

Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов

## **РЕЖИМ ВЕТРА НАД ПОБЕРЕЖЬЕМ И ШЕЛЬФОМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Приведена современная оценка параметров режима ветра северо-восточной части Черного моря по данным 9 береговых станций на основе срочных натурных наблюдений (1945-2005 гг.), средних годовых и месячных величин (1892-2005 гг.), а также для морской акватории по данным полей давления и ветра (1960-1998 гг.). Рассмотрены особенности внутригодовой и пространственной изменчивости средних и экстремальных характеристик ветра. Исследована межгодовая изменчивость средних годовых и месячных значений скорости ветра, а также величин повторяемости штормовых градаций скорости ветра. Приведены характеристики наиболее сильных штормов, наблюдавшихся в северо-восточной части моря.

### **Введение**

Несмотря на наличие многочисленной справочной литературы с данными о режиме ветра над открытой частью и отдельными участками побережья Черного моря, опубликованные обобщения натурных данных соответствуют уровню знаний и информационным массивам 1960-80-х годов. Данные о ветровом режиме Черного моря, в том числе его северо-восточной части, приведены в ряде климатических пособий. Подробный анализ ветровых условий за период наблюдений с 1936 по 1965 гг. представлен в [1]. В работе [2] средние многолетние характеристики ветра были уточнены с использованием данных за период с 1972 по 1985 гг. По объему материала и степени анализа гидрометеорологических условий эти две работы являются основными режимно-климатическими пособиями для Черноморского региона. Некоторая информация о климатических характеристиках ветра на черноморском побережье Украины, рассчитанных за период 1960-1990 гг., приведена в монографии "Климат Украины" [3].

В условиях глобального потепления климата за последние 20-25 лет, которые оказались аномальными по отношению к вековым рядам, актуальность проблемы изменений ветрового режима морских регионов значительно возросла. По литературным источникам, отмечается

тенденция уменьшения скорости приземного ветра в XX веке для разных регионов СНГ, в частности, на севере Евразийского континента [4], на южном побережье Крыма [5-7]. Поэтому важно получить количественные оценки климатических изменений скорости ветра в северо-восточной части Черного моря (СВЧМ), уточнить среднегодовые нормы, используемые при проектировании гидротехнических и других сооружений. Касательное ветровое напряжение на поверхности моря является главной движущей силой для ветрового волнения и циркуляции вод. Оно определяет степень воздействия штормовых волн на побережье, морской транспорт, нефтегазовые гидротехнические сооружения, а также обуславливает ветровой дрейф в верхнем слое моря и, в целом, течения в масштабах всего морского бассейна. Под влиянием вдольбереговых ветров возникают сгонно-нагонные явления, процессы апвеллинга, которые приводят к колебаниям уровня моря и быстрым изменениям температуры воды – от 20-25°C до 8-12°C, неблагоприятных для рекреационного использования прибрежной зоны. Подъемы уровня приводят к подтоплению берегов, оползням, а штормовое волнение на фоне повышенного уровня усугубляет обрушение берегов и построек. Возникающие при апвеллингах динамические возмущения в прибрежной зоне приводят к подъему на поверхность не только холодных, но и загрязненных вод в местах глубоководных выпусков техногенных и сточных вод, или, наоборот, способствуют водообмену с открытым морем и очищению прибрежных вод. Таким образом, ветровые условия оказывают влияние на процессы самоочищения и, тем самым, на качество вод бухт, заливов и прибрежной зоны, их экологическое состояние.

В основу работы положены данные географической информационной системы (ГИС) "Гидрометеорология Черного и Азовского морей", созданной в МО УкрНИГМИ [8], в которой систематизирована основная информация по наблюдениям на береговых станциях и экспедиционных судах.

### **Использованные материалы**

В работе использованы материалы многолетних регулярных наблюдений за ветром в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря, которые были проведены на морской сети станций Гидрометслужбы Украины в период с 1887 по 2005 гг. Для анализа были выбраны 9 репрезентативных станций на побережье северо-восточной части Черного моря (рис. 1) с продолжительностью наблюдений от 50 до

112 лет, представляющих все характерные в климатическом и ландшафтном отношении районы северо-восточного побережья моря (табл. 1). На береговых станциях измерения скорости и направления ветра были произведены сначала флюгерами с легкой и тяжелой досками, а затем с 1978 г., стандартными анеморумбометрами ГМ-63. В течение длительного периода наблюдений на станциях изменялись не только

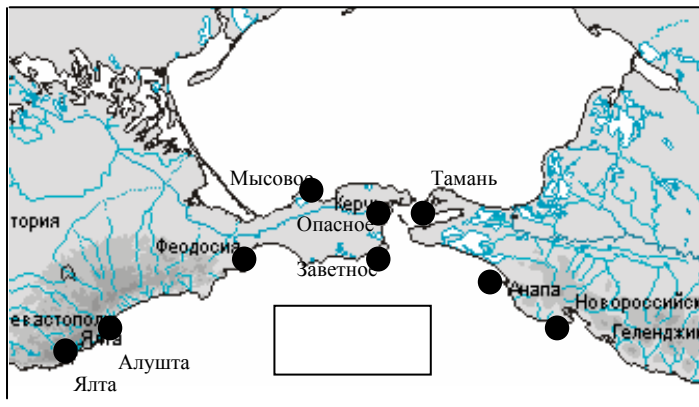


Рис. 1. Расположение береговых гидрометеорологических станций

ветроизмерительные приборы, но и высота их установки, местоположение метеоплощадок и их защищенность в результате застройки или роста деревьев. Насколько велико влияние этих методических и антропогенных факторов на результаты измерений, и не являются ли они причиной уменьшения скорости ветра? Эту проблему подробно рассматривали специалисты научно-методических и научных учреждений Гидрометслужбы России на материалах срочных наблюдений 23 континентальных и береговых (северные моря) станций [4]. В результате анализа сделан вывод о том, что помимо методических причин и антропогенного влияния, повсеместное уменьшение скорости ветра в течение длительного периода может определяться изменениями климата. Такой же вывод сделан на основании анализа данных о ветрах в прибрежной зоне Крыма [5-7]. Станции на побережье Черного моря являются частью сети Гидрометслужбы бывшего СССР (как и станции других стран СНГ). Измерители ветра были заменены на всей сети примерно в одно время, методика и средства измерений ветра до настоящего времени нигде не изменены. Поэтому упомянутые методические выводы вполне применимы и к метеорологическим станциям Азово-Черноморского бассейна. Дополнительным доводом, подтверждающим достоверность общего уменьшения скорости приземного ветра в Черноморском регионе, является очевидная тенденция снижения, за те же периоды, повторяемости штормового волнения на большей части волномерных постов морской сети Украины [5-7], наблюдения на которых независимы от измерений ветра.

В ряде графиков совмещены данные наблюдений станций, имеющих разные периоды наблюдений для представления, по возможности, полной информации выбранных станций. При климатических оценках это

Таблица 1  
Береговые станции, периоды и продолжительность измерений скорости и направления ветра

№	Станция	Период, (гг.)	Среднемесячных (лет)	Срочных (лет)
1	Ялта	1902-2005	103	60
2	Алушта	1948-2005	58	58
3	Феодосия	1899-2005	106	58
4	Мысовое	1926-2005	79	56
5	Опасное	1945-2005	61	60
6	Заветное	1950-2005	55	55
7	Тамань	1939-1989	50	48
8	Анапа	1917-2004	87	45
9	Новорос-сийск	1892-2004	112	45

учитывали, расчеты и сравнения трендов проводились только по синхронным рядам наблюдений.

Для характеристики ветровых условий в открытой части северо-восточного шельфа Черного моря был использован также цифровой массив атмосферного давления и расчетного ветра над Черным морем. Массив составлен по данным кольцевых синоптических карт в узлах регулярной сетки 20'×30' для каждых суток за период 1960-1998

гг. Ветер рассчитывали согласно методике, изложенной в Руководстве [9]. В таблицах и на графиках данные расчетного района на шельфе СВЧМ (см. рис. 1) представлены под названием "море".

### Скорость ветра

Северо-восточная часть Черного моря является одной из энергонесущих зон Азово-Черноморского бассейна и по отношению к другим районам Черного моря характеризуется наиболее интенсивной штормовой деятельностью. Большие скорости ветра отмечаются практически во всех частях побережья и во все сезоны года. Тем не менее выделяются зоны повышенной ветровой активности, где среднемноголетние значения скорости ветра превышают 5 м/с (Мысовое, Тамань, Анапа). Однако самые сильные ветры наблюдаются над открытой частью моря, а также в районах Новороссийска ("бора") и в Керченском проливе [1, 2]. При сравнении климатических норм скорости ветра за различные периоды оказалось, что средние величины, вычисленные по

рядом за 30-летний климатический период 1970-2000 гг. существенно ниже, чем за расчетные периоды 1936-1966 гг. [1] и 1971-1980 гг. [2]. На рис. 2а наглядно показано, что на станциях северо-восточного региона климатические нормы уменьшились на 0,2-1,2 м/с, а в среднем для представленного ряда станций на 0,7 м/с. Характер среднемесячных различий за указанные периоды на примере станции Феодосия показан на рис. 2б. Месячные нормы скорости ветра в районе этой станции в среднем на 1,2 м/с меньше ранее опубликованных.

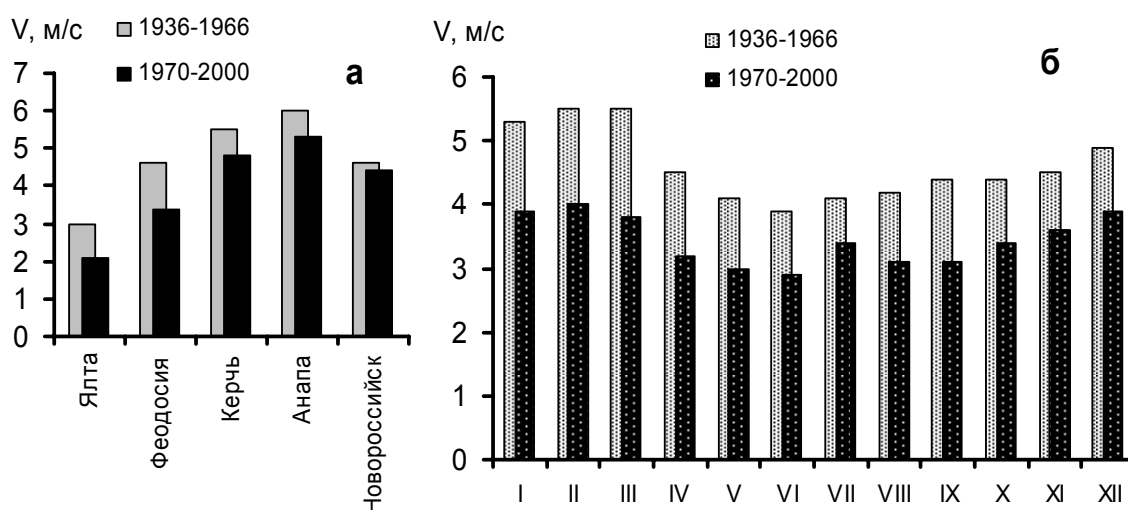


Рис. 2. Соотношение среднемноголетних величин скорости ветра на береговых станциях (а) и годовой ход среднемноголетней скорости ветра на станции Феодосия (б) за различные 30-летние климатические периоды

Для более детального исследования **межгодовой изменчивости** средней скорости ветра ( $V$ ) анализировали ряды средних годовых величин. В основном ряды не имеют перерывов, кроме 3-4 лет периода Второй мировой войны, когда наблюдения на всех станциях не производили. Поскольку ряды неоднородные (измерения проводили по флюгеру или анемометру), есть основания для сомнений: не является ли неоднородность измерений главной причиной уменьшения скорости ветра. Чтобы оценить величину возможных изменений скорости ветра за счет замен флюгеров на анемометры, которые проведены в 1970-80-х годах, были произведены тестовые перерасчеты скорости ветра. Для этого ряды срочных измерений скорости ветра по флюгеру пересчитали с учетом коэффициентов, используемых в климатических расчетах Гидрометеослужбы [4].

Несмотря на то, что длина некоторых рядов достигает 100-112 лет, с целью унификации статистического анализа и сравнимости трендов, при расчетах использовали ряды продолжительностью 90 лет (1915-2005 гг.), хотя аналогичные расчеты были проведены и для полных рядов. На рис. 3 представлен пример графиков межгодовой изменчивости средней

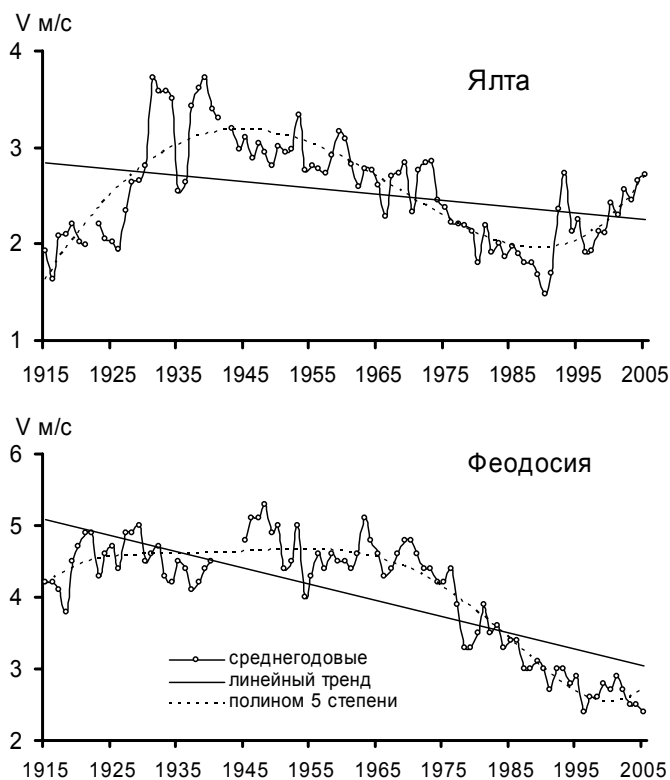


Рис. 3. Межгодовые изменения среднегодовых величин скорости ветра на станциях северо-восточного побережья Черного моря

скорости ветра на станциях Ялта и Феодосия. Эти ряды, как и ряды других станций СВЧМ, аппроксимируются очевидными отрицательными линейными трендами. Для оценки их статистической значимости использовали набор статистических параметров, расчеты которых обычно сопровождаются и оценкой коэффициентов уравнения линейной регрессии, описывающих наклон линии тренда [10]. Значимыми

принимались оценки трендов, при которых величины значимости тренда  $P_0 \leq 0,05$ , т.е. гипотеза о наличии значимого тренда подтверждается с вероятностью  $100(1-P_0) \geq 95\%$ . Статистические оценки трендов сведены в табл. 2.

Таким образом, угловые коэффициенты трендов среднегодовой скорости ветра ( $T_g$ ) изменялись от  $-0,007$  м/с/г до  $-0,023$  м/с/г, а общее уменьшение величин годовой скорости ( $\Delta g$  – разность между последним и первым значениями тренда) за 90-летний период изменялось в северо-восточной части от  $-0,6$  (Ялта) до  $-2,1$  м/с (Феодосия). По отношению к соответствующим среднемноголетним нормам скорости ветра это составило 22% и 53%. Понижение средней скорости ветра отмечается во все сезоны года, причем на большей части станций наиболее интенсивно оно происходит в зимний сезон ( $T_3, \Delta_3$ ).

Таблица 2

Характеристики линейных трендов годовых и сезонных (зима, лето) величин средней скорости ветра на береговых станциях СВЧЧМ

Станция	Период, гг.	$T_{г}$ , м/с/г	$P_0$	$\Delta_{г}$ , м/с	$T_{з}$ , м/с/г	$\Delta_{з}$ , м/с	$T_{л}$ , м/с/г	$\Delta_{л}$ , м/с
Ялта	1915-2005	-0,007	0,002	-0,6	-0,006	-0,54	-0,006	-0,54
Феодосия	1915-2005	-0,023	0,000	-2,1	-0,023	-2,07	-0,021	-1,89
Мысовое	1915-2005	-0,008	0,000	-0,7	-0,011	-0,99	-0,009	-0,81
Новороссийск	1915-2004	-0,010	0,000	-1,0	-0,009	-0,81	-0,005	-0,45

При сравнении трендов фактических и пересчитанных рядов оказалось, что те и другие аппроксимируются значимыми отрицательными линейными трендами. Однако угловые коэффициенты трендов пересчитанных рядов почти вдвое меньше фактических и нет уверенности в том, что использованные коэффициенты пересчета оптимальны для черноморского региона. Поэтому анализ был произведен по фактическим данным. Тем не менее, проведенные расчеты подтверждают реальность уменьшения скорости ветра в течение XX столетия.

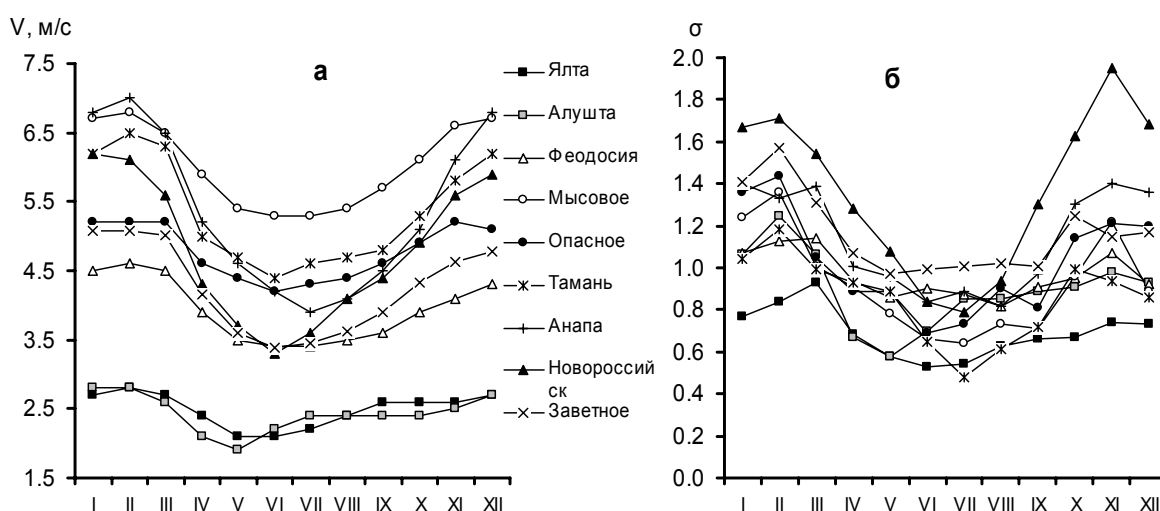


Рис. 4. Годовой ход скорости ветра (а) и с.к.о. (б) на береговых станциях северо-восточной части Черного моря

Скорость ветра имеет хорошо выраженный **годовой ход** с максимумом в холодный период и минимумом в теплый. Средние месячные скорости ветра, их среднеквадратичные отклонения по рассматриваемым станциям СВЧМ представлены на рис. 4. На рис. 4а приведены среднемноголетние месячные величины скорости ветра. Этот рисунок позволяет оценить амплитуды пространственных и сезонных изменений средней скорости ветра исследуемого региона.

Зимой в прибрежной зоне СВЧМ диапазон значений средней скорости ветра изменяется от 2,7-2,8 м/с на ЮБК до 6-7 м/с в районах Керченского пролива и Кавказа.

Летом скорость ветра уменьшается до 1,9-2,4 м/с и 3,3-5,3 м/с соответственно. Аналогичные графики для среднеквадратичных отклонений (с.к.о.) среднемесячной скорости ветра характеризуют долгопериодную изменчивость (рис. 4б), которая минимальна у берегов Крыма и максимальна на северо-востоке (Заветное-Новороссийск). Скорость ветра в районе каждой станции зависит не только от времени года, но и от рельефа побережья. Поэтому на таких открытых станциях, как Мысовое, Опасное, Тамань и Анапа в наиболее ветреные годы среднемесячные скорости ветра зимой достигают 9-13 м/с, а в Новороссийске (Цемесская бухта) 15 м/с, т.е. в холодный период ветры штормовой силы могут действовать на протяжении всего месяца. Максимальные среднемесячные скорости ветра чаще всего наблюдаются в ноябре-марте. Полученные по срочным наблюдениям максимальные скорости ветра в районах Анапы и Новороссийска достигали 35-40 м/с. Среднее число дней с сильным ветром ( $\geq 15$  м/с) изменяется от 22-25 дней у восточного побережья Крыма до 55 дней в районе Новороссийска.

Наряду со средними и максимальными величинами скорости ветра практический интерес представляют сведения о **повторяемости** различных градаций скорости. Кривые распределения повторяемости скорости ветра (рис. 5), рассчитанные по рядам среднесуточных значений с интервалом в 1 м/с, показывают, что наибольшая повторяемость слабых ветров (0-5 м/с) отмечена на восточном берегу Крыма (Ялта – 90%, Феодосия – 78%) и в южной части Керченского пролива (Заветное – 71%). Значительно реже слабые ветры наблюдаются в северной части Керченского пролива (54%), у Кавказского побережья (54%) и в открытой части шельфа (46-52%), где повторяемость сильных ( $>10$ ) ветров



максимальна. Например, в центральной части северо-восточного шельфа и шельфа у Анапы она достигает 16% от всего количества наблюдений.

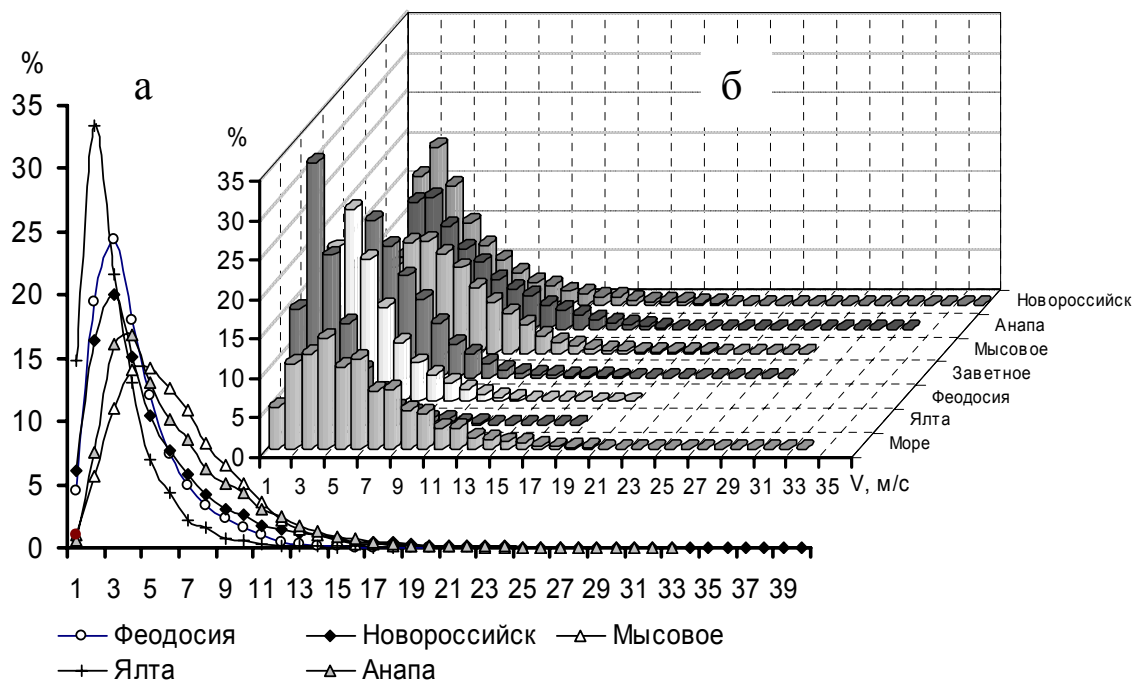


Рис. 5. Кривые распределения суммарной повторяемости (а) и гистограммы повторяемости (б) среднесуточной скорости ветра в северо-восточной части Черного моря

Ветры ураганной силы, скорость которых превышает 25 м/с, наблюдаются на большинстве станций, но имеют небольшую повторяемость (0,08-0,09%). На станциях Керченского полуострова – это 2-5 сут., в Анапе до 16 сут., а в Новороссийске повторяемость таких ветров 1,5%. Это свыше 50 сут. за периоды наблюдений, указанные в табл. 1. Относительное распределение повторяемости ветров в разных районах побережья можно оценить по рис. 5а, а наглядное представление о величинах повторяемости и скоростях сильных ветров в исследуемом регионе дают гистограммы рис. 5б. Сезонные изменения повторяемости сильных ветров ( $\geq 10$  м/с) и случаев отсутствия ветра (штилей) показаны на рис. 6.

С октября по март повторяемость случаев сильных ветров изменяется от 2,5-5,0% в районах южного и восточного берегов Крыма (Ялта, Алушта, Феодосия) до 16-21% у Кавказского побережья и 24-26% в открытой части северо-восточного шельфа (рис. 6а).

В период с мая по август повторяемость штормов уменьшается до 3-5% у Анапы и Мысового и до 0,3-0,5% в районе ЮБК. Летом на побережье СВЧМ преобладает маловетренная погода, однако случаи

полного штиля на открытых участках побережья очень редки. Например, в центральной части шельфа и у Кавказского побережья повторяемость штилей в течение всего года менее 2%, в районе Керченского пролива – 3-9%. Только в Феодосийском заливе повторяемость штилей в весенне-летний период достигает 9-12%, а в Цемесской бухте даже 15-17% (рис.6б).

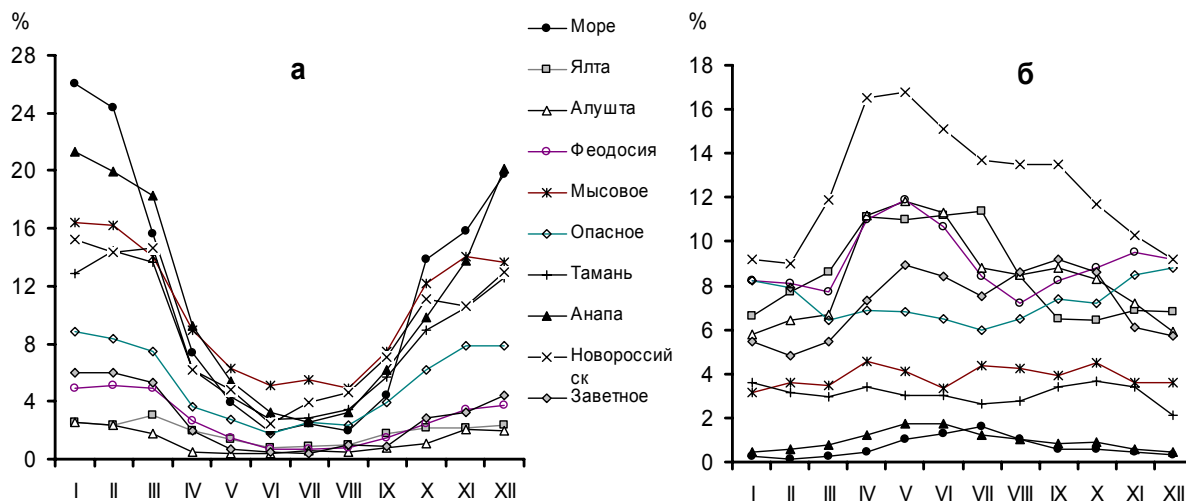


Рис. 6. Годовой ход повторяемости (%) штормового ( $\geq 10$  м/с) ветра (а) и штилей (б) на береговых станциях и в центральной части северо-восточного шельфа (море)

Относительно небольшая повторяемость штилей связана с бризовой циркуляцией в прибрежной зоне, в результате которой днем ветры дуют с более прохладной водной поверхности на сильно прогретый берег, а ночью – с берега. Наблюдаются бризы с апреля по октябрь, но их наибольшая повторяемость отмечена в июле и августе, когда бризовые ситуации могут удерживаться большую часть месяца.

Основные **направления ветра** над Черным морем определяются распределением атмосферного давления в различные сезоны года. В холодный период под влиянием циклонических областей над Средиземным и Черным морями преобладает перенос континентального полярного воздуха, сопровождающийся северо-восточными, северными и северо-западными ветрами. Летом преобладающее влияние Азорского максимума вызывает западные, юго-западные и южные ветры [1].

Особенности ветрового режима связаны не только с общециркуляционными синоптическими процессами, но с рельефом, ориентацией и конфигурацией берегов отдельных регионов прибрежной

зоны, поэтому СВЧМ имеет свои особенности. На рис. 7 представлены средние годовые розы повторяемости ветра по направлениям, на которых изображены контуры линий суммарной повторяемости для всех градаций и линий, соответствующих повторяемости ветров  $< 10$  м/с.

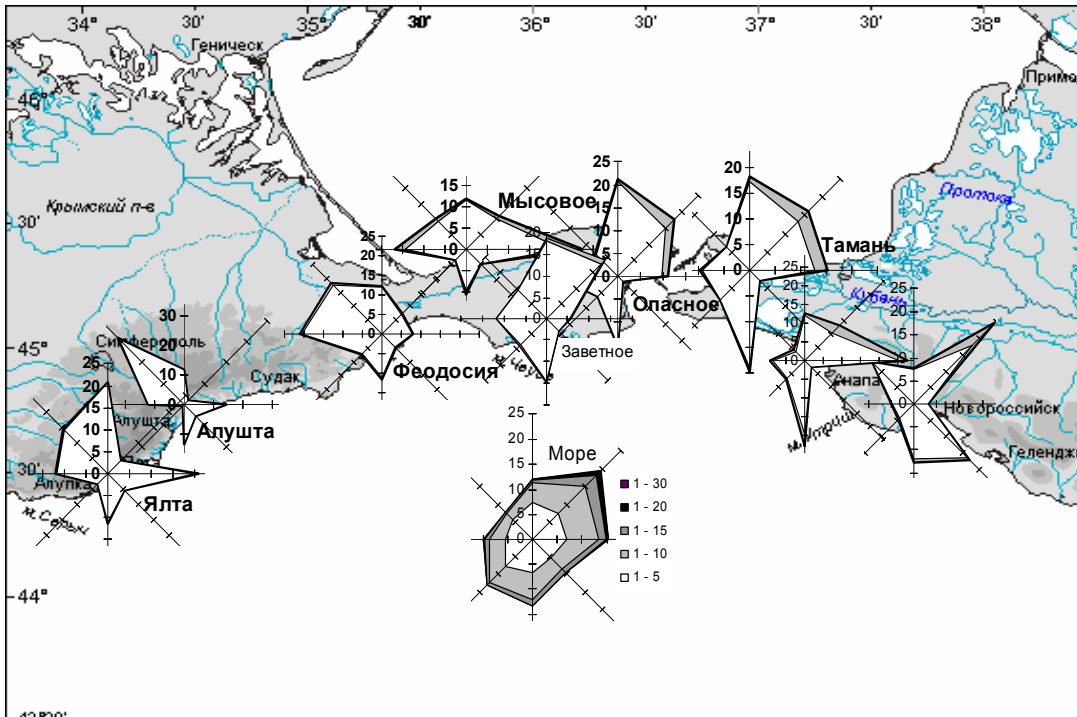


Рис. 7. Розы повторяемости (%) ветра на шельфе и береговых станциях северо-восточной части Черного моря

Заштрихованные между ними области соответствуют величинам повторяемости штормовых ветров ( $\geq 10$  м/с). Роза ветров "море" рассчитана для центральной части северо-восточного шельфа. Легенда её штриховки показывает повторяемость разных градаций скорости ветра (от 1 до 30 м/с) по направлениям. В районе Феодосийского залива наибольшую повторяемость имеют западные (21%) и северо-западные (18%) ветры. В зоне ЮБК, кроме этих ветров, повышенную повторяемость имеют восточные (21%) и южные (13%) ветры. На севере кавказского побережья чаще наблюдаются восточные, северо-восточные (25%), южные (23%) и юго-восточные (17%) ветры.

Сезонные изменения повторяемости ветров на трех характерных станциях по 8 основным румбам представлены на рис. 8.

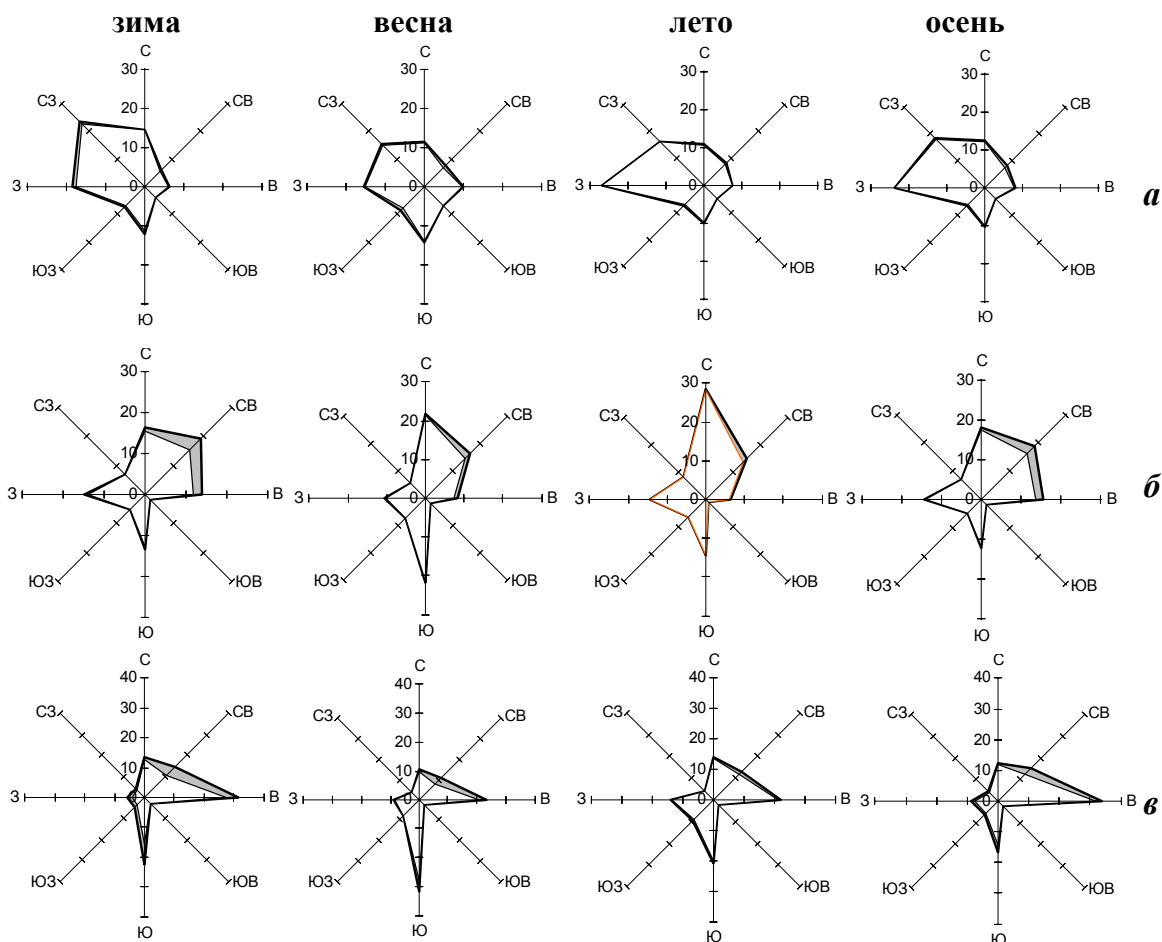


Рис. 8. Сезонные розы повторяемости (%) ветра на станциях Феодосия (а), Опасное (б) и Анапа (в), рассчитанные за период 1945-2005 гг.

### Сильные ветры

На протяжении всего побережья СВЧМ сильные ветры наблюдаются ежегодно и во все сезоны. В течение всего года преобладают штормовые ветры северо-восточного и восточного направления. Их среднегодовая повторяемость в море составляет 4,5% для северо-восточных и 1,9% для восточных ветров. На рис. 9 представлены розы повторяемости штормового ветра 10-30 м/с на шельфе (море) и береговых станциях.

Практически все розы ветров северо-восточной части показывают преобладающую повторяемость штормовых ветров северной половины горизонта (до 2,8-3,8%) и восточных (1,3%), реже – южных румбов. Несмотря на то, что северные, северо-восточные и восточные штормовые (>10) ветры в основном наблюдаются со стороны берега, их сила (до 35-40 м/с) и относительно большая повторяемость (в сумме до 7%) могут

негативно воздействовать на гидротехнические сооружения, способствовать развитию сильных ветровых течений и волнения.

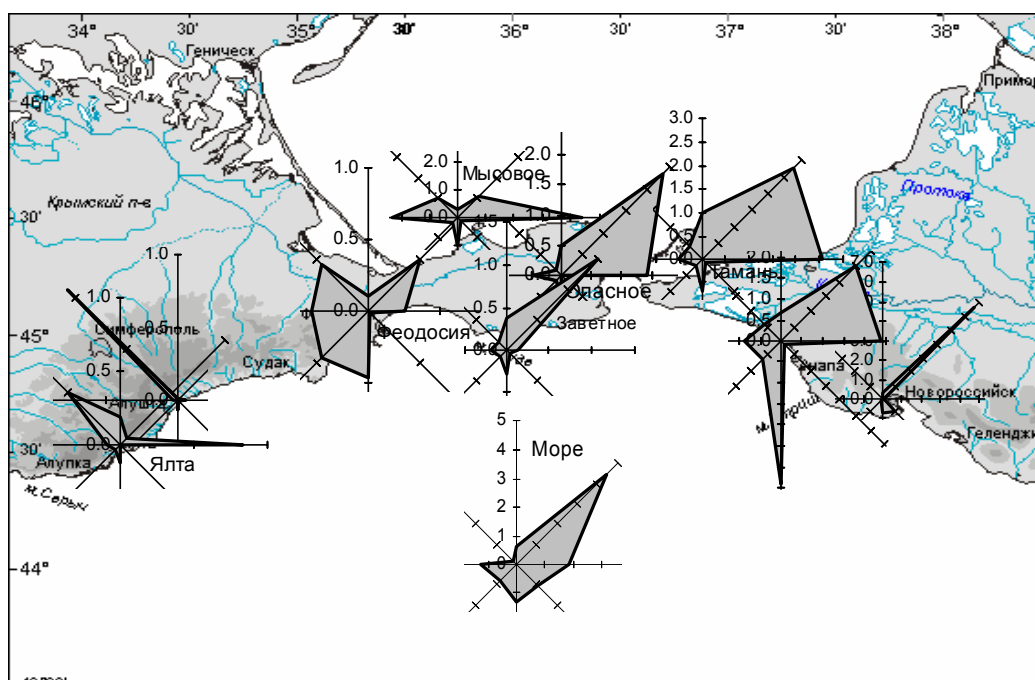


Рис. 9. Розы повторяемости (%) штормового ветра (10-30 м/с) на шельфе и береговых станциях северо-восточной части Черного моря

Однако наиболее опасными направлениями ветра для СВЧМ являются юго-западное (ЮЗ), южное (Ю) и юго-восточное (ЮВ). Среднегодовая повторяемость этих ветров невелика: ЮВ – 0,14%, Ю – 0,08%, ЮЗ – 0,16%. В феврале их повторяемость возрастает до: ЮВ – 0,82%, Ю – 0,28%, ЮЗ – 0,37%. Для оценки сезонной изменчивости ветров, не искаженных условиями береговой зоны, повторяемость штормовых ветров (10-30 м/с) по направлениям в различные месяцы года была рассчитана на основании вышеупомянутого цифрового массива атмосферного давления и расчетного ветра над морем для центра северо-восточной части Черного моря (рис. 10).

Сезон с наибольшей повторяемостью сильных ветров (>10 м/с) длится с ноября по март с максимумом в январе-феврале (до 10,5%). Реже всего сильные ветры отмечаются в летние месяцы. В зимние месяцы повторяемость северо-восточных штормов достигает 7-10%, летом снижается до 0,6-0,8%.

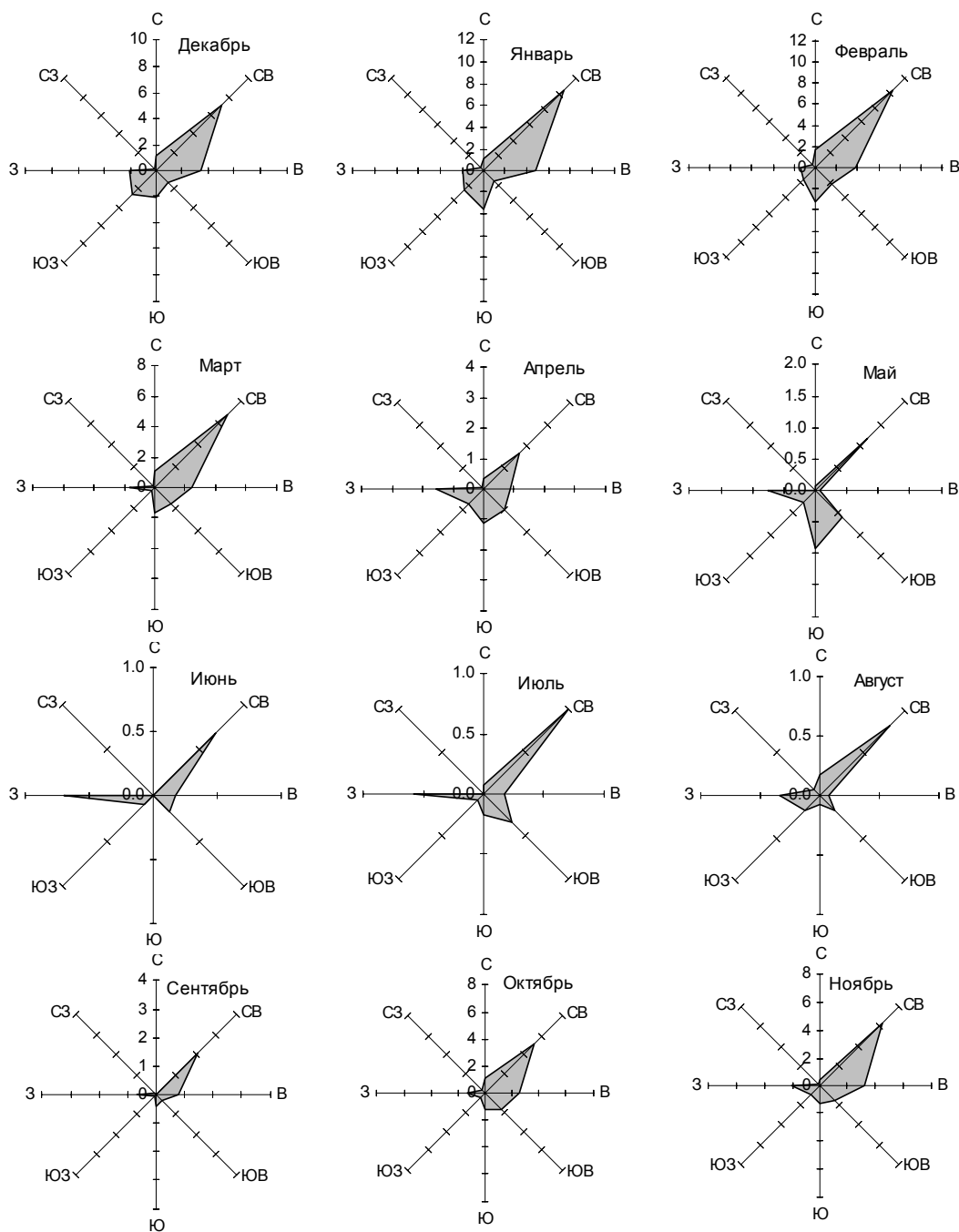


Рис. 10. Месячные розы повторяемости (%) штормовых ветров (10-30 м/с) по направлениям в центральном районе северо-восточного шельфа ("море")

Несмотря на сравнительно малую повторяемость сильных ветров южной четверти, а на шельфе она в сумме достигает 3%, в периоды редких, но сильных штормовых ветров юго-западных и южных направлений здесь отмечались скорости ураганной силы, которые на максимальных разгонах вызывают экстремальное волнение.

Определяющим фактором ветровых условий над Черным морем является структура барического поля. Усиление скорости ветра над морем и побережьем обусловлено чаще всего циклонической деятельностью. В Черном море, и, в частности, в северо-восточной его части, выделяются своими разрушительными последствиями осенние циклоны, которые случаются один раз в 7-10 лет и отличаются от обычных циклонов.

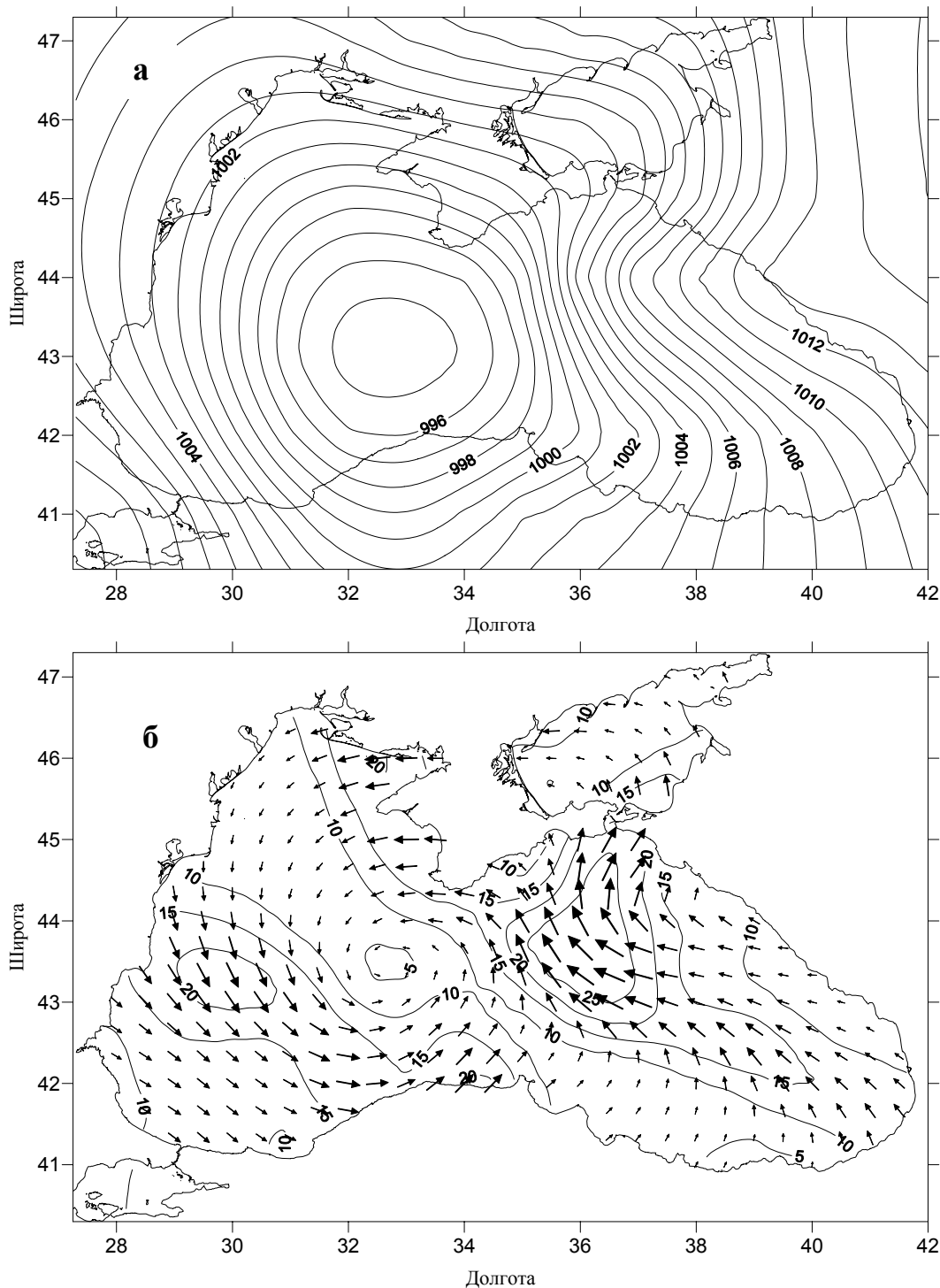


Рис. 11. Приземное атмосферное давление (гПа) – (а) и ветер (м/с) – (б) при шторме южного направления 15.11.1992 г. 0:00

Их особенность состоит в том, что они проходят над бассейном в период осеннего похолодания (чаще всего в ноябре), когда некоторое время сохраняется относительно высокая температура воды. По свидетельствам мореплавателей, еще 150 лет тому назад по своим особенностям, происхождению и последствиям они родственны тропическим ураганам.

К числу таких феноменов можно отнести сильный шторм, известный под названием "Балаклавская буря", в ноябре 1854 г. у юго-западной части Крыма. В течение двух суток был потоплен почти весь англо-французский флот (34 корабля), погибло 1500 человек, убыток составил 60 млн. франков.

Уже в наше время подобный шторм (14-16 ноября 1992 г.) нанес большой материальный ущерб, повредил нефтегазодобывающие платформы, разрушил бетонные боны и размыл часть пляжей в Одессе и в Крыму. Усиление штормового ветра началось в результате выхода на Крым глубокого южного циклона. Его формирование началось 13 ноября над югом Европы. Смещаясь по траектории Стамбул – Крым – Геническ, он двигался над акваторией Черного моря со средней скоростью 75 км/ч. В период с 0 до 9 часов 15 ноября центр циклона задержался над Черным морем, продолжая углубляться (рис. 11а). Давление в центре циклона за этот период упало на 14,7 гПа. Это способствовало развитию сильного ветра на его периферии сначала в северо-западной, а затем в северо-восточной частях моря (рис. 11б). Такого перепада давления при выходе южных циклонов не было отмечено за последние 50 лет. В северо-восточной части максимальной силы ветер был южного направления скоростью 25-30 м/с. Высота волны в тыловой части циклона превышала 5 м, а наибольшие волны в северо-восточной части моря достигали 8-10 м.

Несколько меньший перепад давления при выходе южных циклонов наблюдали 12-16 ноября 1981 г. В период этого шторма центр циклона в течение трех суток стационарировал над Крымом (рис. 12а). На его восточной периферии изобары и соответственно линии тока геострофического ветра были направлены вдоль Кавказского побережья в сторону Керченского пролива. Область с максимумом ветра располагалась над северо-восточной частью Черного моря (рис. 12б). При максимальном для восточной части моря разгоне волн и продолжающемся в течение двух суток юго-восточном ветре скоростью 20-25 м/с высота волн у Керченского полуострова достигала 5-7 м.



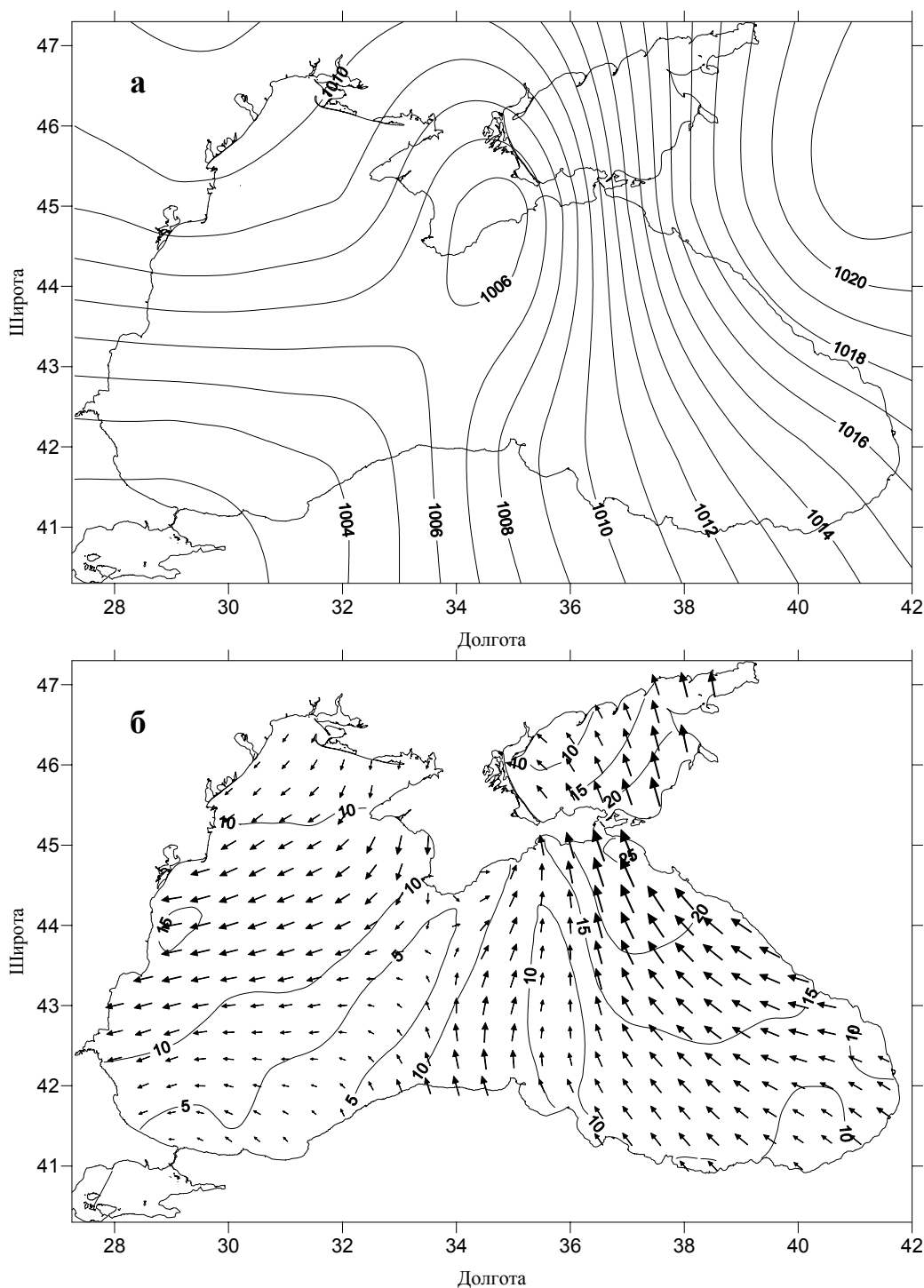


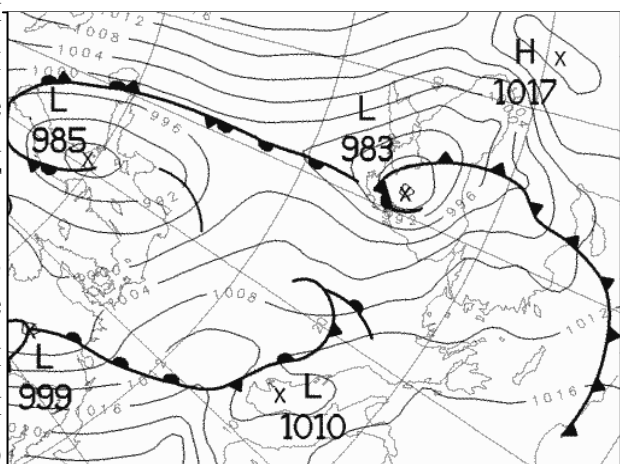
Рис. 12. Приземное атмосферное давление (гПа) – (а) и ветер (м/с) – (б) при шторме юго-восточного направления 16.11.1981 г. 6:00

Подобная синоптическая ситуация наблюдалась 11 ноября 2007 г., когда штормовой ветер и сильное волнение моря привели к крушению нескольких кораблей в Керченском проливе, Азовском и Черном морях. Скорость ветра достигала 32 м/с, а волнение моря – шести-семи баллов.

Шторм в Азово-Черноморском бассейне начался вечером 10 ноября. За один день затонуло четыре судна, еще шесть сели на мель, получили повреждения два танкера. В проливе, который моряки считают одним из самых сложных для навигации, в воду вылилось около двух тысяч тонн мазута, а также попало несколько тысяч тонн серы. Из-за мокрого снега и сильного ветра было обесточено 2360 населенных пунктов в 16 областях центра Украины и в Крыму.

Формирование циклона началось 9 ноября 2007 г. в центре барической ложбины (972 гПа), простиравшейся от Скандинавии к югу Западной Европы. 10 ноября на юго-западной периферии основного циклона над Италией и Балканами сформировался вторичный циклон (в центре 1001 гПа), который, интенсивно углубляясь, стал быстро смещаться в северо-восточном

направлении на Азово-Черноморский бассейн. К 11 ноября в центре циклона, стационарировавшегося над западной частью Черного моря, давление понизилось до 983 гПа, горизонтальные барические градиенты между этим циклоном и антициклоном на юго-востоке моря увеличились (рис. 13), что вызвало



увеличение радиуса зоны максимальных скоростей ветра и их возрастание над акваторией моря. Утром 11 ноября скорости западного ветра в зоне юго-западного

Рис. 13. Приземное барическое поле над Азово-Черноморским бассейном 11.11.2007 г. в 00 ч. <http://www.wetterzentrale.de>

увеличились до 25-32 м/с, а высоты волн, распространявшихся от юго-запада, достигали у м. Херсонес 3-5 м. Начиная с этого момента, область ураганных скоростей ветра, прилегающая к центру циклона с юго-востока, начала смещаться через Черное море в Керченский пролив. К середине дня 11 ноября в северо-восточной части моря скорость юго-юго-западного ветра достигала 25 м/с, а волнение в южной части Керченского пролива 4-5 м, что и привело к многочисленным крушениям транспортных судов, катастрофической экологической ситуации и человеческим жертвам.

Тем не менее, результаты анализа временных изменений штормового ветра убедительно подтверждают факт повсеместного уменьшения скорости ветра во второй половине XX века. Тренды средней скорости [5, 6] и межгодовых изменений повторяемости скорости ветра по данным станций северо-восточного побережья оказались отрицательными (рис. 14) и значимыми на уровне, превышающем 95%. Факт реального понижения скорости ветра подтверждается аналогичной

тенденцией ветрового волнения [5].

Однако, как показано выше, редкие, но сильные штормы отличаются ураганными скоростями. Повторяемость таких штормов невелика, а разрушительная сила максимальна.

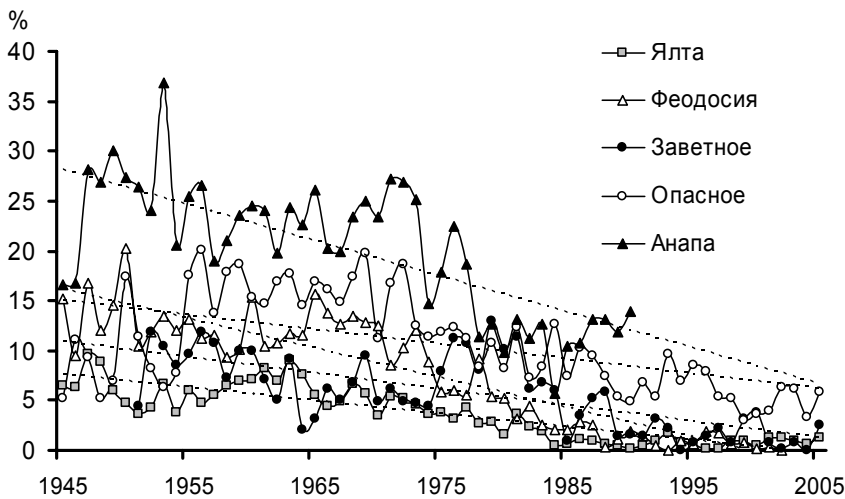


Рис. 14. Межгодовые изменения повторяемости (%) сильных ветров (10-30 м/с) на береговых станциях СВЧМ. Пунктир – линейные тренды

При проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений в прибрежной и шельфовой зонах необходимо знать, каковы экстремальные параметры воздействующего на сооружения ветрового потока. С этой целью при описании ветрового режима широко используются режимно-климатические функции распределения скорости ветра, которые дают представление о величине обеспеченности разных диапазонов скорости. На рис. 15 в виде логарифмического графика представлены многолетние режимные функции распределения скорости ветра, рассчитанные по данным натурных наблюдений на береговых станциях и на основании полей ветра над северо-восточным шельфом Черного моря. График дает представление о диапазоне изменчивости величин обеспеченности скорости ветра от относительно закрытых станций (Феодосия) до репрезентативных метеоплощадок, расположенных в районах побережья, наиболее открытых сильным ветрам (Анапа), а также в открытой части

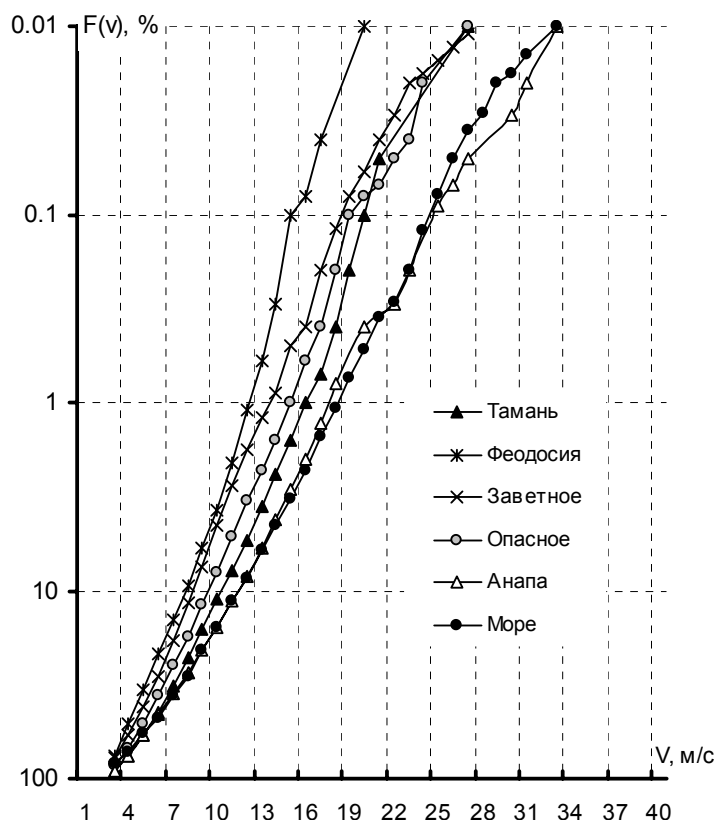


Рис. 15. Многолетние режимные функции распределения скорости ветра  $F(v)$

менее 15-20 лет. В данном случае использовались ряды продолжительностью 45-60 лет. С помощью номограмм, подобных опубликованным в [11], по кривым распределения и их экстраполированным частям были определены значения скорости ветра, возможные один раз в  $n$  лет, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Скорость ветра (м/с), возможная один раз в  $n$  лет

Район	1 год	5 лет	10 лет	25 лет	50 лет	100 лет
Феодосия	15	17	18	20	25	30
Заветное	17	20	21	22	28	32
Опасное	25	29	31	32	35	38
Тамань	19	23	26	28	32	35
Анапа	25	28	31	34	36	43
Море	25	27	30	34	40	48

северо-восточного шельфа Черного моря ("море"). Для точного расчета максимальных скоростей ветра малой обеспеченности использовали методику Анапольской-Гандина, которая позволяет по номограмме с билогарифмической шкалой аппроксимировать распределение Вейбула-Гудрича в виде прямой и определить значения скорости ветра, возможной один раз в заданное число лет. Согласно [11] для расчета наибольших скоростей ветра, возможных один раз в  $n$  лет, с достаточной степенью точности можно использовать ряды регулярных наблюдений длительностью не

При сравнении результатов этих расчетов с аналогичными данными, опубликованными ранее, оказалось, что, несмотря на существенное общее уменьшение скорости ветра за последние полвека, экстремальные расчетные величины скоростей изменились мало, т.к. максимальные скорости штормовых ветров наблюдались в первой половине XX века.

### **Выводы**

Результаты анализа пространственных особенностей и временных изменений параметров ветрового режима северо-восточного побережья и шельфа Черного моря подтверждают факт уменьшения скорости ветра во второй половине XX века.

Несмотря на общее уменьшение скорости ветра, в периоды редких, но сильных штормов скорость ветра над СВЧМ ежегодно может превышать 20-25 м/с. Один раз в 10, 20 и 50 лет возможны ураганы со скоростью ветра 30 и 35 м/с, а один раз в столетие скорости ветра могут превышать 40 м/с.

Последствия воздействий изменений климата на циркуляцию Черного моря, которые состоят в реальном уменьшении ветровой активности, могут проявиться в ослаблении циркуляции вод и интенсивности перемешивания, что может повлиять на перераспределение переноса тепла, химических и биопродуктивных компонентов на процессы самоочищения. Поэтому наблюдаемое ухудшение экологического состояния морских регионов может быть следствием не только антропогенного влияния, но и естественных климатических изменений.

\* \*

*Наведено сучасні оцінки параметрів режиму вітру північно-східної частини Чорного моря за даними 9 берегових станцій на основі натурних спостережень (1945-2005 рр.), середніх річних і місячних величин (1892-2005 рр.), а також для морської акваторії за даними полів тиску та вітру (1960-1998 рр.). Показано особливості внутрішньорічної та просторової мінливості середніх та екстремальних характеристик вітру. Досліджено міжрічну мінливість величин повторюваності швидкості вітру. Наведено характеристики найбільших штормів, що спостерігались у північно-східній частині Чорного моря.*

\* \*

1. Справочник по климату Черного моря. – М.: Гидрометиздат, 1974. - 405с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. – С.Пб.: Гидрометиздат, 1991. – 430 с.
3. Клімат України // За ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
4. Мещерская А.В., Еремин В.В., Баранова А.А., Майстрова В.В. Изменения скорости ветра на севере России во II пол. XX в. по приземным и аэрологическим данным // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 9. – С. 46-58.
5. 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: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 9. – С. 13-28.
6. Иванов В.А., Репетин Л.Н., Мальченко Ю.А. Климатические изменения гидрометеорологических и гидрохимических условий прибрежной зоны Ялты // Препринт. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 164 с.
7. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н. Гидрометеорологические условия Феодосийского залива // Препринт. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 74 с.
8. Белокопытов В.Н. Применение геоинформационной системы «Гидрометеорология и гидрохимия Черного и Азовского морей» для комплексного анализа океанографических съемок // Сб. Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2002. – С. 200-204.
9. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. – С.Пб.: Гидрометиздат, 1994. – 525 с.
10. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Сб. науч. тр. МГИ. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Вып. 14. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 444-456.
11. Анапольская Л.Е. Режим скоростей ветра на территории СССР // Л.: Гидрометиздат, 1961. – 200 с.

*Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, Севастополь*