

Член-корреспондент НАН України А. Б. Полонский, А. В. Гармашов

## Новые данные об изменчивости ветра в северо-западной части Черного моря

*На підставі аналізу даних тривалих інструментальних спостережень за вітром, виконаних на стаціонарній газодобувній платформі в Каркінітській затоці, виділено статистично значущі нестационарні коливання модуля та складових вектора вітру в інтервалі періодів від 0,5 до 15 діб. Виявлено значну переміжність не тільки бризових (~ 1 доба) і синоптичних (~ 2–6 діб), а й більш низькочастотних внутрішньомісячних флуктуацій швидкості вітру з типовими періодами ~ 10–15 діб. Їх максимальна амплітуда приурочена до осінньо-зимового сезону 1997/1998 рр., тобто відзначалась у зрілу фазу одного з найінтенсивніших Ель-Ніньо за весь період інструментальних спостережень. У цей час енергія внутрішньомісячних низькочастотних флуктуацій швидкості вітру (~ 7 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>) у 1,5 раза перевищувала енергію коливань у синоптичній області спектра. Ці результати підтверджуються аналізом даних берегової гідрометеорологічної станції “Одеса-порт”, а також даних ре-аналізу Японського метеорологічного товариства.*

Несмотря на большое количество справочной литературы и атласов по ветроволновым характеристикам Черного моря, явно недостаточно опубликованных работ, в которых анализируется временная изменчивость скорости и направления ветра над акваторией Черного моря на основе долговременных прямых инструментальных наблюдений [1]. Наличие уникальных долговременных данных, полученных на морской стационарной газодобывающей платформе в Каркинитском заливе, позволяет описать статистически значимые характеристики временной изменчивости модуля скорости и составляющих вектора ветра в северо-западной части Черного моря в широком диапазоне периодов, что и является основной целью настоящей работы.

**Исходные данные и методика их обработки.** С 1979 г. на морской стационарной газодобывающей платформе, расположенной на северо-западном шельфе Черного моря в точке R, было установлено оборудование для гидрометеорологического мониторинга (рис. 1). Измерения скорости и направления ветра производятся на высоте 37 м над уровнем моря с дискретностью 3 ч. Более подробная информация об аппаратуре, погрешностях измерений, разрешающей способности используемых датчиков, входящих в состав метеоконтекста, о качестве данных и методике устранения сбоев приведены в работах [1, 2].

Для определения характерных временных масштабов изменчивости скорости и компонент вектора ветра, распределения энергии флуктуаций по частотам применялся стандартный спектральный анализ [3]. Спектры рассчитывались преобразованием Фурье корреляционной функции с использованием окна Тьюки при соотношении параметров  $n/N$  от 0,05 до 0,2, в зависимости от продолжительности реализации ( $N$ ) и длины корреляционной функции ( $n$ ). Спектры, приведенные на рис. 2 и 3, *a*, рассчитывались по данным за период наблюдений с наименьшим количеством сбоев (с 17 сентября 1997 г. по 14 октября 1999 г.).

Для получения более подробной информации о перемежаемости флуктуаций скорости ветра в диапазоне периодов 1–22 сут были построены последовательные спектры скорости ветра по трехмесячным интервалам со сдвигом в 1 и 2 мес. На рис 3, *a* представлены соответствующие результаты для сдвига в 1 мес.

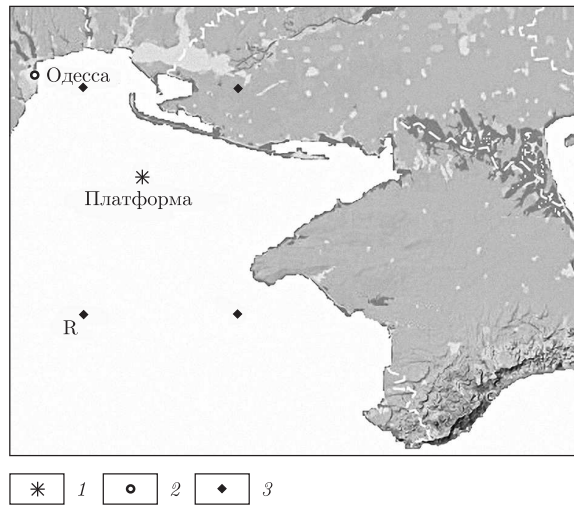


Рис. 1. Расположение морской стационарной платформы в Черном море (1), гидрометеорологической станции “Одесса-порт” (2) и узлов сетки *re*-анализа (3 — точка R анализируются в работе)

Для проверки результатов и их подтверждения по независимым данным привлекались стандартные наблюдения за ветром береговой гидрометеорологической станции “Одесса-порт” и данные *re*-analysis (*re*-анализа) Японского метеорологического общества [4] для точки R с координатами  $45^\circ$  с. ш.,  $31^\circ 25'$  в. д. и высоты 10 м (см. рис. 1). Дискретность данных о ветре в обоих случаях составляла 6 ч. Результаты расчетов приведены на рис. 3, б и 4.

**Результаты и их обсуждение.** В спектре скорости ветра, рассчитанном по данным со стационарной платформы (см. рис. 2, а), можно выделить статистически значимые внутримесячные флуктуации (со средним периодом ( $T$ ), равным 12 сут), синоптические возмущения ( $T \sim 2-6$  сут), а также суточную и полусуточную гармоники. В среднем, в течение всего периода наблюдений, наибольшей энергией ( $\sim 4 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) обладают вариации скорости ветра в синоптическом интервале. Это подтверждает классические представления об изменчивости поля ветра в средних широтах (вообще) и в Черноморском регионе (в частности) [5–8]. Вместе с тем отметим, что максимумы спектральной плотности низкочастотных внутримесячных и суточных колебаний скорости ветра по абсолютной величине близки между собой ( $\sim 3 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) и мало отличаются от синоптического максимума.

В спектрах скорости и компонент вектора ветра (см. рис. 2, б) также наблюдаются пики, соответствующие внутримесячным флуктуациям ( $T \sim 10$  сут), синоптическим возмущениям ( $T \sim 2-6$  сут), суточной и полусуточной гармоникам. Типичная энергия вариаций компонент вектора ветра на энергонесущих периодах в диапазоне от 1 до 10 сут составляет  $10 \text{ м}^2/\text{с}^2$ . Обращает на себя внимание тот факт, что синоптическая активность (связанная с прохождением над Каркинитским заливом атмосферных вихрей синоптического масштаба) значительно сильнее проявляется в меридиональной компоненте скорости ветра, а колебания с периодами 1 и 0,5 сут (в основном, вызываемые бризовыми ветрами) наблюдаются главным образом в спектре зональной компоненты. Причем амплитуда суточной гармоники приблизительно в 2 раза больше амплитуды полусуточной.

Из представленных на рис. 3, а последовательных спектров скорости ветра видно, что все энергонесущие флуктуации характеризуются значительной перемежаемостью. Наиболее интенсивные синоптические вариации обычно наблюдаются в осенне-зимний период,

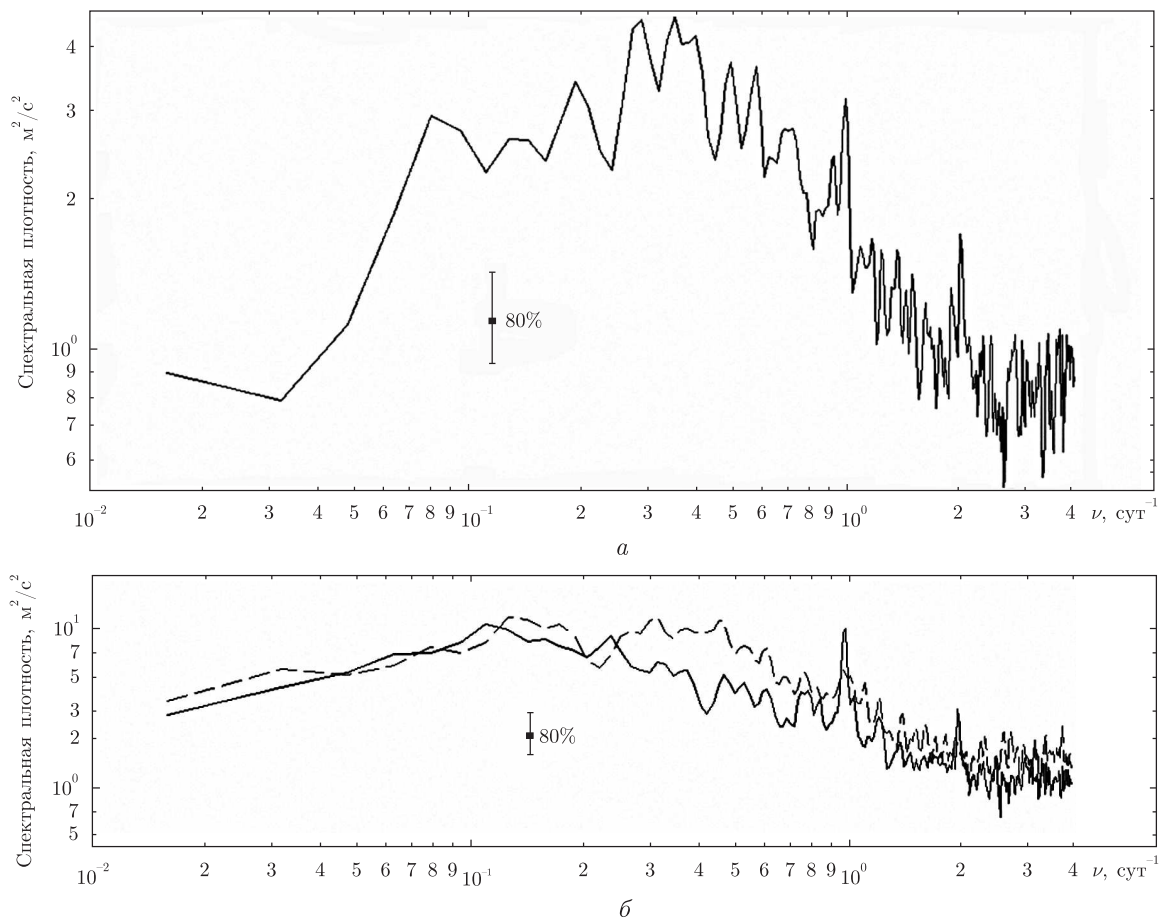


Рис. 2. Спектры модуля скорости (*a*), зональной и меридиональной компонент вектора ветра (*б*, сплошная и штриховая линии), рассчитанные по данным, полученным с 17 сентября 1997 г. по 14 октября 1999 г. на стационарной платформе. Вертикальный отрезок показывает 80%-й доверительный интервал

а суточные (бризового происхождения) — в летне-осенний, что соответствует общепринятым представлениям [6, 7]. Необходимо отметить тенденцию уменьшения амплитуды синоптических и суточных колебаний при усилении более низкочастотных возмущений внутримесячного масштаба, ранее не отмечавшуюся для Черноморского региона. Действительно, повышенная ветровая активность внутримесячного масштаба с типичными периодами 10–15 сут в районе газодобывающей платформы наблюдалась в конце осени — начале зимы 1997–1998 гг., т. е. в зрелую фазу одного из наиболее интенсивных Эль-Ниньо за весь период инструментальных наблюдений. В это время энергия колебаний скорости ветра в диапазоне периодов 10–15 сут в 1,5 раза превышала энергию вариаций в синоптической области спектра. При этом значимые бризовые вариации осенью 1997 г. вообще не выделялись.

Следовательно, внутримесячные ветровые флуктуации с периодами  $\geq 10$  сут могут быть связаны только с крупномасштабными процессами в атмосфере [8], существенным образом зависящими от аномальных явлений в климатической системе (типа Эль-Ниньо [9]). Не удивительно поэтому, что колебания скорости ветра с периодами 10–15 сут в конце осени — начале зимы 1997–1998 гг. наблюдались как в открытой части Черного моря, так и в прибрежных его районах. На это обстоятельство указывают спектры, построенные по

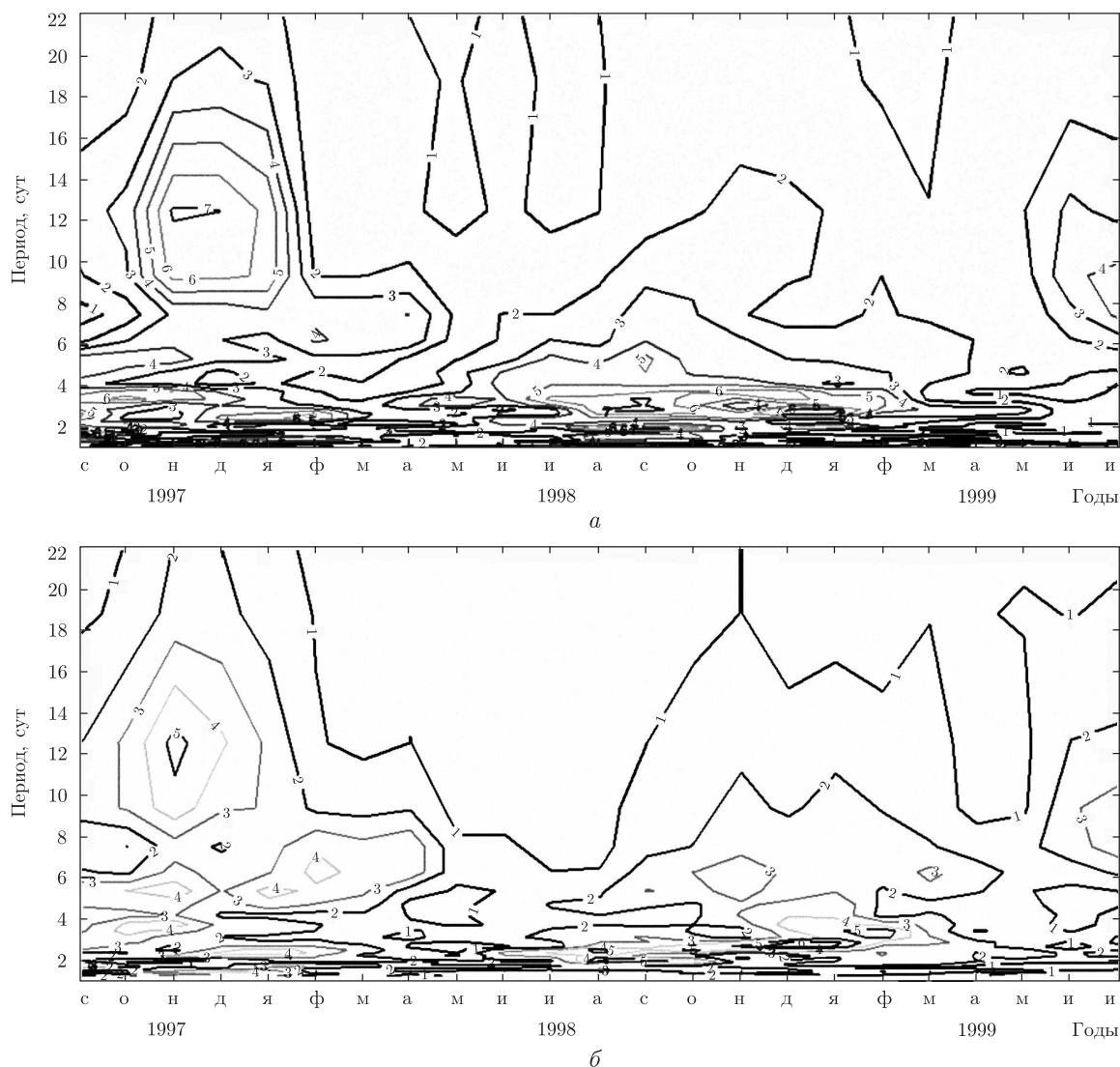
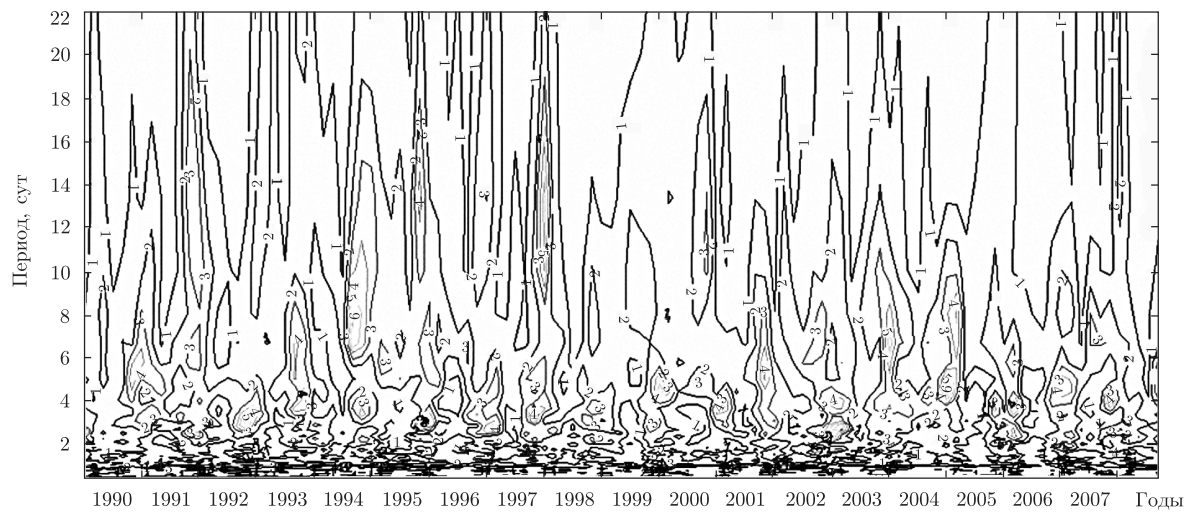


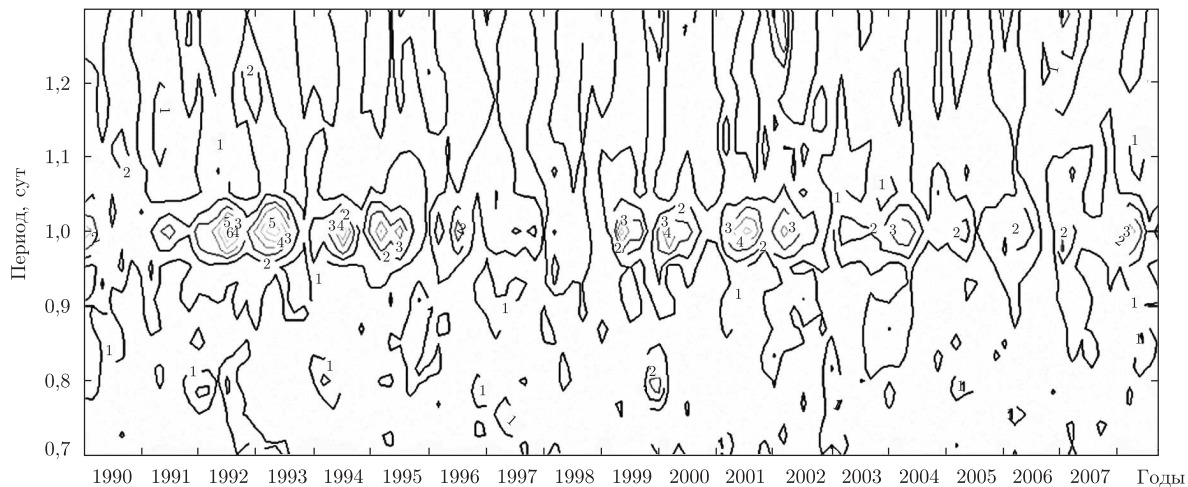
Рис. 3. Последовательные спектры скорости ветра (*а* — стационарная платформа; *б* — береговая гидрометеорологическая станция “Одесса-порт”), рассчитанные по данным трехмесячных реализаций за период с 17 сентября 1997 г. по 14 октября 1999 г. со сдвигом в 1 мес

данным стандартных гидрометеорологических наблюдений в Одессе и с использованием результатов *re*-анализа (см. рис. 3, *б* и 4, *а*). Основное отличие этих спектров от приведенных выше заключается в меньших амплитудах флуктуаций скорости ветра, что главным образом вызвано влиянием подстилающей поверхности. Напомним в этой связи, что высота установки измерительной аппаратуры на стационарной платформе (37 м) существенно превышает высоту стандартных гидрометеорологических наблюдений за ветром и использованного расчетного уровня *re*-анализа (10 м).

В заключение отметим, что полученная по данным наблюдений за ветром на стационарной платформе тенденция уменьшения амплитуды суточных колебаний скорости при усилении возмущений внутримесячного масштаба подтверждается данными *re*-анализа. Из рис. 4, *б* хорошо видно, что энергия суточных изменений скорости ветра бризового



а



б

Рис. 4. Последовательные спектры скорости ветра (а — в диапазоне периодов 1–22 сут; б — в диапазоне периодов 0,7–1,3 сут), рассчитанные по данным трехмесячных реализаций за период с 1 января 1990 г. по 31 декабря 2008 г. и данным *re*-анализа со сдвигом в 2 мес

происхождения в летне-осенний период 1992–1993 гг. (когда низкочастотные внутримесячные флуктуации ветра отсутствовали) превышала  $5\text{--}6 \text{ м}^2/\text{с}^2$ . Вместе с тем в летне-осенний период 1997–1998 гг. (при интенсификации низкочастотной компоненты внутримесячной изменчивости поля ветра) суточные колебания ветра не выделялись.

Таким образом, длительные инструментальные наблюдения за ветром, выполненные на стационарной газодобывающей платформе в Каркинитском заливе, показали наличие статистически значимых нестационарных флуктуаций модуля и составляющих вектора ветра в интервале периодов от 0,5 до 15 сут. Выявлена значительная перемежаемость не только бризовых ( $T \cong 1$  сут) и синоптических ( $T \sim 2\text{--}6$  сут), но и более низкочастотных внутримесячных флуктуаций скорости ветра с типичными периодами  $\sim 10\text{--}15$  сут. Их максимальная амплитуда оказалась приурочена к осенне-зимнему сезону 1997/1998 гг., т. е. наблюдалась в зрелую фазу одного из наиболее интенсивных Эль-Ниньо за весь период инструменталь-



ных наблюдений. В это время энергия внутримесячных низкочастотных вариаций скорости ветра ( $\sim 7 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) в 1,5 раза превосходила энергию флуктуаций в синоптической области спектра. Наблюдалась тенденция уменьшения амплитуды синоптических и суточных колебаний скорости ветра при усилении возмущений внутримесячного масштаба с типичными периодами  $\sim 10$  сут. Эти результаты подтверждаются результатами обработки данных наблюдений за ветром береговой гидрометеорологической станции “Одесса-порт”, а также данных *re*-анализа Японского метеорологического общества.

*Авторы выражают признательность сотруднику Мор. гидрофиз. ин-та НАН Украины Д. В. Башарину за техническую помощь при работе с данными re-анализа.*

1. 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: Мор. гидрофиз. ин-т НАН Украины, 2008. – С. 320–325. – [Сб.].
2. Толокнов Ю. Н., Коровушкин А. И., Козлов К. Г. Автоматизированный гидрометеорологический комплекс // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: Мор. гидрофиз. ин-т НАН Украины, 1998. – С. 12–17. – [Сб.].
3. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 1. – Москва: Мир, 1971. – 316 с.
4. Onogi K., Tsutsui J., Koide H. et al. The JRA – 25 Reanalysis // J. Meteor. Soc. Japan. – 2007. – 85. – P. 369–432.
5. Иванов В. Н., Хохлова А. В. Спектральные плотности метеорологических величин в приземном слое атмосферы в широком диапазоне частот // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 11. – С. 39–49.
6. Полонский А. Б., Бардин М. Ю., Воскресенская Е. Н. Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // Мор. гидрофиз. журн. – 2007. – № 6. – С. 47–58.
7. Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Черное море; Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1991. – 430 с.
8. Schubert S. D. The structure, energetics and evolution of the dominant frequency-dependent three-dimensional atmospheric modes // J. Atmos. Sci. – 1986. – 43, No 12. – P. 1210–1237.
9. Полонский А. Б. Роль океана в изменениях климата. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.

*Морской гидрофизический институт  
НАН Украины, Севастополь*

*Поступило в редакцию 06.08.2009*

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **A. B. Polonsky, A. V. Garmashov**

### **New data about the changeability of winds in the north-western part of the Black Sea**

*On the basis of the analysis of long-term instrumental observations of winds carried out on a stationary gas extraction platform in the Karkinitsky bay, the statistically significant non-stationary fluctuations of the modulus and components of the wind vector in the interval of periods ( $T$ ) from 0.5 to 15 days are studied. The considerable alternation not only of breeze ( $T \sim 1$  day) and synoptic ( $T \sim 2$ –6 days) fluctuations of the wind speed, but also intra-month ones with lower frequencies and typical periods  $\sim 10$ –15 days are marked. Their maximal amplitude was observed in the autumn-winter season of 1997/1998, i. e. in the mature phase of one of the most intense El-Nino during the whole period of instrumental measurements. At that time, the energy of intra-month low-frequency wind fluctuations ( $\sim 7 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) exceeded the energy of fluctuations in the synoptic interval of the spectrum by 1.5 times. These results are confirmed by the analysis of data of the coastal hydrometeorological station “Odessa-port” and data of the re-analysis of the Japanese meteorological society.*