0,56$ $R^2 = 0,31$
Магадан (бухта Нагаева)	NE 53 %	E 38 %	N 5 %	W 49 %	E 22 %	SW* 10 %
	$\lambda = -0,16$ $R^2 = 0,09$	$\lambda = -0,24$ $R^2 = 0,07$	$\lambda = -0,91$ $R^2 = 0,42$	$\lambda = -0,04$ $R^2 = 0,02$	$\lambda = -0,21$ $R^2 = 0,19$	$\lambda = -0,17$ $R^2 = 0,12$
Ича	E 29 %	NE 27 %	N 13 %	S 24 %	N 21 %	SW 21 %
	$\lambda = -0,14$ $R^2 = 0,04$	$\lambda = -0,26$ $R^2 = 0,11$	$\lambda = -0,62$ $R^2 = 0,25$	$\lambda = -1,00$ $R^2 = 0,50$	$\lambda = -0,24$ $R^2 = 0,11$	$\lambda = -0,13$ $R^2 = 0,01$
Усть-Хайрюзово	SE 31 %	NE 21 %	N 18 %	N 28 %	S 24 %	SW 14 %
	$\lambda = -0,17$ $R^2 = 0,14$	$\lambda = -0,26$ $R^2 = 0,06$	$\lambda = -0,61$ $R^2 = 0,20$	$\lambda = -0,41$ $R^2 = 0,30$	$\lambda = -0,64$ $R^2 = 0,43$	$\lambda = -0,70$ $R^2 = 0,39$

* Приведена характеристика ветра для румба, повторяемость которого характерна для выделенного месяца, но уступает по повторяемости направлениям, обусловленным орографическими эффектами.

Для станций восточного побережья Сахалина и Курильской гряды ветры материковых направлений W, NW и N, преобладающие в холодную половину года, ослабевают в зимние месяцы на 0,2–0,9 м/с за 10 лет (рис. 2). Коэффициенты детерминации линейных трендов для рядов скорости ветра этих направлений в большинстве случаев преодолевают критическое значение 0,12–0,09 (в зависимости от длины ряда) при 5 %-ном уровне значимости. Исключением является станция Комрво, для которой значимых климатических тенденций для рядов скорости ветра не выявлено.

Для северного и северо-восточного побережья моря (станции Магадан, Ича и Усть-Хайрюзово) прослеживаются те же, но более слабые тенденции (рис. 3). На этих

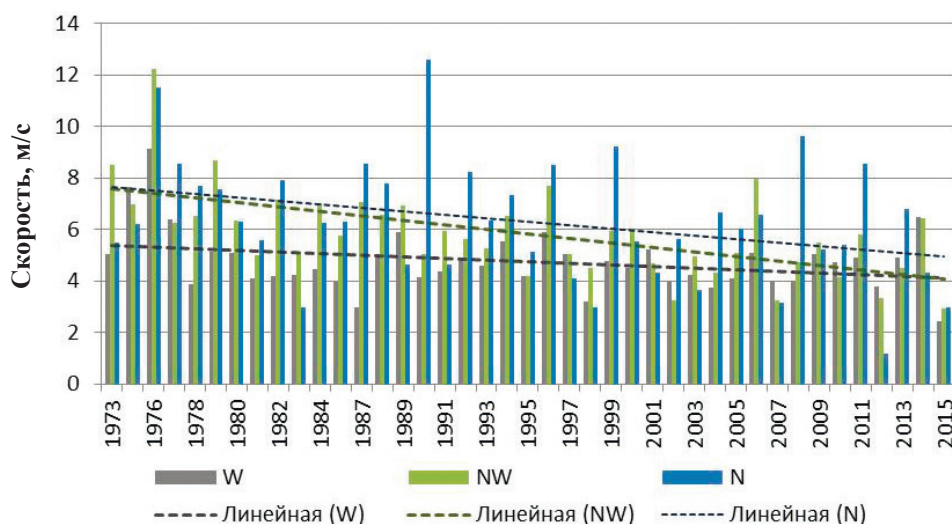


Рис. 2. Многолетний ход средней месячной скорости ветра *W*, *NW* и *N* направлений на станции Оха в феврале (направления указаны в порядке убывания повторяемости)

Fig. 2. Dynamics of the mean wind rate for western, northwestern and northern winds at Okha station in February (directions are listed in descending order of repeatability)

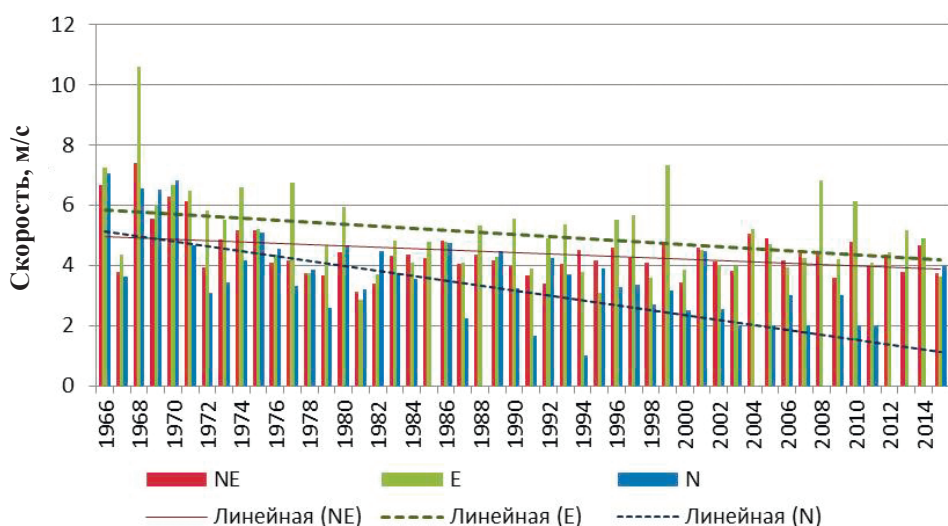


Рис. 3. Многолетний ход средней месячной скорости ветра *NE*, *E* и *N* направлений на станции Магадан в декабре (направления указаны в порядке убывания повторяемости)

Fig. 3. Dynamics of the mean wind rate for northeastern, eastern and northern winds at Magadan station in December (directions are listed in descending order of repeatability)

станциях зимние ветры (*E*, *NE* и *N*) также ослабевают со скоростью 0,1–0,6 м/с за 10 лет, коэффициенты детерминации чаще всего находятся в пределах 0,1–0,2.

Для летних месяцев ослабление ветра преобладающих направлений также присутствует, для станций Ноглики, Корсаков, Курильск и Ича значимое на уровне 5 %. На других станциях тенденции к ослаблению преобладают для большинства характерных сезонных направлений ветра, но на более низком уровне значимости. Вновь выбивается из общей картины лишь станция Комрво, для которой ветры *SE* румба, преобладающие летом, даже усилились за исследуемый период. На рис. 4 приведен пример многолетнего хода скорости ветра преобладающих направлений в июне для станции Корсаков, коэффициенты детерминации линейных трендов для выделенных направлений ветра находятся в пределах 0,3–0,6.

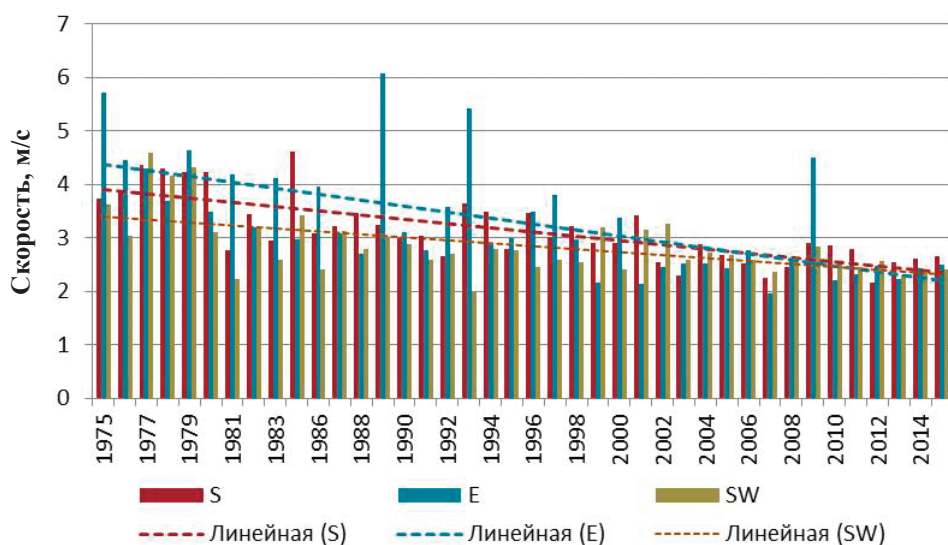


Рис. 4. Многолетний ход средней месячной скорости ветра *S*, *E* и *SW* направлений на станции Корсаков в июне (направления указаны в порядке убывания повторяемости)

Fig. 4. Dynamics of the mean wind rate for southern, eastern and southwestern winds at Korsakov station in June (directions are listed in descending order of repeatability)

Обобщая результаты исследований многолетних тенденций (примерно полувековых) скоростей ветра на прибрежных станциях Охотского моря, можно говорить об ослаблении ветра над Охотским морем почти во все сезоны года, кроме отдельных месяцев: апреля и мая. При этом для большинства станций на рубеже 1980 г. произошел значимый сдвиг скоростей ветра в сторону их ослабления. На фоне более низких скоростей ветра последнего периода следует отметить относительное усиление ветров холодного полугодия в период 2006–2011 гг., что особенно заметно по станциям северного побережья моря и восточного Сахалина.

Результаты совместного использования Фурье- и вейвлет-анализа свидетельствуют о существовании более высоких, чем полувековые, частот изменения скоростей ветра. Например, для январских скоростей ветра в Магадане спектрограмма Фурье-преобразования позволила выделить частоты 7,0, 2,9 и 3,2 года, при этом вейвлетограмма показывает, что 7-летний цикл характерен для всего ряда наблюдений, 2,9 года — для периода 1970–1990 гг. и 3,2 — для периода после 2000 г.

Прослеживая тенденции меридиональной (*V*) и зональной (*U*) компонент ветра и в итоге результирующий ветер на прибрежных станциях за отдельные месяцы, попытались выявить изменения атмосферной циркуляции над Охотским морем. Согласованности в наступлении периодов с преобладанием аномалий одного знака компонент *V* и *U* для выбранных станций не выявлено, также не прослеживаются определенных закономерностей в смене знака аномалий *V* и *U* от месяца к месяцу. Можно лишь приблизительно указать 1990 ± 2 года как условную границу, когда ветер стал ослабевать преимущественно за счет деградации зональной составляющей в зимний период (на рис. 5 этот процесс демонстрируется на примере станции Оха в январе) и меридиональной летом.

Суммируя компоненты *V* и *U* в пределах от начала анемометрических наблюдений до 1999 и 2000–2015 гг., определили результирующий ветер за эти периоды, близкие по продолжительности. Результирующие вектора ветра для января и июля для указанных периодов приведены на рис. 1. Для двух станций — Магадана и Ичи — из справочников на этом рисунке добавлен результирующий ветер за 1966–1980 гг. (для июля вектора плохо различимы, совпадают с вектором 1970–1999 гг.). Детально компоненты результирующего ветра для разных периодов усреднения представлены в табл. 3.

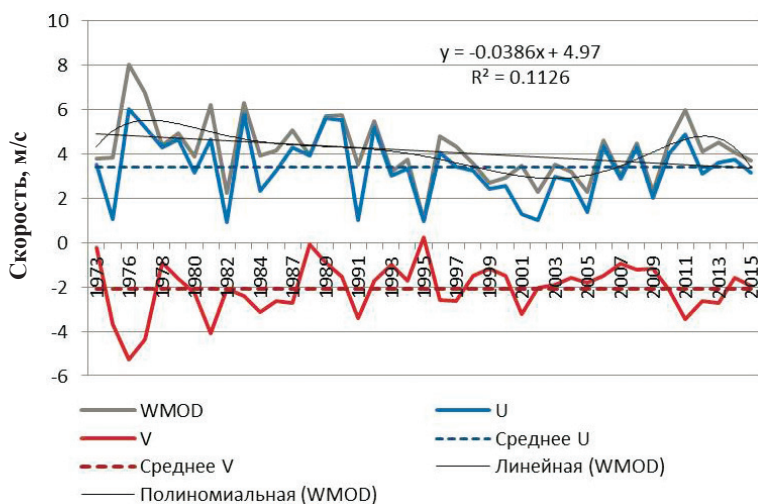


Рис. 5. Многолетний ход средней месячной скорости ветра $WMOD$ и его зональной U и меридиональной V компонент на станции Оха в январе, приведены уравнение линейного тренда и коэффициент детерминации для $WMOD$

Fig. 5. Dynamics of the mean resultant wind rate and its zonal (U) and meridional (V) components at Okha station in January. Linear trend equation and coefficient of determination are shown for the resultant wind rate

Таблица 3

Меридиональная (V) и зональная (U) компоненты результирующего ветра и его модуль $WMOD$ на прибрежных станциях Охотского моря

Table 3

Meridional (V) and zonal (U) components of resultant wind and its module rate at the coastal stations of the Okhotsk Sea

Период обобщений	Компоненты ветра					
	Для января			Для июля		
	U	V	WMOD	U	V	WMOD
<i>Магадан</i>						
1970–1999	–3,4	–1,9	3,9	1,0	0,1	1,0
2000–2015	–3,5	–1,7	3,9	1,1	0,0	1,1
1966–1980	–4,0	–1,7	4,3	0,6	0,0	0,6
<i>Оха</i>						
1973–1999	3,6	–2,1	4,2	–1,1	1,6	2,0
2000–2015	3,0	–2,0	3,6	–1,4	1,4	2,0
<i>Ноглики</i>						
1972–1999	2,6	–0,6	2,6	–0,6	1,0	1,2
2000–2015	2,2	–0,9	2,4	–0,9	0,6	1,1
<i>Комрво</i>						
1978–1999	2,6	–1,8	3,1	–0,8	1,0	1,3
2000–2015	2,6	–2,1	3,3	–0,9	1,0	1,3
<i>Корсаков</i>						
1975–1999	0,2	–1,9	2,0	–0,7	0,8	1,1
2000–2015	0,0	–1,4	1,4	–0,6	0,6	0,8
<i>Курильск</i>						
1973–1999	4,2	–2,9	5,1	–0,4	0,3	0,5
2000–2015	3,2	–2,8	4,2	–0,4	0,1	0,5
<i>Ича</i>						
1975–1999	–1,8	–0,5	1,8	1,10	1,20	1,7
2000–2015	–2,0	–0,5	2,1	1,30	0,0	1,3
1966–1980	–1,6	–0,7	1,7	0,35	0,35	1,5
<i>Усть-Хайрюзово</i>						
1973–1999	–1,9	–0,5	2,0	1,0	0,3	1,1
2000–2015	–1,9	–0,6	2,0	0,9	–0,2	0,9

Анализ усредненных компонент ветра и результирующих векторов за разные периоды позволяет сделать вывод о стабильности циркуляционной системы: генеральное направление воздушных течений над Охотским морем не претерпело значимых изменений. При этом можно говорить о некотором ослаблении зональной составляющей ветра в конце прошлого века и начале нынешнего в зимний период на ряде станций: Оха, Ноглики, Курильск. В летние месяцы на большинстве станций присутствует деградация меридиональной (южной) составляющей ветра. В большинстве случаев она незначительная, но для восточного побережья моря меридиональная составляющая изменилась в значительной степени (табл., 3 станции Ича и Усть-Хайрюзово), проверка с помощью критерия Стьюдента показала значимые различия выборок с 95 %-ной вероятностью.

Выводы

Обобщая анализ климатических тенденций характеристик ветра на прибрежных станциях Охотского моря за период от начала 70-х гг. прошлого столетия до настоящего времени (период анемометрических наблюдений), можно отметить следующее.

На побережье Охотского моря наблюдаются устойчивые тенденции к ослаблению ветра во все сезоны года, в том числе ослабевают ветры характерных сезонных направлений: в холодный период – это ветры материковых направлений, в теплый — морских направлений.

Примерный период сдвига рядов скорости ветра — конец 80-х гг. прошлого века.

При этом циркуляционная система остается стабильной – генеральное направление воздушных течений над Охотским морем меняется слабо, с незначительными вариациями, к которым следует отнести ослабление зональной составляющей ветра на ряде станций в зимний период в конце прошлого века и начале нынешнего, в летние месяцы на большинстве станций присутствует незначительная деградация меридиональной (южной) составляющей ветра.

Список литературы

Кубай Б.В., Мендельсон Э.А., Цурикова Т.В. Изменяется ли климат Приморского края? : моногр. — Владивосток : Примгидромет, 2012. — 130 с.

Мезенцева Л.И. Создание диагностической модели для расчета параметров ветра по пунктам со сложной орографией : дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 2010. — 115 с.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 159 с.

Поступила в редакцию 29.05.17 г.

Принята в печать 12.07.17 г.