

Ю. П. Ильин

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

СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЫСОТ И ИХ УКЛОНОВ НА СТАНДАРТНЫХ РАЗРЕЗАХ ЧЕРЕЗ ОСНОВНОЕ ЧЕРНОМОРСКОЕ ТЕЧЕНИЕ

На основе данных гидрологических наблюдений на «вековых» разрезах у берегов Крыма и Кавказа за 1959 – 1995 гг. исследуются многолетние тенденции и сезонный ход характеристик геострофических потоков в зоне Основного черноморского течения. Выявлены значимые отрицательные тренды динамической высоты и уклонов динамического уровня на разрезе к юго-западу от м. Херсонес, различающиеся по сезонам года. Обнаружены также тренды зимнего увеличения и осеннего уменьшения динамической толщины слоя 0 – 100 м, соответствующие стерическим изменениям уровня моря под воздействием зимнего потепления и осеннего похолодания второй половины XX в. Многолетние тенденции ослабления крупномасштабного течения согласуются с климатическими изменениями ветровых условий в черноморском регионе.

Сезонная и межгодовая изменчивость интенсивности геострофической циркуляции вод Черного моря отражается в соответствующих изменениях топографии уровенной поверхности его глубоководной акватории. Известно, что крупномасштабная уровенная поверхность в среднем имеет тенденцию поднятия у берегов и опускания в центральных глубоководных районах моря, что обусловлено циклоническим характером циркуляции вод. При этом максимальные уклоны уровня моря по направлению от глубоководной котловины к берегу соответствуют вдольбереговому потоку Основного Черноморского течения (ОЧТ). Мониторинг межгодовых изменений ОЧТ в настоящее время может осуществляться на основе спутниковых альтиметрических измерений, однако для исследования многолетних тенденций характеристик геострофической циркуляции моря целесообразно привлечь данные гидрологических наблюдений на стандартных (т.н. «вековых») разрезах [1]. Положение этих разрезов выбрано с таким расчетом, чтобы они пересекали основные элементы крупномасштабной системы течений Черного моря – западный и восточный циклонические круговороты. Это позволяет, в рамках геострофического приближения, построить временные ряды динамических высот и их уклонов в фиксированных участках ОЧТ. О некоторых результатах, полученных с помощью вековых разрезов, сообщалось в [2, 3]. Цель данной статьи – подробное изложение методологии анализа и результатов, полученных на основе всех имеющихся данных гидрологических наблюдений на разрезах, пересекающих ОЧТ у берегов Крыма и Кавказа.

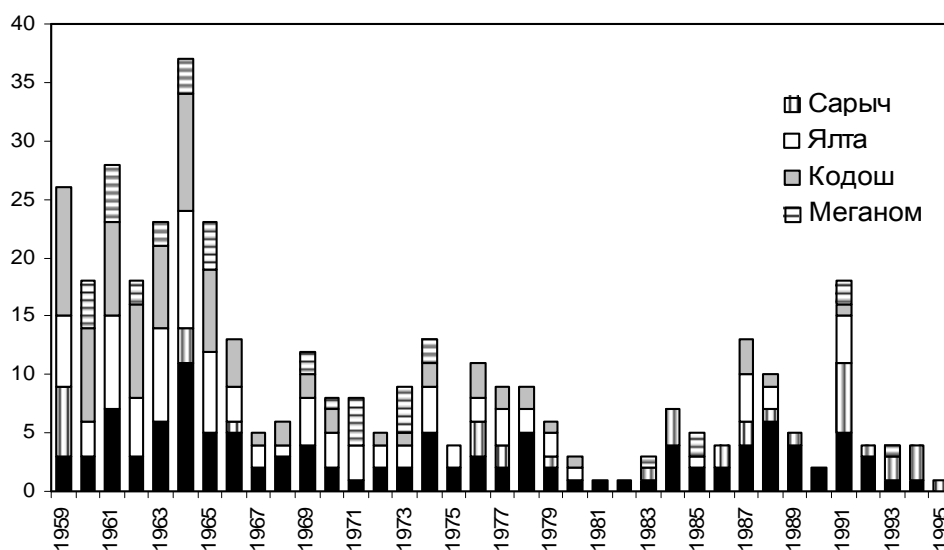
Использованные материалы. Данные гидрологических наблюдений, выполненных различными ведомствами в Черном море, собраны в совместной базе МГИ НАНУ и МО УкрНИГМИ. Для выборки и предварительного анализа информации использовались программные средства специализиро-

© Ю. П. Ильин, 2008

ванной ГИС [4]. Из общей базы судовых экспедиционных наблюдений выбирались все станции, выполненные на прибрежных частях «вековых» разрезов, пересекающих ОЧТ у берегов бывшего СССР и включающих не менее 3 гидрологических станций. Получены выборки для 4 разрезов Гидрометслужбы [1], а именно: к юго-западу от м.Херсонес (прибрежная часть векового разреза «м.Херсонес – пр.Босфор»); к югу от м.Сарыч («м.Сарыч – м.Инеболу»); к юго-востоку от города Ялта («Ялта – Батуми»); к юго-западу от м.Кадош («м.Кадош – Унье»). Кроме того, анализировались данные разреза к югу от м.Меганом, выполнявшегося преимущественно судами промразведки Минрыбхоза. Отобраны лишь те разрезы, станции которых на глубокой воде выполнялись до горизонтов не менее 300 м. «Мелководные» станции (глубина моря менее 100 м) не учитывались. Если каким-то судном или группой судов выполнялась квазисинхронная гидрологическая съемка, то выбирались лишь те станции, которые располагались на линиях вековых разрезов. Таким образом, получено 5 массивов информации. Распределение количества выполненных разрезов по месяцам года для каждого из районов представлено в табл.1, по годам – на рис.1.

Т а б л и ц а 1 . Количество выполненных вековых разрезов с 1959 по 1995 гг.

разрез \ месяц	месяц												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ЮЗ от м.Херсонес	7	9	11	13	12	2	9	17	7	8	15	6	116
Ю от м.Сарыч	2	2	3	5	4	3	2	7	2	2	4	3	39
ЮВ от г.Ялта	8	11	5	7	12	9	1	15	1	3	15	7	94
Ю от м.Меганом	2	5	0	1	5	7	3	9	5	0	1	1	39
ЮЗ от м.Кадош	4	9	6	7	11	7	6	13	6	6	7	6	88
всего	23	36	25	33	44	28	21	61	21	19	42	23	376



Р и с . 1 . Распределение количества выполненных вековых разрезов по годам.

Данные вековых разрезов охватывают отнюдь не вековой интервал времени – с 1959 по 1995 гг. (всего 36 лет), причем наиболее часто и регулярно наблюдения выполнялись в начале этого периода – до 1966 г. Наибольшее число данных получено на разрезе к юго-западу от м.Херсонес, наименьшее – на разрезах к югу от м.Сарыч и м.Меганом.

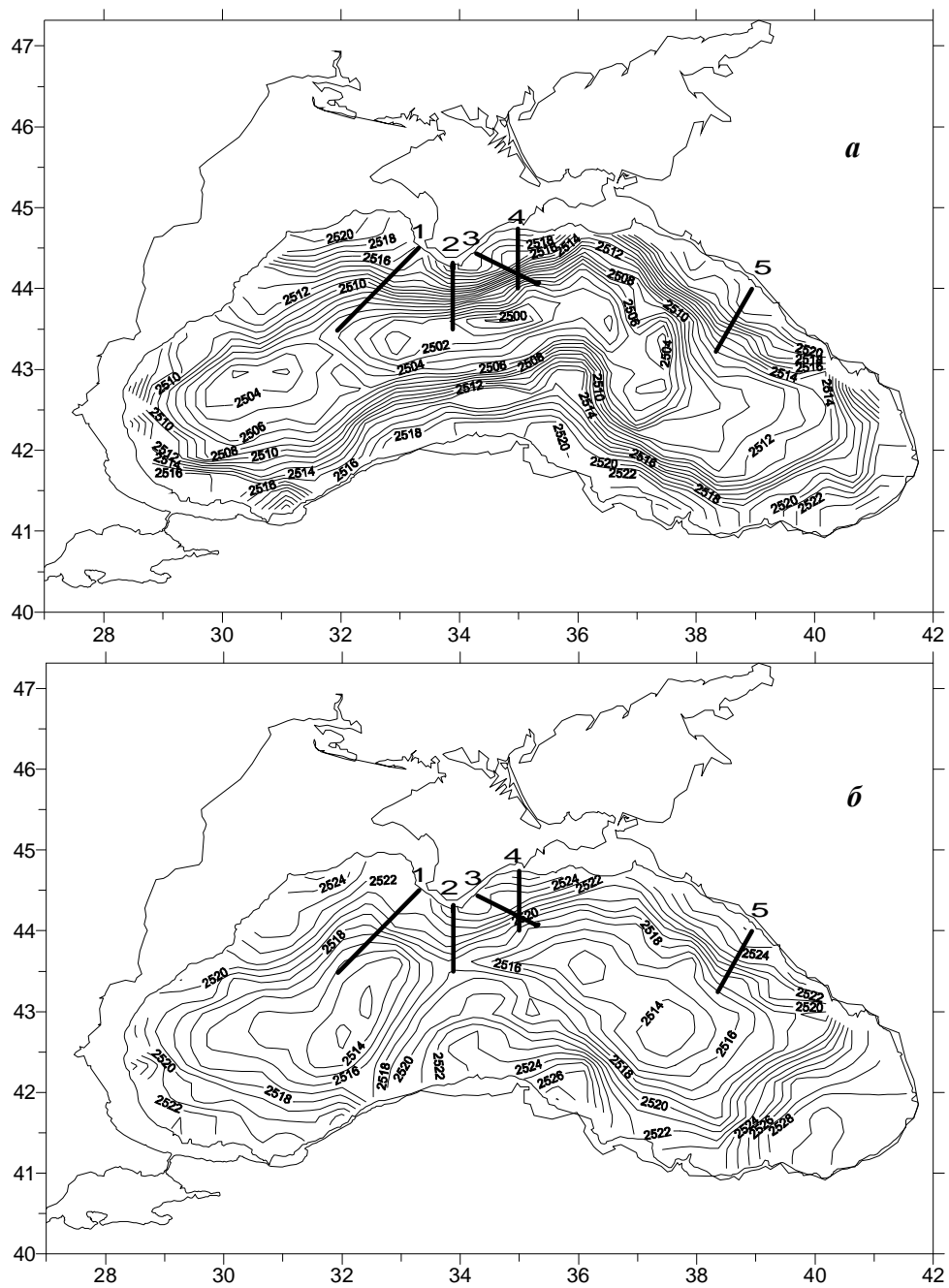
Максимальное число наблюдений приходится на август. Как следует из рис.2, именно в августе ОЧТ наименее интенсивно, а наиболее выражено оно в марте, когда из-за штормовой погоды судовые наблюдения на стандартных разрезах проводились реже. В сумме, наиболее обеспечены данными месяцы февраль, май, август и ноябрь, поскольку именно в эти месяцы чаще всего выполнялись сезонные экспедиции Гидрометслужбы. Для каждого отдельно взятого района эта картина может отличаться, например – для разрезов от м.Херсонес и м.Сарыч. Разрез от м.Херсонес оказался единственным, выполнявшимся ежегодно, кроме 1995 г.

Методика обработки и анализа данных состояла из следующих этапов.

I. Для каждого разреза, выполненного, как правило, в течение 1 – 2 дней (иногда выполнялось более одного разреза в месяц одним или несколькими судами, причем в последнем случае имели место совпадения по времени), для каждой станции динамическим методом, с помощью программного комплекса «Гидролог» [5], рассчитывались динамические высоты на поверхности моря и на горизонте 100 м, относительно отсчетного горизонта 300 м. Для станций, взятых на континентальном склоне (в диапазоне глубин 100 – 300 м), использовался метод дополнения средними по глубокowodным станциям значениями температуры и солености на каждом фиктивном горизонте ниже глубины места.

II. По полученным значениям динамических высот $DH(z)$ методом наименьших квадратов аппроксимировалась линия наклона динамической поверхности $DH(z, X) = g(z)X + DH_0(z, X_0)$, где X – горизонтальное расстояние вдоль линии разреза в градусах широты или километрах, положительное направление – к берегу; g – коэффициент уклона динамического уровня (см/° или см/100 км); DH_0 – динамическая высота (дин. см) в начальной (глубокowodной) точке разреза X_0 ; $z = 0$ или 100 – горизонт (м), для которого проводятся расчеты.

III. Информативной характеристикой аппроксимации в каждом случае служил коэффициент детерминации R^2 , т.е. доля дисперсии, объясняемой аппроксимирующей прямой, относительно общего разброса точек. Близкие к 1 значения R^2 указывают на однородность струи ОЧТ, а $R^2 < 0.5$ соответствует нелинейному профилю потока либо наличию вихревого образования, пересекаемого разрезом, что наиболее часто происходит в летний сезон года. Независимо от причины нелинейности, в этих случаях, как правило, получаются низкие значения g , а иногда и отрицательные уклоны, что служит характеристикой слабовыраженной или отсутствующей струи ОЧТ. Отрицательные величины g иногда отмечаются и при высоких значениях R^2 ; это может свидетельствовать об обширном антициклоническом меандре или вихре, формирующем поток противоположного направления по отношению к ОЧТ. Все эти случаи формируют импульсные помехи, искажающие статистические оценки климатической изменчивости интенсивности ОЧТ. Анализ



Р и с . 2 . Среднеголетняя динамическая топография (дин. см) поверхности Черного моря относительно уровня 300 дбар в марте (а) и августе (б). Прибрежные части вековых разрезов: 1 – к юго-западу от м.Херсонес; 2 – к югу от м.Сарыч; 3 – к юго-востоку от Ялты; 4 – к югу от м.Меганом; 5 – к юго-западу от м.Кадош.

разброса точек на плоскости g, R^2 для каждого разреза позволяет подобрать экспериментально и задать критерии отбраковки данных на основе компромисса: не допустить значительного уменьшения числа наблюдений, но отфильтровать наиболее очевидные случаи, искажающие оценки многолетних трендов характеристик ОЧТ.

III. Ряды величин уклонов $g(z)$, динамических высот $DH(z, X_1)$ в некоторой промежуточной, зафиксированной для каждого района, точке разреза X_1 , а также разности динамических высот $dD(X_1) = DH(0, X_1) - DH(100, X_1)$, служили для анализа сезонного хода и многолетней изменчивости этих характеристик.

IV. Многолетние тренды рассчитывались с помощью стандартной процедуры регрессионного анализа в применении к временным рядам анализируемых величин до и после g, R^2 -фильтрации. Расчет коэффициентов уравнений регрессии сопровождался оценками значимости по статистическим критериям Стьюдента (t -статистика) и Фишера (F -отношение) с учетом критерия Дурбина-Ватсона для остатков исследуемых рядов (тест на сериальную корреляцию). Процедуры анализа трендов изложены в [6] в приложении к исследованию многолетней изменчивости температуры воздуха в Черноморском регионе.

Результаты и обсуждение. *Сезонная изменчивость ОЧТ у берегов Крыма и Кавказа.* На рис.3 – 5 представлены кривые сезонного хода уклонов и динамических высот на горизонтах 0 и 100 м для разрезов, наиболее освещенных наблюдениями (без отбраковки данных по соотношению g, R^2). Кроме того, показаны внутригодовые изменения динамической толщины слоя 0 – 100 м, вычисленной как разность среднемноголетних величин для каждого месяца. Вертикальные отрезки показывают пределы среднеквадратических ошибок уклонов и динамических высот, зависящих как от разброса, так и количества данных.

Кривые сезонной изменчивости уклонов имеют различный характер у берегов Крыма (рис.3, 4) и Кавказа (рис.5). Максимум интенсификации ОЧТ у берегов Крыма наблюдается со сдвигом в один месяц (на более восточном разрезе – в марте, на западном – в апреле), что соответствует направлению распространения возмущений по потоку к западу. Абсолютный минимум интенсивности ОЧТ к юго-западу от м.Херсонес наступает в июне, к юго-востоку от Ялты этот минимум вторичный, абсолютный же отмечается в октябре.

У берегов Кавказа динамические уклоны морской поверхности испытывают в течение года волнообразные колебания с периодом 3 – 4 месяца (рис.5), что объясняется меандрированием Кавказской ветви ОЧТ и смещением прибрежных антициклонических вихрей к северо-западу, вдоль относительно прямолинейного берега и узкого шельфа [7]. При этом подъем динамического уровня в слое 0 – 100 м наступает в мае – июне, у берегов Крыма – в июле – августе, причем у м.Херсонес этот летний подъем является не основным, а максимальный отмечается в феврале.

Подъем динамического уровня при данной конфигурации разрезов и системы средних течений означает отход мористой границы струйного потока в направлении от берега, что действительно возможно как при летнем ослаблении ОЧТ и интенсификации прибрежных антициклонических вихрей, так и при зимнем усилении потока к юго-западу от Крыма (рис.2).

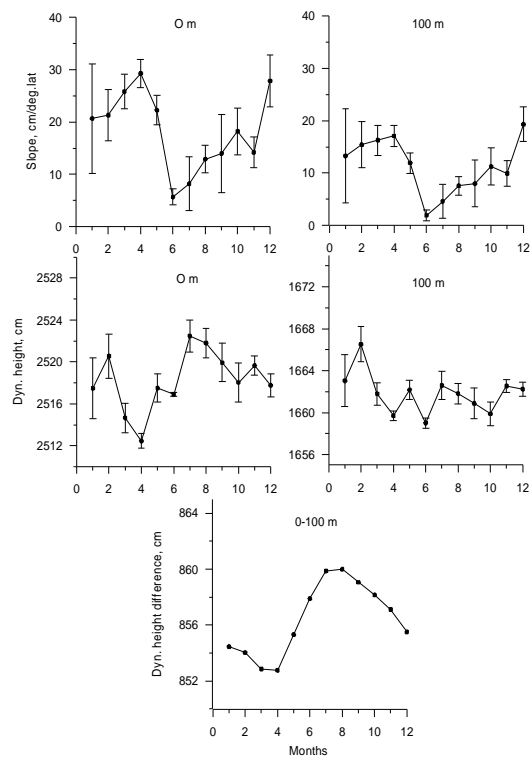


Рис. 3. Сезонный ход динамических уклонов (верхний ряд), динамических высот (средний ряд) и разности динамических высот в слое 0 – 100 м (внизу) по данным разреза к юго-западу от м.Херсонес.

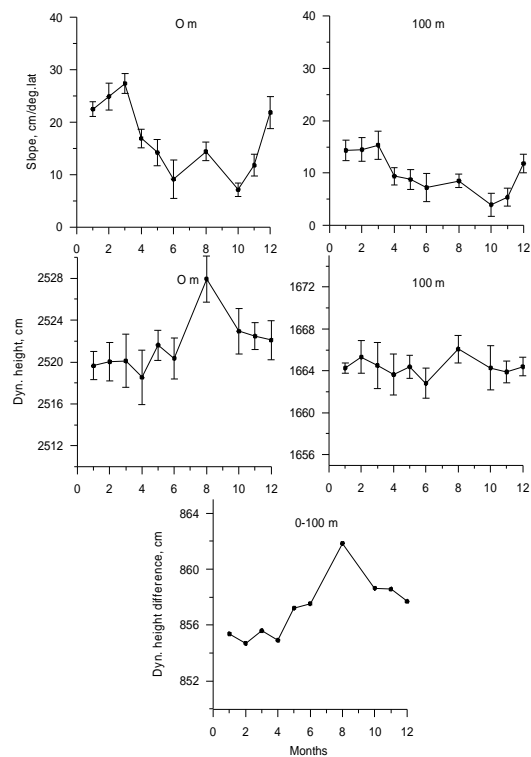


Рис. 4. Сезонный ход динамических уклонов (верхний ряд), динамических высот (средний ряд) и разности динамических высот в слое 0 – 100 м (внизу) по данным разреза к юго-востоку от г.Ялта.

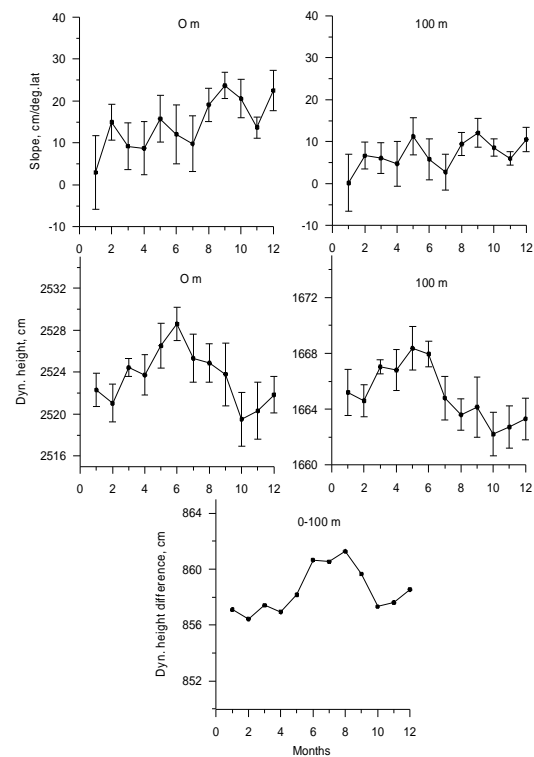
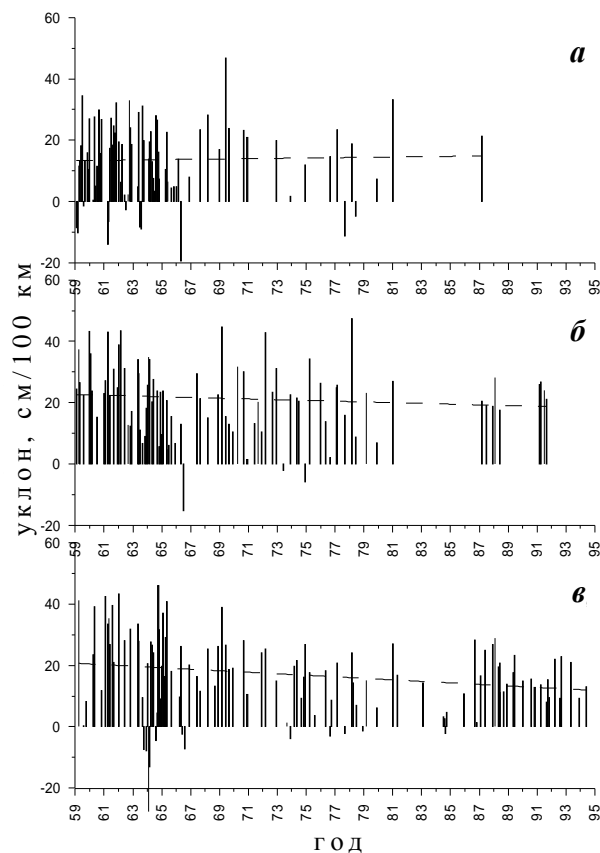


Рис. 5. Сезонный ход динамических уклонов (верхний ряд), динамических высот (средний ряд) и разности динамических высот в слое 0 – 100 м (внизу) по данным разреза к юго-западу от м.Кадош.



Р и с . 6 . Исходные временные ряды месячных динамических уклонов уровня на поверхности моря в зоне ОЧТ за 1959 – 1995 гг. по данным гидрологических наблюдений на вековых разрезах: к юго-западу от м.Кадош (а), к юго-востоку от г.Ялта (б) и к юго-западу от м.Херсонес (в). Пунктир – линии трендов.

м.Херсонес и Ялты), в достаточной мере обеспеченных наблюдениями. Шаг по времени 1 месяц. Если в каком-либо месяце данный вековой разрез выполнялся более одного раза (одним или несколькими судами), то соответствующие величины осреднялись. Как видно из рисунка, наиболее информативным для описания многолетней изменчивости является разрез к юго-западу от м.Херсонес.

По данным этих рядов рассчитаны уравнения линейных трендов за весь период наблюдений. Многолетние тренды уклонов уровня поперек ОЧТ оказались незначимыми (т.е. практически нулевыми) у м.Кадош и к юго-востоку от Ялты. В то же время на разрезе к юго-западу от м.Херсонес отмечается значимый отрицательный линейный тренд, описываемый уравнением регрессии

$$g(T) = 20,726 - 0,021T \text{ при } R^2 = 0,04 \text{ (значимость на уровне 95 \%), (1)}$$

где T – номер месяца наблюдений, считая с января 1959 г. ($T = 0$ соответствует 01.01.59, $g_0 = 20,726$). Таким образом, в западной части северной ветви

Разность динамических высот dD во всех районах уменьшается в феврале – апреле и имеет летний максимум в августе. По характеру изменения и величине сезонного перепада уровня 5 – 8 см эта характеристика соответствует стерическому увеличению уровня моря за счет термического расширения столба воды при сезонном прогреве верхнего слоя моря [8].

Таким образом, сезонный ход динамических характеристик уровня моря, полученный по данным наблюдений на прибрежных участках вековых разрезов дает реалистичное представление о сезонной изменчивости потоков в зоне ОЧТ.

Предварительный анализ многолетних временных рядов. На рис.6 представлены временные ряды динамических уклонов морской поверхности на разрезах у берегов Кавказа (от м.Кадош) и Крыма (от

ОЧТ (к юго-западу от Крыма) наблюдается многолетнее уменьшение уклона морской поверхности со средней скоростью 0,021 см/100 км за месяц (0,252 см/100 км за год), что соответствует падению величины уклона за 35 лет на $g_{total} = 8,82$ см/100 км. Отношение $g_{total}/g_0 = 43$ %, что означает существенное ослабление геострофического потока на поверхности моря в данном районе, вызванное, вероятно, климатическими изменениями последних десятилетий XX в., прежде всего, повсеместным ослаблением ветра над морем [9].

Многолетние тренды на разрезе к юго-западу от м.Херсонес. Дальнейший, более тщательный, анализ многолетних изменений динамических характеристик ОЧТ проводился по данным разреза к юго-западу от м.Херсонес. Его целью была оценка общих и сезонных величин трендов с учетом фильтрации данных по соотношению g, R^2 .

На основе анализа разброса многолетних данных разреза в плоскости g, R^2 были выбраны критерии отбраковки $g \leq 0$ и/или $R^2 \leq 0.25$, которые позволили исключить 17 случаев из 110 (всего 15 %), однако существенно улучшили оценки линейного климатического тренда уклонов ОЧТ (1):

$$g(T) = 27,076 - 0,0339T \text{ при } R^2 = 0,20 \text{ (значимость } \gg 95 \%). \quad (2)$$

Согласно (2), на разрезе к юго-западу от м.Херсонес в 1959 – 1995 гг. наблюдалось многолетнее уменьшение уклона морской поверхности (рис.7, а) со средней скоростью 0,034 см/100 км за месяц (0,407 см/100 км за год), что соответствует падению величины уклона за 35 лет на $g_{total} = 12,84$ см/100 км (47 % от уклона в 1959 г.).

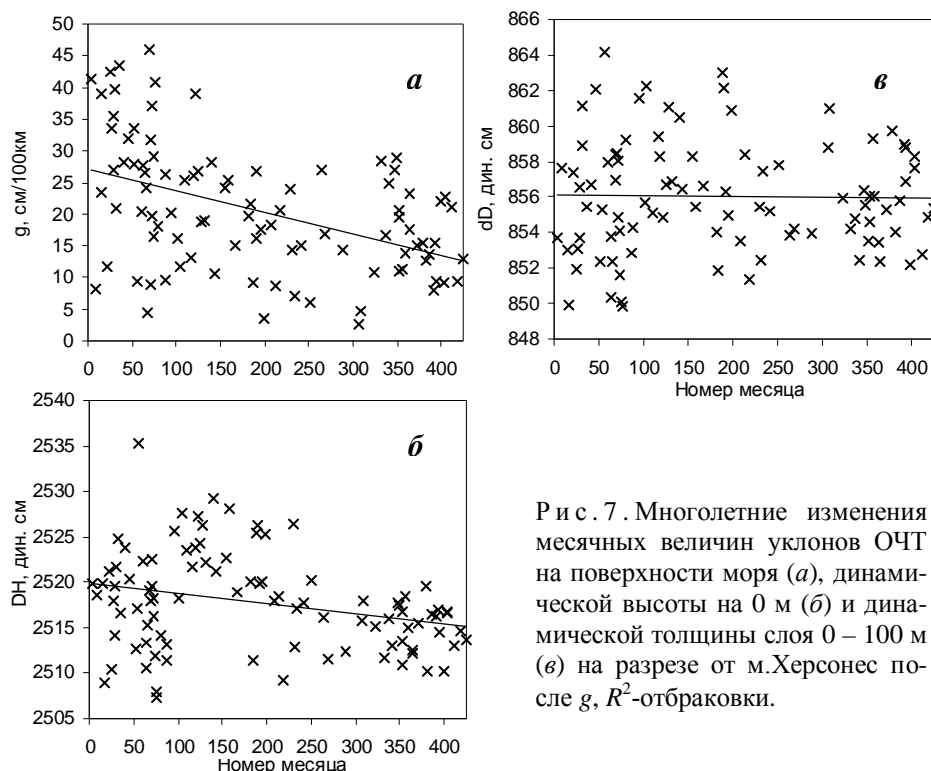


Рис. 7. Многолетние изменения месячных величин уклонов ОЧТ на поверхности моря (а), динамической высоты на 0 м (б) и динамической толщины слоя 0 – 100 м (в) на разрезе от м.Херсонес после g, R^2 -отбраковки.

Получено также уравнение общего отрицательного тренда динамической высоты морской поверхности в точке 44° с.ш.:

$$DH(T) = 2519,97 - 0,012T \text{ при } R^2 = 0,08 \text{ (значимость } > 95 \%). \quad (3)$$

Согласно (3), в точке 44° с.ш. на разрезе к юго-западу от м.Херсонес в 1959 – 1995 гг. наблюдалось многолетнее уменьшение динамической высоты морской поверхности (рис.7, б) со средней скоростью 0,012 дин. см за месяц (0,143 дин. см за год), что соответствует падению величины динамического уровня за 35 лет на 5 дин. см. В соответствии с представлениями о средней крупномасштабной динамической топографии моря в этом районе, наряду с ослаблением геострофического потока наблюдалась многолетняя тенденция смещения ОЧТ к северу, в направлении крымского шельфа.

Значимого общего тренда месячных и годовых значений $dD(0 - 100)$ не обнаружено (рис.7, в).

Большая сезонная изменчивость интенсивности ОЧТ, сезонная и межгодовая неравномерность числа наблюдений на разрезах, недостаточные длины рядов усложняют задачу оценки сезонных различий климатических трендов. Тем не менее, предпринята попытка расчета трендов по сезонам года путем поквартальной группировки месячных данных, с применением g, R^2 -критериев отбраковки. Характеристики полученных сезонных рядов приведены в табл.2, а результаты оценки по этим рядам многолетних трендов представлены в табл.3 – 5 и на рис.8 – 10 (аргумент в уравнениях трендов – номер года, 0 соответствует 1959 г.).

Как видно из табл.3 и рис.8, максимальные уклоны динамического уровня в 1959 г. наблюдались зимой, минимальные – летом, для этих сезонов получены и, соответственно, максимальные и минимальные по модулю значения наклонов линий тренда. Для весеннего сезона получено наиболее значимое уравнение тренда. За 35 лет интенсивность Крымской ветви ОЧТ в зимний, весенний и осенний сезоны снизилась до 45 – 48 % от величин 1959 г. (более чем в 2 раза), в летний сезон – до 62 %.

Начальные величины динамического уровня в точке 44° с.ш. были максимальными летом и осенью, т.е. зона ОЧТ простиралась в 1959 г. дальше от берега, чем зимой и осенью (табл.4, рис.9). Значимые отрицательные тренды этой характеристики также обнаружены для летнего и осеннего сезонов: динамический уровень за 35 лет снизился на 8 – 9 см. Таким образом,

Т а б л и ц а 2. Характеристики временных рядов, использованных для анализа многолетних трендов по данным разреза к юго-западу от м.Херсонес.

сезон (месяцы)	исходн. число данных	число (%) отбраков. случаев	годы
зима (1 – 3)	25	2 (8)	1959 – 1992
весна (4 – 6)	26	2 (8)	1960 – 1994
лето (7 – 9)	31	9 (29)	1959 – 1992
осень (10 – 12)	28	4 (14)	1960 – 1993
весь ряд (1 – 12)	110	17 (15)	1959 – 1994

процесс многолетнего смещения зоны ОЧТ к северу отмечался преимущественно в летне-осенний период года, причем осенью он сопровождался и значимым уменьшением динамических уклонов, а значит и средней скорости геострофического течения по нормали к разрезу (табл.3, рис.8).

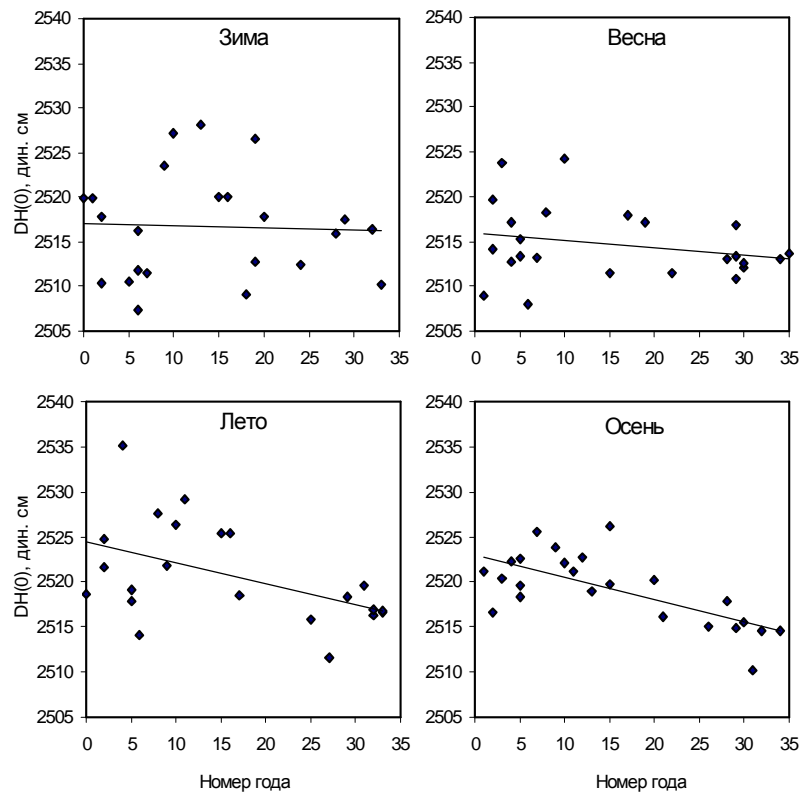


Рис. 9. Многолетние изменения величин динамической высоты морской поверхности в зоне ОЧТ на разрезе к юго-западу от м.Херсонес по сезонам года после g, R^2 -отбраковки.

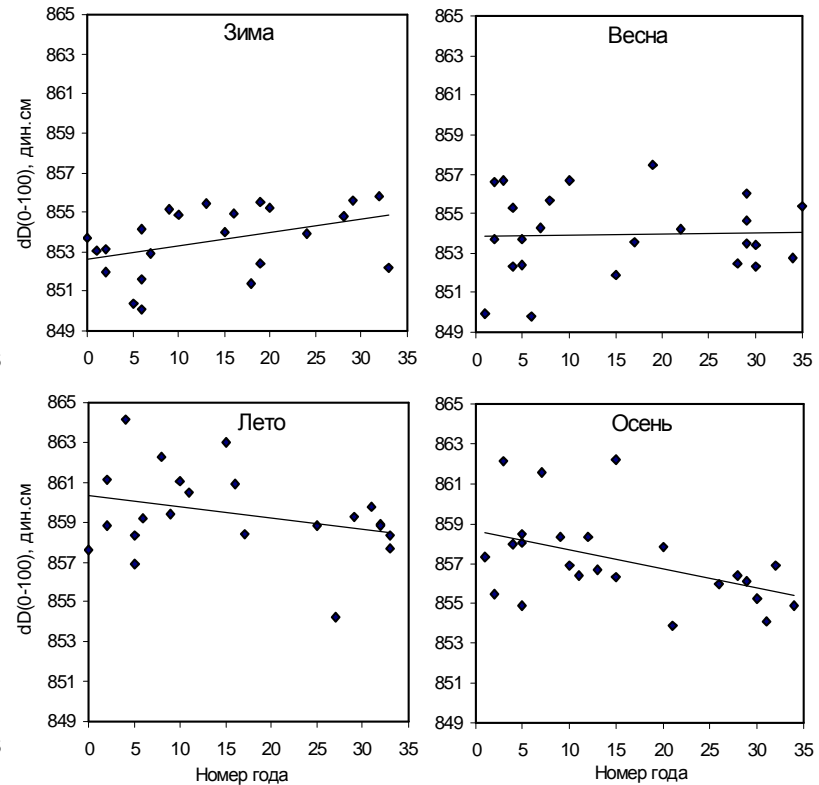


Рис. 10. Многолетние изменения разности динамических высот горизонтов 0 и 100 м в зоне ОЧТ на разрезе к юго-западу от м.Херсонес по сезонам года после g, R^2 -отбраковки.

Т а б л и ц а 3. Результаты оценки уравнений многолетних трендов уклонов динамического уровня на разрезе к юго-западу от м.Херсонес по сезонам года (выделены тренды, значимые с вероятностью не ниже 95 %).

сезон (месяцы)	своб. член, см/100 км	коэф. наклона тренда, см/100 км/год	величина тренда за 35 лет, см/100 км (%)	коэф. детерминации	T -статистика	F-отношение
зима (1 – 3)	31,027	– 0,4886	13,9 (45)	0,285	2,893	8,367
весна (4 – 6)	30,705	– 0,4563	14,7 (48)	0,440	4,161	17,314
лето (7 – 9)	19,425	– 0,2111	12,0 (62)	0,050	1,027	1,055
осень (10 – 12)	24,764	– 0,3735	11,7 (47)	0,199	2,339	5,470

Т а б л и ц а 4. Результаты оценки уравнений многолетних трендов динамической высоты поверхности моря на 44° с.ш. по сезонным данным разреза к юго-западу от м.Херсонес (выделены тренды, значимые с вероятностью не ниже 95 %).

сезон (месяцы)	своб. член, дин. см	коэф. наклона тренда, см/год	величина тренда за 35 лет, см	коэф. детерминации	T -статистика	F-отношение
зима (1 – 3)	2516,99	– 0,0237	– 0,83	0,002	0,188	0,035
весна (4 – 6)	2515,94	– 0,0822	– 2,88	0,060	1,181	1,395
лето (7 – 9)	2524,54	– 0,2340	– 8,19	0,246	2,555	6,526
осень (10 – 12)	2523,00	– 0,2488	– 8,71	0,476	4,466	19,942

Т а б л и ц а 5. Результаты оценки уравнений многолетних трендов разности динамических высот горизонтов 0 и 100 м на 44° с.ш. по сезонным данным разреза от м. Херсонес (выделены тренды, значимые с вероятностью не ниже 95 %).

сезон (месяцы)	своб. член, дин. см	коэф. наклона тренда, см/год	величина тренда за 35 лет, дин. см	коэф. детерминации	T -статистика	F-отношение
зима (1 – 3)	852,61	0,069	2,42	0,170	2,076	4,309
весна (4 – 6)	853,84	0,007	0,25	0,002	0,194	0,038
лето (7 – 9)	860,35	– 0,057	– 2,00	0,101	1,502	2,257
осень (10 – 12)	858,66	– 0,097	– 3,40	0,223	2,509	6,296

Многолетние линейные тренды разности динамических высот поверхности моря и горизонта 100 м (табл.5, рис.10) получились значимыми для зимнего и осеннего сезонов. При этом зимой тренд положительный (+ 2,4 дин. см за 35 лет), осенью отрицательный (– 3,4 дин. см за 35 лет). Вспомним, что в среднем за год тренд получился незначимым (рис.7, в).

Если верно предположение, что изменение динамической толщины слоя 0 – 100 м отражает стерический эффект, т.е. изменение объема воды

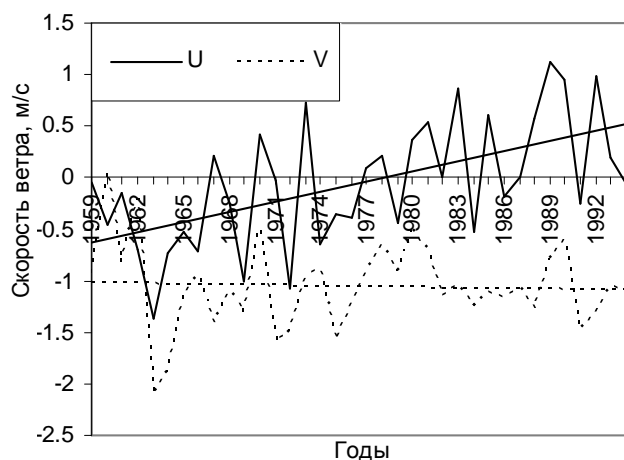


Рис. 11. Средние годовые компоненты скорости ветра в западной части Черного моря по данным ре-анализа *NCEP/NCAR*.

Полученные оценки согласуются с сезонными особенностями многолетних региональных трендов, например – повышение температуры воздуха в зимние месяцы и понижение ее осенью, особенно в октябре [6]. Данные результаты носят, прежде всего, вспомогательный характер и позволяют подтвердить правомерность методологии и пригодность используемых материалов.

Сопоставление с изменениями ветрового воздействия. Поскольку характер крупномасштабной циркуляции Черного моря чаще всего объясняется ветровым воздействием, представляет интерес проанализировать многолетние изменения характеристик ветра над морем и сопоставить их с полученными оценками трендов. На рис.11 представлен временной ход компонент среднемесячной скорости ветра в открытом море (к северо-западу от линии разреза «Херсонес-Босфор», 2° квадрат с центром 44.761° с.ш.; 30° в.д.) по данным ре-анализа *NCEP/NCAR* за 1959 – 1994 гг.

На фоне межгодовых флуктуаций с периодом 2 – 5 лет выделяется отчетливый положительный тренд зональной компоненты $U(T) = 0,033T - 0,66$ ($R^2 = 0,316$, T – годы). Это свидетельствует об усилении западной (дует на восток) составляющей ветра, т.е. той, которая действует, в общем, навстречу Крымской ветви ОЧТ и, вероятно, оказывает тормозящее воздействие на водную поверхность.

Важной характеристикой динамического воздействия ветра являются величина и знак его относительной за-

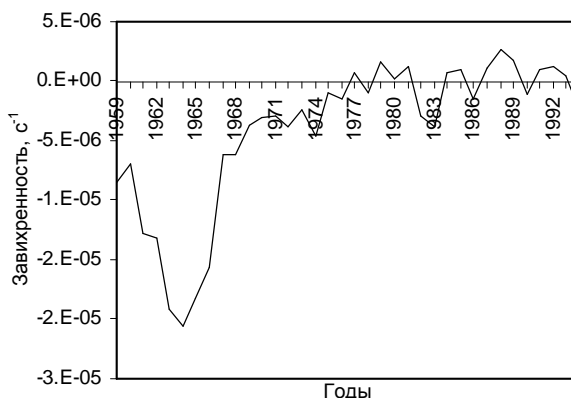


Рис. 12. Средние годовые величины относительной завихренности ветра в западной части Черного моря по данным ре-анализа *NCEP/NCAR*.

под действием теплового расширения, то новые величины, сопоставимые с сезонными вариациями dD (рис.3), характеризуют тенденции зимнего потепления и осеннего похолодания в рассматриваемом регионе. Согласно [8], увеличение/уменьшение потока тепла на границе моря и атмосферы на 150 Вт/м^2 приводит к стерическому повышению/понижению уровня моря на 2,5 см.

вихренности, определяющей т.н. «экмановскую накачку». Из рис.12 видно, что в 60-е гг. отмечались максимальные величины циклонической (отрицательной) завихренности ветра, что соответствует максимальной интенсификации ОЧТ в этот период (рис.6). В дальнейшем, в 70-х – 90-х гг., средние величины завихренности существенно снизились и изменяли знак в соответствии с короткопериодными межгодовыми пульсациями ветрового поля, т.е. не демонстрировали длительного преобладания какого-либо знака завихренности, что во многом объясняет наличие отрицательного тренда величин уклонов уровня поперек ОЧТ и, соответственно, средних скоростей геострофических течений.

Выводы. Данные гидрологических наблюдений на стандартных («вековых») разрезах, выполнявшихся с различной регулярностью во второй половине XX века, позволяющие адекватно описывать сезонные и межгодовые изменения характеристик крупномасштабных геострофических течений у берегов Крыма и Кавказа. В условиях глобальных и региональных климатических изменений эти ряды служат полезным инструментом исследования реакции основных элементов циркуляции вод на внешние воздействия, прежде всего - межгодовой и многолетней («декадной») изменчивости. Основные результаты данной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Сезонный ход динамических характеристик уровня моря, полученный по данным наблюдений на прибрежных участках вековых разрезов, дает реалистичное представление о сезонной изменчивости потоков в зоне ОЧТ.

2. Выявлены значимые линейные тренды уменьшения динамических уклонов и динамических высот на поверхности моря, свидетельствующие о многолетних тенденциях ослабления геострофического течения и смещения его к северу на разрезе к ЮЗ от м. Херсонес. Эти тенденции различаются по сезонам года.

3. Получены значимые отрицательные тренды уклонов динамического уровня моря на разрезе от м. Херсонес для всех сезонов, кроме летнего. Значимые отрицательные тенденции динамической высоты в точке, близкой к среднему положению стрежня ОЧТ на разрезе, полученные для лета и осени, можно интерпретировать как смещение потока ОЧТ или уменьшение его ширины в направлении к северу.

4. На фоне отсутствия общего тренда разности динамических высот поверхности моря и горизонта 100 м обнаружены значимые разнонаправленные тренды этой характеристики для зимы и осени, согласующиеся со стерическими изменениями уровня моря под воздействием зимнего потепления и осеннего похолодания второй половины XX века.

5. Замедление Крымской ветви ОЧТ соответствует многолетнему линейному ослаблению западной компоненты скорости ветра в районе разреза к ЮЗ от м. Херсонес, а также изменению характера относительной завихренности поля ветра: преобладавшая циклоническая завихренность первого десятилетия сменилась малыми по величине и переменными по знаку значениями.

Наряду с прочими признаками климатических изменений гидрометеорологического режима Черного моря (повышение температуры воздуха и воды, снижение ветровой активности, уменьшение испарения, рост уровня моря и пр.), выявленные по данным наблюдений признаки ослабления геострофического течения могут иметь негативные экологические и экономические последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Положение* о вековых гидрологических наблюдениях на морях, омывающих берега СССР, и в устьях рек, впадающих в них.– Л.: Гидрометеоиздат, 1976.– ДСП.– 40 с.
2. *Polonsky A.B., Lovenkova E.A.* Decadal-scale variability of Black Sea winter pycnocline and circulation tendencies // 1st Biannual Scientific Conference “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond”. 8-10 May 2006.– Istanbul, Turkey, 2006.– P.12-14.
3. *Ильин Ю.П.* Сезонный ход и многолетние тренды динамического наклона уровня Черного моря по данным гидрологических наблюдений на «вековых» разрезах // Научная конференция «Ломоносовские чтения» и Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2007».– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007.– С.8-9.
4. *Белокопытов В.Н.* Применение геоинформационной системы «Гидрометеорология и гидрохимия Черного и Азовского морей» для комплексного анализа океанографических съемок // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2002.– С.200-204.
5. *Белокопытов В.Н.* Структура и организация базы знаний по термохалинным свойствам Азово-Черноморского бассейна (ЭПС ТЕРМОХАЛ). Экспериментальный макет автоматизированного рабочего места «Гидролог» // Системы, основанные на океанологических знаниях и данных. Под ред. В.Н. Еремеева, А.М. Суворова.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995.– С.32-38.
6. *Ильин Ю.П., Репетин Л.Н.* Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.444-456.
7. *Krivosheya V.G., Nyffeler F., Yakubenko V.G., Ovchinnikov I.M., Kos'yan R.D., Kontar E.A.* Experimental studies of eddy structures within the Rim current zone in the north-eastern part of the Black Sea // Ecosystem modelling as a management tool for the Black Sea. Ivanov L.I. and Oguz T. (eds.).– Kluwer AP, the Netherlands, 1998.– P.131-144.
8. *Peneva E., Stanev E., Belokopytov V., Le Traon P.-Y.* Water transport in the Bosphorus strait estimated from hydro-meteorological and altimeter data: seasonal to decadal variability // J. Mar. Syst.– 2001.– 31.– P.21-33.
9. *Липченко А.Е., Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Липченко М.М.* Уменьшение испарения с поверхности Черного моря во второй половине XX столетия как следствие глобальных изменений климата // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.457-471.

Материал поступил в редакцию 18.11.2008 г.