

Ю.Д.Шуйский\*, О.Р.Андрианова\*\*

\*Одесский Национальный университет им. И.И.Мечникова, г.Одесса

\*\*Отделение гидроакустики

Морского гидрофизического института НАН Украины, г.Одесса

## СРАВНЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ НА СТАНЦИЯХ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

По данным многолетних наблюдений проведено сравнение пространственно-временных изменений уровня на станциях Черного и Азовского морей за 6 временных интервалов (1875 – 1900, 1901 – 1925, 1926 – 1950, 1951 – 1975, 1976 – 2000, 2001 – 2011 гг.). Определены тенденции и скорости изменения уровня моря за рассмотренные временные интервалы, проведено их сравнение по разности высот уровня между станциями, выделены общие закономерности и региональные особенности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *уровень моря, тенденция, скорость изменения, абразия берегов, разность уровня, Черное, Азовское моря.*

В прибрежной зоне Украины, испытывающей сильное антропогенное воздействие, стратегия ее дальнейшего социального, хозяйственного, берегоохранного и экологобезопасного развития должна быть сформулирована с учетом климатических изменений. Проблемы, связанные с возможным изменением климата и его последствиями для природной среды и социально-экономической сферы, в настоящее время находятся в центре внимания ученых [1 – 11]. Проводятся оценки изменения в климатической системе Земли, температурном режиме атмосферы и поверхности океана, а также уровня моря в глобальном [5 – 9] и региональном [1 – 4] масштабах.

Климатические изменения в Черноморском регионе – реалии настоящего времени, они касаются всего комплекса гидрометеорологических факторов как отклик на глобальное изменение климата [5, 10, 11]. Скорость подъема уровня в Черном море по разным оценкам [1, 2, 6] составляет  $1,83 \pm 0,07$  мм/год или 18 см за 100 лет.

Современное повышение уровня моря создает угрозу прибрежным районам – это, прежде всего, абразия берегов и изменение конфигурации береговой черты. Кинематика процесса развития абразионного профиля в условиях колебания уровня моря определяется отношением скорости углубления бенча ( $V_z$ ) к скорости изменения уровня ( $u$ ), т.е. числом  $A = V_z/u$  [12, 13]. Террасы образуются, если в начальный момент времени  $A > 1$ , и не образуются, когда  $A < 1$ . В условиях повышения уровня, закономерности абразии определяются числом  $A > 1$ , которое является одним из критериев абразионных процессов и характеризует уклон волновой базы или уклон шельфа. Для определения развития абразионных процессов необходимо знание скорости изменения уровня моря, т.е. усредненной разницы изменения уровня моря (в см от года к году).

Целями данной работы являлось пространственно-временное сравнение тенденций и скорости изменения уровня моря на станциях Черного и Азовского морей, расположенным на противоположных берегах начиная с конца

© Ю.Д.Шуйский, О.Р.Андрианова, 2013

XIX в. и по настоящее время, выделение общих закономерностей и региональных особенностей для выработки мер адаптации к местным последствиям климатических изменений в прибрежной зоне

Материалами для анализа послужили сведения о среднемесячных и среднегодовых высотах уровня моря на станциях, расположенных на северо-западном и восточном побережьях Черного моря, Крымском п-ове и в Азовском море (табл.1), которые анализировались за 6 временных интервалов (1875 – 1900, 1901 – 1925, 1926 – 1950, 1951 – 1975, 1976 – 2000, 2001 – 2011 гг.).

Динамика долговременных изменений уровня моря анализировалась с помощью метода линейной регрессии, примененного к многолетним рядам среднегодовых и сглаженных (5-ти летним скользящим средним) значений. Скорость изменения уровня моря ( $u$ ) определялась по абсолютному значению среднего изменения уровня моря от года к году и также анализировалась на рассматриваемых станциях за те же временные интервалы (табл.1). Кроме того, проводилось сравнение уровня моря между станциями наблюдений на противоположных берегах (перечень рассмотренных разностей представлен в табл.2), чтобы выделить региональные особенности изменений уровня моря.

Анализ кривых межгодового хода уровня на станциях Черного и Азовского морей по среднегодовым и сглаженным 5-ти летним осреднением данным показал нерегулярный волновой характер колебаний, как в короткопериодной, так и в долгопериодной компонентах. Оценки величины и интенсивности роста уровня на станциях Черного и Азовского морей (табл.1) свидетельствуют о больших значениях роста в анализируемый период, чем отмечено авторами [2, 14]. По линейному тренду выделяется более резкий рост уровня моря на станциях Одесса и Поти (0,44 и 0,73 см в год соответственно), который, как известно [15], в значительной степени обусловлен воздействием тектонических процессов в этих регионах.

Тенденции изменения уровня моря за рассмотренные временные интервалы определены аналогично в среднем за год по уравнению линейной регрессии ряда (табл.1, числитель). Из анализа тенденций изменения уровня моря, представленных в табл.1 (числитель), следует, что в 1875 – 1900 гг., а особенно в первые 25 лет XX в. рост уровня был незначителен, а на станциях Очаков, Севастополь, Керчь, Батуми даже отмечалось падение уровня моря. В дальнейшем во временные интервалы 1926 – 1950 и 1951 – 1976 гг. наблюдается устойчивый рост уровня моря почти на всех станциях (за исключением Феодосии). К концу XX в. (1976 – 2000 гг.) рост уровня на большинстве станций замедлился, а на станции Керчь даже отмечено падение уровня моря. В 2001 – 2011 гг. в среднем уровень моря вновь продолжил свой рост, однако на станции Феодосия отмечено падение уровня моря. Установленные тенденции согласуются с результатами последних работ в этом направлении [16].

Наибольший интерес в последнее время вызывает исследование не только глобального роста уровня моря, а, главным образом, его ускорения (скорости изменения) и это является темой обширных научных дискуссий [7, 9]. Как уже отмечалось выше, знание скорости изменения уровня моря, необходимо для оценки береговых изменений и абразионных процессов, а также для построения долгосрочных прогнозов. В нашем случае скорость изменения уровня моря определялась от года к году для всего рассматриваемого

Т а б л и ц а 1. Сведения о наблюдениях, тенденциях (см/год, числитель) и скорости изменения (см/год<sup>2</sup>, знаменатель) уровня на станциях Черного и Азовского морей в среднем за весь период и за рассматриваемые временные интервалы.

название станции	ср. тенд. ср.ск.изм.	врем. инт. годы	тенд / ск. изм.					
			1875 – 1900	1901 – 1925	1926 – 1950	1951 – 1975	1976 – 2000	2001 – 2011
Приморское	$\frac{0,26}{6,87}$	1951 – 2010				$\frac{0,35}{7,73}$	$\frac{0,29}{4,52}$	$\frac{0,61}{8,37}$
Одесса	$\frac{0,44}{6,28}$	1875 – 2011	$\frac{0,58}{7,16}$	$\frac{0,23}{7,05}$	$\frac{0,58}{4,38}$	$\frac{0,09}{7,89}$	$\frac{0,16}{4,5}$	$\frac{0,10}{6,54}$
Очаков	$\frac{0,13}{5,14}$	1875 – 2005	$\frac{-0,01}{6,51}$	$\frac{-0,19}{4,65}$	$\frac{0,07}{3,97}$	$\frac{0,36}{6,83}$	$\frac{0,02}{4,12}$	$\frac{0,98}{4,37}$
Черноморское	$\frac{0,18}{5,05}$	1927 – 2010			$\frac{0,21}{4,88}$	$\frac{0,13}{6,56}$	$\frac{0,01}{3,31}$	$\frac{0,96}{4,28}$
Евпатория	$\frac{0,26}{5,24}$	1945 – 2005				$\frac{0,42}{6,38}$	$\frac{0,48}{3,94}$	$\frac{2,80}{5,4}$
Севастополь	$\frac{0,12}{5,87}$	1875 – 2010	$\frac{0,13}{5,42}$	$\frac{-0,12}{6,80}$	$\frac{0,03}{5,26}$	$\frac{0,17}{6,73}$	$\frac{0,22}{4,64}$	$\frac{0,39}{5,9}$
Феодосия	$\frac{0,14}{5,83}$	1912 – 2005			$\frac{-0,05}{5,69}$	$\frac{0,37}{6,27}$	$\frac{0,36}{4,23}$	$\frac{-0,70}{6,26}$
Керчь	$\frac{0,08}{6,29}$	1882 – 2005	$\frac{0,12}{7,2}$	$\frac{-0,22}{7,0}$	$\frac{0,06}{4,67}$	$\frac{0,06}{6,33}$	$\frac{-0,21}{5,97}$	$\frac{2,71}{5,88}$
Туапсе	$\frac{0,24}{5,98}$	1917 – 2010			$\frac{0,21}{5,77}$	$\frac{0,06}{6,77}$	$\frac{0,44}{4,48}$	$\frac{0,58}{6,08}$
Поти	$\frac{0,73}{6,93}$	1930 – 2009			$\frac{0,64}{5,58}$	$\frac{0,68}{9,08}$	$\frac{1,72}{6,88}$	$\frac{0,37}{4,12}$
Батуми	$\frac{0,19}{4,65}$	1882 – 2010	$\frac{0,05}{6,36}$	$\frac{-0,37}{2,83}$	$\frac{0,02}{5,68}$	$\frac{0,33}{5,73}$	$\frac{1,26}{3,01}$	$\frac{2,53}{2,26}$
Бердянск	$\frac{0,29}{5,86}$	1923 – 2005			$\frac{0,08}{5,08}$	$\frac{0,29}{6,76}$	$\frac{0,41}{4,68}$	$\frac{2,6}{6,2}$

Т а б л и ц а 2. Разности между значениями уровня по станциям Черного и Азовского морей в рассматриваемые временные интервалы.

станции \ годы	1875 – 1900	1901 – 1925	1926 – 1950	1951 – 1975	1976 – 2000	2001 – 2011	весь период
Приморское-Одесса				1,94	– 0,94	8,82	3,27
Приморское-Очаков				6,98	5,57	9,64	7,40
Приморское-Черноморское				– 1,71	– 1,71	1,38	– 0,68
Приморское-Севастополь				7,89	8,64	11,88	9,47
Одесса-Очаков	– 27,59	– 16,60	– 1,34	5,05	6,51	1,17	– 5,66
Одесса-Севастополь	– 26,47	– 16,23	– 2,14	5,96	9,58	3,06	– 4,33
Одесса-Черноморское			– 11,75	– 3,65	– 0,77	– 6,96	– 5,72
Очаков-Севастополь	1,11	– 0,93	0,15	0,91	3,07	2,23	1,26
Очаков-Черноморское			– 10,86	– 8,70	– 7,28	– 5,21	– 7,64
Очаков-Евпатория				– 3,68	– 1,84	– 0,81	– 2,11
Севастополь-Феодосия			– 2,64	– 2,25	– 1,65	– 1,37	– 2,26
Севастополь-Керчь	– 7,65	– 5,47	– 4,76	– 2,99	– 1,85	– 2,89	– 4,32
Севастополь-Туапсе			– 4,01	– 1,68	– 4,71	– 6,69	– 4,13
Феодосия-Туапсе			– 0,64	0,57	– 3,06	– 5,33	– 1,87
Бердянск-Керчь			– 7,46	– 6,22	1,21	0,39	– 3,18
Керчь-Туапсе			1,16	1,31	– 2,87	– 3,58	– 0,83

периода и по каждому временному интервалу по всем станциям (табл.1, знаменатель). В первый временной интервал (1875 – 1900 гг.) отмечаются значительные величины скорости изменения уровня моря, а затем (в 1901 – 1925 гг.) на большинстве станций (за исключением Севастополя) эта характеристика уменьшается. В следующем временном интервале (1926 – 1950 гг.) продолжается падение скорости на большинстве станций, за исключением станции Батуми, на которой начинается рост. В течение 1951 – 1976 гг. скорость изменения уровня увеличилась на всех станциях – это период устойчивого ее роста. В последний период (с 1976 г. по настоящее время) скорость изменения уровня существенно снизилась (табл.1, знаменатель). Интересно отметить, что в этот же период отмечено уменьшение скорости ветра в Черноморском регионе [17].

Максимальные значения, роста на только самого уровня моря, но и ско-

рости его изменения (табл.1, знаменатель) отмечаются на станциях Поти и Одесса (в зоне тектонического разлома). Также с относительно высокой скоростью изменяется уровень на станциях Приморское (расположена в дельте Дуная) и Керчь (в проливе, соединяющим Азовское и Черное моря). Следовательно, можно говорить о региональных особенностях присущих максимальным скоростям изменения уровня Черного и Азовского морей, которые зависят от глобальных и локальных факторов воздействия [3].

По результатам расчетов разности высот уровня моря между станциями наблюдений на противоположных берегах в соответствующие имеющимся наблюдениям интервалы времени и за весь период наблюдений, определялось их соотношение и проводилось сравнение (табл.2).

С учетом отмеченных выше региональных особенностей, были выделены станции, по которым выполнялось сравнение и обобщение. Анализ табл.2 показывает, что в первые два временных интервала разности высот уровней между станциями были существенными, постепенно уменьшаясь по величине, и в период с 1951 по 2000 гг. они были наименьшими, затем снова начался рост в последнее десятилетие. Наиболее отличным от всех оказался уровень моря на станциях Приморское и Одесса (табл.2).

Проведенное сравнение тенденций и скорости изменения уровня моря станций Черного и Азовского морей, расположенных на противоположных берегах за 6 временных интервалов показало их общие закономерности и региональные особенности.

К общим закономерностям следует отнести синхронное развитие тенденций изменения уровня моря, согласованность колебаний скорости его изменения на большинстве станций и рассчитанных разностей уровня между станциями, что соответствует сложившимся представлениям. Общие закономерности отражают глобальные климатические тенденции.

Региональные особенности присущи максимальным скоростям изменения уровня Черного и Азовского морей, которые отмечаются на станциях Поти, Одесса (расположенными в зонах тектонических разломов), Приморское (в дельте Дуная), Керчь (в проливе, соединяющим Азовское и Черное моря). По нашему мнению, приуроченность положения этих станций к устьям рек и зонам тектонической активности (разломов) свидетельствует, что это наиболее значимые локальные факторы воздействия на скорость изменения уровня моря.

Установленные региональные особенности следует учитывать при оценке абразионных процессов для создания алгоритмов оптимального природопользования береговой зоны моря, что открывает перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рева Ю.А.* Межгодовые колебания уровня Черного моря // *Океанология.*– 1997. – т.37, № 2.– С.211-219.
2. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / Под ред. акад. Еремеева В.Н.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 210 с.
3. *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 НАНУ, ОНУ МОН Украины, 2001.– С.273-284.

4. *Ланно С.С., Рева Ю.А.* Сравнительный анализ долгопериодной изменчивости уровней Черного и Каспийского морей // *Метеорология и гидрология.*– 1997.– вып.12.– С.69-75.
5. *Полонский А.Б.* Роль океана в изменениях климата.– Киев: Наукова думка, 2008.– 184 с.
6. *Parker B.B.* Sea level as an indicator of climate and global change // *The Marine Technology Society J.*– 1992.– v.25, 4.– P.13-24.
7. *Church J.A., White N.J.* A 20th century acceleration in global sea-level rise// *Geophys. Res. Lett.*–2006.– 33. L01602. doi:10.1029/2005GL024826.
8. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report.*– Valencia, 2007.– 52 p.
9. *Jevrejeva S., Moore J.C., Grinsted A., Woodworth P.L.* Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? // *Geophys. Res. Lett.*– 2008.– 35. L08715. doi:10.1029/2008GL033611.
10. *Ефимов В.В., Еремеев В.Н.* Изменение климата Украины в XX столетии // *Доп. НАН України.*– 2003.– № 1.– С.106-111.
11. *Воскресенская Е.Н., Маслова В.Н.* Изменчивость статистических характеристик циклонов юга Украины, обусловленная глобальными климатическими процессами // *Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг.*– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2007.– С.253-256.
12. *Есин Н.В., Савин М.Т., Жиляев А.П.* Абразионный процесс на морском берегу.– Л.: Гидрометеиздат, 1980.– 200 с.
13. *Шуйський Ю.Д.* Типи берегів Світового океану.– Одеса: Астропринт, 2000.– 480 с.
14. *Богуславский С.Г., Кубряков А.И., Иващенко И.К.* Изменения уровня Черного моря // *Морской гидрофизический журнал.*– 1997.– № 3.– С.47-57.
15. *Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. и др.* Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины.– М.: Недра, 1985.– 215 с.
16. *Горячкин Ю.Н.* Изменчивость уровня Черного моря // *Дисс. ... д. географ. н.*– Севастополь, 2012.– 324 с.
17. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.17.– С.225-243.

Матеріал поступив в редакцію 16.07.2013 г.

**АНОТАЦІЯ** За даними багаторічних спостережень проведено просторово-часове порівняння зміни рівня на станціях Чорного та Азовського морів за 6 часових інтервалів (1875-1900, 1901-1920, 1921-1950, 1951-1975, 1976-2000, 2001-2011 рр.). Визначено тенденції та швидкості зміни рівня моря в розглянуті часові інтервали, проведено їх порівняння за різницею рівня між станціями, виділено загальні закономірності та регіональні особливості.

**ABSTRACT** According to the data of the many years observations carried out spatiotemporal comparison for the 6 time intervals (1875-1900, 1901-1920, 1921-1950, 1951-1975, 1976-2000, 2001-2011 years) of changes in the level on the stations of the Black and Azov seas. The trends and rate of change in sea level at the pointed time intervals determined compared the difference in level between the stations and marked general regularities and regional peculiarities.