

УДК 556: 656.61.052

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979–2017 ГГ.

Холопцев А.В.^{1,2}, Подпорин С.А.¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская Федерация

²Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru

Исследованы межгодовые изменения топографии водной поверхности Черного и Балтийского морей за период 1979–2017 гг. Оценены средние в этом периоде значения среднегодовых и среднемесячных скоростей указанных изменений. По результатам исследования выявлены тенденции к переформированию берегов абразионного, аккумулятивного и абразионно-аккумулятивного типов рассматриваемых морей. Отмечены возрастающие риски затопления некоторых прибрежных территорий и изменения глубин на судоходных фарватерах.

Ключевые слова: уровень моря, Черное море, Балтийское море, топография, водная поверхность, средняя скорость, берег, затопление

ВВЕДЕНИЕ

Топография водной поверхности (ТВП) любого водного объекта формируется под влиянием атмосферных процессов и сама воздействует на них, во многом определяя суммарные потоки тепла и водяного пара, поступающих из воды в атмосферу. ТПГ влияет не только на региональный климат, но и на особенности развития ландшафтных комплексов прибрежных территорий и рельефа соответствующих подводных участков берегового склона. Учет изменений ТВП не мало важен и в контексте обеспечения безопасности морского и речного судоходства, где изменяющиеся глубины, особенно на мелководных участках акваторий, могут представлять серьезные риски для судов, стесненных своей осадкой. Учитывая это, выявление особенностей изменений ТВП различных водных объектов, проявляющихся в современном периоде, можно считать актуальной проблемой физической географии, океанографии, а также гидрографии и морской лоции.

Наибольший интерес решение указанной проблемы представляет для водных объектов с густо населенными побережьями, значительным экономическим (в т.ч. рекреационным) потенциалом, высокой интенсивностью судоходства. В Европейской части России такими акваториями являются Черное и Балтийское моря.

К числу наиболее информативных характеристик изменений ТВП любого водного объекта относятся распределения по его акватории оцененных за некоторый период средних значений скоростей изменения среднегодовых и среднемесячных уровней различных ее участков (далее – ССГ и ССМ). При наличии временных рядов значений уровня того или иного участка изучаемой акватории, охватывающих такой период, соответствующие значения ССГ и ССМ могут быть оценены путем

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979-2017 ГГ.

вычисления значений углового коэффициента их линейного тренда [1].

Наблюдения за изменениями уровня Балтийского моря впервые начали осуществляться в России (пост Кронштадт) в 1703 г. На территории СССР они велись в 64 пунктах, многие из которых продолжают функционировать до сих пор. Непрерывные наблюдения на участках российского побережья Балтики в период 1979 по 2017 гг. велись на 11 уровенных постах.

На Черном море аналогичные исследования ведутся со второй половины XIX века. Впервые они начали осуществляться в 1858 г. на постах Констанца и Сулина (Румыния). На территории России начало им было положено в посту Очаков (с 1874 г.), а также в Одессе и Севастополе (с 1875 г.). В СССР на побережье Черного моря функционировало до 44 уровенных постов [2]. В настоящее время на побережье Черного моря функционирует 30 постов, из которых России принадлежат 12.

Результаты наблюдений на уровенных постах легли в основу современных представлений о причинах изменений ТВП [3–10] Черного и Балтийского морей. Вместе с тем, для полноценного мониторинга изменений ТВП этих данных недостаточно, поскольку количество действующих уровенных постов невелико. Кроме того, скорости вертикальных перемещений участков земной коры, на которых расположены эти посты, известны неточно.

Полноценное наблюдение за изменениями ТВП Черного и Балтийского морей стало возможным лишь в 1992 г. после ввода в эксплуатацию системы глобального спутникового мониторинга уровня Мирового океана [7, 11]. Полученная этой системой информация об уровнях различных участков акватории Мирового океана применяется для верификации соответствующих математических моделей, позволяющих осуществить реанализ изменений уровня любых акваторий. Одним из таких реанализов является реанализ, выполняемый Объединенным центром климатических данных Гамбургского университета (далее – реанализ ICDC) [12, 13]. Из него может быть получена информация об усредненной за какой-либо месяц периода с января 1979 г. по декабрь 2017 г. ТВП всех морей, окружающих территорию России, в том числе Черного и Балтийского. Вместе с тем, до настоящего времени особенности изменений ТВП Балтийского и Черного морей, в том числе распределений ССГ и ССМ, детально изучены не были. Это, в свою очередь, ограничивало возможности объективной оценки рисков и вероятного ущерба от ожидаемых изменений уровня этих морей.

Целью настоящей работы является выявление особенностей распределений скоростей изменения среднегодовых и среднемесячных уровней различных участков Балтийского и Черного морей, проявившихся в период 1979–2017 гг.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Реанализ ICDC, используемый в настоящей работе в качестве фактического материала, содержит информацию о среднемесячных значениях уровней различных участков поверхности Черного и Балтийского моря с размерами 13×13 км за каждый месяц периода с января 1979 г. по декабрь 2017 г. Это позволяет для каждого месяца

и каждого участка акваторий рассматриваемых морей сформировать временной ряд из 39 членов. Подобные ряды для всех участков поверхности изучаемых морей могут быть использованы для достижения цели настоящей работы при условии подтверждения адекватности результатов реанализа. Для получения такого подтверждения применен корреляционный анализ и критерий Стьюдента [1]. Предполагалось, что минимально допустимый уровень достоверности статистического вывода о значимости связи между результатами реанализа для некоторого участка акватории изучаемого моря, где располагается уровенный пост, и полученными на нем фактическими данными составляет 95%. Значение соответствующего порогового уровня коэффициента корреляции сопоставляемых временных рядов оценено с учетом числа степеней их свободы. При этом учтены результаты мониторинга изменений уровня Черного и Балтийского морей в пунктах, указанных в таблице 1.

Таблица 1.

Координаты уровенных постов на побережьях Балтийского и Черного морей

Черное море			Балтийское море		
Пункт	Широта	Долгота	Пункт	Широта	Долгота
Одесса	46,483	30,767	Горный институт (Нева)	59,600	30,100
Евпатория	45,183	33,367	Кронштадт	60,000	29,800
Севастополь	44,617	33,533	Невская устьевая	59,900	30,300
Ялта	44,483	34,167	Ломоносов	59,900	29,800
Феодосия	45,033	35,383	Выборг	60,700	28,700
Заветное	45,133	36,417	Шепелево	60,000	29,100
Анапа	44,900	37,300	Гогланд	60,100	27,000
Новороссийск	44,733	37,783	Открытое	54,500	21,000
Геленджик	44,550	38,033	Пионерский	54,900	20,200
Туапсе	44,083	39,050	Балтийск	54,600	19,900
Сочи	43,583	39,717	Краснофлотское	54,300	19,600

Из таблицы 1 видно, что в Черном море все посты расположены на северном побережье, а в Балтийском море они находятся на побережьях, относящихся к Ленинградской и Калининградской областям. Данные измерений на черноморских постах получены из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова». Данные для балтийских постов взяты из материалов государственной системы ЕСИМО [14]. Для каждого месяца из соответствующих результатов реанализа ICDC сформированы временные ряды, используемые для оценки ССГ и ССМ всех участков акваторий изучаемых морей. Значения данных показателей отображены на контурных картах Черного и Балтийского морей с использованием метода триангуляции Делоне [15].

Результаты исследования и их анализ

С использованием изложенной методики для всех пунктов побережий Черного и Балтийского морей, представленных в таблице 1, оценены значения коэффициента

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979-2017 ГГ.

корреляции (КК) временных рядов среднегодовых и среднемесячных оценок их уровня. Ряды сформированы из данных фактических измерений и соответствующих результатов реанализа. В качестве примера, полученные значения КК, соответствующие пунктам Одесса, Севастополь, Ялта и Сочи для Черного моря и Кронштадт, Выборг, Балтийск и Открытое для Балтийского приведены в таблице 2. Значения КК, превышающие уровень 0,32, соответствующий порогу значимости 95%, выделены жирным шрифтом.

Таблица 2.

Значения коэффициента корреляции временных рядов, построенных по результатам реанализа ICDC и данным фактических измерений на уровнях постах побережий Черного и Балтийского морей

№ месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Кронштадт	0,97	0,95	0,93	0,92	0,86	0,82	0,81	0,91	0,94	0,93	0,89	0,93	0,94
Выборг	0,96	0,96	0,94	0,90	0,82	0,82	0,89	0,89	0,95	0,90	0,91	0,94	0,91
Балтийск	0,91	0,90	0,89	0,81	0,65	0,83	0,85	0,87	0,89	0,87	0,69	0,86	0,83
Открытое	0,83	0,75	0,84	0,36	0,32	0,52	0,72	0,70	0,37	0,77	0,79	0,73	0,64
Одесса	0,39	0,54	0,32	0,39	0,13	0,18	0,15	0,32	0,33	0,33	0,46	0,62	0,35
Севастополь	0,32	0,49	0,45	0,34	0,47	0,57	0,24	0,50	0,29	0,22	0,62	0,64	0,43
Ялта	0,33	0,48	0,33	0,32	0,4	0,44	0,15	0,41	0,31	0,11	0,47	0,55	0,35
Сочи	0,2	0,31	0,37	0,11	0,24	0,22	0,14	0,4	0,37	0,2	0,51	0,32	0,27

Из таблицы 2 видно, что для всех представленных в ней пунктов Балтийского моря и всех месяцев значения КК рассматриваемых временных рядов превосходят выбранный уровень значимости. Аналогичные выводы получены и для остальных учитываемых пунктов побережий Балтики. Средние уровни значений КК аналогичных временных рядов для пунктов на побережьях Черного моря заметно меньше. Тем не менее, для пунктов Одесса, Севастополь и Ялта их значения превышают выбранный уровень значимости для большинства месяцев и года в целом. Связи между результатами реанализа и данными фактических измерений для пункта Сочи значимы лишь для марта, июля, августа, ноября и декабря.

Таким образом, можно заключить, что реанализ ICDC может быть использован в данном исследовании как источник фактического материала для всех районов Балтийского и Черного морей (кроме районов последнего, прилегающих к пункту Сочи).

Далее с использованием реанализа ICDC для всех участков акваторий Балтийского и Черного морей за период 1979–2017 гг. вычислены значения ССГ и ССМ.

На рис. 1а представлены полученные распределения значений ССГ (мм/год) по поверхности Черного моря. Из рис. 1а следует, что в Черном море оцененные за 1979–2017 гг. значения ССГ на всех участках его поверхности положительны. Наибольшие значения (более 2,25 мм/год) соответствуют всем прибрежным районам моря, а их наименьшие значения (меньше 1,75 мм/год) – центральным районам его

Восточной части. Данный результат свидетельствует об активизации на черноморских побережьях нагонных процессов, а также произошедшем потеплении его вод и вод впадающих в него рек.

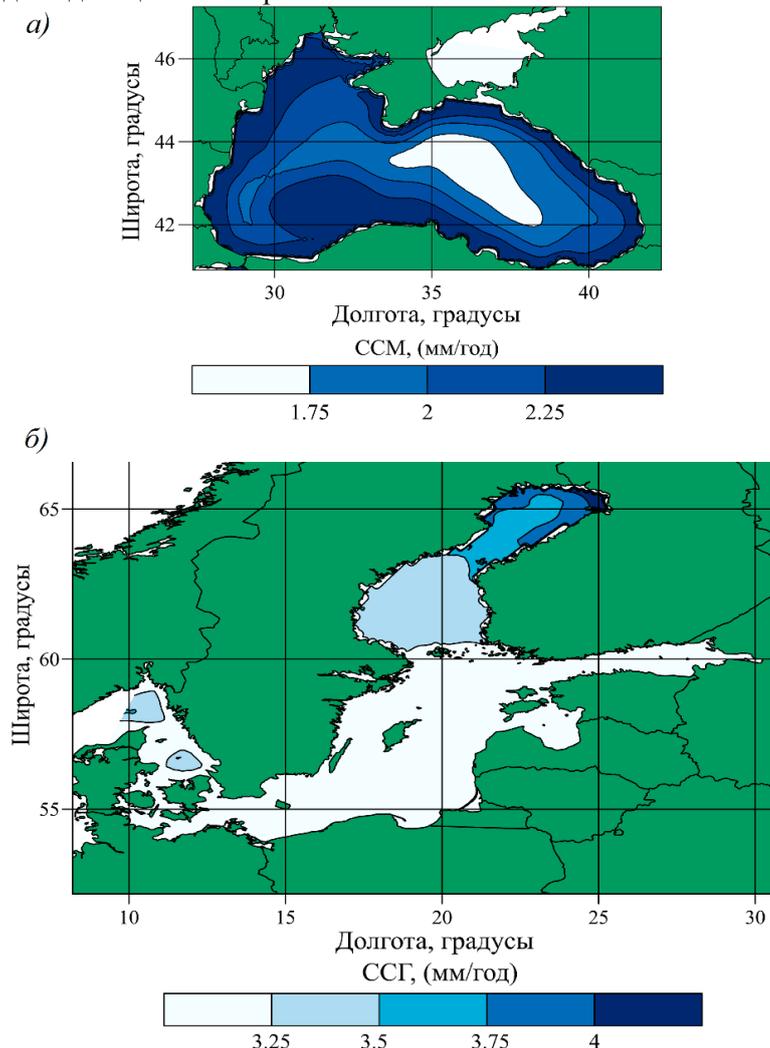


Рис. 1. Распределение средних значений скоростей изменения среднегодовых уровней (мм/год): а) Черного моря; б) Балтийского моря

Рис. 1б свидетельствует о том, что оцененные за тот же период ССГ для всех участков поверхности Балтийского моря также положительны, а их значения почти в два раза больше, чем аналогичные показатели для Черного моря.

Максимальные значения ССГ (более 4 мм/год) соответствуют прибрежным районам северной части Ботнического залива. Вне пределов этого залива значения

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979-2017 ГГ.

данного показателя не превышают 3,25 мм/год. Данный результат может быть объяснен тем, что за рассматриваемый период в зимние месяцы возросла повторяемость циклонов, проходящих над Ботническим заливом и вызывающих в нем ветровые нагоны. Справедливость выводов, основанных на рассмотренных результатах реанализа ICDC, подтверждают и результаты расчета распределений ССМ для каждого месяца. В качестве примера, на рис. 2 представлены распределения значений ССМ по поверхности Балтийского моря в январе и июне.

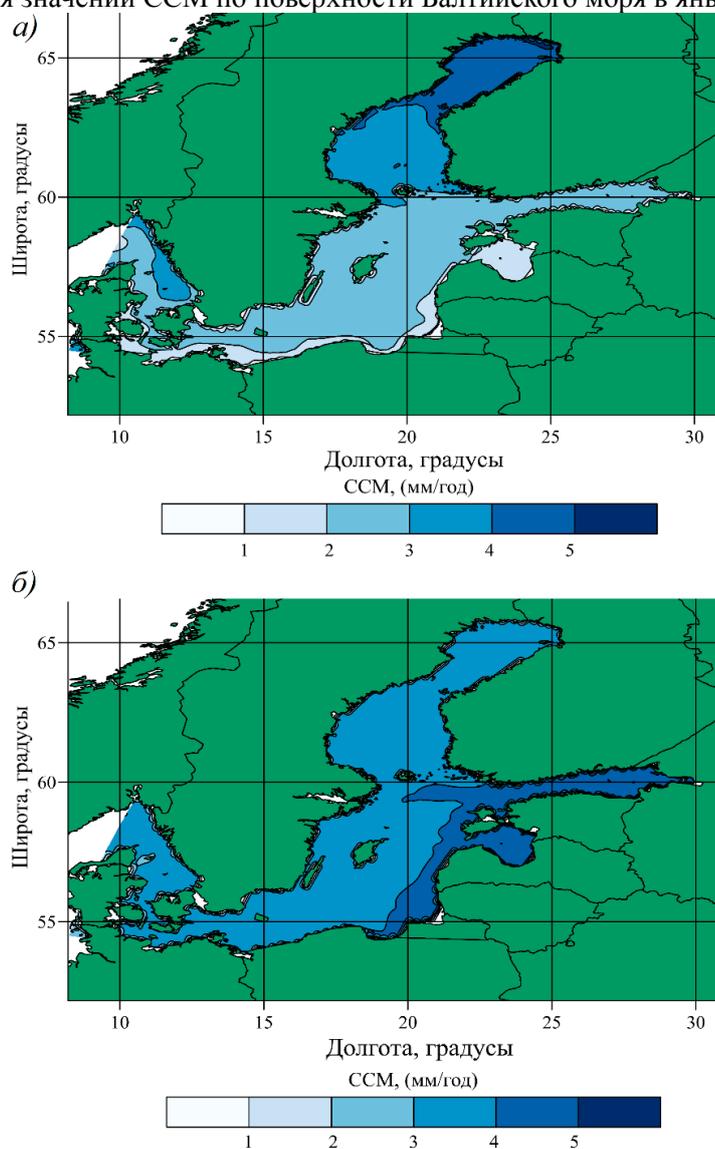


Рис. 2. Распределения средних значений скоростей изменения среднемесячных уровней поверхности Балтийского моря (мм/год) для: а) января; б) июня

Из рис. 2а видно, что в январе значения ССМ всех участков акватории Балтийского моря положительны и являются наибольшими для участков акватории северной части Ботнического залива.

Рис. 2б показывает, что в июне значения ССМ всех участков акватории Балтийского моря также положительны, но достигают максимума в Финском и Рижском заливах, а также на многих прибрежных участках юго-восточной части моря. Такие же закономерности выявлены и для других месяцев.

На рис. 3 для тех же месяцев представлены распределения значений ССМ в Черном море.

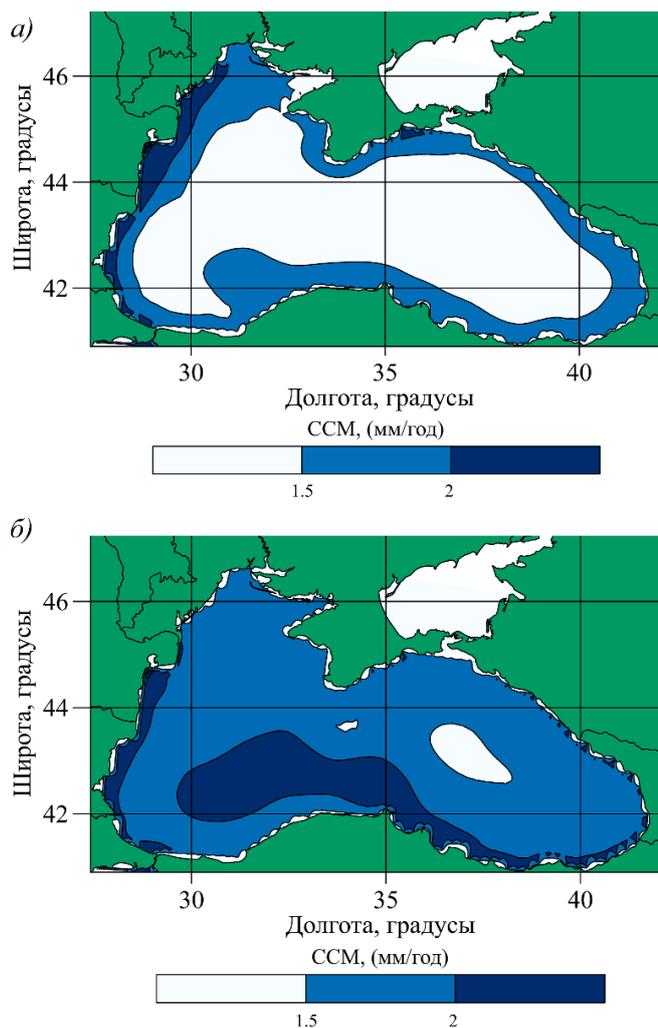


Рис. 3. Распределения средних значений скоростей изменения среднемесячных уровней поверхности Черного моря (мм/год) для: а) января; б) июня

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979–2017 ГГ.

Рис. 3а показывает, что в январе на всей акватории Черного моря за период 1979–2017 гг. значения ССМ положительны. Они максимальны на участках западного побережья. Это свидетельствует о произошедшем повышении повторяемости и высоты ветровых нагонов на побережья Черного моря и активизации циклонической циркуляции его вод, приводящей к выходу в центральных районах его западной и восточной части холодных вод из его глубин.

Из рис. 3б видно, что значения ССМ для июня также положительны. Максимальными они являются у юго-западных и южных побережий моря, а также в центральной части его западного циклонического круговорота. Аналогичные особенности характерны и для остальных месяцев.

В таблице 3 представлены данные о районах изучаемых морей, где значения ССМ были наибольшими, а также соответствующие значения этих показателей.

Таблица 3.

Координаты центров районов Балтийского и Черного морей с наибольшими за период 1979–2017 гг. ССМ, а также их значения (ССМ_{max})

Месяц	Балтийское море			Черное море		
	Широта, град.	Долгота, град.	ССМ _{max} , мм/год	Широта, град.	Долгота, град.	ССМ _{max} , мм/год
Январь	65,73848	22,41211	5,18	40,93256	27,90039	2,47
Февраль	56,00541	18,09084	3,43	44,88303	35,67467	3,32
Март	54,11623	11,04724	4,63	42,61187	31,57908	5,78
Апрель	60,07799	30,02733	5,55	42,61187	31,33088	2,57
Май	56,88105	23,90763	4,08	42,74923	31,84412	2,72
Июнь	60,07799	30,02733	4,91	43,02178	32,12677	2,49
Июль	65,29942	21,78138	5,06	40,93256	27,90039	2,34
Август	64,10364	14,51963	5,08	40,93256	27,90039	2,62
Сентябрь	58,26627	10,15611	5,09	40,93256	27,90039	3,19
Октябрь	58,4387	9,962135	5,4	40,93256	29,14616	3,07
Ноябрь	64,58631	15,01928	5,62	44,12704	38,78609	4,38
Декабрь	64,58631	15,01928	6,92	42,33498	30,55266	3,08

Из таблицы 3 следует, что в Черном море максимальные значения ССМ в любые месяцы, кроме марта, были меньше, чем в Балтийском. В Балтийском море максимальные значения ССМ в ноябре–феврале, а также августе, соответствуют участкам акватории Ботнического залива. В июне и в апреле они приходятся на участки Финского залива. В Черном море максимальные значения ССМ в марте–июне, а также октябре, имели место на участках центральной части его западного циклонического круговорота. В декабре–январе и июле–сентябре они располагались в Прибосфорском районе Черного моря, проливе Босфор и прилегающих к нему акваториях Мраморного моря.

Выявленные особенности изменений ТВП Черного и Балтийского морей в 1979–2017 гг. в целом соответствуют представлениям о происходящем в современную эпоху повышении уровня Мирового океана [8, 9]. Полученные

результаты свидетельствуют о том, что важную роль в изменении ТВП обеих морей играют изменения повторяемости и характеристик ветров, инициирующих сгонно-нагонные процессы и ветровые течения [16], а также водно-балансовые факторы.

При сохранении в будущем выявленных тенденций изменений ССГ и ССМ, наиболее существенное увеличение рисков затопления возможно в летние месяцы на побережьях Финского и Рижского заливов, а также других участков юго-востока Балтики, берега которых относятся к абразионным, аккумулятивным и абразионно-аккумулятивным. Учитывая аналогичные типы берегов западных побережий Черного моря, прилегающие к ним районы, в особенности Придунайский, будут подвержены тем же опасностям.

ВЫВОДЫ

В результате исследования подтверждено, что реанализ ICDC вполне адекватно описывает изменения топографии водной поверхности Балтийского моря и в целом (за исключением отдельных месяцев) применим в Черном море.

Выявленные особенности изменений в 1979–2017 гг. топографии водных поверхностей Черного и Балтийского морей соответствуют современным представлениям о возможных последствиях происходящих перемен климата, которые проявляются не только в повышении средней температуры вод обеих морей, но и активизации ветровых нагонов на их побережья. Данный факт можно считать в целом благоприятным для судоходства на мелководных участках Черного и Балтийского морей, однако последствия учащающихся ветровых нагонов будут проявляться в более интенсивном заиливании прибрежных судоходных каналов, где ведется регулярное дноуглубление, и уменьшению их проходных глубин.

При сохранении современных тенденций изменений ТВП на участках берегов, относящихся к абразионному, аккумулятивному или абразионно-аккумулятивному типам, вероятно ускорение процессов их переформирования, сопровождающееся затоплением прибрежных территорий. Последнее повышает актуальность осуществления берегозащитных мероприятий на таких территориях.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 1998. 1022 с.
2. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Севастополь: ГОИН, Севастопольское отделение, 1990. 269 с.
3. Каплин П.А., Павлидис Ю.А., Селиванов А.О. Прогноз развития береговой зоны морей России в условиях повышения их уровня и потепления климата // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке: XX Междунар. конф., посвящ. 90-летию В.П. Зенковича (4–5 февр. 2000 г.), Москва. 2001, С. 16–28.
4. Клиге Р.К. Современные изменения уровня Мирового океана. Уровень берега и дно океана. М.: Наука, 1978. С. 136–180.
5. Lisitzin E. Determination of the slope of the water surface in the Gulf of Finland // *Geophysica*. 1958. No. 5. Pp. 193–202.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979–2017 ГГ.

6. Mörner N.-A. Sea level is not rising // Science and Public Policy Institute (SPPI), SPPI Reprint Series, December 6, 2012. Pp. 1–26.
7. NCEI OSTM/Jason-2 and Jason-3 Satellite Products Archive [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nodc.noaa.gov/sog/jason/>
8. Nerem R.S., Beckley D.D., Fasullo J.T., Hamlington B. D., Masters D., and Mitchum G. T. Climate-change driven accelerated sea level rise detected in the altimeter era // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. 115 (9). Pp. 2022–2025.
9. Roemmich D., Wunsch C. Apparent changes in the climatic state of the deep North Atlantic Ocean // Nature. 1984. No. 307. Pp. 447–450.
10. Shennan I., Woodworth P.L. A comparison of late Holocene and twentieth-century sea-level trends from the UK and North Sea region // Geophys. J. Int. 1992. No. 109. Pp. 96–105.
11. Гансвинд И.Н. Современные космические технологии изучения Земли как системы // Электронные библиотеки. 2017. Т. 20, № 1. С. 39–49.
12. Integrated Climate Data Center. Ocean. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/>
13. Zuo H., Alonso-Balmaseda M., de Boisseson E., Hirahara S., Chrust M., de Rosnay P. A generic ensemble generation scheme for data assimilation and ocean analysis // ECMWF. No. 795. 44 p.
14. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://data.oceaninfo.ru/>
15. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. 128 с.
16. Захарчук Е.А., Тихонова Н.А., Гусев А.В., Дианский Н.А. Сравнение методов численного моделирования колебаний уровня Балтийского моря // Труды ГОИН. 2016. № 217. С. 22–42.

FEATURES OF SURFACE TOPOGRAPHY VARIATIONS IN THE BLACK AND BALTIC SEAS IN 1979–2017

Kholoptsev A. V., Podporin S. A.

*FSAEI "Sevastopol state university", Sevastopol, Russian Federation
Sevastopol office of federal state budgetary institution "State Oceanographic Institute of N. N. Zubov", Sevastopol, Russian Federation
E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru*

The paper focuses on the trends in sea level variations in the two key seas of Russia – the Baltic Sea and the Black Sea. The raised issue is essential for better understanding of the risks imposed on the sea coasts in the context of possible inundation due to the ongoing climate warming. The aspect of the impact of sea topography variations on shipping safety is also not to be neglected since large areas of the seas in question feature shallow waters with quite intense marine traffic.

The research is conducted for the period of 1979–2017. As source data on sea surface heights, we use the ICDC reanalysis – a retrospective analysis supported by the Integrated Climate Data Center of the University of Hamburg. To be able to trust the aforementioned data, we carry out their verification by means of comparing the reanalysis results with the actual monitoring data obtained from multiple tide gauges located on the coasts of the seas in question. The comparison is effected by means of statistical methods including the correlation analysis and Student's t-test. The results have revealed that the ICDC reanalysis is adequate for the whole area of the Baltic Sea. In the Black Sea this is true for most of its parts except for the area in the vicinity of Sochi.

For all parts of the seas in question we calculate mean values of annual and monthly rates of sea level variations averaged over 1979–2017 period. This approach has enabled to reveal long-term trends in sea topography changes. The results are presented on contour maps obtained by use of Delaunay triangulation technique.

For both seas it has been found that their level change rates are positive. The largest level increases have been established in near coastal water areas, which is apparently an aftermath of intensifying storm surges. The latter is in compliance with the theory and consequences of the global climate warming.

We come to a conclusion that if the revealed trends persist in the future, a number of coastal zones will face the risks of shore reshaping and consequent inundation. This is especially the case for coasts of the abrasion, accumulative or abrasion-accumulative types. In the Black Sea the endangered areas have been found to be located on its western coasts, with special attention needed to the Danube area. In the Baltic Sea the inundation risks will significantly grow on the coasts of the Gulf of Finland and Gulf of Riga during summer months. Some south-east coastal zones will also be affected. The endangered localities are advised to start planning shore protection measures in advance.

Rising sea levels are on the whole beneficial for shipping, particularly in shallow waters, however intensifying storm surges are likely to lead to rapid siltation of shipping channels thus compromising safety of big draft vessels.

Keywords: sea level, Black Sea, Baltic Sea, topography, water surface, mean rate, coast, inundation

References

1. Ajvazyan S.A., Mhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki (Applied Statistics and Bases of Econometrics)*. Moscow: Unity (Publ.), 1998, 1022 p. (in Russian).
2. *Katalog nablyudenij nad urovnem Chernogo i Azovskogo morej (Sea Level Observation Catalogue for the Black and Azov Seas)*. Gosudarstvennyj komitet SSSR po gidrometeorologii. Sevastopol': GOIN, Sevastopol'skoe otdelenie, 1990, 269 p. (in Russian).
3. Kaplin P.A., Pavlidis YU.A., Selivanov A.O. *Prognoz razvitiya beregovoj zony morej Rossii v usloviyah povysheniya ih urovnya i potepleniya klimata (Forecast of the development of the coastal zone of the seas of Russia in conditions of increasing their level and climate warming)*. Chelovechestvo i beregovaya zona Mirovogo okeana v XXI veke: 20th Mezhdunar. konf., posvyashch. 90-letiyu V.P. Zenkovicha (Feb. 4–5, 2000), Moscow, 2001, pp. 16–28. (in Russian).
4. Klige R.K. *Sovremennye izmeneniya urovnya Mirovogo okeana. Uroven' berega i dno okeana (Modern changes in sea level. Shore level and ocean floor)*. Moscow: Nauka (Publ.), 1978, pp. 136–180 (in Russian).
5. Lisitzin E. Determination of the slope of the water surface in the Gulf of Finland. *Geophysica*, 1958, no. 5, pp. 193–202.
6. Mörner N.-A. Sea level is not rising. Science and Public Policy Institute (SPPI). SPPI Reprint Series, December 6, 2012, pp. 1–26.
7. NCEI OSTM/Jason-2 and Jason-3 Satellite Products Archive. <https://www.nodc.noaa.gov/sog/jason/>
8. Nerem R.S., Beckley D.D., Fasullo J.T., Hamlington B. D., Masters D., and Mitchum G. T. Climate-change driven accelerated sea level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115 (9), pp. 2022–2025.
9. Roemmich D., Wunsch C. Apparent changes in the climatic state of the deep North Atlantic Ocean. *Nature*, 1984, no. 307, pp. 447–450.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРНОГО И
БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ В 1979-2017 ГГ.

10. Shennan I., Woodworth P.L. A comparison of late Holocene and twentieth-century sea-level trends from the UK and North Sea region. *Geophys. J. Int.*, 1992, no. 109, pp. 96–105.
11. Gansvind I.N. *Sovremennye kosmicheskie tekhnologii izucheniya Zemli kak sistemy (Modern space technologies for studying the Earth as a system)*. *Elektronnye biblioteki*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 39–49. (in Russian).
12. Integrated Climate Data Center. Ocean. [Http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/](http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/)
13. Zuo H., Alonso-Balmaseda M., de Boisseson E., Hirahara S., Chrust M., de Rosnay P. A generic ensemble generation scheme for data assimilation and ocean analysis. ECMWF, no. 795. 44 p.
14. *Edinaya gosudarstvennaya sistema informacii ob obstanovke v Mirovom okeane (Unified state system of information on the situation in the oceans)*. [Http://data.oceaninfo.ru](http://data.oceaninfo.ru). (in Russian).
15. Skvorcov A.V. *Triangulyaciya Delone i ee primeneniye (Delaunay triangulation and its application)*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (Publ.), 2002, 128 p. (in Russian).
16. Zaharchuk E.A., Tihonova N.A., Gusev A.V., Dianskij N.A. *Sravnenie metodov chislennogo modelirovaniya kolebanij urovnya Baltijskogo moray (Comparison of methods for numerical modeling of Baltic sea level fluctuations)*. *Trudy GOIN*, 2016, no. 217, pp. 22–42. (in Russian).

Поступила в редакцию 13.05.2020 г.