

УДК 551.242.122

О. Р. Андреанова, канд. геогр. наук, ст. научн. сотр.
Отделение гидроакустики Морского
гидрофизического института НАН Украины
ул. Преображенская, 3, Одесса-82, 65082, Украина
e-mail: olga_andr@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА, СРЕДИЗЕМНОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

Проведены оценки изменений уровня по станциям на побережьях Атлантического океана, Средиземного и Черного морей за последний климатический период (1981-2010 гг.) в сравнении с предыдущим (1951–1980 гг.). Показан более значительный рост уровня в восточной части Черного моря и в Атлантическом океане. Установлено уменьшение амплитуд изменений уровня моря в последние 30 лет и отмечены региональные особенности в сезонном ходе.

Ключевые слова: уровень моря, тренд, сезонный ход, Черное, Средиземное море, Атлантический океан

Введение.

Последнее столетие характеризуется резким усилением антропогенной нагрузки на морские экосистемы. В то же время, уровень Мирового океана в этот период (в XX веке) показывает общую тенденцию к росту от +0,6 до +1,9 мм в год [1, 2]. Повышение уровня моря является неизбежным следствием глобального потепления по двум основным причинам: океанская вода расширяется при нагреве, и имеется дополнительный приток воды в океаны со льда (Антарктида, Гренландия), который тает на Земле. За период 1961-2003 гг., коэффициент теплового расширения составил ~ 40% от наблюдаемого подъема уровня моря, в то время как сокращение горных ледников и ледовых щитов внесло ~ 60% [3]. Колебания уровня океана могут иметь амплитуду от нескольких миллиметров до десятков метров и быть периодическими и неп-

© Андреанова О. Р.

риодическими. Эти изменения проявляются, прежде всего, в береговой зоне, которая характеризуется исключительно высокой динамичностью и подвижностью разных элементов [1]. Береговая зона находится под непрерывным воздействием множества различных факторов таких, как гидрометеорологические, приливообразующие силы, тектонические процессы в земной коре, изменения периода вращения Земли и положения ее оси, изменение термического режима планеты, изменение объема вод и целого ряда других. Определение вклада факторов, которые оказывают воздействие на постоянные изменения уровня Мирового океана как в пространстве, так и во времени, представляет собой глобальную задачу исследований [4]. Для того, чтобы определить степень воздействия какого-либо из факторов на изменения уровня моря, необходимо понимать природу процессов, происходящих в этом бассейне. Интерпретация и оценка относительного роста уровня Черного моря должна производиться с учетом закономерностей изменения уровня Мирового океана и связи с ним черноморского бассейна. Из этих позиций следует, что оценка изменений уровня в Атлантическом океане, Средиземном море и Черном море позволит лучше представить общие глобальные закономерности и оценить региональные особенности.

Целью предлагаемой работы являлось исследование колебаний уровня Черного, Средиземного морей и Атлантического океана по рядам среднегодовых и среднемесячных значений его на отдельных прибрежных станциях, выделение тенденций в отдельные периоды времени, их сравнение и оценка сезонных и межгодовых изменений.

Материалы и методы исследования.

В соответствии с указанной целью исследований в данной работе рассматривались совместно колебания уровня на станциях различных частей Черного и Средиземного морей, а также Атлантического океана, показанные на рис. 1.

К сожалению, длительные непрерывные ряды наблюдений над уровнем по региону Мраморного моря, непосредственно через проливы которого Черное море связывается со Средиземным, отсутствуют. В качестве исходных данных для выделения тенденций изменения уровня моря использовались материалы среднемесячных и среднегодовых его значений за 1951-2010 гг. по выбранным репрезентативным прибреж-

ным станциям Черного (6 станций), Средиземного (6 станций) морей и восточного побережья Атлантического океана (4 станции), координаты которых и длительность рядов приведены в табл. 1.

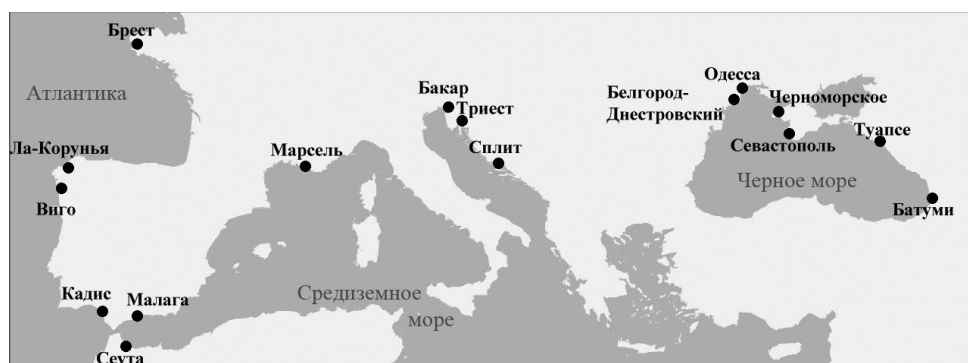


Рис. 1. Расположение станций наблюдений за уровнем моря

Продолжительность наблюдений не всех исходных рядов охватывала указанный период, но сравнение проводилось по одинаковым отрезкам времени, а климатическая норма находилась за 30-ти летний период времени (1951-1980 гг. и 1981-2010 гг.).

Регионы морей условно делились на восточные и западные части, относительно Крымского полуострова для Черного моря и Аппенинского — для Средиземного. Материалы наблюдений по западной части Черного моря представлены до 1985 г. в Каталоге наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей [5], а за период до 2010 года любезно предоставлены директором Морского отделения УкрНИГМИ Ильиным Ю. П. в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве. Данные для анализа на станциях восточной части Черного моря, Средиземного моря и Атлантического океана были найдены в Интернете [6]. Для получения непрерывного ряда наблюдений над уровнем моря анализируемых станций проводилось их восстановление за отдельные промежутки времени. Восстановление выполнялось с помощью метода водного нивелирования, подробно описанного в работах [7, 8], используя данные близлежащих станций.

Долговременные межгодовые изменения уровня моря на рассматриваемых станциях исследовались по отклонениям от средних многолетних значений для каждой станции за весь рассматриваемый период, чтобы проводить сравнения по идентичным данным.

Таблица 1

Станции наблюдений за уровнем моря, продолжительность, координаты, тренды (1) и производные (2) для рассматриваемых интервалов времени

Регион	Название станции	Длина ряда	Координаты	1951-2010 гг.		1951-1980 гг.		1981-2010 гг.	
				1	2	1	2	1	2
Восточное побережье Атлантики	Брест	1807-2009 гг.	48° 23' N	0,181	2,6	0,020	3,8	0,248	1,6
			04° 30' W						
	Ла-Корунья	1927-2010 гг.	43° 22' N	0,221	4,0	0,314	4,5	0,254	3,4
			08° 24' W						
Виго	1927-2010 гг.	42° 14' N	0,231	3,7	0,381	4,0	0,286	3,4	
		08° 44' W							
Кадис	1927-2010 гг.	36° 32' N	0,394	3,8	0,174	3,0	0,407	4,4	
		06° 17' W							
Восточная часть Средиземного моря	Сплит	1952-2009 гг.	43° 31' N	0,058	2,5	0,019	3,2	0,234	1,9
			16° 26' E						
	Бакар	1930-2009 гг.	45° 18' N	0,073	3,1	0,067	4,1	0,191	2,0
14° 32' E									
Триест	1875-2011 гг.	45° 39' N	0,121	2,9	0,099	3,8	0,283	2,0	
		13° 46' E							
Западная часть Средиземного моря	Марсель	1885-2011 гг.	43° 18' N	0,025	2,1	-0,168	2,8	0,269	1,4
			05° 21' E						
	Малага	1927-2010 гг.	36° 43' N	0,164	2,5	-0,080	3,6	0,056	2,0
04° 25' W									
Сеута	1944-2010 гг.	34° 54' N	0,067	2,3	0,014	2,9	0,067	1,6	
		05° 19' W							
Восточная часть Черного моря	Туапсе	1917-2010 гг.	44° 06' N	0,299	5,6	0,183	6,3	0,474	5,0
			39° 05' E						
Батуми	1882-2009 гг.	41° 38' N	0,470	4,9	0,368	5,6	0,508	3,9	
		41° 42' E							
Западная часть Черного моря	Севастополь	1875-2009 гг.	44° 36' N	0,214	5,8	0,208	6,2	0,320	5,1
			33° 32' E						
	Черноморское	1927-2010 гг.	45° 31' N	0,165	5,0	0,211	6,1	0,173	3,8
			32° 42' E						
Одесса	1875-2010 гг.	46° 30' N	0,178	6,1	0,259	7,2	-0,089	5,1	
		30° 45' E							
Белгород-Днестровский	1945-2007 гг.	46° 11' N	0,248	6,1	0,365	7,3	0,244	5,2	
		30° 20' E							

Указанные данные обработаны с использованием стандартных статистических подходов, пригодных для анализа многомерных пространственно-временных данных [9] (в том числе, на базе математического аппарата MS EXCEL были найдены коэффициенты уравнения регрессии для установления трендов, приведенных в табл. 1 по сравниваемым периодам).

Результаты и обсуждение. Для выделения тенденций изменения уровня на побережьях Черного, Средиземного морей и Атлантического океана был проанализирован промежуток времени с 1951 по 2010 гг., который охвачен наблюдениями на большинстве рассматриваемых станций и включает два климатических периода с 1951 по 1980 гг. и с 1981 по 2010 гг., что позволяет провести их репрезентативное сравнение на современном этапе. В табл. 1 представлены значения трендов (углы наклона кривой), которые находились по рассчитанным для каждого ряда уравнениям линейной регрессии и отражают тенденцию изменения уровня моря на рассматриваемом интервале времени.

Оценка скорости изменений уровня моря от года к году на анализируемых станциях проводилась по значениям производных (измеряемых в см/год²), которые также представлены в табл. 1 для всех станций и интервалов времени, а на рис. 2 показаны амплитуды изменений уровня моря в см для станций, расположенных на побережьях рассматриваемых бассейнов.

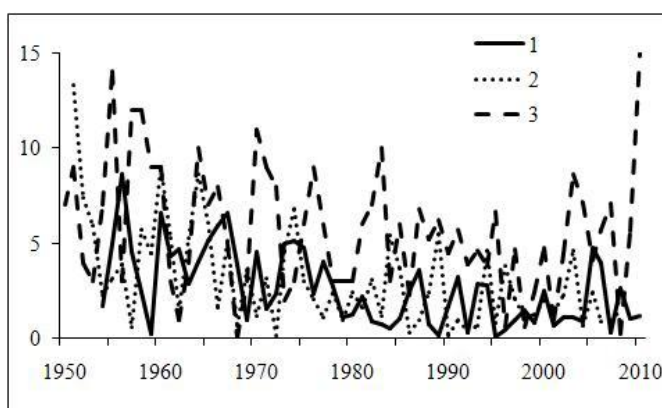


Рис. 2. Временной ход абсолютных значений амплитуд изменений уровня моря в см : 1 — Атлантический океан (ст. Брест), 2 — Средиземное море (ст. Бакар), 3 — Черное море (ст. Севастополь).

За весь рассматриваемый период (1951-2010 гг.) отмечается общий рост уровня моря (положительные значения тренда) на всех анализируемых станциях (табл. 1), но значения роста имеют широкий диапазон: в восточной части Черного моря (0,470 см/год — в Батуми) и в Атлантическом океане (0,394 см/год — Кадис) рост более значителен, чем на станциях западной части Черного моря (0,165 см/год — Черноморское) и в Средиземном море (0,025 см/год — Марсель и 0,164 см/год — Малага).

В этот же период распределение амплитуды изменений уровня моря (табл. 1) аналогично, но она больше на станциях всего Черного моря и Атлантического океана. Представленный на рис. 2 временной ход абсолютных значений амплитуд изменений уровня моря от года к году показывает уменьшение этой характеристики во второй части графика, т. е. с начала 80-х годов, для трех рассматриваемых бассейнов. Поэтому наш дальнейший анализ посвящен сравнению двух временных интервалов с 1951 по 1980 гг. и с 1981 по 2010 гг., для того чтобы на климатических рядах оценить произошедшие перемены в колебаниях уровня на восточном побережье Атлантического океана, Средиземного и Черного морей в последние десятилетия. Из сравнения климатических рядов следует вывод об уменьшении абсолютных значений амплитуд изменений уровня моря в последние 30 лет (табл. 1), которое отмечается на всех рассмотренных станциях, что показано в качестве примера на рис. 2.

На восточном побережье Атлантического океана общая тенденция увеличения роста уровня моря на станциях Брест и Кадис сохранилась, а на станциях Ла-Корунья и Виго она уменьшилась в последние 30 лет.

В Средиземном море на всех рассмотренных станциях отмечается увеличение роста уровня в последние 30 лет (табл. 1). При этом на станциях Марсель и Малага, расположенных в западной части этого бассейна, сменилась тенденция понижения уровня в 1951–1980 годах на рост в 1981-2010 годах.

В Черном море изменения тренда значительны в его восточной части (Туапсе и Батуми) по сравнению с западной, а скорость роста уровня по Черному морю увеличилась на указанных станциях и на станции Севастополь, которая расположена ближе к центру моря (табл. 1). На станциях западной части (Черноморское и Белгород-Днестровский) отмечается уменьшение роста уровня моря, а на станции Одесса даже понижение уровня в последние 30 лет, по сравнению с предыдущим климатическим периодом (табл. 1).

Поскольку в работе на основе информационного подхода дается оценка климатических параметров и решается задача определения характеристик их устойчивости, то для определения возможных причин изменения уровня моря анализируемых регионов проведено исследование внутригодовых колебаний для тех же временных интервалов. Выполненные оценки изменения сезонного хода уровня в виде разности между климатической нормой за 1981–2010 гг. и 1951–1980 гг. для ряда рассмотренных станций трех соседних регионов (восточного побережья Атлантического океана, Средиземного и Черного морей) представлены на рис. 3.

На графике изменения разности сезонного хода уровня на выбранных станциях Атлантического океана (рис. 3а) хорошо виден его рост (положительные значения) во все месяцы с преобладанием в весенний и осенний периоды и практически отсутствие роста в феврале-марте. Это наблюдается синхронно на трех станциях, удаленных на север от пролива Гибралтар и несколько отличается на станции Кадис, расположенной вблизи пролива со стороны океана (рис. 1, 3а). Объяснение природы этого повышения уровня океана может быть найдено в глобальном повышении температуры воды, воздействие которого в зимние месяцы уменьшается, т.е. связано с современными изменениями климата [2, 3].

Изменение разности климатических норм сезонного хода уровня на станциях Средиземного моря (рис. 3б) согласуется по месяцам с результатами, полученными на станциях Атлантического океана, однако повышение менее существенно или вообще не отмечается в холодный период года (с ноября по март).

По мере удаления станций от пролива Гибралтар разности уровня Средиземного моря в холодный период уменьшаются (рис. 3б). Так, на станции Сплит за указанные 5 месяцев уровень в среднем понизился за 30 лет на 1,4 см (рис. 3б). В среднем за год уровень Средиземного моря повышается, на что указано выше в табл. 1. Изменение разности климатических норм сезонного хода уровня на станциях Средиземного моря (рис. 3б) согласуется по месяцам с результатами, полученными на станциях Атлантического океана. Однако, повышение менее существенно или вообще не отмечается в холодный период года (с ноября по март).

В Черном море (рис. 3в) на всех станциях во все месяцы наблюдается увеличение разности уровня (как и в Атлантическом океане), но сезонный ход имеет иные закономерности. Максимум роста приходится

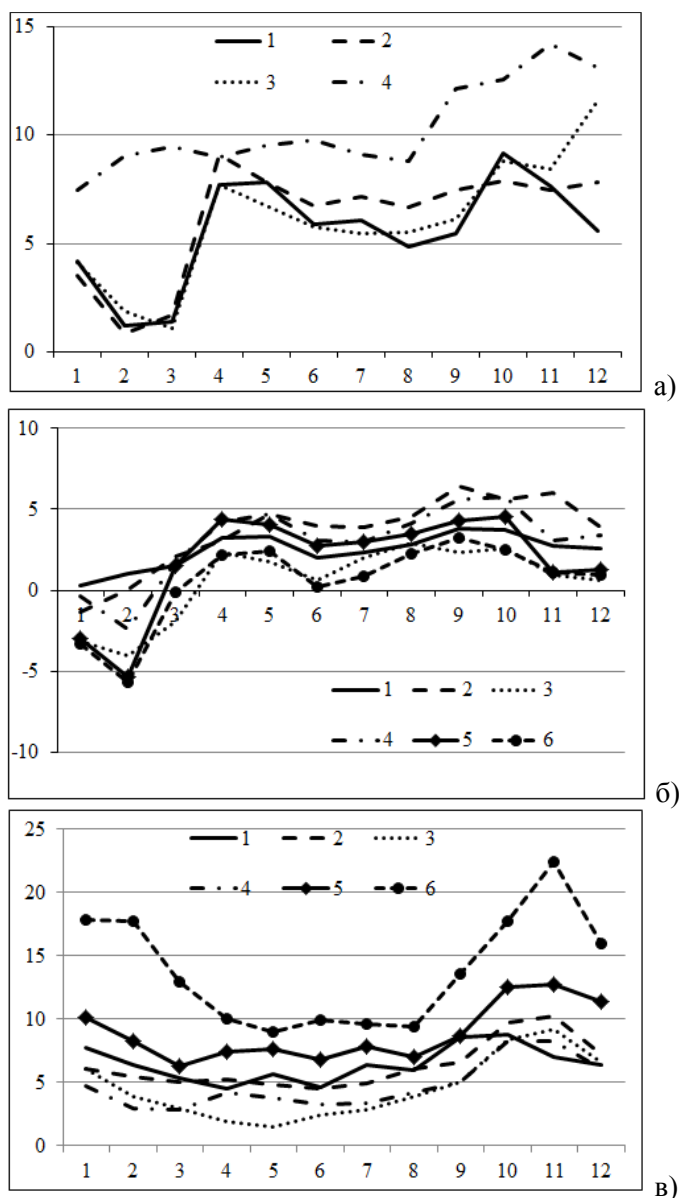


Рис.3. Разности (в см) между климатическим сезонным ходом уровня моря за 1981–2010 гг. и 1951-1980 гг. на станциях: а) восточного побережья Атлантического океана (1 — Брест, 2-Ла-Корунья, 3-Виго, 4 — Кадис); б) Средиземного моря (1 — Сеута, 2 — Малага, 3 — Марсель, 4 — Триест, 5 — Бакар, 6 — Сплит); в) Черного моря (1 — Белгород-Днестровский, 2 — Одесса, 3-Черноморское, 4 — Севастополь, 5 — Туапсе, 6 — Батуми).

на осенне-зимний период и повышение уровня существенно выше, чем в Средиземном море. Объяснение полученных тенденций носит региональный характер, а возможные причины, вызывающие указанные различия и приводящие к изменению уровня Черного моря в течение минувшего столетия, перечислены в работе Ю. Д. Шуйского [4]. Этим автором к числу причин, связанных с изменениями климата прямо или косвенно, в Черном море отнесены: приток материкового поверхностного и подземного стока в море в условиях сильного сокращения испарения, приход воды из соседних водоемов в условиях усиления снижения стока в Черное море из Мраморного и Азовского морей, отток черноморских вод через пролив Босфор в условиях усиления этого процесса, термическое изменение плотности и объема поверхностного динамического слоя морской воды в условиях современного повышения средних температур атмосферы. Количественная оценка факторов влияния, приведенная в данной работе [4], показала, что причины, не связанные с изменениями климата по абсолютным оценкам являются более эффективными и относятся к тектоническому, геофизическому, гидростатическому и даже — к антропогенному воздействию. Различное сочетание воздействующих причин отражается на значениях уровня Черного моря по прибрежным станциям, а отмечаемые отличия в тенденциях колебания уровня объясняются уже региональными особенностями этих факторов.

Обобщенная диаграмма изменения уровня моря на рассматриваемых станциях за последние 30 лет относительно предыдущего климатического периода представлена на рис. 4. Эта диаграмма отражает результаты проведенного сравнения изменения уровня по трем соседним бассейнам — по восточному побережью Атлантического океана, Средиземному и Черному морям и показывает различия его роста в 1981–2010 гг. по отношению к состоянию в 1951–1980 гг.

Выводы

На основе проведенного сравнительного анализа колебаний уровня Черного, Средиземного морей и восточного побережья Атлантического океана на отдельных прибрежных станциях за два климатических периода с 1951 по 1980 годы и с 1981 по 2010 годы можно сделать следующие выводы об основных тенденциях его изменений:

– подтверждается общий рост уровня моря 1951–2010 гг., который имеет широкий диапазон (табл. 1, рис. 4) — рост более значителен в восточной части Черного моря и в Атлантическом океане, чем на станциях Средиземного и западной части Черного моря;

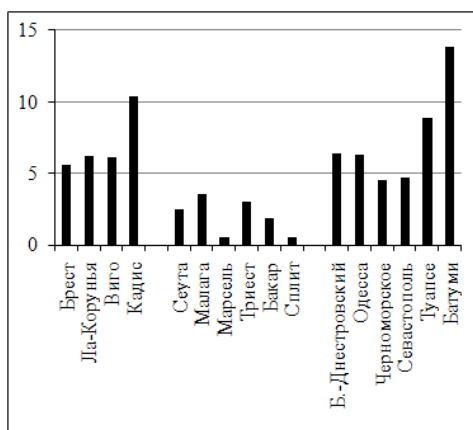


Рис. 4. Изменения уровня моря (в см) на станциях за 1981–2010 гг. относительно 1951–1980 гг.

– установлено уменьшение значений амплитуд изменений уровня моря в последние 30 лет для трех рассматриваемых бассейнов (табл. 1, рис. 2);

– на станциях западной части Черного моря отмечено уменьшение роста уровня моря и даже его понижение на станции Одесса в последние 30 лет, при этом на остальных станциях общая тенденция увеличения роста сохранилась;

– по разности климатических норм сезонного хода уровня моря (рис. 3) отмечен его рост, который имеет региональные особенности во внутригодовом распределении – на станциях Атлантического океана и Средиземного моря рост преобладает в весенний и осенний периоды и практически отсутствует (или даже понижается на большинстве средиземноморских станций) в феврале-марте; в Черном море на осенне-зимний период приходится максимум роста.

Показанные закономерности и особенности изменения уровня моря в трех соседних бассейнах Атлантического океана, Средиземного и Черного морей могут быть в дальнейшем использованы для прогностического моделирования процессов береговой зоны.

Исследования были проведены в рамках научно-исследовательской тематики Отделения гидроакустики МГИ НАНУ финансируемой Национальной академией наук Украины (2010–2012 гг.)

Список використаної літератури

1. Шуйский Ю. Д., Пейчев В. Д., Черкашин С. С. Об основных тенденциях долговременного изменения уровня в западной части Черного моря и их возможное влияние на берега // Исследование береговой зоны морей. — Киев: Научное издание ИГН, ИППЭГГ НАН Украины, ОНУ им.И. И. Мечникова МОН Украины. 2001. — С.273–284.
2. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее: Под ред. акад. Еремеева В. Н. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. — 210 с.
3. Catia M. Domingues, John A. Church, Neil J. White, Peter J. Gleckler, Susan E. Wijffels, Paul M. Barker & Jeff R. Dunn. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise // NATURE — Vol. 453 — 2008 — P.1090–1093.
4. Шуйский Ю. Д. Численная оценка причин вызывающих современные относительные колебания уровня Черного моря // Тез. докл. Междунар. науч. конф. «География, общество, окружающая среда: развитие географии в странах центральной и восточной Европы». Часть 1: Отв. ред. проф. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ. — 2001. — С.89-91.
5. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Гос. океанографический институт. Севастопольское отделение. — Севастополь. 1990. — 269 с.
6. PSMSL — Permanent Service for Mean Sea Level — www.pol.ac.uk
7. Андреанова О. Р., Белевич Р. Р., Скина М. И. Динамика суши и уровня побережья Одесского региона Черного моря // Геофизический журнал. — 2005. — Т.27, № 3. — С. 463–469.
8. Победоносцев С. В. Использование водного нивелирования для проверки и восстановления значений уровня моря. // Труды ГОИН. — 1978. — Вып. 137. — С. 97–107.
9. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — Москва: Мир, 1974. — 463 с.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2012

Андріанова О. Р.

Відділення гідроакустики Морського
гідрофізичного інституту НАН України
вул. Преображенська, 3, Одеса-82, 65082,
Україна
e-mail: olga_andr@mail.ru

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІН РІВНЯ НА
УЗБЕРЕЖЖЯХ АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ, СЕРЕДЗЕМНОГО І
ЧОРНОГО МОРІВ**

Резюме

Проведено оцінки змін рівня по станціях на узбережжях Атлантичного океану, Середземного і Чорного морів за останній кліматичний період (1981-2010 рр.) у порівнянні з попереднім (1951-1980 рр.). Зростання рівня було більш значне в східній частині Чорного моря і в Атлантичному океані. Встановлено зменшення амплітуд змін рівня моря в останні 30 років та відзначено регіональні особливості у сезонному ході.

Ключові слова: рівень моря, тренд, сезонний хід, Чорне, Середземне море, Атлантичний океан.

Andrianova O. R.

Hydroacoustic Branch of Marine hydrophysical
institute of NAS of Ukraine,
3, Preobrajenska st., Odessa-82, 65082,
Ukraine
e-mail: olga_andr@mail.ru

**THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRENDS SEA LEVEL'S
CHANGES ON THE ATLANTIC COAST, MEDITERRANEAN AND
BLACK SEAS**

Summary

The sea level's changes at the stations on the coasts of the Atlantic Ocean, the Mediterranean and the Black Sea for the last climatic period (1981-2010 years) were estimated and compared to the previous (1951-1980 years). The rising of sea level was a more significant in the eastern part of the

Black Sea and the Atlantic Ocean. The amplitude of changes in sea level has decreased in the past 30 years, and the regional differences have been detected in the seasonal variations.

Key words: sea level, trend, seasonal variations, the Black, Mediterranean Sea, Atlantic Ocean.