

О.Р. Андрианова

Отделение гидроакустики

Морского гидрофизического института НАН Украины г.Одесса

**ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
И В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА
ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ**

Проведены оценки тенденций изменений уровня по станциям западной и восточной части Черного моря и в отдельных регионах Мирового океана за последнее десятилетие (2000 – 2009 гг.) в сравнении с предыдущими годами (1970 – 1999 гг.), выполненные путем фильтрации среднемесячных и среднегодовых данных 5-ти и 10-ти летним скользящим осреднением. Проведенные расчеты показали, что рост уровня моря, наблюдавшийся в 1970 – 1999 гг., на анализируемых станциях Черного моря в 2000 – 2009 гг. прекратился, а с 2001 г. даже наблюдается его понижение (с 1998 г. по Одессе). На большинстве сопоставляемых океанских станциях также не отмечается роста уровня в последнее десятилетие, наблюдается устойчивое горизонтальное его стояние. Установлено уменьшение амплитуды изменений уровня моря на всех рассмотренных черноморских станциях и станциях восточной Атлантики, начиная с 80-х гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *уровень моря, тенденции, долгопериодные колебания. Черное море, Мировой океан.*

Исследование стационарности процесса колебания уровня Мирового океана позволяет судить о том, в какой степени известное нам состояние несет информацию о будущем характере процесса. В то же время, изменения уровня Мирового океана являются хорошим индикатором колебаний климата Земли [1, 2]. Анализ исторических данных о колебаниях уровня Мирового океана свидетельствует о существовании в истории Земли отдельных периодов и даже эпох потепления и похолодания климата (периоды ледниковых и межледниковых эпох), что подтверждает возможность появления подобной ситуации и в наши дни [3]. Оценки неоднократных повышений и понижений уровня океана указывают на существование различных ритмов этого процесса. Установлено [4], что в среднем повышения уровня океана наступали через каждые 36 лет, а крупные понижения – через каждые 30 лет. Причины долгопериодных колебаний уровня Мирового океана большинство исследователей разделяют по своей природе на космические (или астрономические) и внутрипланетарные [2]. Период наиболее существенных из астрономических факторов, обусловленных долгопериодными приливными воздействиями Луны и Солнца, составляет 18 – 19 лет (18,6) [5]. Не менее важными являются процессы, связанные с неравномерным поступлением радиационных потоков тепла от Солнца [6, 7], вследствие ритмической изменчивости на нем количества пятен (чисел Вольфа), периоды колебаний которых оценены 11, 22 и 33 года, а также 100 лет. Среди влияющих факторов следует особо выделить и силы ротационного характера, связанные с нестабильностью вращения Земли [5, 6]. Анализ 350-ти летнего ряда временной изменчивости среднегодовых величин ско-

рости вращения Земли выявил доминирование в ее колебаниях 70-ти летних возмущений [6]. Прослеживались также более слабые колебания с периодами 33, 22, 6 лет и квазидвухлетние волны. Внутрипланетарные колебания уровня также обуславливаются рядом факторов, проявляющихся на разных временных масштабах [3]. Это изменения связаны с речной разгрузкой (сток рек), добавками в водном объеме, обусловленными таянием материковых льдов, изменениями в плотности воды вследствие температурных нарушений (стерические колебания уровня). Важную роль в короткопериодных колебаниях уровня играют также изменения в атмосферном давлении и ветре. Увеличение атмосферного давления понижает водный уровень, и, наоборот, понижение его – повышает уровень. У побережий мелководных районов хорошо заметен ветровой эффект, обуславливающий понижение или повышение уровня за счет сгонно-нагонных явлений [3]. Важной косвенной причиной, искажающей реальные высоты уровня моря, являются вертикальные движения самой Земли (последледниковые поднятия Скандинавии и Аляски, опускания суши в районах устьев рек, катастрофические изменения уровня, возникающие при подводных землетрясениях – цунами и т.п.) [4]. Не исключено также возможное влияние на колебания уровня Мирового океана и других процессов, происходящих внутри Земли.

При всех особенностях изменений уровня Мирового океана в XX в. выделена общая тенденция к его подъему от + 0,6 до + 1,9 мм в год [3, 8]. Поскольку на положении уровня Мирового океана отражается изменение составляющих водного баланса (гидросферы Земли), изучение колебаний уровня моря, как в региональном, так и в глобальном масштабах, имеет большое научное и прикладное значение [9]. К примеру, повышение уровня Мирового океана свидетельствует о таянии ледников Антарктиды, Гренландии, льдов полярного бассейна и потеплении климата Земли. Знания о колебаниях уровня моря важны и при решении ряда прикладных задач, в частности, при проведении различного рода гидротехнических мероприятий на побережьях и т.п. Анализ колебаний уровня моря в Одессе, например, дал возможность оценить характер и величины опускания прибрежной суши [10]. Особенности изменений уровня моря и связанная с этим динамика береговой зоны являются предметом обсуждений при экономическом планировании не только в региональном, но и в глобальном масштабе, становятся темой международных политических форумов и конгрессов, так как это отражается на различных элементах природы и на условиях проживания человека.

Поэтому представилось интересным проследить современные изменения уровня моря (уже в XXI в.), чтобы оценить ближайшие перспективы их воздействия на береговую зону. Целью работы являлось выделение тенденций изменения уровня на станциях западной и восточной частей Черного моря и в отдельных регионах Мирового океана за последнее десятилетие (2000 – 2009 гг.) в сравнении с предыдущими годами (1970 – 1999 гг.) путем фильтрации среднемесячных и среднегодовых данных скользящим осреднением и определение закономерностей и особенностей в их изменчивости.

В качестве исходных данных для выделения тенденций изменения уровня моря за последнее десятилетие (2000 – 2009 гг.) в сравнении с предыдущими годами (1970 – 1999 гг.) были рассмотрены временные ряды

среднегодовых высот его на прибрежных станциях западной (б) и восточной (2) частей Черного моря и отдельных регионов Тихого и Атлантического океанов (по 5 станций) (табл.1). Для сравнения, к анализу привлекались также данные наблюдений на указанных станциях за более ранний период. На большинстве станций анализировались данные наблюдений, начиная с 1940 г. (исключение составили Ильичевск (с 1960 г.), Приморское (с 1951 г.), Белгород-Днестровский (с 1945 г.)). Предметом анализа являлись отклонения от среднего значения уровня моря по каждой станции за весь рассматриваемый период, чтобы проводить сравнения по идентичным данным.

Долговременные изменения уровня на станциях западной части Черного моря исследовались по отклонениям от средних многолетних значений, полученным на основании расчетов из срочных наблюдений. Данные для анализа на станциях восточной части Черного моря и по отдельным регионам Мирового океана были получены из Интернета [11]. Для получения непрерывного ряда наблюдений за уровнем моря по анализируемым станциям проводилось их восстановление за отдельные промежутки времени. Восстановление проводилось с помощью метода водного нивелирования, подробно описанного в работах [10, 12].

Для проведения анализа подготовленных рядов использовался математический аппарат офисного приложения к *Windows Excel*, были найдены коэффициенты уравнения регрессии (линейной и полинома 3-й степени), приведенные в табл.1 по сравниваемым периодам. Выделение доминирующих колебаний в исходных рядах значений уровня моря проводилось с использованием быстрого преобразования Фурье и статистического программного аппарата *Statistica* [13].

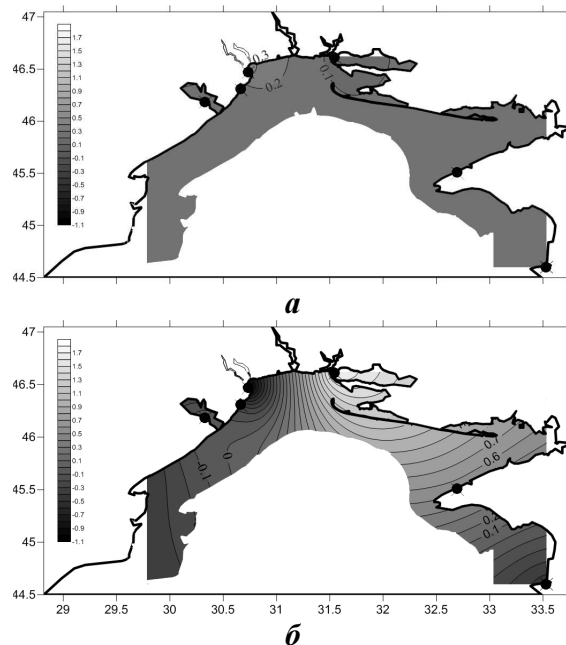
Анализируя межгодовой ход среднегодовых высот уровня моря за 1940 – 1999 гг., отметим общий рост его на станциях в Черном море, Атлантическом океане и большинству в Тихом океане, за исключением *Tofino* и *Hosojima*, что подтверждается положительными коэффициентами при «х», в уравнении регрессии (табл.1).

Приведенные на рис.1 для 1970 – 1999 и 2000 – 2009 гг. карты для западной части Черного моря наглядно показывают разницу в анализируемых характеристиках. Рост скоростей повышения уровня в западной части Черного моря с 1940 г. и его интенсификация в последней четверти XX в. подтверждается многими исследователями [3, 8] и нашими результатами, приведенными на рис.1, а. Сравнение с этими же характеристиками в последнем десятилетии (2000 – 2009 гг.) (рис.1, б) указывает на приостановление роста уровня на станциях (коэффициенты при «х» близки к нулю или отрицательны), а на большинстве станций в Черном море (кроме станции Черноморское) и в восточной части Атлантики даже его уменьшение (табл.1).

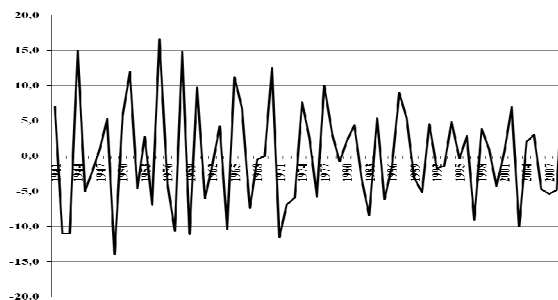
Чтобы оценить скорость роста уровня моря для каждой станции по годам, были рассчитаны производные, как разность соседних годов, значения которых для станции Одесса-порт за 1941 – 2009 гг. в качестве примера приведены на рис.2. Аналогичная картина (уменьшение амплитуды изменений уровня моря со второй половины 80-х гг.) отмечается на всех рассмотренных черноморских станциях и станциях Брест и Сеута (на востоке Атлантики). Кроме того, в табл.1 представлены для обоих сравниваемых периодов

Т а б л и ц а 1. Сведения о продолжительности рядов наблюдений за уровнем моря на анализируемых станциях, уравнения линейной регрессии и производные по этим данным.

регион	станция	координаты	1970 – 1999 гг.		2000 – 2009 гг.		
			тренд	производная	тренд	производная	
Черное море	Приморское	45°58' с.ш., 30° 17' в.д.	$y = 0,1879x - 4,5554$	0,25	$y = -0,4005x + 7,1264$	- 0,28	
	запад- ная часть	Б.-Днестровский	46°11' с.ш., 30° 23' в.д.	$y = 0,1657x - 4,0281$	0,44	$y = 0,0133x + 4,5752$	- 0,40
		Ильичевск	46°18' с.ш., 30°40' в.д.	$y = 0,1305x - 4,0383$	0,37	$y = -0,2717x + 7,5378$	- 0,48
		Одесса-порт	46°30' с.ш., 30°45' в.д.	$y = 0,3316x - 3,9134$	0,20	$y = -1,0605x + 4,8128$	- 0,60
	восточная часть	Черноморское	45°31' с.ш., 32°42' в.д.	$y = 0,1859x - 3,3163$	- 0,19	$y = 0,5333x - 1,6393$	0,40
		Севастополь	44°36' с.ш., 33°32' в.д.	$y = 0,1806x - 3,953$	0,13	$y = -0,4762x + 6,0745$	- 0,57
		Туапсе	44°06' с.ш., 39°05' в.д.	$y = 0,4416x - 5,6138$	0,54	$y = -0,1618x + 9,237$	- 0,53
	Поти	42°09' с.ш., 41° 40' в.д.	$y = 1,1189x - 10,941$	1,56	$y = -0,5959x + 26,742$	- 0,89	
Атлантический океан	Brest	48° 23' с.ш., 04° 30' з.д.	$y = 0,3168x - 4,7$	0,09	$y = -0,0909x + 6,2$	0,33	
	Ceuta	34° 54' с.ш., 05° 19' з.д.	$y = 0,113x - 1,6537$	- 0,15	$y = 0,241x - 0,0609$	0,47	
	Halifax	44° 54' с.ш., 66° 59' з.д.	$y = 0,1678x + 0,6213$	0,10	$y = 0,5851x + 2,9844$	0,62	
	Atlantic City	39° 21' с.ш., 74° 25' з.д.	$y = 0,347x - 0,8047$	0,42	$y = 0,4845x + 9,8378$	0,40	
	Key West	24° 33' с.ш., 81° 48' з.д.	$y = 0,2326x - 1,2285$	0,41	$y = 0,4715x + 4,0667$	- 0,05	
Тихий океан	Tofino	49° 09' с.ш., 25° 55' з.д.	$y = -0,0911x + 1,0481$	- 0,33	$y = 0,0952x - 8,5733$	- 0,33	
	San Francisco	37°48' с.ш., 22°28' з.д.	$y = 0,2878x - 2,0474$	- 0,15	$y = 0,143x + 2,8133$	0,50	
	Balboa	08°58' с.ш., 79°34' з.д.	$y = 0,2106x - 2,5238$	0,02	$y = 0,4071x + 4,0344$	- 0,07	
	Honolulu	21°19' с.ш., 57°52' з.д.	$y = 0,1814x - 1,8717$	0,02	$y = 0,2588x + 2,1867$	- 2,90	
	Hosojima	31°26' с.ш., 131°40' в.д.	$y = -0,1131x + 0,1501$	0,10	$y = 0,1273x - 1,04$	- 0,11	



Р и с . 1 . Карты распределения коэффициентов при «х» в уравнении регрессии по отклонениям уровня моря на станциях в западной части Черного моря для 1970 – 1999 гг. (а) и 2000 – 2009 гг. (б).



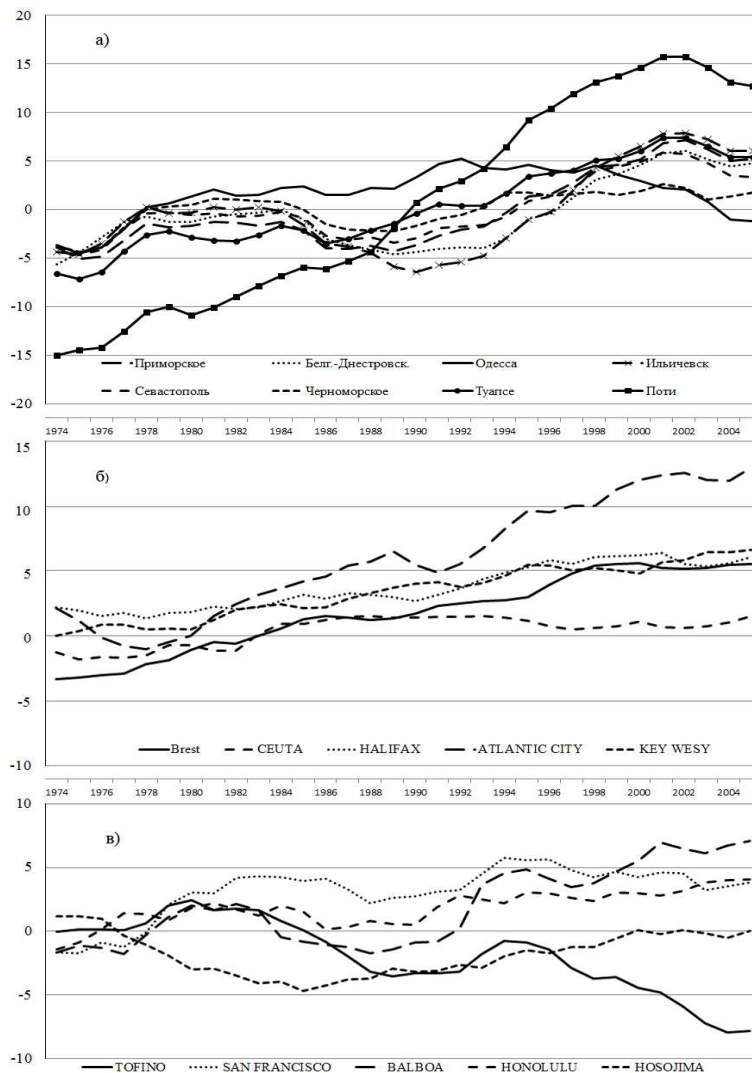
Р и с . 2 . Производная отклонений уровня моря на станции Одесса-порт за 1940 – 2009 гг.

по Атлантическим станциям (рис.3, б), так и по Черноморскому региону (рис.3, а), на черноморских станциях выделяются долгопериодные колебания, которые слабо отмечаются в ходе сглаженных отклонений на атлантических станциях. Эти колебания могут носить региональный характер и быть связанными с локальными факторами. Аналогичные, но менее выраженные колебания отмечаются в ходе сглаженных отклонений на тихоокеанских станциях (рис.3, в), что может быть определено глобальными процессами, действие которых над Атлантикой, оказывается менее заметным. Период этих колебаний составил около 20 лет. Известна многофакторность воздействия на ход уровня моря [3, 8] и подобные волны отмечены в коле-

осредненные значения указанных производных уровня моря. Кроме того, в табл.1 представлены для обоих сравниваемых периодов осредненные значения указанных производных уровня моря. Следует обратить внимание на изменение положительных значений в 1970 – 1999 гг. с переходом на отрицательные в 2000 – 2009 гг. на всех станциях Черного моря, за исключением ст.Черноморское.

Графики хода уровня отфильтрованного со скользящим средним, более удобны и наглядны, чем графики непосредственно среднегодового хода уровня. В наших оценках определение тенденций проводилось по пяти- и десятилетнему осреднению среднегодового хода уровня (рис.3), так как эти закономерности изменчивости выделялись ранее [10].

Сравнение результатов статистической обработки указанных отклонений уровня моря после 5-ти и 10-ти летней фильтрации по разным регионам показало, что на фоне глобальной тенденции к повышению уровня, отслеживаемой с 70-х гг., как



Р и с . 3 . Ход среднегодовых отклонений уровня моря после 10-ти летней фильтрации в Черном море (а), Атлантическом (б) и Тихом (в) океанах.

баниях речного стока и хода температуры воздуха в Черноморском регионе [14, 15], что может объясняться природной ритмикой, которая исключает монотонность и однонаправленность изменений уровня. Понятно, что изменения уровня есть сумма конкретных величин воздействия в конкретный момент времени, но поскольку строение берегов, их происхождение, морфология и динамика являются разными в каждом районе расположения станции, то и результирующая скорость колебаний уровня тоже является разной.

Подводя итоги проведенного сравнения изменений уровня моря за два периода (1970 – 1999 и 2000 – 2011 гг.) отметим, что на большинстве станций Черного моря наблюдается смена тенденции в последнее десятилетие: прекращается повышение среднегодового уровня моря. Это может быть объяс-

нено наступлением другого цикла в долговременных колебаниях уровня Мирового океана, в том числе и на Черном море. Кроме того, со второй половины 80-х гг. установлено уменьшение амплитуды изменений уровня моря на всех рассмотренных черноморских станциях и станциях Брест и Сеута (на востоке Атлантики). Отмеченные изменения могут быть частью циклических процессов, связанных с долгопериодными колебаниями климата. Дальнейшие исследования в этом направлении, возможно, позволят со временем выйти на предикторы необходимые для решения фундаментальной проблемы об оценке влияния современных изменений климата на природную систему Мирового океана вообще и на береговую зону в частности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полонский А.Б.* Роль океана в изменениях климата.– Киев: Наукова думка, 2008.– 184 с.
2. *Bruce B. Parker* Sea level as an indicator of climate and global change // *Mar. Techn. Soc. J.*– 1992.– 25, 4.– P.13-24.
3. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / Под ред. акад. НАНУ Еремеева В.Н.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 210 с.
4. *Клиге Р.К., Шлейников В.А.* Изменения уровня океана в геологическом прошлом / Уровень, берега и дно океана.– М.: Наука, 1978.– С.114-179.
5. *Сидоренков Н.С.* Физика нестабильностей вращения Земли.– М.: Физматлит, 2002.– 384 с.
6. *Сидоренков Н.С.* Межгодовые колебания системы атмосфера – океан – Земля // *Природа.*– 1999.– № 7.– С.26-34.
7. *Lawler J.H.L.* A correlation between sun spot cycles and El Nino // *Climate El Niño.*– 1997. http://nexialinstitute.com/climate_el_nino.htm
8. *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: Научн. изд. ИГН, ИППЭГГ НАНУ, ОНУ МОН Украины, 2001.– С.273-284.
9. *Дуванин А.И.* Уровень моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1965.– 60 с.
10. *Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И.* Динамика суши и уровня побережья Одесского региона Черного моря // *Геофизический журнал.*– 2005.– т.27, № 3.– С.463-469.
11. *PSMSL* – Permanent Service for Mean Sea Level. www.pol.ac.uk.
12. *Победоносцев С.В.* Использование водного нивелирования для проверки и восстановления значений уровня моря. // *Тр. ГОИН.*– 1978.– вып.137.– С.97-107.
13. *Бендат Дж., Пирсол А.* Измерение и анализ случайных процессов.– М.: Мир, 1974.– 463 с.
14. *Гидрология дельты Дуная* / Под ред. заслуж. деят. науки РФ проф. Михайлова В.Н.– М.: ГЕОС, 2004.– 448 с.
15. *Овчинников И.М., Осадчий А.С.* Вековая изменчивость зимних климатических условий, определяющих особенности гидрологического режима Черного моря // *Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы.*– М.: Наука, 1991.– С.85-89.

Материал поступил в редакцию 15.09.2011 г.

АНОТАЦІЯ. Проведено оцінки тенденцій змін рівня на станціях західної та східної частин Чорного моря та в окремих регіонах Світового океану за останнє десятиріччя (2000 – 2009 рр.) у порівнянні з попередніми роками (1970 – 1999 рр.), які виконувались методом фільтрації середньомісячних і середньорічних даних 5 та 10-річним ковзним осередненням. Проведені розрахунки показали, що зростання рівня моря, яке відзначалось у 1970 – 1999 рр. на аналізованих станціях Чорного моря, у 2000 – 2009 рр. припинилось, з 2001 р. навіть спостерігається його зниження (по Одесі з 1998 р.). На більшості океанських станцій, які порівнювались, також не відзначається зростання рівня в останнє десятиріччя, а спостерігається стійке горизонтальне його стояння. Встановлено зменшення амплітуди змін рівня моря на всіх розглянутих чорноморських станціях та станціях східної Атлантики, починаючи з 80-х рр.

ABSTRACT. An assessment of trends in the sea level changes at the stations of western and eastern parts of the Black Sea and in some regions of the Pacific and Atlantic oceans over the last decade (2000 – 2009) compared to previous years (1970 – 1999) were conducted. It was accomplished by filtering the average monthly and annual data 5 and 10 years of sliding averaging. The calculations showed that the increase in sea level, which was noted in 1970 – 1999 on the Black Sea stations, in 2000 – 2009 was stopped, and since 2001 there is even reduce it (in Odessa since 1998). On most ocean stations, which were compared, also has not been an increasing level in the last decade, and its steady horizontal standing. The reduction in amplitude changes in sea level at all stations, which was considered in the Black Sea and eastern Atlantic, was beginning from the 80s.